

El futuro de la energía en 100 preguntas

Pedro Fresco



Colección: 100 preguntas esenciales
www.100Preguntas.com
www.nowtilus.com

Título: *El futuro de la energía en 100 preguntas*

Autor: © Pedro Fresco

Director de la colección: Luis E. Íñigo Fernández

Copyright de la presente edición: © 2018 Ediciones Nowtilus, S.L.
Camino de los Vinateros 40, local 90, 28030 Madrid
www.nowtilus.com

Elaboración de textos: Santos Rodríguez

Diseño de cubierta: NEMO Edición y Comunicación

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra (www.conlicencia.com; 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

ISBN Papel: 978-84-9967-970-9

ISBN Impresión bajo demanda: 978-84-9967-971-6

ISBN Digital: 978-84-9967-972-3

Fecha de publicación: octubre 2018

Impreso en España

Imprime: Podiprint

Depósito legal: M-29163-2018

A Olivia, para que entienda mejor
el futuro, su presente

Índice

Prólogo	15
I. La energía en el mundo	
1. ¿Qué es la energía?	19
2. ¿Se usaban combustibles fósiles en la Antigüedad?	22
3. ¿Por qué fue el Reino Unido la primera potencia mundial durante el siglo XIX?	25
4. ¿Cuál es el país que más energía consume?	28
5. ¿Cuál es el país que más contamina?	31
6. ¿Cómo se genera la electricidad?	34
7. ¿Qué sucede con la electricidad una vez sale de la central eléctrica?	36
8. ¿Es verdad que la electricidad tiene cada hora un precio distinto?	40
9. ¿Cómo se convierte en petróleo en gasolina?	43
10. ¿Se puede transportar gas natural en un barco?	46
11. ¿Cuánta energía consume una persona en un año?	48
12. ¿Es lo mismo energía renovable que energía limpia?	51

II. Las energías fósiles

13.	¿Cómo se originó el carbón?	53
14.	¿Tiene futuro el carbón como fuente de energía?	56
15.	¿Tiene el petróleo siempre la misma composición? ...	60
16.	¿Qué país acumula las mayores reservas de petróleo?	63
17.	¿Estamos cerca del <i>Peak Oil</i> ?	65
18.	¿Por qué oscilan tanto los precios del petróleo?	68
19.	¿Es el gas natural el combustible fósil menos contaminante?.....	71
20.	¿Por qué el gas natural es mucho más caro en Japón que en Estados Unidos?	74
21.	¿Puede ser el gas natural un combustible de transición?	77
22.	¿En qué consiste en <i>fracking</i> ?	80
23.	¿Cómo funciona una central térmica?	83
24.	¿Por qué las centrales de ciclo combinado son más eficientes que las térmicas?	86
25.	¿Cuál es la central térmica más grande del mundo?	89
26.	¿Es el cuerpo humano una central térmica?	92

III. La energía nuclear

27.	¿Por qué romper un átomo genera energía?	95
28.	¿Qué es el humo que emite una central nuclear?	99
29.	¿En qué país se utiliza más la energía nuclear?	101
30.	¿Qué peligros tienen para el ser humano los residuos radioactivos?	104
31.	¿Cuáles han sido los accidentes nucleares más graves de la historia?	107
32.	¿Cuál es la central nuclear más grande del mundo?	110
33.	¿Tiene futuro la energía nuclear?	113

IV. Energías hidráulica, eólica y solar

34.	¿Se pueden comparar los costes de los distintos tipos de energía?	117
35.	¿Cuántos tipos de centrales hidroeléctricas hay?	121
36.	¿Existen países que generen toda su electricidad gracias a centrales hidroeléctricas?	124
37.	¿Es verdad que la central más grande del mundo es una central hidroeléctrica?	127
38.	¿Por qué los aerogeneradores tienen tres palas?	129
39.	¿Se pueden instalar aerogeneradores en el mar?	133
40.	¿Es España un país de referencia en energía eólica?	136
41.	¿Cuánta superficie puede ocupar un parque eólico?	139
42.	¿Podríamos cubrir todas nuestras necesidades energéticas con la energía del sol?	141
43.	¿Puede una planta solar generar energía de noche?	144
44.	¿Cómo genera electricidad una placa fotovoltaica?	148
45.	¿Qué implantación tiene la energía solar fotovoltaica en el mundo?	152
46.	¿En qué partes del mundo es más interesante instalar energía solar?	155
47.	¿Dónde está la planta fotovoltaica más grande del mundo?	159

V. Energías geotérmica, marina y biomasa

48.	¿Qué usos tiene la energía geotérmica?	163
49.	¿Qué relación existe entre la energía geotérmica y la tectónica de placas?	167
50.	¿Se puede extraer energía del mar?	171
51.	¿Está desarrollada la energía marina en el mundo?	174

52.	¿Se puede generar electricidad con huesos de aceituna?	177
53.	¿Cuáles son los principales biocombustibles?	180
54.	¿Se puede obtener energía de la basura?	183
55.	¿La biomasa es realmente neutra en emisiones de CO ₂ ?	187
56.	¿Es verdad que las energías renovables generan más empleo que las tradicionales?	189

VI. El cambio climático

57.	¿Por qué se está calentando la tierra?	193
58.	¿Desde cuándo se sabe que las emisiones de CO ₂ provocan el calentamiento del planeta?	196
59.	¿Hasta cuántos grados se podría calentar la tierra?	200
60.	¿Qué consecuencias para el ser humano tendría el cambio climático?	203
61.	¿Existen dudas razonables sobre el cambio climático?	207
62.	¿Por qué es tan importante el acuerdo de París?	211
63.	¿Cómo afecta el acuerdo de París al futuro de la energía?	214
64.	¿Cómo funcionan los sistemas de comercio de emisiones de CO ₂ ?	217
65.	¿Cuáles son las acciones individuales más efectivas para combatir el cambio climático?	220
66.	¿Se puede consumir electricidad verde?	223

VII. Hacia un mix eléctrico 100 % renovable

67.	¿Cuáles son las principales dificultades para que toda la electricidad sea renovable?	227
68.	¿Qué mecanismos existen para almacenar energía?	230

69.	¿Por qué han sido tan revolucionarias las baterías de litio?	234
70.	¿Hay alternativas a las baterías de litio?	237
71.	¿Hay países que generen toda su electricidad mediante fuentes renovables?	240
72.	¿Podría América Latina desarrollar un mix eléctrico completamente renovable?	243
73.	¿Existe una revolución energética en marcha en China e India?	246
74.	¿En qué consiste el autoconsumo de electricidad?	250
75.	¿Qué mecanismos existen para desarrollar las energías renovables?	254
76.	¿Cuánta electricidad consume internet?	257
 VIII. La movilidad sostenible		
77.	¿Cómo funciona un motor de combustión?	261
78.	¿Qué vehículo contamina más, un diésel o un gasolina?	264
79.	¿Qué ventajas tienen los vehículos que funcionan con gas?	268
80.	¿Cómo pueden los coches híbridos producir electricidad al frenar?	271
81.	¿Por qué no se desarrolló antes el vehículo eléctrico?	274
82.	¿Puede ser el vehículo eléctrico una fuente de ingresos?	277
83.	¿Hay suficiente litio en el mundo para que todos los coches sean eléctricos?	281
84.	¿Tienen futuro los vehículos que funcionan con hidrógeno?	283

IX. La eficiencia energética

85. ¿Por qué es tan importante la eficiencia energética? 287
86. ¿Por qué consume tan poca electricidad una bombilla LED? 290
87. ¿En qué situaciones merece la pena cambiar la iluminación a LED? 294
88. ¿Cuál es el sistema de climatización que menos energía consume? 298
89. ¿Se puede conseguir que una casa no necesite climatización? 302
90. ¿Cuál es la cogeneración más famosa del mundo (y que ignoramos que lo es)? 305
91. ¿Qué medidas de eficiencia energética se realizan en el sector industrial? 308
92. ¿Contribuye el reciclaje al ahorro energético? 311

X. Más allá del futuro

93. ¿Por qué hay tantas esperanzas en la fusión nuclear? 315
94. ¿Qué se está haciendo para conseguir la fusión nuclear? 318
95. ¿Puede ser la fusión nuclear la energía del futuro? 321
96. ¿Llegaremos a ver un mundo movido por hidrógeno? 324
97. ¿Cuáles serán las baterías del futuro? 328
98. ¿Se podrá eliminar el CO₂ del aire? 331
99. ¿Es el decrecimiento la única solución para el planeta? 334
100. ¿Llegaremos a ver un mundo donde la energía sea 100% renovable? 337

Glosario de términos 341

Bibliografía 345

PRÓLOGO

Parece más que evidente que, si queremos un futuro energético sostenible, el actual modelo energético es inviable. La humanidad se enfrenta al que posiblemente es el reto común más importante al que nos hemos enfrentado nunca, un cambio climático que amenaza con alterar enormemente nuestros ecosistemas y nuestras estructuras sociales, y una de las acciones clave para poder mitigarlo es la generalización del uso de fuentes de energía renovables.

Cuando comencé mi carrera investigadora a finales de los años 70 del siglo pasado en el campo de la física de los semiconductores, las energías renovables eran una curiosidad científica con muy escasas aplicaciones comerciales. Durante la realización de mi Tesis Doctoral, dediqué varios años al estudio de las propiedades de un semiconductor, el CdS y en años posteriores, a las del CuGaInSe₂. Hoy en día, esos materiales forman parte de células solares que han alcanzado un notable éxito comercial, lo cual ni en el mejor de mis sueños podía imaginar que llegara a suceder.

Con el paso de los años, gracias a la continua investigación y el esfuerzo inversor de organismos públicos y privados, las energías renovables mejoraron y se hicieron más eficientes y competitivas hasta el punto de poder rivalizar con las fuentes de energía tradicionales. Por poner un ejemplo de esta evolución:

el precio del vatio fotovoltaico a finales de los 70 estaba por encima de los 70 dólares mientras que a mediados de la década del 2010 su coste ya había caído por debajo de los 30 centavos de dólar, lo que ha implicado un abaratamiento extremo de la electricidad generada por esta fuente de energía. Energías como la eólica o la solar fotovoltaica ya son plenamente competitivas, no necesitan ni ayudas ni subsidios en gran parte de los países y sus costes todavía se reducirán más en los próximos años.

Otras energías renovables como la termosolar o la marina aún no han alcanzado ese grado de madurez, pero si siguen una curva de aprendizaje parecido al de la eólica y la fotovoltaica lo serán en unos años. Sin embargo, las energías renovables no están exentas de problemas. El principal inconveniente de algunas fuentes energéticas modernas como la eólica o la solar es su intermitencia, lo que las hace poco previsibles y no permite que puedan satisfacer las necesidades energéticas de nuestra sociedad por sí mismas. Desarrollar sistemas de almacenamiento adecuados y a gran escala es necesario para poder aumentar el valor de este tipo de energías y su desarrollo será uno de los grandes retos del futuro.

Hoy en día estamos en un proceso de transición energética que no tiene vuelta atrás. No por casualidad, el expresidente de los Estados Unidos de América, Barak Obama, publicó el 9 de enero de 2017, un artículo en la prestigiosa revista *Science*, con el llamativo título *The irreversible momentum of clean energy*. (B. Obama, *Science*, 10.1126/science.aam6284 [2017]).

La mayoría de potencias mundiales están haciendo un enorme esfuerzo inversor para propiciar esta transición que, sin embargo, no está exenta de dificultades. La principal de ellas es que estamos aún en un punto muy incipiente del camino, pues los combustibles fósiles todavía satisfacen el 85 % del mix energético mundial. Por muy rápido que sea este proceso tardaremos décadas en completar esta transición. De hecho, el principal debate político y técnico que existe en este terreno no es si se debe acometer esta transición energética, algo que casi todo el mundo da por descontado, sino la velocidad de la misma. Las grandes empresas multinacionales, desde compañías petroleras hasta la industria automovilística, ya han comenzado a adaptarse al cambio y están trabajando en campos como las energías renovables o la movilidad eléctrica, pero todavía existe una inercia y unos intereses

consolidados que generan discrepancia sobre la velocidad y la profundidad de este cambio.

En este libro, Pedro aborda esta problemática haciendo un repaso al pasado, presente y posible futuro de la energía con un estilo divulgativo, ameno y enormemente didáctico, tan familiar para mí desde los tiempos en que compartíamos tribuna en una de las secciones del diario Público. La temática y el formato es otro, pero la claridad expositiva es la misma. Además, el libro contiene una cantidad de datos completamente actualizados verdaderamente asombrosa y será de extraordinaria utilidad a quienes tengan interés en esta temática, de tanta actualidad en este momento. Por todas estas razones, el libro podrá ser leído sin dificultad por un amplio abanico de lectores.

La estructura del libro ayuda al lector no especialista a familiarizarse con la naturaleza y problemática de las principales fuentes de energía antes de abordar el apasionante reto de la transición energética y de sumergirse en el futuro a medio y largo plazo, con la obvia dificultad que tiene esta tarea. Se aborda una amplia cantidad de temas en un espacio relativamente corto, lo que supone un gran esfuerzo de síntesis que probablemente dejará al lector con ganas de ampliar conocimientos en los temas que le resulten más atractivos. Si lo consigue, si el lector se queda con esas ansias de conocimiento, entonces el libro habrá cumplido su principal objetivo.

Deseo a Pedro un gran éxito con este libro tan interesante y que aporta tanto al debate presente. Y a los lectores desearles que se apasionen con este futuro de la energía, que tantos y tan importantes retos plantea y en el que todos nos jugamos tanto.

Ignacio Martil
Doctor en física y catedrático de electrónica en la
Universidad Complutense de Madrid

I

LA ENERGÍA EN EL MUNDO

1

¿QUÉ ES LA ENERGÍA?

En física se define energía como la capacidad que tiene un objeto para realizar trabajo, entendiendo trabajo también como concepto físico, es decir, como una fuerza que es capaz de generar movimiento en un cuerpo. Podríamos decir, por tanto, que la energía sería la capacidad que tienen los cuerpos para poder generar movimiento en sí mismos o en otros cuerpos. Esta definición es coherente con el origen etimológico del término energía, proveniente del griego *enérgeia* que podría traducirse como ‘capacidad para realizar acción’. Así es, la energía produce acción, cambios en otros cuerpos y lo hace de distintas formas como movimiento, como calor, emitiendo luz, etcétera.

