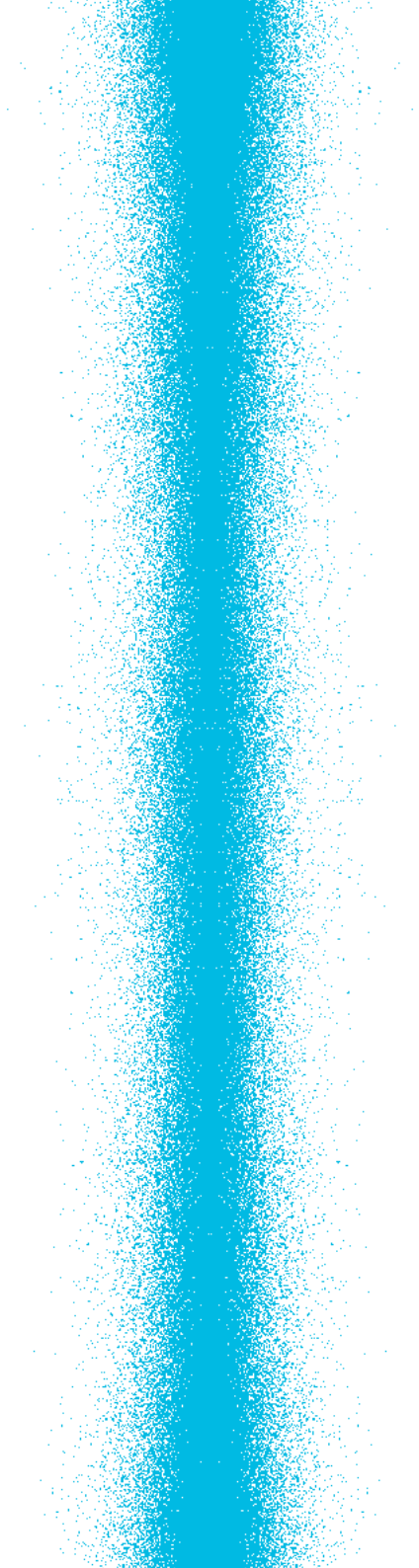


El cubo de Necker



Cubo de Necker

Avanzamos hacia un nuevo paradigma energético. Un modelo eléctrico descentralizado que se sostiene sobre cinco pilares: renovables, innovación tecnológica, gestión de la demanda, redes inteligentes y el papel central del consumidor. En definitiva, un sistema donde el todo es mucho más que la suma de las partes.



“Nadie diga que el cambio no fue bueno.
Se ha de conocer las fuerzas del mundo para
ponerlas a trabajar, y hacer que la electricidad
que mata en un rayo, alumbre en la luz.”

José Martí
La edad de oro
(1889)

1 — 6

La sociedad
electrodependiente

2 — 16

Una empresa muy
particular

3 — 26

Ojo, que hay
curvas

4 — 36

Las máquinas
de la luz

5 — 50

De la fábrica a
la autopista

6 — 60

N menos 1, ruega
por nosotros

7 — 68

De la necesidad,
virtud



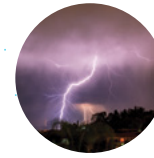
01

La sociedad electrodependiente

La versatilidad, comodidad y limpieza de la electricidad, y el desarrollo tecnológico de sus nuevos usos, hace que cada vez esté más presente entre nosotros y que se haya convertido en uno de los elementos esenciales para afrontar el desafío de la lucha contra el cambio climático.



7.45 de la mañana. Suena el despertador, la alarma del teléfono, que se ha cargado durante la noche. Y luego ya, sucesivamente, lámpara, ducha, cafetera, tostadora, ascensor, semáforo, cajero automático, ordenador, muchas llamadas, más ordenador, metro, serie de televisión, vitrocerámica, lavaplatos, libro electrónico...



Electricidad

La electricidad es un fenómeno natural que está presente en muchos ámbitos de la vida. Sin embargo, para aprovecharla como forma de energía debe obtenerse en las centrales eléctricas.

Todo el día, desde el primer sonido hasta el último *clic*, estamos rodeados de electricidad, la energía que hace posible nuestra vida. No huele, no falla (casi) nunca, es limpia, eficaz, precisa. Es imprescindible para reír con *The Big Bang Theory* y para llorar con *Casablanca*, para llevar ropa limpia y planchada al día siguiente y para comer caliente. Somos una sociedad electrodependiente.