Todas estas formas son consecuencias de las distintas maneras como se manifiesta la energía en la naturaleza. Simplificando un poco, podríamos dividir la energía en seis tipos principales:

- **Energía mecánica:** Es la suma de la energía cinética, que es la energía que posee un cuerpo por estar en movimiento, y la energía potencial, que es la energía que tiene un cuerpo por estar situado dentro de un campo de fuerzas

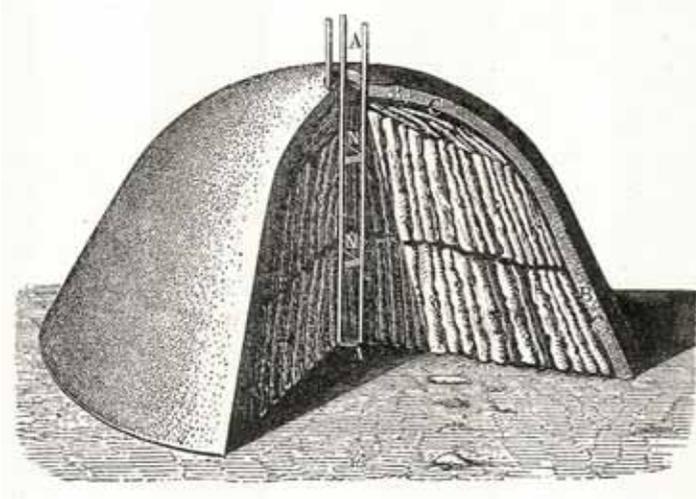


Imagen típica de una carbonera mostrada en sus distintas capas, con los troncos apilados y un orificio en forma de chimenea para poder introducir las brasas

varios días más. Los carboneros vivían en chozas improvisadas cerca de las carboneras, ya que debían controlar la reacción y alimentar el fuego, y muchas veces morían al caerles la pila ardiente encima. Este proceso fue muy habitual durante toda la Edad Media y Moderna. Aún hoy se utiliza en muchos países del mundo, aunque en hornos algo más sofisticados y menos peligrosos.

El carbón vegetal encontró un duro competidor durante la Edad Media. Se estima que desde el siglo XI ya se usaba de forma puntual el carbón mineral o carbón de piedra, como se llamaba entonces, que se extraía en algunas minas a cielo abierto en Inglaterra. Desde el siglo XV se tiene constancia de que este carbón se exportaba a Francia y Holanda, así que su uso es previo a la Revolución Industrial.

Más antiguo aún es el uso del petróleo y el gas natural, usados desde la Antigüedad. Aunque el petróleo se conoce desde más o menos el año 3000 a. C., los primeros que lo utilizaron como fuente de energía parece que fueron los chinos, sobre el año 350 a. C. Perforaban la tierra con cañas de bambú para extraer el petróleo y luego lo canalizaban hacia las salinas para quemarlo allí y evaporar la salmuera a fin de conseguir sal. Exactamente lo mismo hacían con el gas natural que aparecía en las mismas perforaciones y también sabían que podían quemar. El petróleo también se usaba como fuente de energía en la antigua Roma, al menos desde el siglo I, donde se quemaba en lucernas (pequeñas lámparas para iluminación que tenían la forma de la lámpara de Aladino) que sustituyó al aceite de oliva, que era el combustible tradicional de estas lámparas.

Imagen aérea de la ciudad de Shanghai, en China, cubierta por una densa niebla a causa de la contaminación atmosférica. El caso de Shanghai no es único, la contaminación atmosférica es algo muy preocupante en las grandes urbes chinas, sobre todo en su capital, Pekín.



pero solo emitió el 0,9% del CO₂. Canadá, gran consumidor de energía primaria (2,5% de la energía mundial), emitió el 1,6% del CO₂. El caso de Suecia y Noruega es todavía más espectacular, con un consumo del 0,4% de la energía mundial cada uno sus emisiones fueron del 0,1%. Francia consigue esas bajas emisiones gracias a que el 75% de su energía eléctrica tiene origen nuclear y Canadá, Noruega y Suecia gracias a sus altos porcentajes de energía hidroeléctrica en su mix eléctrico (entre el 45 y el 95%). En general, los países más desarrollados tienen unas emisiones de CO₂ por unidad de energía primaria consumida menores que los países en vías de desarrollo. Los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) han reducido sus emisiones de CO₂ en los últimos 10 años un 0,9% anual (2% anual en la Unión Europea), mientras que el resto de países aumentaron sus emisiones un 3,4% al año en ese mismo período.

España emitió 282,4 MtCO₂ en 2016, el 0,8% mundial, cuando consume el 1% de la energía. El descenso de emisiones en los últimos años ha sido de media un 2,5% al año, producto de la crisis económica, del aumento de la generación de electricidad renovable y de las mejoras en eficiencia energética.

Brasil es otro de esos países que consumen bastante energía (2,2% mundial) y emiten relativamente poco (1,4% de las emisiones mundiales), gracias a la importancia de la generación hidroeléctrica y el uso de biocombustibles. De hecho, emitió en 2016 menos CO₂ que México, que tiene la mitad de habitantes (458 MtCO₂ Brasil frente a 470,3 MtCO₂ México). El resto de América Latina tiene unas emisiones de CO₂ por unidad de energía consumida similares a la media mundial y toda ella ha



Fotografía de un generador de corriente alterna proveniente de una central hidroeléctrica expuesto en el Museo Henry Ford en Michigan. Se pueden observar el rotor (la parte móvil que gira junto al eje central) y el estátor (la carcasa estática). El movimiento del rotor generaba corriente eléctrica en el estátor que posteriormente se inyectaba en la red eléctrica.

electricidad dinámica, que es aquella que se genera por un flujo de electrones permanente. El primer flujo de electricidad constante lo generó Alessandro Volta mediante una reacción química de oxidación-reducción entre el zinc y el cobre en la conocida como «pila de Volta». La pila de Volta era una simple estructura de discos de zinc y cobre apilados y separados por una capa de cartón impregnada en salmuera que generaba una corriente eléctrica gracias a la oxidación del zinc y la reducción del cobre. Esta pila es el origen de todas las pilas y baterías modernas que se basan en el uso de la energía química para conseguir electricidad o bien en el proceso contrario, en usar la electricidad para generar la reacción química inversa con el objetivo de poder almacenar esa energía de forma química y así poder liberarla cuando sea necesaria.

El segundo modo de obtener electricidad dinámica es mediante la transformación de energía mecánica en energía eléctrica, lo que se consigue mediante generadores eléctricos. Los generadores son máquinas rotativas que se componen de una parte fija, llamada «estátor», y una parte móvil, llamada «rotor». Cuando está en funcionamiento, uno de los dos elementos induce una corriente eléctrica en el otro elemento. Hay fundamentalmente de dos tipos: las dinamos, que generan corriente continua, y los alternadores, que generan corriente alterna y que son los que se usan hoy día para generar electricidad a partir de la energía mecánica.



Resumen del mercado ibérico de la electricidad del día 17/01/2018.

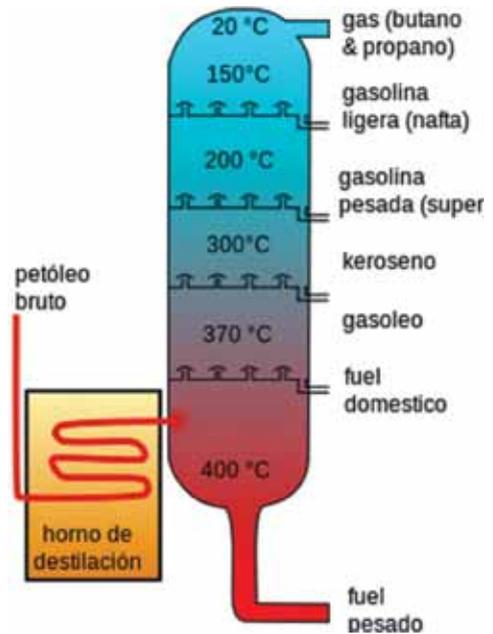
Como se puede comprobar cada hora tiene un precio diferente, oscilando entre los 35,45 €/MWh de la hora 5 (de 4 a.m. a 5 a.m.) a los 65,50 €/MWh de la hora 22 (de 9 p.m. a 10 p.m.). Las dos barras representan el precio en España y en Portugal que, aunque generalmente es el mismo (como este día), hay ocasiones en que difiere. Fuente: OMIE.

precio de mercado para esa hora, aunque algunas veces el precio de casación varíe del teórico a causa de ofertas con condiciones complejas. Es importante destacar que en el mercado debe haber más oferta que demanda y para ello los generadores están obligados a ofertar en casi todas las circunstancias.

No todos los mercados eléctricos del mundo son marginalistas, hay una minoría en la que los generadores cobran el precio al que ofertan y el precio final se genera por una media de todas las ofertas, que se conocen como *mercados pay as bid*. Intuitivamente puede parecer que en un mercado *pay as bid* los precios finales serán más baratos (al no cobrar todos los generadores que entran en el sistema el precio del más caro), el problema es que el precio de las ofertas se adapta a la naturaleza del mercado y en un mercado *pay as bid* muchos generadores ofertarían a un precio más alto que el ofertado en un mercado marginalista.

Cada central y cada tipo de energía tiene costes muy distintos. Una central de gas o de carbón tiene importantes costes variables (ya que gasta combustible para producir) y el precio tendrá en cuenta estos costes y también la amortización de los costes fijos (el coste de haber construido la central, el coste de los trabajadores, etc.). Sin embargo, energías renovables no gestionables como la eólica o solar hacen un cálculo radicalmente distinto, ya que su «combustible» (el viento y el sol) es gratuito y por tanto su coste es básicamente de amortización de costes fijos, no tiene prácticamente costes variables. Adicionalmente tenemos las centrales nucleares

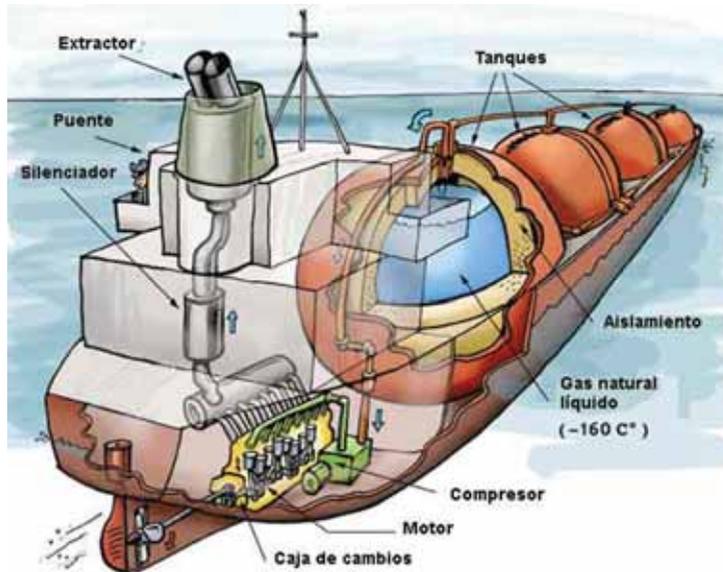
Esquema simple de una columna de fraccionamiento donde se puede observar los distintos platos y las temperaturas a las que condensan los distintos derivados del petróleo. Las temperaturas indicadas son aproximadas. Imagen: Theresa Knott, Wikimedia Commons.



La destilación del petróleo produce un residuo que se llama residuo atmosférico y que todavía contiene hidrocarburos útiles, pero que no se pueden extraer a presión atmosférica porque se produciría antes su destrucción térmica, así que este residuo se pasa a otra torre de fraccionamiento que trabaja al vacío, lo que permite extraer hidrocarburos que no se han podido extraer en la torre de fraccionamiento a presión atmosférica. En esta segunda torre se separan otros compuestos como las parafinas y los aceites lubricantes, mientras que los residuos de este proceso sirven para la fabricación del asfalto.

Cada una de las fracciones obtenidas en los distintos procesos de destilación pasa posteriormente por otros procesos dentro de la refinería con el objetivo de purificarlos, eliminar el azufre presente, aumentar los octanajes de las gasolinas, generar hidrocarburos más ligeros, etcétera.

Una vez obtenidos los productos finales en la refinería estos se almacenan en diferentes tanques para su posterior distribución. En el caso de la gasolina y el gasóleo, que son líquidos, estos se introducen en una red de oleoductos que se conectan con instalaciones de almacenamiento que están distribuidas por todo el territorio. Desde esas instalaciones de almacenamiento, el transporte final del producto se hace en camiones cisterna que surten a las estaciones de servicio donde se guardan los combustibles en tanques, esperando a que los consumidores finales vayan a surtir-se del producto final.



Boceto de un buque metanero con sus partes principales. La mayor parte del buque está compuesta por los tanques donde se almacena el GNL. Como se puede observar el propio GNL sirve como combustible para estos barcos, usándose el gas evaporado para esta función. Imagen: Welleman, Wikimedia Commons.

cuya función es mantener la presión en el oleoducto (alrededor de 70 bar).

Al igual que pasa con el petróleo, el gas natural puede ser enviado a unos tanques situados en los puertos donde este se almacena en estado líquido, para lo que hay que enfriarlo hasta $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ (se suele llamar entonces Gas Natural Licuado o GNL). Posteriormente, este gas se transporta en buques metaneros, un tipo de buque que posee varios tanques de forma generalmente esférica donde se almacena el gas natural a esa temperatura de $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una presión ligeramente superior a la atmosférica. Los metaneros pueden transportar volúmenes de gas de hasta $260\,000\text{ m}^3$, aunque un buque típico transporta unos $140\,000\text{ m}^3$ de gas natural licuado. Alrededor del 30% del consumo mundial de gas natural se realiza mediante buques metaneros, el resto es transportado mediante gaseoducto.

Al llegar a destino, los metaneros descargan en las llamadas plantas de regasificación. Las plantas de regasificación también almacenan este gas a temperatura de $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que se requiere su introducción en la red de gas, entonces el GNL se convierte de nuevo a estado gaseoso inyectándolo en un sistema de vaporización que calienta el GNL con el agua del mar (téngase en cuenta que el

II

LAS ENERGÍAS FÓSILES

13

¿CÓMO SE ORIGINÓ EL CARBÓN?

El carbón mineral es una sustancia fósil que se ha generado a partir de restos orgánicos vegetales. La mayoría del carbón mineral que actualmente usamos se generó hace millones de años, concretamente en el período conocido como carbonífero, que comenzó hace 359 millones de años y finalizó hace 299 millones de años. En esa época existían enormes bosques pantanosos compuestos por grandes helechos y enormes árboles de corteza de lignina más gruesa que la de los árboles actuales. Al morir estas plantas, quedaban sumergidas en el agua, protegidas de la degradación del oxígeno. Allí comenzaron un lento proceso de descomposición, llevado a cabo por bacterias anaerobias, que se conoce como diagénesis y dieron lugar a una sustancia un tanto esponjosa y de color verde oscuro que se denomina turba. Posteriormente, estas turbas fueron sepultadas por nuevas capas de materia orgánica y sedimentos, lo que condujo a un aumento lento y progresivo de temperatura y presión en un proceso conocido como metamorfismo, que duró miles de años y transformó la turba en carbones más ricos en carbono. Las mayores reservas de carbón se encuentran en Europa, Norteamérica y Asia, regiones que durante el período carbonífero

- Hulla o carbón bituminoso: De color negro, su contenido en carbono es entre el 75 y el 90%. Es el carbón más utilizado. Su poder calorífico es alto, entre 25 y 35 MJ/kg.
- Antracita: Es el carbón de mayor calidad, con una proporción de carbono entre el 90 y el 95 % y de un color entre negro y gris metálico. A pesar de ser el carbón de mayor calidad, no se usa mucho porque es escaso y caro. Su poder calorífico es similar al de los carbones bituminosos (25-35 MJ/kg).

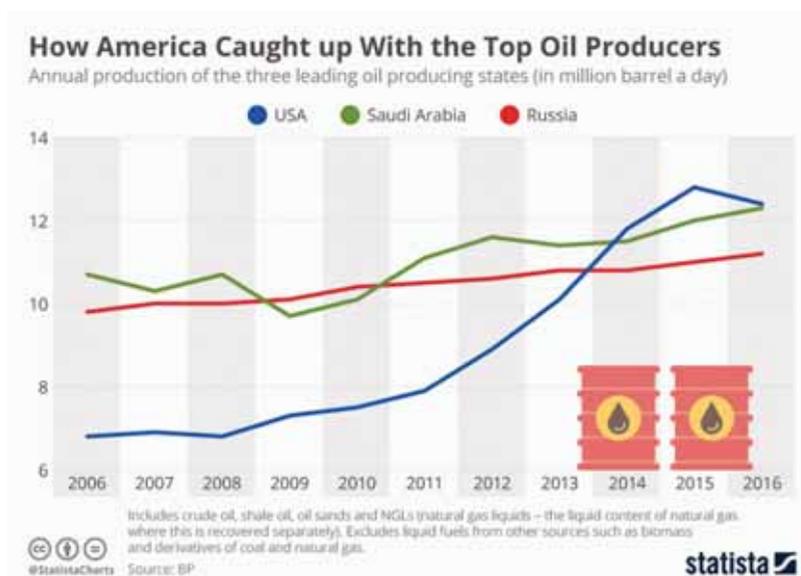


Esquema del proceso de carbonificación donde se pueden observar las distintas etapas del mismo y su relación con los distintos tipos de carbón.

Imagen cortesía de J. Ángel Menéndez Díaz.

Para la generación de energía en las centrales térmicas, los carbones que se suelen usar son el lignito, el sub-bituminoso y el bituminoso. La turba normalmente no se usa por su escaso valor calorífico y alta humedad, mientras que la antracita es cara y escasa, por lo que no es competitiva respecto a otros combustibles.

A pesar de que los lignitos son menos energéticos y más contaminantes y problemáticos que los carbones bituminosos, estos se siguen utilizando masivamente en las centrales térmicas para la generación de energía eléctrica. La cuestión no es solo el precio



Producción de petróleo en millones de barriles diarios de los tres principales países productores entre 2006 y 2016. Como se puede observar en el gráfico, la producción de petróleo en Estados Unidos en 2006 estaba muy por debajo de Arabia Saudí y Rusia, mientras que ocho años después se situó como primer productor mundial a causa del *fracking*. Imagen: Gráfica creada por Statista con datos de BP.

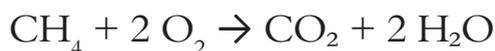
Además de las emisiones de CO₂, el petróleo y sus derivados también generan el resto de contaminantes típicos de la combustión de hidrocarburos: SO₂, NO_x, CO y partículas en suspensión. Sus efectos son especialmente relevantes para la salud humana, ya que derivados como el gasóleo y la gasolina se usan de combustible en los coches y sus emisiones afectan de lleno a los núcleos urbanos. Debido a las continuas normativas medioambientales y las mejoras técnicas las emisiones varían mucho según la época de fabricación de un vehículo, por ello son los vehículos nuevos bastante menos contaminantes que los antiguos. No obstante, por norma general, los vehículos diésel generan muchos problemas por la emisión de óxidos de nitrógeno y partículas de hollín, mientras que los coches gasolina emiten más monóxido de carbono (CO) debido a defectos en la combustión.

El transporte aéreo y el marítimo también tienen impactos relevantes sobre el medio ambiente. La aviación es responsable de entre el 2 y el 3% de las emisiones de CO₂ mundiales, sin embargo, los expertos consideran que es responsable del 3,5% del cambio climático antropogénico. Esta discrepancia se debe a que los efectos de los compuestos emitidos a grandes altitudes no son

Tipo de combustible	Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)
Gas Natural	49
Metano	50
Petróleo bruto	42,5
Fuelóleo	39,9
Gasóleo	42,5
GLP	45,9
Biodiésel	36,9
Lignito	13,3
Bioetanol	26,9
Hidrógeno	120

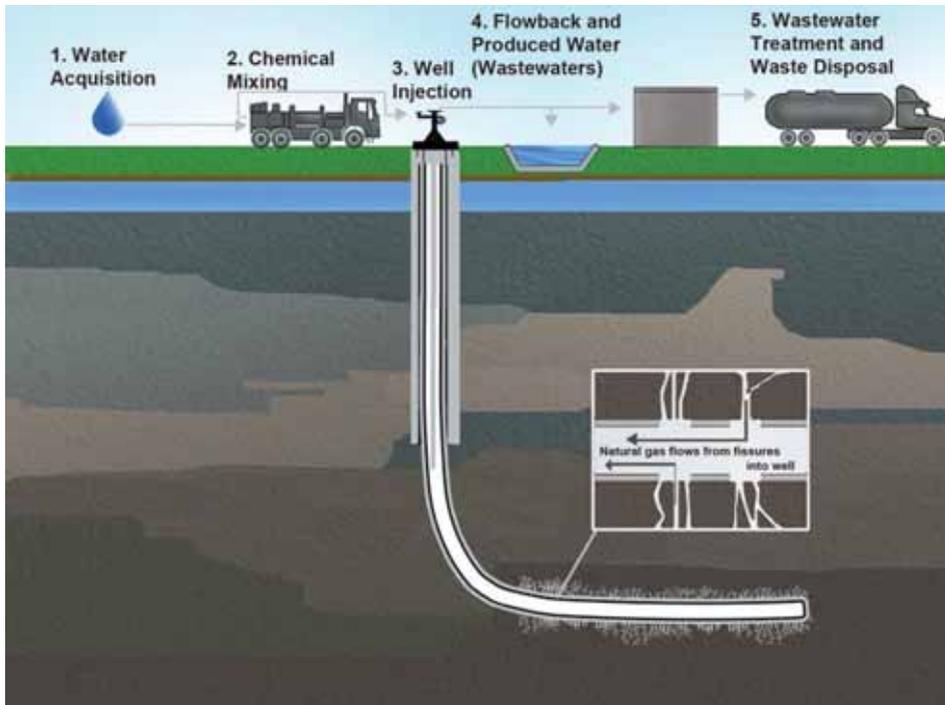
Poderes caloríficos inferiores de distintos combustibles. Los valores son variables en función de la naturaleza de cada uno de los combustibles, pero si el gas natural está compuesto casi completamente por metano, su poder calorífico es el más alto entre los combustibles con la única excepción del hidrógeno. Fuente: Elaboración propia con datos del IDAE y de la Asociación Española del Hidrógeno.

y si el metano es puro y la combustión es completa, tan solo genera CO₂ y agua:



Esta reacción «limpia» es la que produce las principales ventajas medioambientales del gas natural. En su combustión el gas natural genera casi la mitad de CO₂ que los lignitos y casi un 30% menos de emisiones de CO₂ que el fueloil. A nivel de movilidad, los coches de gas natural vehicular emiten por kilómetro recorrido un 25% menos de CO₂ que los coches gasolina y un 15% menos que los coches diésel. En el terreno de la generación eléctrica las diferencias son todavía mayores, puesto que el gas natural se suele usar en centrales de ciclo combinado, un tipo de central que tiene dos ciclos térmicos y que es más eficiente que las centrales térmicas convencionales. La emisión de CO₂ por kWh generado de un ciclo combinado de gas es menos de la mitad que el de una central térmica convencional de carbón.

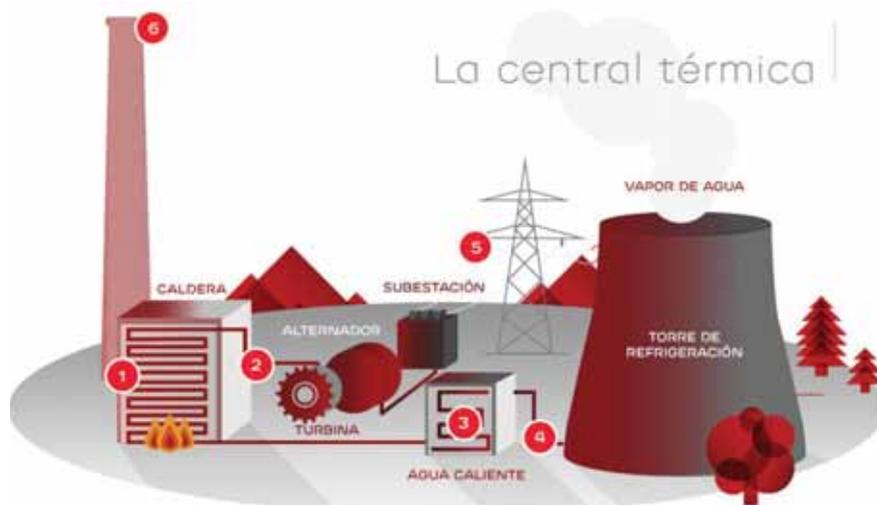
Pero sus ventajas no son solo la menor emisión de CO₂. La combustión del gas natural prácticamente no genera partículas y genera una cantidad casi insignificante de SO₂, ya que el único azufre que lleva el gas natural es que se le añade en forma de mercaptano, un aditivo odorizante que se utiliza para darle olor y poder así detectar sus fugas. También genera menos emisiones de óxidos de nitrógeno que los otros combustibles fósiles: un coche que funcione a gas natural vehicular emite un 50% menos de



Esquema del proceso del *fracking*. La inyección de agua a presión mezclada con productos químicos produce grietas en la roca madre que libera el petróleo o el gas natural permitiendo su extracción. El proceso requiere uso de grandes cantidades de agua y el tratamiento posterior de las aguas contaminadas.

internacional de la energía del año 2014, más de la mitad del gas natural y casi la mitad del petróleo extraído en los Estados Unidos provenía del *fracking*. En Canadá también es relevante, pero la producción de hidrocarburos por esta técnica aún es muy minoritaria comparado con la extracción del gas y el petróleo convencional. En cierta manera es normal que haya sido Estados Unidos el país donde el *fracking* se ha extendido más. A partir de los años 70 la extracción de petróleo y gas natural en Estados Unidos comenzó a decaer, abandonándose pozos por relativo agotamiento y no ser ya rentable su extracción. El *fracking* no solo se usa en pozos nuevos, de hecho, es habitual que se use en campos petrolíferos donde el petróleo convencional está agotado pero, en cambio, aún se mantienen grandes cantidades de petróleo en la roca madre. En 2015 existían en los Estados Unidos casi 300 000 pozos petrolíferos que usaban el *fracking* para extraer petróleo o gas natural.

Ese número de pozos nos indica uno de los problemas básicos de la fractura hidráulica: un pozo de *fracking* tiene una vida muy limitada y unas producciones decrecientes muy altas nada más abrir



Esquema simple del funcionamiento de una central térmica convencional.

- 1) La combustión calienta el agua que se convierte en vapor.
- 2) El vapor hace girar la turbina generando electricidad.
- 3) El vapor se enfría en el condensador antes de volver a la caldera.
- 4) El calor perdido por el vapor calienta el agua de refrigeración que se evapora y se expulsa a través de la torre de refrigeración.
- 5) La energía generada en el alternador se transfiere a la red eléctrica.
- 6) Los humos de la combustión se emiten al exterior.

Imagen cedida por EDP.

turbinas, este se enfría mediante un condensador, que puede ser un circuito de agua que se enfríe con torres de refrigeración o bien puede usarse las fuentes de agua cercanas. Por otro lado, el movimiento de la turbina se traslada al eje, que forma parte de un generador eléctrico que produce electricidad en corriente alterna. Los gases que genera la combustión del combustible fósil se emiten al exterior mediante una chimenea de gran altura, aunque primero pasan por distintos procesos de reducción de los contaminantes.

Dependiendo de la fuente de energía que se use, existe un tratamiento previo de la misma. En el caso del gas natural no hace falta tratamiento, este se lleva a la caldera directamente del gasoducto o del depósito. En cambio, si la fuente de energía es el carbón, este hay que triturarlo y pulverizarlo previamente, y si es el fueloil, se debe precalentar antes para que fluidifique. También existen centrales que funcionan con varios combustibles distintos, incluso algunos combustibles específicos. Por ejemplo, la central térmica de Aboño, en España, usa como combustible gases siderúrgicos residuales de alto horno y de la producción de coque procedentes de una industria cercana, gases que llevan cantidades variables de hidrógeno y metano y que, por tanto, tienen valor energético.

III

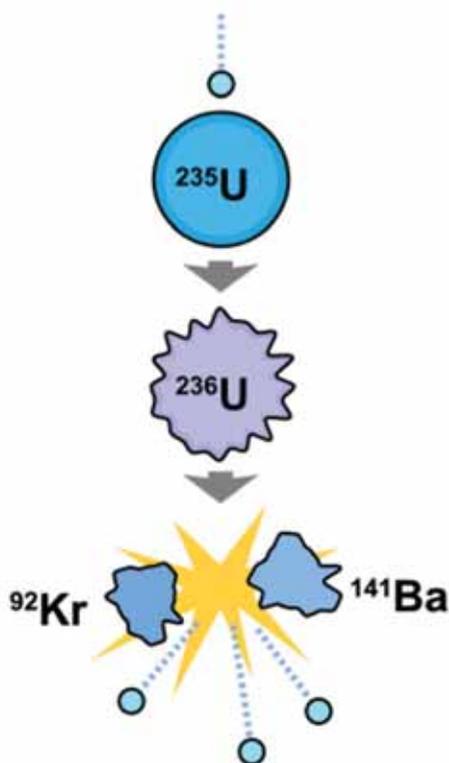
LA ENERGÍA NUCLEAR

27

¿POR QUÉ ROMPER UN ÁTOMO GENERA ENERGÍA?

Para entender la energía nuclear y su desarrollo conviene hacer primero un poco de historia. Hasta finales del siglo XIX se pensaba que los átomos eran las unidades básicas de la materia y que estos eran indivisibles, pero entre finales del XIX y principios del XX diversos descubrimientos hicieron comprender que el átomo estaba compuesto por tres partículas subatómicas: los electrones, que orbitaban alrededor del núcleo del átomo y que estaban cargados negativamente; los protones, que estaban en el núcleo del átomo y tenían carga positiva; y los neutrones, también en el núcleo del átomo pero de carga neutra. En función de la cantidad de protones del núcleo del átomo este correspondía a un elemento u otro.

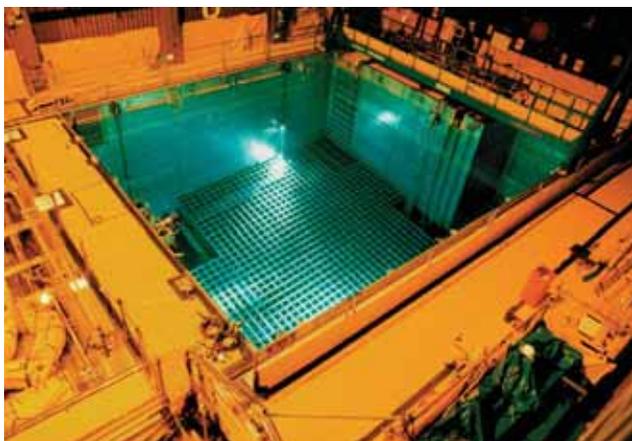
Una vez entendida esta estructura y conocidas las fuerzas de repulsión y atracción electromagnéticas, surgió una pregunta, ¿por qué se mantiene unido el núcleo del átomo? Si hay solo partículas cargadas positivamente y partículas neutras, el núcleo debería ser algo muy inestable que se acabase rompiendo por repulsión entre los protones. La razón de que no se rompa es la existencia de una fuerza llamada «fuerza nuclear fuerte» que es la que mantiene unidos a los protones y neutrones. Esta fuerza es muy superior



Una de las posibles reacciones de fisión del uranio-235. En este caso, la absorción de un neutrón produce la fisión del átomo generando bario-141, kriptón-92 y tres neutrones libres que podrían impactar en otros átomos de uranio y comenzar una reacción en cadena.

uranio-235 se convierte en uranio-236 con núcleo inestable que rápidamente se divide en dos átomos distintos, bario-141 y kriptón-92 y tres neutrones libres que continuarán golpeando a otros núcleos de uranio-235, manteniendo la reacción. En esta reacción se emite una energía de alrededor de 200 Mega-electronvolts (MeV) por átomo fisionado. Esta cantidad, que por átomo es ridícula, por kilo de uranio-235 se convierte en 81 700 000 MJ/kg, casi 1 800 000 veces más que la combustión de un kilo de gas natural.

La reacción de fisión del uranio-235 no produce siempre ni esos átomos ni tres neutrones, muchas veces produce otra combinación de elementos (por ejemplo, puede producir cesio-140 y rubidio-92) y produce dos neutrones libres. Al final una reacción de fisión en cadena producirá unos residuos de fisión compuestos de varios isótopos de muchos productos químicos distintos. A diferencia de lo que pasa en un arma, en la que la reacción en cadena es masiva, en una central esa reacción se consigue mediante la presencia de un elemento que se llama moderador, que ralentiza la velocidad de los neutrones emitidos facilitando que impacten en otros núcleos de uranio-235 y se produzca una reacción en cadena controlada.



Fotografía de la piscina de residuos nucleares de la central de San Onofre, en California. Fuente: United States Nuclear Regulatory Commission.

hormigón armado y deben estar ventilados para evitar el sobrecalentamiento. Los residuos adicionalmente se almacenan en estructuras de acero inoxidable para que tengan una segunda barrera de confinamiento. Esta etapa está pensada para almacenar los residuos unas cuantas décadas, no mucho más tiempo.

Sin embargo, después de todas esas décadas los residuos seguirán siendo radioactivos y los almacenes son solo soluciones temporales. La idea más aceptada para su almacenamiento definitivo es enterrar los residuos en almacenamientos geológicos profundos (AGP) y tenerlos allí durante miles de años. Hay muchos proyectos de investigación y plantas piloto, pero realmente solo hay un AGP en funcionamiento que está en Nuevo México, en los Estados Unidos, con idea de que funcione durante 10000 años. La planta sufrió una fuga de gas radioactivo en 2014, lo que ha puesto en duda la seguridad de este tipo de instalaciones durante tanto tiempo.

La radiación emitida por los residuos nucleares es peligrosa para el ser humano, de hecho, en función de la dosis recibida puede llegar a ser mortal. Las radiaciones ionizantes se miden en sieverts (Sv), unidad que refleja la energía equivalente absorbida por el tejido humano. La dosis media de radiación natural que recibe una persona al año es 2,4 milisieverts (mSv). Exposiciones mayores a 1000 mSv producen el síndrome de irradiación aguda o envenenamiento por radiación que hace padecer al afectado vómitos, náuseas, diarrea, eritema, pérdida de pelo y otros síntomas en las horas siguientes a la exposición; complicaciones en los órganos, varias semanas después; y en función de la dosis de radiación recibida puede llevar a la muerte. Según la organización mundial de la salud, con dosis superiores a 100 mSv se observa un aumento

Fotografía de la ciudad de Prípiat hecha a mediados de la década del 2000 donde se puede observar la central de Chernóbil al fondo. Prípiat no podrá volver a ser habitada en condiciones de seguridad durante miles de años.



Energía Atómica (OIEA), predijo que unas 9000 personas morirían a causa de la radiación emitida por el accidente. Las cifras, en cualquier caso, son muy polémicas, pues hay desde quienes niegan que esté demostrada la relación entre la radiactividad y la prevalencia de ciertos cánceres hasta quienes ofrecen cifras superiores a las 200000 víctimas.

El accidente de Chernóbil se consideró durante mucho tiempo algo producido por la deficiente tecnología soviética y se aseguraba que algo así no podía pasar con los parámetros de seguridad existentes en los países avanzados. Sin embargo, el 11 de marzo de 2011 se produjo el segundo accidente nuclear de nivel siete, el accidente de la central de Fukushima en Japón.

El origen del accidente fue el terremoto y posterior tsunami que afectó a la costa noreste de Japón ese día. El terremoto provocó que los reactores se pararan automáticamente. La red eléctrica cayó, por lo que se iniciaron los motores diésel para generar la energía necesaria para refrigerar el reactor. Sin embargo, una hora después del terremoto, llegó un tsunami que dañó esos motores e impidió la refrigeración de los núcleos de los tres reactores que estaban en funcionamiento. El progresivo aumento de la temperatura provocó la fusión del combustible nuclear y eso generó explosiones de vapor, incendios y sobrecalentamiento del combustible gastado depositado en la piscina de la central durante los días posteriores al tsunami. El accidente provocó la emisión de gases radioactivos al exterior y la contaminación del agua del mar, aunque se estima que la cantidad de radiación liberada fue aproximadamente el 10% de la liberada en Chernóbil.

IV

ENERGÍAS HIDRÁULICA, EÓLICA Y SOLAR

34

¿SE PUEDEN COMPARAR LOS COSTES DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ENERGÍA?

Comparar los costes de los distintos tipos de energías no es algo fácil. Estos costes son enormemente variables en función del país y del momento en que los hagamos, pues en el mundo de la energía las cosas cambian muy deprisa. Saber cuánto cuesta producir 1 kWh para una central determinada es algo casi imposible, pues las empresas que las gestionan obviamente no son transparentes en la información transmitida por cuestiones de competencia. Habrá veces que tenderán a sobredimensionar los costes, por ejemplo, cuando de estos dependa una remuneración regulada, y habrá otras que la tendencia será a infravalorarlos, por ejemplo, para vender las bondades de una fuente de energía.

Los costes de la generación de energía se pueden dividir en tres grandes tipos:

- Costes de capital: Son los costes de inversión para poner en marcha la central, la inversión de capital inicial. Son costes fijos, es decir, no dependen de si la central genera energía o no.



Esquema de una central hidroeléctrica de embalse. 1) Entrada del agua por una tubería forzada. 2) El agua mueve la turbina hidráulica cuyo movimiento hace girar el eje. 3) El giro del eje produce electricidad en el alternador. 4) Una vez turbinada el agua, esta continúa su flujo natural. 5) La electricidad generada se aumenta de tensión en la subestación elevadora y se inyecta en la red eléctrica. (Imagen cedida por EDP).

hidroeléctricas: las turbinas de acción que son aquellas en las que el agua no sufre casi pérdida de presión y por tanto la generación de energía se basa solo en la energía cinética del caudal de agua, y las turbinas de reacción en las que sí que hay pérdida de presión del agua a la salida y por tanto la presión también es importante para la generación de electricidad. En función de la altura del salto del agua y del caudal de la tubería forzada se usará de un tipo u otro.

Una vez turbinada el agua, esta se lanza al río para que continúe su flujo natural.

Una central hidroeléctrica tendrá más potencial de generación eléctrica conforme más acusado sea el desnivel, por eso para la instalación de estas centrales no sirve cualquier sitio, sino que hay sitios mejores donde se pueden generar mayores desniveles con inversiones menores en obra. Además del desnivel también es importante el caudal que fluye por la tubería forzada, ya que a mayor caudal también mayor generación de electricidad.

Además de las centrales de embalse también existen centrales de agua fluyente, que son aquellas que no tienen una presa para acumular agua y que turbinan el agua del caudal natural del río. En este tipo de centrales se crea un canal de derivación donde parte del agua del río se desvía hacia algún lugar



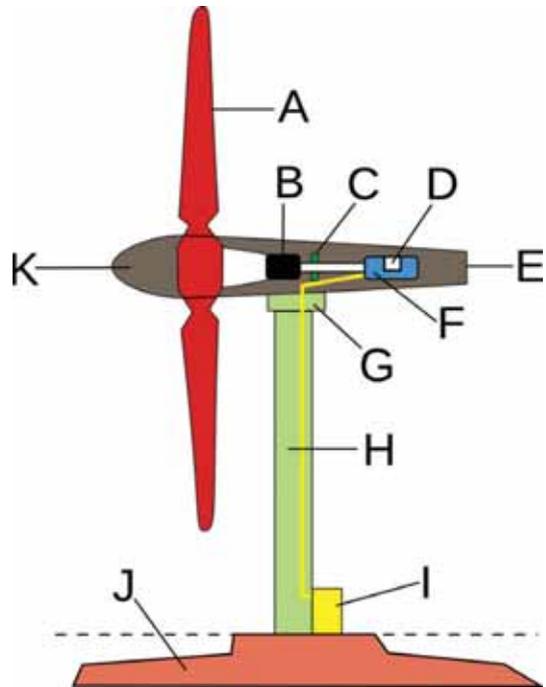
Imagen de la central eléctrica de las Tres Gargantas a pleno funcionamiento.
Fuente: *El periódico de la energía*.

frontera entre Brasil y Paraguay. La central fue inaugurada en 1984 y es gestionada por la empresa Itaipú Binacional, empresa pública participada en un 50% por cada uno de los países. La presa mide 7919 metros de largo y tiene una altura de 196 metros, siendo su imponente tamaño lo que le permitió ser considerada una de las «siete maravillas del mundo moderno» en 1995 según la revista estadounidense *Popular Mechanics*.

La central de Itaipú tiene una capacidad de generación de 14000 MW gracias a sus 20 turbinas tipo Francis de 700 MW de potencia cada una. A pesar de tener una capacidad instalada bastante inferior a la presa de las Tres Gargantas su generación de electricidad es similar, de hecho, en 2016 la central de Itaipú batió el récord mundial de generación de una central eléctrica con 103,1 TWh generados. La razón por la que Itaipú genera la misma energía que las Tres Gargantas es porque trabaja a máxima capacidad todo el año gracias al caudal constante del río Paraná, mientras que la central de las Tres Gargantas no puede trabajar todo el año a la máxima capacidad debido a la mayor irregularidad del río Yangtsé. La central genera más del 70% de la electricidad consumida por Paraguay y el 17% de la de Brasil. Para Paraguay, propietaria del 50% de la central, esto supone ingresos por la electricidad consumida por su vecino, ya que la central genera al año doce veces más electricidad de la que consume todo Paraguay.

La tercera central más grande del mundo es la central hidroeléctrica de Xiluodu, situada en el centro-sur de China, también en el curso del río Yangtsé. La construcción de la central comenzó en 2005 y no estuvo totalmente operativa hasta 2014. La presa tiene una longitud de 700 metros y una altura de 278 metros, por lo que es bastante más estrecha y alta que las presas de las Tres Gargantas

- Esquema de un aerogenerador con sus componentes. A) Palas del aerogenerador. B) Multiplicador. C) Freno. D) Controlador electrónico. E) Góndola. F) Generador. G) Mecanismo de orientación. H) Torre. I) Conexión con la red eléctrica. J) Base del aerogenerador. Fuente: RobbyBer, Wikimedia Commons.



dentro de la góndola. La electricidad generada se transmite por un cable que baja por el interior de la torre y conecta con la red eléctrica.

Para que un aerogenerador funcione a máximo rendimiento es importante que esté orientado contra el viento, sin embargo, las corrientes de aire cambian de dirección frecuentemente. Por eso, las cabezas de los aerogeneradores se mueven buscando su posición óptima gracias al mecanismo de orientación, un sistema de rotación situado debajo de la góndola y que permite mover toda la estructura de generación a su posición más conveniente. Estos cambios los realiza un controlador electrónico basándose en las lecturas que dan la veleta y el anemómetro, situados en la parte superior trasera de la góndola y cuya función es medir la velocidad y la dirección del viento. El controlador electrónico también da las órdenes de encendido y apagado, ya que los aerogeneradores solo generan electricidad con vientos con velocidades superiores a los 10 km/h. Si la velocidad del viento supera los 90 km/h, los aerogeneradores suelen parar para prevenir daños en su mecanismo (aunque en algunos parques se para a velocidades superiores a 100 km/h). La máxima producción de electricidad de un aerogenerador se produce con vientos de entre 45 y 50 km/h.

Los aerogeneradores de eje horizontal normalmente no están aislados sino formando parte de parques eólicos (o granjas eólicas)



Fotografía del
parque eólico
de Sheringham
Shoal en el
Reino Unido.
Fotografía de
Harald Pettersen,
Wikimedia
Commons.

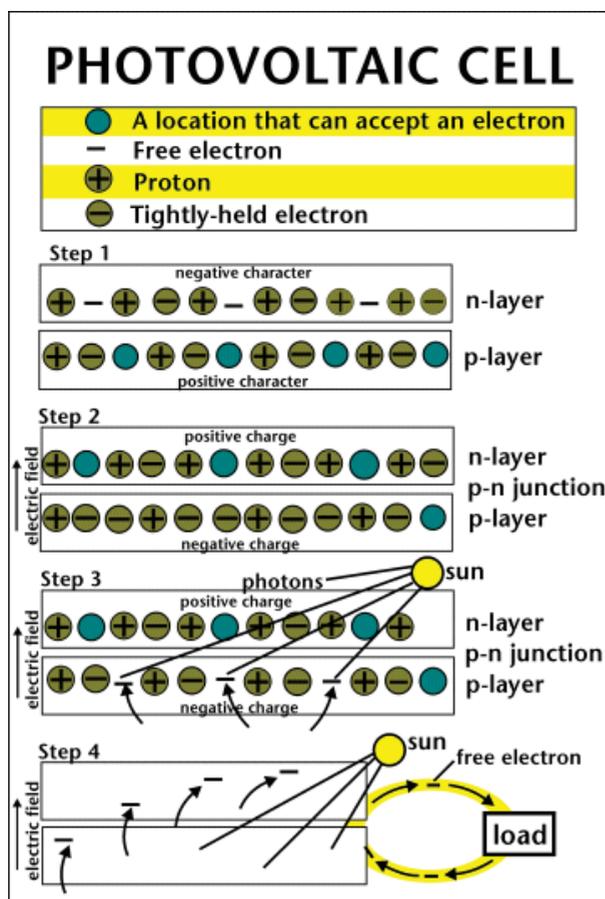
más metros de profundidad, más cara es la estructura y llega un momento en que no es viable. En aguas profundas, por tanto, se usan estructuras flotantes que se enganchan al fondo del mar mediante cables cuyo objetivo es mantener estable el aerogenerador.

La eólica marina tiene algunas ventajas sobre la terrestre. Las principales ventajas son estas:

- Genera más electricidad por aerogenerador que la eólica terrestre.
- La menor intermitencia del viento marino alarga la vida útil de partes esenciales de los aerogeneradores.
- La extensión del mar permite hacer parques eólicos más grandes, sin las limitaciones que tienen los parques en tierra.
- Los impactos a nivel visual y acústico son menores debido a su ubicación, es también menos peligrosos para las aves.

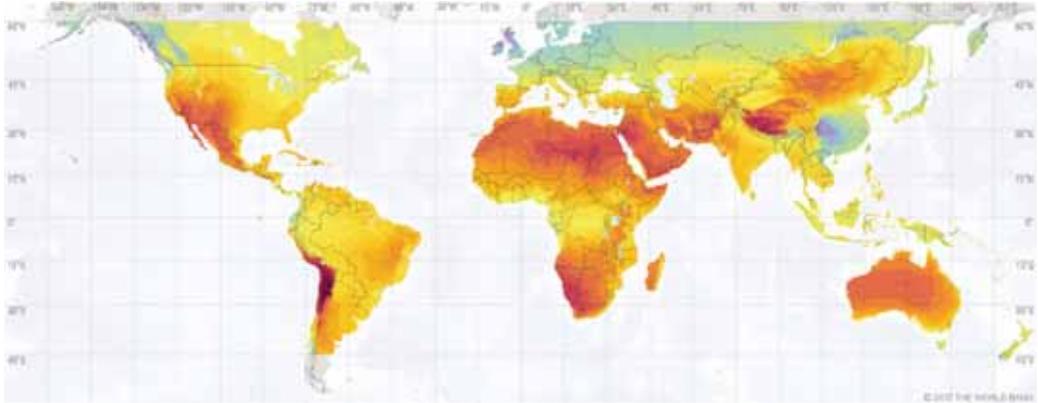
Sin embargo, la eólica marina tiene un problema fundamental: instalar un aerogenerador en el mar tiene más o menos el doble de coste que hacerlo en tierra. Los aerogeneradores que se usan en el mar son algo más caros al tener que protegerlos del ambiente marino, pero sobre todo los costes de instalación y los de operación y mantenimiento son bastante mayores que en la eólica terrestre. Esto hace que los costes por kWh generado de la eólica marina sean moderadamente superiores a los de la terrestre.

No obstante, los costes de la eólica marina han estado bajando desde el comienzo de su implantación. En 2014 el coste de la eólica marina en el Reino Unido era alrededor de las 150 libras/MWh. En 2015, en una subasta de eólica marina en este mismo país, el precio



Explicación del funcionamiento de una célula fotovoltaica en cuatro pasos. Paso 1) La capa N tiene electrones libres y la capa P huecos sin ocupar. Paso 2) Al producirse la unión los electrones de la capa N ocupan los huecos de la capa P, quedando la capa P cargada negativamente y la N positivamente, y generándose la unión PN. Paso 3) Al incidir la radiación solar, los electrones libres de la capa P se excitan y se dirigen a la capa N. Paso 4) Se genera un movimiento de electrones de la capa P a la N y al crear una conexión externa se crea un circuito eléctrico. Imagen publicada por la U.S. Energy Information Administration, NEED Project.

El silicio es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre después del oxígeno, representando alrededor del 28% de la misma. No se encuentra en forma pura sino que está formando compuestos con otros átomos, así que para la fabricación de células solares hay que separar el silicio del resto de elementos que lo acompañan. Para la fabricación de silicio puro se suele usar cuarzo (SiO₂), un mineral extraordinariamente común en la corteza terrestre, que se reduce con carbono a temperaturas de más de 1500 °C para generar el silicio metalúrgico, un silicio puro al 98% pero que todavía no tiene el grado de pureza suficiente para ser usado en células solares. Este silicio metalúrgico, por tanto, se purifica haciéndolo reaccionar con ácido clorhídrico a 300 °C para formar triclorosilano que seguidamente se hace reaccionar con hidrógeno a 1100 °C durante más de 200 horas para volver a generar silicio pero con un grado de pureza prácticamente del 100%, ya apto para su uso en células solares. Posteriormente, este silicio se funde y se vuelve a solidificar para crear silicio con una estructura cristalina adecuada, donde se generan unos lingotes de



Zonas del mundo en función de su radiación horizontal global que define el potencial fotovoltaico. El desierto de Atacama, México, y el suroeste de los EE.UU, el norte y el suroeste de África, Oriente Medio, Mongolia, el Tíbet y Australia son las zonas con mayor potencial fotovoltaico del mundo. Datos de recursos solares obtenidos del *Solar Global Atlas*, propiedad del Banco Mundial y proporcionados por Solargis.

Nuevo México, Texas, Nevada y Utah) y México (en menor medida la costa del golfo de México). La radiación global en esa zona del planeta supera los 2000 kWh/m^2 y precisamente por eso es California el estado de Estados Unidos donde hay más capacidad solar instalada, tanto fotovoltaica como termoeléctrica (la radiación directa llega a 3000 kWh/m^2), generando casi un 10% de toda su electricidad. La cámara legislativa californiana promulgó que para 2030 la mitad de la energía del estado debe provenir de fuentes renovables, cuando en 2017 fue alrededor del 25%, y una parte esencial provendrá de la nueva capacidad solar que se instalará en los próximos años.

También en México se prevé una instalación masiva de energía solar en los próximos años. A principios de año 2016, ENEL ya llegó a ofertar la electricidad de origen fotovoltaico a $35,44 \text{ \$/MWh}$, uno de los precios más bajos del mundo en ese momento. Se espera que en 2019 la energía solar pueda generar entre el 2,5 y el 3% de la energía mexicana (no llegó al 1% en 2016) y que para 2021 México tenga una capacidad instalada cercana a los 14000 MW, convirtiéndose en el séptimo país con mayor capacidad solar instalada en el mundo.

Prácticamente toda África tiene un interesante potencial solar, excepto la costa atlántica de la parte central del continente, sin embargo, destacan dos zonas especialmente: el desierto del Sáhara (sobre todo en la zona de Egipto, Libia y Sudán, aunque también



Imagen tomada por satélite del parque solar de Longyangxia en enero de 2017. El recuadro negro situado en la esquina inferior derecha representa el tamaño que ocupa la central nuclear de Trillo en España y que tiene una potencia instalada de 1067 MW frente a los 850 MW de Longyangxia, lo que muestra lo altamente demandante de terreno que es la energía solar fotovoltaica. Imagen cortesía de Ignacio Martil.

desarrollo se han construido los parques pero no las infraestructuras eléctricas necesarias, generándose enormes pérdidas de energía. Esta situación se solventará con el tiempo, pero en un entorno de progresiva reducción de los costes de la energía solar quizá no sea necesario hacer plantas tan grandes y se deba priorizar más su incorporación a los grandes núcleos de población aunque sea con eficiencias menores.

Eso sí, hay una cosa que solo se puede hacer con cierta cantidad de paneles solares: hacer formas graciosas. Es lo que está haciendo la compañía china Panda Green Energy que ya ha instalado un par de parques solares con forma de oso panda y tiene en proyecto instalar muchos más. No tiene ninguna utilidad especial para generar energía, pero queda bonito e identifica a China como el país referencia en instalación de energías renovables. Así se hace el marketing en el siglo XXI.

V

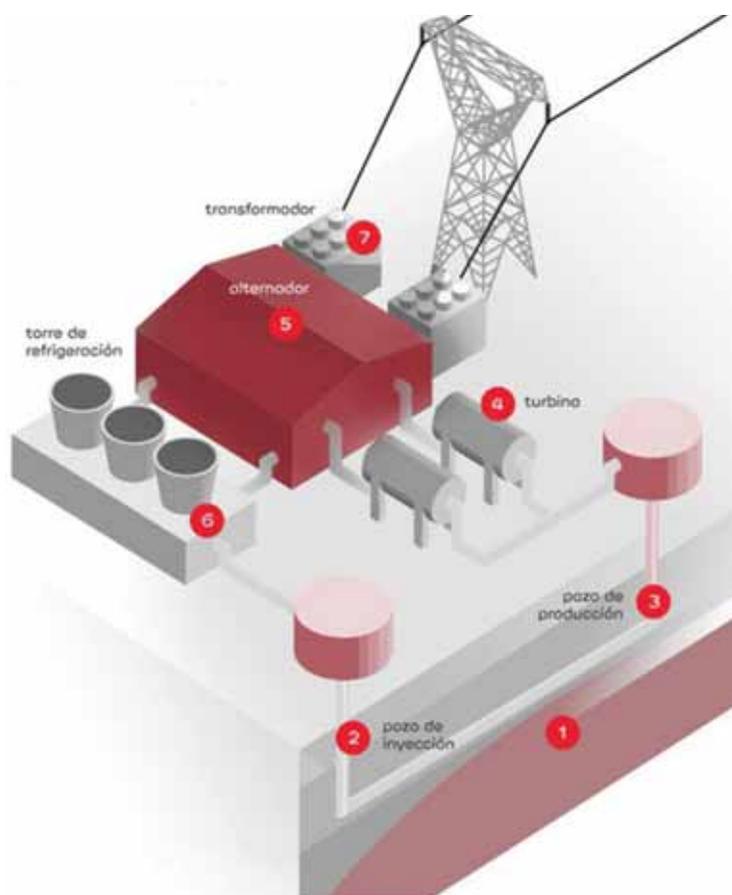
ENERGÍA GEOTÉRMICA, MARINA Y BIOMASA

48

¿QUÉ USOS TIENE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA?

La energía geotérmica es aquella que se obtiene gracias al aprovechamiento del calor interno de la Tierra. Este calor tiene varios orígenes, pero fundamentalmente se debe a dos procesos: por una parte, es causado por el calor residual que se mantiene del origen de la Tierra, cuando el planeta era un cuerpo incandescente antes de enfriarse la corteza terrestre. Por otro lado, en el interior de la tierra existen reacciones naturales de fisión nuclear que son causadas por isótopos pesados como el uranio-235, el torio-234 y el potasio-40, reacciones que generan calor de forma continua y que son parte de ese calor interno de la tierra. Cuál de los dos fenómenos influye más en el calor interno del planeta es algo que todavía se debate.

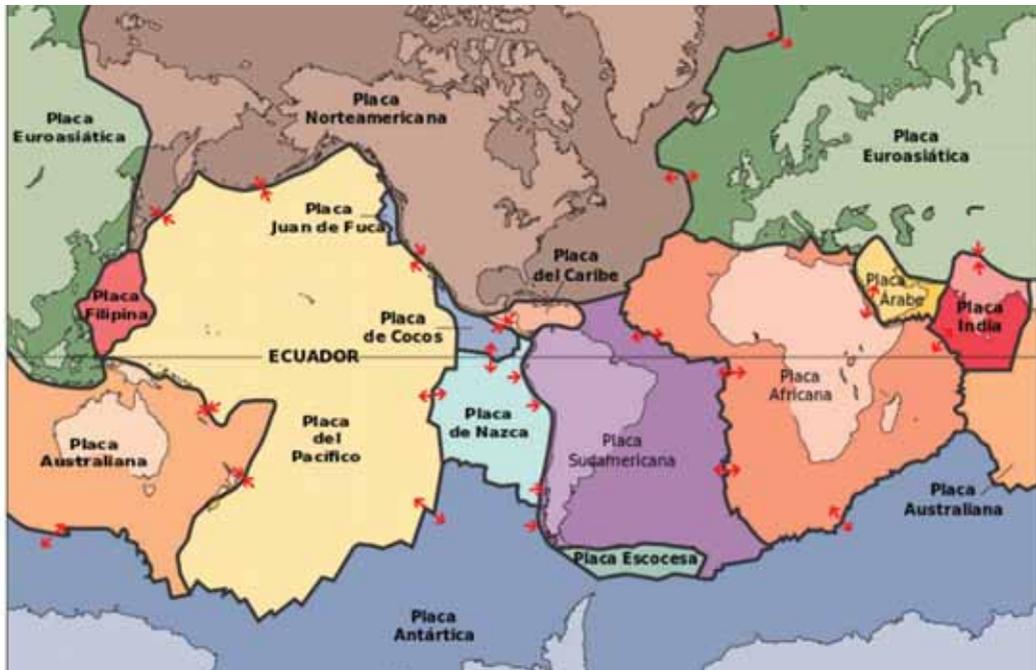
La estructura interna de la tierra está estructurada en tres capas concéntricas: la corteza, que es la capa exterior y que tiene una profundidad de entre 5 kilómetros (en la parte más profunda del océano) y 70 kilómetros (en las zonas montañosas de la superficie), el manto, que se extiende unos 2900 kilómetros, y el núcleo, que tiene un radio de unos 3300 kilómetros. La temperatura en



Esquema de una central geotérmica. 1) Se perfora la corteza terrestre hasta alcanzar una temperatura suficiente y se introducen los tubos que forman un circuito cerrado. 2) Se inyecta agua desde la superficie. 3) El agua se calienta y asciende en forma de vapor. 4) El vapor mueve la turbina. 5) El movimiento de la turbina genera electricidad en el alternador. 6) El vapor se enfría en la torre de refrigeración y pasa a estado líquido, volviéndose a inyectar en el subsuelo. 7) La electricidad generada se aumenta de tensión y se inyecta en la red eléctrica. Imagen cedida por EDP.

La energía geotérmica se considera una energía renovable al ser virtualmente inagotable, aunque las fuentes geotérmicas pueden agotarse temporalmente si se extrae el calor de las mismas a mayor velocidad de la que se pueden calentar de forma natural, pudiendo tardar siglos en reponerse a su estado original. Esta situación convierte a la energía geotérmica en una energía renovable un poco especial y a la hora de explotar sus recursos es necesario evitar una sobreexplotación que podría dejar un yacimiento geotérmico inhábil durante generaciones.

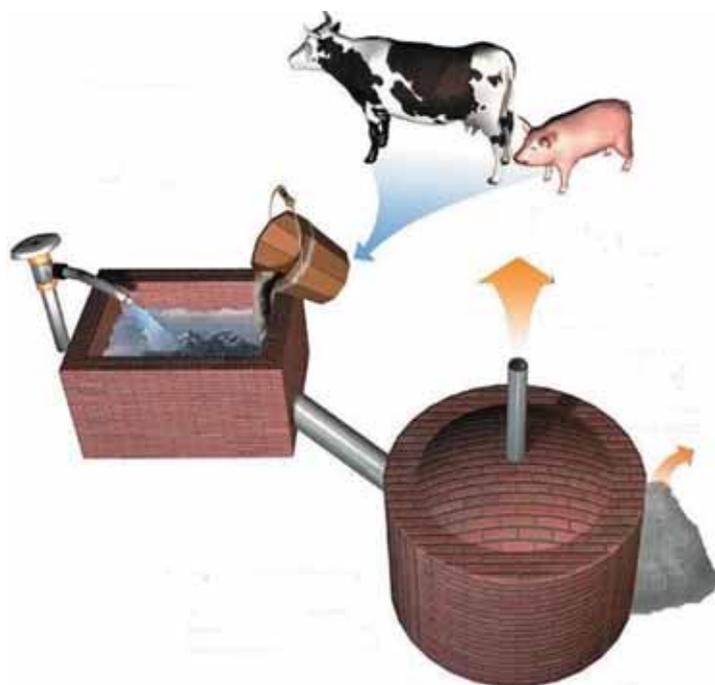
A pesar de que sus impactos ambientales son menores que los de las plantas de combustibles fósiles, estos también existen. Los



Mapa del mundo donde se muestran las distintas placas tectónicas. Es en los bordes de las placas tectónicas donde existe el mayor gradiente geotérmico y, por tanto, el mayor potencial para esta energía.

No obstante, y a pesar de no tener una capacidad instalada tan grande, el país geotérmico por excelencia es Islandia. La isla está situada encima de una de las zonas tectónicamente más activas del mundo al localizarse al borde de dos placas en separación, lo que hace que el recurso geotérmico sea muy abundante. Es uno de los pocos países del mundo que genera prácticamente toda su electricidad gracias a la energía renovable, produciendo la energía hidroeléctrica el 70-75% de la misma y la energía geotérmica el otro 25-30% gracias a las seis centrales existentes. Pero además de eso, casi todas las casas del país están calefactadas gracias a la calefacción geotérmica y hasta Reykjavik tienen las aceras calefactadas por esta energía, llevando a que casi el 85% de la energía primaria que consume el país sea renovable (el resto consiste básicamente en derivados del petróleo que se usan para el transporte).

La energía geotérmica es muy barata en Islandia, al igual que la hidroeléctrica, lo que ha facilitado que allí se instalen tres potentísimas empresas de fundición de aluminio, una de las industrias más intensivas en uso de energía que existen (se necesitan



Esquema simple de la transformación de los excremento del ganado en biogás. Después de ser mezclados con agua estos se introducen en un recipiente cerrado en ausencia de oxígeno que funciona como digestor, generándose biogás y un residuo que se usa como fertilizante.

No todos los vertederos pueden generar biogás, muchos de ellos no generan lo bastante para que la valorización energética sea viable, así que en estos casos la opción razonable es simplemente quemarlo. El metano es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento muy superior al CO_2 , así que debe ser eliminado mediante combustión para evitar que llegue a la atmósfera. Su impacto no es menor: en 2007 se calculaba que los vertederos emitían el 2% de los gases de efecto invernadero que se emitían en la Unión Europea.

La producción de biogás en el mundo fue de 59 millones de metros cúbicos en 2013, lo que aproximadamente sería unos 355 TWh de energía primaria. Esto es alrededor del 0,2% de la energía primaria mundial que representa también un porcentaje pequeño respecto a la energía que genera la biomasa en todas sus formas y menos del 1% de la energía que provee el gas natural. En cualquier caso, su crecimiento ha sido muy importante en los últimos años, sobre todo en Europa. Del año 2000 a 2013, la cantidad de biogás generado en el mundo se multiplicó prácticamente por cinco.

Las perspectivas de crecimiento del biogás a nivel mundial son buenas, al representar tanto una oportunidad como una necesidad medioambiental. Además, la extensión del gas natural como combustible de transición en transporte, generación eléctrica y generación de calor supondrá oportunidades adicionales para esta energía.

VI

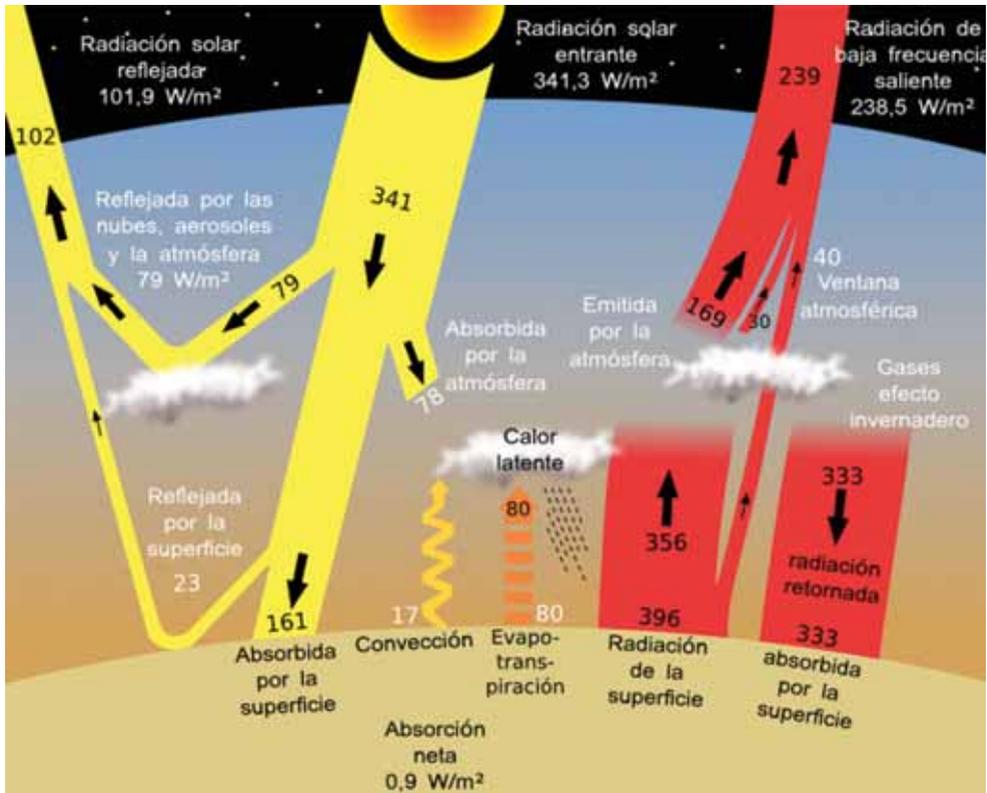
EL CAMBIO CLIMÁTICO

57

¿POR QUÉ SE ESTÁ CALENTANDO LA TIERRA?

Cuando se habla del cambio climático, nos referimos al proceso de calentamiento que se observa en el planeta Tierra en las últimas décadas y que está producido por los seres humanos, es decir, por causas antropogénicas. Los principales responsables de este cambio en el clima de la Tierra son los llamados gases de efecto invernadero emitidos por los seres humanos en su actividad industrial, fundamentalmente el dióxido de carbono (CO_2), pero también otros como el metano, el ozono, los gases fluorados y el óxido nitroso, gases que absorben la radiación que emite la Tierra y la sobrecalientan.

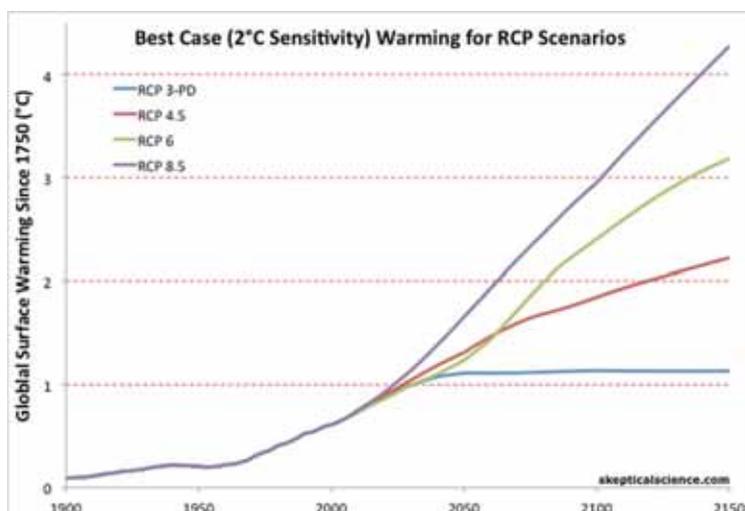
Si la Tierra no tuviese atmósfera tendría una temperatura media de $-18\text{ }^\circ\text{C}$, sin embargo, gracias a la atmósfera tiene una temperatura media real de alrededor de $14\text{ }^\circ\text{C}$. La Tierra recibe radiación solar en forma de radiación de tres tipos: ultravioleta, visible e infrarroja cercana. Parte de ella es absorbida o reflejada por la atmósfera pero otra parte incide sobre la superficie de la Tierra y la calienta. La Tierra, como todos los cuerpos que tienen una temperatura por encima del cero absoluto, emite radiación a cierta frecuencia, pero, como es un cuerpo mucho más frío que el Sol, emite en



Balance anual de energía radiativa que recibe y emite la Tierra. Los datos son del período de 2000 a 2004, pero sirven para entender el proceso. De forma neta la Tierra recibe 494 W/m² (161 W/m² del Sol y 333 W/m² de radiación retornada por los gases de efecto invernadero) y emite 493 W/m², por lo que se produce un calentamiento neto. Los datos fueron publicados por investigadores del National Center of Atmospheric Research de los Estados Unidos

una frecuencia menos energética que la de la luz visible, que es la frecuencia infrarroja. Esta emisión infrarroja es absorbida mayoritariamente por la propia atmósfera, esencialmente por los gases de efecto invernadero presentes en ella, siendo los dos más importantes el vapor de agua y el CO₂. Una vez que estos gases absorben la radiación infrarroja emitida por la Tierra, también emiten radiación en todas las direcciones y parte de esta emisión se hace hacia la superficie, razón por la que la presencia de estos gases calienta la superficie de la Tierra. Este aumento en la emisión hacia la superficie de la Tierra se conoce como «forzamiento radiativo». Por su similitud con un invernadero que no deja salir el calor del recinto que protege se ha llamado a este fenómeno «efecto invernadero».

De los gases de efecto invernadero el más importante es el vapor de agua que está presente en la atmósfera en un porcentaje



Escenarios de forzamiento radiativo para el año 2100 y aumento de la temperatura en cada uno de ellos. El escenario RCP-3PD es el mismo que el RCP 2.6 (quiere decir que alcanzaría durante el siglo los 3 W/m^2 de forzamiento radiativo, aunque en 2100 serían esos $2,6 \text{ W/m}^2$).

Imagen de Dana Nuccitelli publicada en *Skeptical Science*.

en el año 3000 seguiría siendo del orden de entre $4,5$ y $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ más alta que la actual, lo que nos indica que la temperatura prácticamente no descendería durante muchos siglos. Además de esto, el nivel del mar aumentaría de forma progresiva hasta el año 3000, pudiendo subir $3,4$ metros respecto a la actualidad.

Este escenario resulta muy interesante porque es bastante equiparable a la situación de seguir consumiendo combustibles fósiles hasta que se acaben. Con estos aumentos de temperaturas y del nivel del mar, el mundo que quedaría se parecería muy poco al actual y permanecería así posiblemente durante milenios.

60

¿QUÉ CONSECUENCIAS PARA EL SER HUMANO TENDRÍA EL CAMBIO CLIMÁTICO?

Cuando se piensa en las consecuencias del cambio climático muchas veces se hace desde una perspectiva un tanto ajena, como si fuese un problema menor que no debería afectar especialmente a nuestras vidas. Quizá el abuso de la imagen del oso polar que

Studies into scientific agreement on human-caused global warming



Resultados de siete estudios sobre el consenso científico respecto al origen antropogénico del cambio climático que se han realizado desde el año 2004. En todos ellos, más del 90% de los estudios o científicos del clima están de acuerdo en que la acción humana es la causa principal del cambio climático. Imagen: John Cook, *Skeptical Science*.

y en todos ellos se ha concluido que el consenso sobre el origen antropogénico del cambio climático supera ampliamente el 90%.

Además de estudios sobre publicaciones también se han hecho encuestas. Las encuestas son un método más inseguro porque los resultados están condicionados tanto por las preguntas como por la población a la que se pregunta, pero aun así nos dan algunos datos. Por ejemplo, en una encuesta del año 2012 que se hizo a 1868 científicos que estudiaban distintos aspectos del cambio climático, resultó que el 90% de los científicos que tenían más de diez publicaciones revisadas por pares sobre este tema estaban de acuerdo en que el calentamiento global estaba causado mayoritariamente por causas antropogénicas.

Este consenso sobre el origen antropogénico del cambio climático abarca a la práctica totalidad de las instituciones científicas relevantes. Desde hace casi dos décadas decenas de academias de ciencias de distintos países publican declaraciones conjuntas avalando las conclusiones de los paneles del IPCC. También lo han hecho academias de ingeniería, organismos nacionales de estudios climáticos y hasta la NASA. Finalmente, todos los países del mundo han acabado firmando el tratado de París (con la excepción parcial de EE.UU., que lo firmó pero la nueva administración ha decidido sacarlo del acuerdo), lo que representa una aceptación política de la evidencia del cambio climático.

Dudar del cambio climático y de que el ser humano sea su principal causante no es una actitud razonable dada la abrumadora



Precios de los derechos de emisión de CO₂ en el sistema europeo de comercio de derechos de emisión entre 2006 y 2016. Como se puede observar el precio ha sido bastante oscilante y, desde mediados de 2011, el precio se desplomó a valores de alrededor 5 €/tonelada. A principios de 2018 el precio del CO₂ estaba sobre 9 €/tonelada. Imagen cortesía de Phil McDonald y Sandbag.

de deslocalización y para algunas excepciones nacionales) y se pasó a un esquema de subasta por el que los emisores debían comprar los derechos. Otras de las novedades es que cada año los derechos de emisión se reducían un 1,74% respecto al año anterior, a diferencia de los períodos anteriores donde el tope era fijo.

Con el nuevo sistema las centrales térmicas pasaron a no tener derechos de emisión gratuitos, por lo que la generación eléctrica que emitía CO₂ pasó a internalizar este coste. La idea era que las centrales que emitiesen más CO₂ fuesen menos competitivas respecto al resto, algo que se conseguiría si el precio del derecho de emisión fuese alto, lo que a su vez forzaría medidas de reducción de emisiones o su cierre. Sin embargo, los precios de los derechos de emisión en Europa están muy por debajo de lo que se esperaba cuando se creó el sistema debido a la acumulación de un gran excedente de los mismos. El máximo histórico estuvo en alrededor de 30 € la tonelada de CO₂, mientras que en todo el período de 2013 a 2017 el precio no ha superado los 8,5 € por tonelada. Ya hay voces en Europa, como las del presidente francés Emmanuel Macron, que hablan de imponer un precio mínimo por tonelada

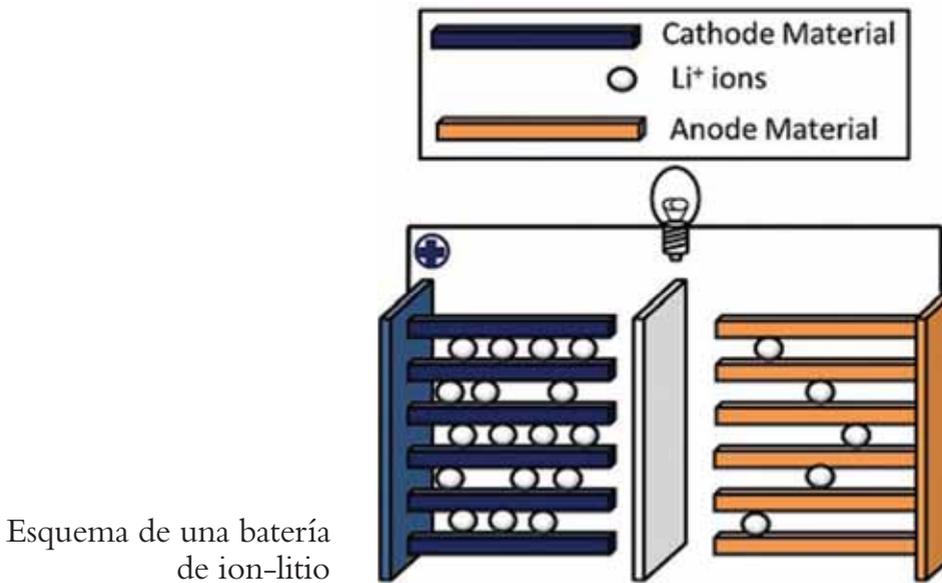
VII

HACIA UN MIX ELÉCTRICO 100% RENOVABLE

67

¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES DIFICULTADES PARA QUE TODA LA ELECTRICIDAD SEA RENOVABLE?

Sustituir centrales térmicas o nucleares por fuentes renovables no es algo problemático, de hecho, casi todos los países lo están haciendo sin que eso afecte a la seguridad del suministro, es decir, sin que el sistema eléctrico tenga problemas para ofrecer electricidad en los momentos en que la demanda lo requiere. Al introducir energías renovables intermitentes como la eólica y la solar en el mix eléctrico, estas energías tienen preferencia de entrada, pues sería absurdo desperdiciar energía gratuita; y cuando están generando, las centrales térmicas e hidroeléctricas paran o trabajan a menor capacidad para ajustar la generación a la demanda (las nucleares no lo hacen, parar y reiniciar una central nuclear no es un proceso rápido). Si se sustituyen centrales nucleares por capacidad renovable pasa lo mismo, en los momentos de generación renovable esta electricidad sustituye a la nuclear y cuando no la hay, la producción de electricidad deben realizarla las centrales térmicas o a las hidroeléctricas, aumentando su generación. Solo podría haber problemas en el caso de no existir una capacidad de respaldo suficiente, pero no es



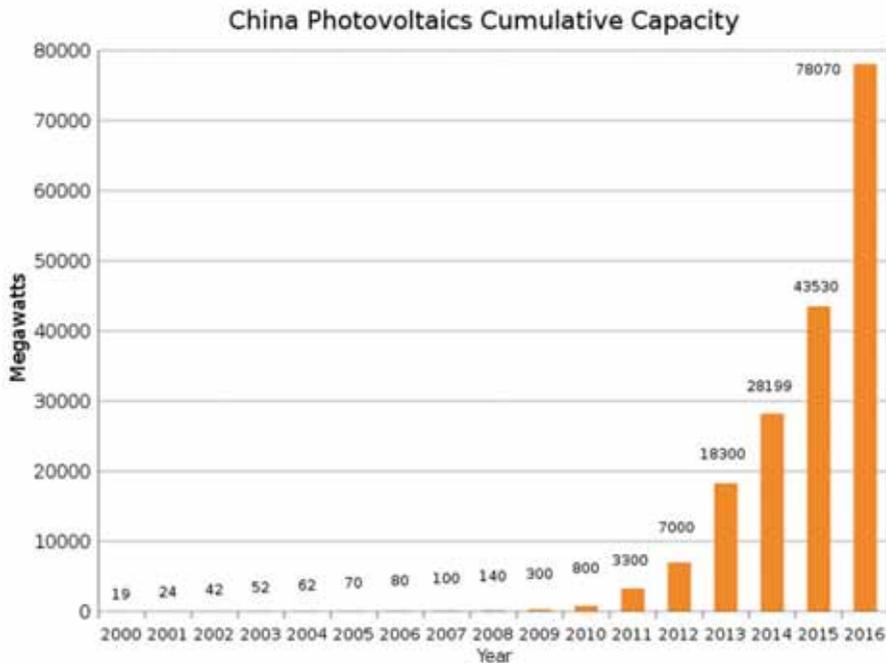
- de peso que una batería de plomo-ácido. La razón básica de esto es que el litio es el elemento sólido más ligero que existe.
- Mayor voltaje. Las baterías de ion-litio tienen mayor voltaje que el resto, casi el doble que las de plomo-ácido y casi el triple que las de níquel-cadmio o níquel-hidruro metálico.
- No tienen efecto memoria. El efecto memoria consiste en la pérdida de capacidad de las baterías a causa de la creación de unos cristales dentro de las celdas de la misma que se producen cuando se realizan cargas incompletas de las baterías. Las baterías de ion-litio, igual que las de plomo-ácido, no se ven afectadas por este problema.
- Muy baja tasa de autodescarga. Las baterías suelen perder carga con el paso del tiempo si no se usan, algo que prácticamente no sucede con las baterías de ion-litio.
- Bajo peso. Estas baterías son las más ligeras que existen gracias al bajo peso del litio y su alta capacidad de almacenar energía. Esta característica las hace especialmente adecuadas para los vehículos eléctricos.
- Larga vida útil. La vida útil de las baterías de ion-litio depende del cátodo que tengan, pero por regla general tienen muchos más ciclos de carga que las baterías de níquel y las de plomo-ácido, aunque menos que baterías más modernas como las de flujo.

Sin embargo, también tienen problemas. Uno de los problemas que se le suele achacar a las baterías de ion-litio es que tienden a

Mapa de Argentina que muestra el potencial eólico del país en base a la velocidad media del viento a 80 metros de altura. Como se puede observar, la mitad sur del país tiene un alto potencial eólico que, sin embargo, está por ahora desaprovechado. (Imagen cortesía de la Cámara Argentina de Energías Renovables).



El potencial eólico de la región también es importante. Brasil es el país que más desarrollada tiene esta energía, que cubre el 6% de su generación de electricidad, aunque Uruguay y Costa Rica tienen porcentajes eólicos mayores en su mix eléctrico, de más del 20% y el 10% respectivamente. Probablemente es Argentina el país que tiene mayor potencial para la energía eólica, pues la mitad sur está entre las mejores regiones del mundo en cuanto a calidad del recurso eólico, al igual que la costa sur de la provincia de Buenos Aires. Argentina, además, tiene varias empresas que fabrican aerogeneradores, con lo que tiene todos los ingredientes para ser en el futuro el país con mayor desarrollo eólico de América Latina. Sin embargo, su desarrollo ha sido muy escaso hasta finales de 2016, cuando solo tenía instalados 279 MW de capacidad, aunque en 2017 ha habido varias rondas de subastas de energía renovable en los que se han comprometido más de 1000 MW eólicos de futura construcción. Chile también tiene un potencial eólico importante en todo el sur del país, pero además tiene un gran potencial para desarrollar la energía marina cuando esta tecnología comience a ser competitiva.

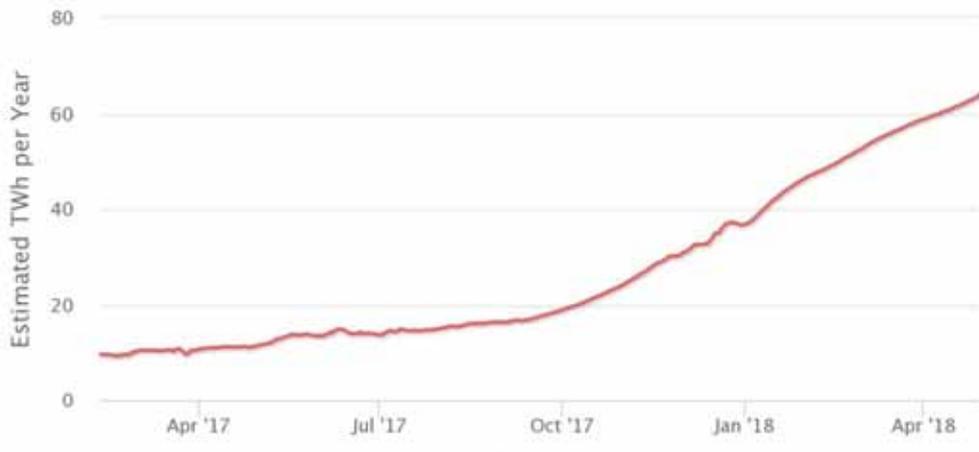


Evolución de la capacidad fotovoltaica instalada en China hasta el año 2016. En 2017 la nueva capacidad instalada fue de 53 000 MW, lo que dejaría la capacidad fotovoltaica instalada a 31 de diciembre de 2017 en más de 131 000 MW. Si China instalase en los tres próximos años la misma capacidad que en 2017 conseguiría sobradamente el objetivo duplicado que se marcó en 2017.

mundo en cuanto a energías renovables, 160 000 MW de capacidad instalada para 2022 entre eólica y solar, tan solo superada en capacidad por los nuevos objetivos chinos. El Banco Mundial está financiando muchos proyectos en la India tanto para la instalación de paneles solares en todos los edificios como para crear plantas fotovoltaicas con almacenamiento.

Al igual que China, la India está paralizando proyectos de centrales de carbón, reduciéndose mucho las previsiones de instalación de este tipo de centrales en el país. De los 300 000 MW de nueva capacidad de carbón que estaba prevista para 2030, se estima que la mayoría podría no llevarse a cabo debido a los planes de instalación de energías renovables. Además, se está trabajando activamente en eficiencia energética, como se puede observar en los programas de reparto masivo de luminarias eficientes en los hogares indios. Sin embargo, el proyecto más impactante de todos es la pretensión de que a partir de 2030 solo se puedan vender vehículos eléctricos en el país, objetivo que parece muy difícil de cumplir en tan pocos

Bitcoin Energy Consumption Index Chart



Estimación de la energía eléctrica que consumen las actividades relacionadas con el bitcoin anualmente. A principios de 2017 la energía eléctrica consumida por este sistema se estimaba cercana a 10 TWh, mientras que en mayo de 2018 se situaba en más de 60 TWh anuales.

Imagen cortesía de Digiconomist.

matemáticas que permiten verificar las transacciones con esta criptomoneda. Los «mineros» ponen sus ordenadores (y su consumo energético) al servicio del sistema a cambio de recibir un bitcoin si su ordenador es quien consigue resolver el problema matemático, por lo que podemos decir que los ordenadores compiten entre sí. Con el aumento del precio del bitcoin la actividad de la minería se ha hecho popular, pero a su vez el propio sistema del bitcoin ha ido reduciendo la recompensa por las operaciones resueltas, lo que ha llevado a que la minería del bitcoin se haya concentrado en países con un precio de la electricidad muy bajo. Se estima que en China se concentra el 70% de la minería del bitcoin gracias a sus bajos precios de electricidad, algo que preocupa al gobierno chino y le ha llevado a impulsar medidas para detener esta práctica en su territorio.

Según las estimaciones, el sistema que envuelve al bitcoin consumió más de 20 TWh de electricidad en el año 2017, con el agravante de que el crecimiento de este consumo eléctrico es exponencial. Si a principios de 2017 se calculaba que el consumo eléctrico anual del bitcoin, con ese ritmo de minería, estaría en poco más de 9 TWh, a principios de 2018 el consumo anual se estimaba en más de 40 TWh, bastante superior al de países como Ecuador, Irlanda o Dinamarca. De continuar este incremento, la

VIII

LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

77

¿CÓMO FUNCIONA UN MOTOR DE COMBUSTIÓN?

A pesar de que se suele pensar que el automóvil es un invento de finales del siglo XIX, realmente el primer automóvil de la historia fue fabricado por el inventor francés Nicolas-Joseph Cugnot en 1769. Era una especie de coche de tres ruedas cuya rueda delantera se movía gracias a estar conectada a un motor de dos cilindros verticales y cuya fuente de energía era una caldera de vapor situada también en la parte delantera del coche. El funcionamiento era esencialmente igual al de una máquina de vapor que mueve una rueda de tejer pero en este caso moviendo la rueda tractora de un vehículo.

Además del coche de Cugnot, hubo varios tipos de automóviles que se desarrollaron durante finales del XVIII y casi todo el siglo XIX con motores que funcionaban a vapor, hasta que en 1885 el ingeniero alemán Karl Benz fabricó el primer vehículo con motor de combustión interna de la historia, que tenía tres ruedas y funcionaba con gasolina. Paralelamente a Benz, otro ingeniero alemán, Gottlieb Daimler, construyó un poco después otro automóvil también con motor de combustión interna pero con cuatro ruedas. En 1893 el también alemán Rudolf Diesel inventó

IX

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

85

¿POR QUÉ ES TAN IMPORTANTE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?

El término eficiencia energética hace referencia a la optimización de procesos que requieren consumo de energía con el objetivo de poder realizar los mismos con el menor gasto energético. En el fondo representa la relación entre resultados obtenidos y recursos consumidos, aplicados concretamente a los recursos energéticos. La eficiencia energética no es lo mismo que el ahorro de energía, ya que el ahorro puede ser producto de dejar de realizar determinados procesos que son innecesarios o prescindibles, mientras que en el caso de la eficiencia no se dejan de realizar esos procesos sino que se realizan con menor consumo energético, aunque de forma práctica se suelen mezclar ambos conceptos.

La eficiencia energética está muy relacionada con el desarrollo tecnológico que es el catalizador básico que la empuja, pero también con la mejora de procesos productivos o de uso de la energía. Absolutamente todos los procesos que se realizan son ineficientes, ya que ninguno convierte el 100% de la energía en trabajo útil. Siempre se pierde energía en forma de calor debido a las

Ejemplo de bombilla LED y sus distintos componentes. En la parte superior derecha se muestra el semiconductor recubierto de fósforo que se encuentra en el interior del bulbo de la bombilla. Justo debajo, tenemos el circuito electrónico que rectifica y reduce la tensión de la red. Imagen cedida por Ignacio Martil.



ha pasado con las placas solares, las baterías y otras tecnologías que eran muy caras en su origen: conforme pasaron los años el precio de las luminarias LED fue descendiendo de forma importante y, paralelamente, la mejora de las luminarias hizo que la cantidad de luz que emitían por vatio de potencia aumentase mucho. Si en el año 2000 el coste para iluminar con 1000 lúmenes (el lumen es la unidad con la que se mide la cantidad de luz emitida) mediante tecnología LED era de alrededor de 350 \$, en 2015 ese coste no llegaba a los 10 \$.

La tecnología LED no ha dejado de abaratarse desde que se comercializó. Entre 2010 y 2016 los precios de las luminarias LED han caído de media alrededor de un 70% y la tendencia todavía no ha parado gracias a las economías de escala y a la enorme cantidad de fabricantes que existen actualmente, aunque su ritmo de caída forzosamente se suavizará. Actualmente no tiene sentido instalar una luminaria que no sea LED a no ser que su uso vaya a ser esporádico o que el precio de la energía sea extraordinariamente barato. Lo habitual es que sea rentable cambiar las luminarias antiguas por LED aunque las primeras funcionen, ya que el coste de la luminaria se amortiza rápidamente por el menor consumo eléctrico de las luminarias LED.

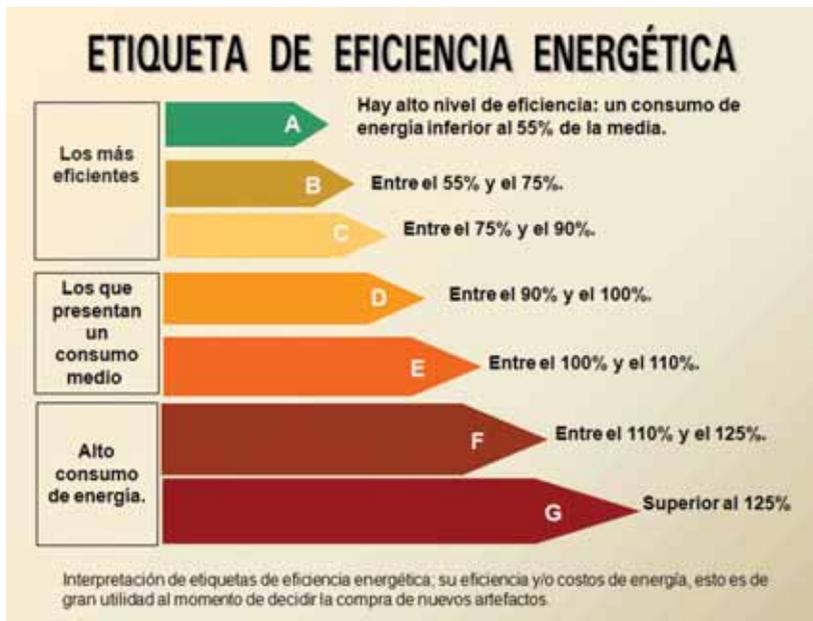
Un LED consume alrededor del 10% de energía que una lámpara incandescente, el 15% de un halógeno y más o menos la mitad que una bombilla de bajo consumo. Además, al no emitir casi calor tienen una vida útil mucho mayor, ya que una luminaria LED puede funcionar por más de 50000 horas, mucho más que una bombilla incandescente (1000 horas), un halógeno



Imagen de una calle de Buenos Aires, antes del cambio a LED (izquierda) y después (derecha). El cambio a LED ha mejorado la iluminación y cambiado la estética por los tonos más blancos del mismo, además de reducir el consumo eléctrico. Fuente: Web de la ciudad autónoma de Buenos Aires

a causa de la tecnología LED sino por el color de la luz instalada, pues puede perfectamente instalarse LED de tonalidades amarillas o cálidas en la iluminación urbana como recomiendan algunos expertos.

Las tendencias más recientes en iluminación urbana se engloban en la idea de *smart lighting* o iluminación inteligente, un concepto relacionado con el de *smart city*. Esta iluminación inteligente consiste en aplicar las tecnologías de la información y la telegestión a la iluminación urbana. La idea es hacer que las propias luminarias se enciendan, se regulen y se apaguen en función de la luz natural que haya en ese punto concreto (no de forma centralizada y programada como se hace normalmente), instalar sensores de movimiento para modular la luz en determinadas situaciones, que las zonas no concurridas reduzcan su luminosidad y las más concurridas la aumenten, recolectar datos de cada luminaria para tomar decisiones eficientes sobre su uso, etc. Ciudades como Buenos Aires y Los Ángeles ya están aplicando algunas de las ideas de la iluminación inteligente, como la regulación de la intensidad de la iluminación en función de las necesidades de la ciudad, y pronto esta tecnología se instalará en la mayoría ciudades del mundo, mejorando la eficiencia energética y el confort de los vecinos.



Etiqueta de eficiencia energética con los porcentajes de variación respecto al consumo tipo. En la actualidad, las clasificaciones E, F y G están desapareciendo en muchos electrodomésticos en favor de A+, A++ y A+++, pero siempre tendremos siete calificaciones. Imagen: Guillermo Escobar, wiki EOI

consumiría el 30% de un electrodoméstico D-E, mientras un G consumiría el 125% respecto a ese consumo medio. No obstante, en las etiquetas energéticas suele venir el consumo en kWh/año que probablemente sea mejor información que la simple clasificación a la hora de comprar electrodomésticos.

Además de la eficiencia de cada aparato, unas buenas prácticas en el uso de los mismos son fundamentales para conseguir esos ahorros. Cosas tan intuitivas como no dejar un frigorífico abierto más tiempo del necesario, usar el lavavajillas o la lavadora a plena carga o no abrir al horno durante su uso para no perder calor pueden generar ahorros muy importantes independientemente de la eficiencia del electrodoméstico.

Una mayor eficiencia en el uso de agua caliente sanitaria se puede conseguir utilizando sistemas con acumulación de agua caliente, que son normalmente más eficientes que los sistemas de generación inmediata. El sistema más eficiente es la bomba de calor de agua caliente sanitaria, por las mismas razones que en el caso de la climatización. También se puede instalar un acumulador de calor solar para poder calentar parte del agua caliente sanitaria, lo que evitará gran parte del consumo energético. En cualquiera de los casos, una

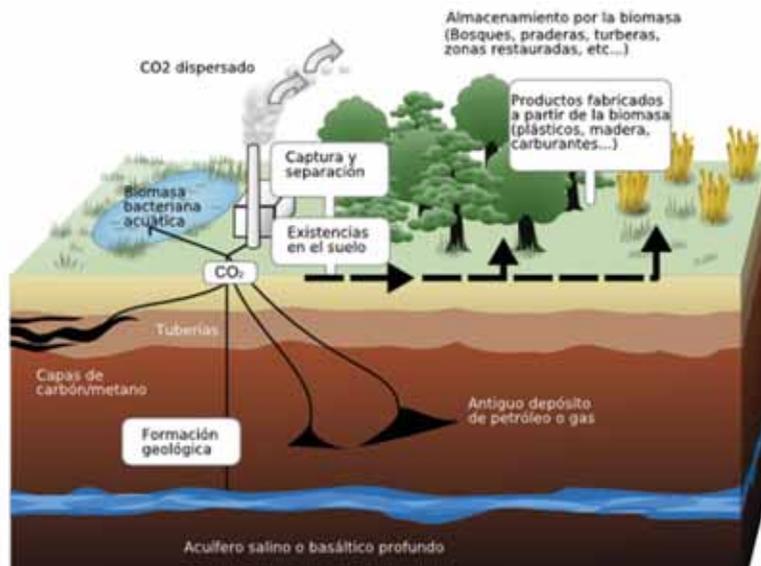
MÁS ALLÁ DEL FUTURO

93

¿POR QUÉ HAY TANTAS ESPERANZAS EN LA FUSIÓN NUCLEAR?

La fusión nuclear es el proceso inverso a la fisión nuclear, ya que en vez de dividir un átomo en otros dos átomos de menor masa atómica lo que se hace es fusionar dos átomos para generar uno de masa atómica mayor. También de forma inversa a la fisión, la fusión de dos elementos ligeros generará energía (al formar un elemento más estable), mientras que la fusión de dos elementos pesados requeriría adición de energía, estando esa frontera de separación en la generación de un átomo de mayor peso atómico que el hierro. En la fisión nuclear sucede lo contrario, la fisión de átomos pesados genera energía (por eso se usa uranio o plutonio), mientras que la fisión de átomos ligeros no sería energéticamente viable, ya que requeriría energía.

La fusión nuclear es el proceso por el que el sol genera su energía. En el sol, a causa de su alta temperatura de 15 millones de grados y a la intensa gravedad, los electrones se separan de los núcleos de los átomos generando un estado de la materia que se llama plasma y gracias a eso los núcleos de hidrógeno chocan entre sí y se fusionan. La reacción nuclear comienza con la fusión de dos



Esquema que muestra las distintas alternativas de captura y fijación del CO₂.

Además de la captura y fijación natural del CO₂ por parte de las plantas, están las alternativas tecnológicas como su almacenamiento en formaciones geológicas o antiguos yacimientos, o su disolución en acuíferos subterráneos o aguas superficiales. Imagen: LeJean Hardin y Jaime Payne, cortesía del Oak Ridge National Laboratory, Department of Energy. Modificado por Ortisa.

que generan los seres humanos, así que por ahora no resulta una solución ni remotamente factible.

Otros sistemas de absorción del CO₂ atmosférico se han basado en las microalgas, que tienen una velocidad de absorción del CO₂ mucho mayor a las de una planta debido a su rápido crecimiento. Uno de los sistemas que se está estudiando es el cultivo de microalgas alimentadas con los gases de salida de las centrales térmicas con el objetivo de absorber parte de este CO₂ y poder generar biocombustibles con ellas. Uno de estos proyectos fue el programa CO₂AlgaeFix (fijación de CO₂ por algas) que instaló una planta experimental junto a la central de ciclo combinado de Arcos de la Frontera en Cádiz, España, lugar ideal para el crecimiento de estas microalgas por su alta radiación solar y altas temperaturas. Proyectos similares se están desarrollando en Australia, India y otros países.

Otro ejemplo son unas lámparas creadas con algas bioluminiscentes que absorben el CO₂ del aire y, a la vez, producen luz. Su potencial de eliminación de CO₂ de la atmósfera, no obstante, es relativamente residual, ya que una de estas lámparas puede absorber más o menos el mismo CO₂ que un árbol. Hay incluso proyectos para generar comida en microbioreactores gracias a

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aerogenerador: Es un generador eléctrico que convierte la energía mecánica del viento en electricidad gracias al movimiento de una hélice.

Ánodo: Es el electrodo que sufre la reacción de oxidación en una célula electrolítica.

Cátodo: Es el electrodo que sufre la reacción de reducción en una célula electrolítica.

CO₂ equivalente: Medida por la cual se unifica el efecto en el calentamiento global que causan los distintos gases de efecto invernadero. Cada uno de estos gases tiene una equivalencia en CO₂ equivalente que representa la cantidad de CO₂ que causaría ese mismo calentamiento.

Digestor: Tanque cerrado que se usa para el tratamiento de aguas residuales o desechos biológicos.

Efecto Joule: Es el efecto por el cual una corriente eléctrica que circula por un material conductor pierde parte de su energía en forma de calor.

Energía eólica offshore: Se conoce como eólica *offshore* a la energía eólica que se instala en el mar.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA:

ALANNA, P. y TALL, Y. «What it costs to produce oil». En: *CNN MONEY*.

<http://money.cnn.com/interactive/economy/the-cost-to-produce-a-barrel-of-oil/index.html?iid=EL>

ANDEREGG, W. L., PRALL, J. W., HAROLD, J. y SCHNEIDER, S. H. «Expert credibility in climate change». En: *Proceedings of the National Academy of Science*, 2010, n.º 27, vol. 107: 12107-12109.

<http://www.pnas.org/content/pnas/107/27/12107.full.pdf>

ARANDA USÓN, J. *Guía de mercados energéticos*. Zaragoza: Prensas de la universidad de Zaragoza, 2013.

COOK, J. ET AL. «Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature». En: *Environmental Research Letters*, 2013. n.º 8, 024024.

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/2/024024/pdf>