Ese sencillo gesto de dar al interruptor de la luz —uno de los gestos más seguros de nuestra cotidianeidad— implica la puesta en marcha de un complejo sistema gracias al cual la electricidad, que en este preciso instante necesita el ordenador para escribir la palabra “ahora”, se genere y se transporte, justo en la cantidad precisa, justo hasta el sitio adecuado, siempre y en cada momento.

Porque en el sistema eléctrico no puede faltar ni sobrar nada de energía, se ha de mantener siempre un equilibrio perfecto entre la oferta y la demanda, lo que significa que cada vez que alguien enciende la vitrocerámica, alguien tiene que producir esa electricidad. ¿Cómo se consigue eso? ¿Qué hay detrás del interruptor? ¿Cómo sabe quien la produce cuánta electricidad necesito en este segundo exacto?

El sistema eléctrico es un entramado de una complejidad más que notable

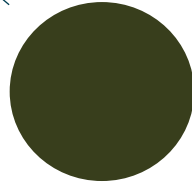


Red de transporte

Está compuesta por grandes líneas eléctricas y subestaciones, repartidas por toda España, que conforman una robusta red mallada, lo que permite disponer de caminos alternativos en caso de incidente.

Transporte en alta tensión

Transformada en alta tensión, la electricidad viaja, a través de la red de transporte, desde las centrales hasta los centros de distribución a los consumidores.



Origen de la electricidad

La electricidad es una fuente de energía secundaria. Se genera en las centrales eléctricas mediante la transformación de fuentes de energía primaria (carbón, gas, nuclear, solar, eólica e hidráulica, principalmente).

que nos suministra un producto, la electricidad, justo en el momento en el que se solicita —por ejemplo, al llamar al ascensor—, con la dificultad añadida de que no se puede almacenar en grandes cantidades, por ahora. Es decir, cada vez que alguien llama al ascensor, alguien tiene que producir la energía exacta que el ascensor consume. Y, cuando llega al piso elegido, dejar de producirla, pero mantener la de la lamparita.

Esa particularidad del sistema eléctrico, que necesita mantener un equilibrio perfecto entre oferta y demanda, se complica, ya que la demanda es caprichosa —llamo al ascensor cuando me parece oportuno— y la oferta, la fuente de producción, suele estar a centenares de kilómetros. Afortunadamente, el electrón es lo más solidario que se conoce, porque acude siempre donde se le llama. Los electrones, las menos pesadas de las partículas elementales que componen el átomo, producen, gracias a su movimiento al establecer las atracciones existentes entre los átomos, la corriente eléctrica que se transporta en la mayoría de los metales.

Las leyes de la física, la de Ohm, la de Coulomb, las de Kirchhoff, la de Ampère, la de Watt, las de Maxwell, la de Joule y muchas otras, bien establecidas desde hace cientos de años, permiten el funcionamiento físico del sistema eléctrico con total garantía. Así, gracias a estos parámetros tan bien conocidos, es posible que los centros donde se produce la electricidad, como las grandes centrales térmicas —de gas, carbón y nucleares—, las centrales hidroeléctricas, los parques aerogeneradores, los huertos fotovoltaicos y las térmicas solares fabriquen su producto, que, a través de las redes y de distintos escalones y pasos, llega hasta cada ciudad, cada barrio, cada casa, cada piso, cada habitación. Siempre y en todo momento.



Red de distribución

Desde las subestaciones, la energía eléctrica, transformada a media y baja tensión, comienza a fluir por la red de distribución para que llegue, en condiciones de ser usada, a nuestros hogares y empresas.

Equilibrio eléctrico

En el sistema eléctrico se ha de mantener siempre un equilibrio constante entre la oferta y la demanda de energía, lo que significa que cada vez que alguien hace uso de un aparato eléctrico, alguien tiene que producir esa energía en ese preciso instante, ya que la electricidad no se puede almacenar en grandes cantidades.



Pero, si la demanda cambia mucho, por ejemplo entre el día y la noche o, en definitiva, si cada uno llama al ascensor cuando llega a su casa, ¿cómo se sabe lo que se va a necesitar? ¿Cómo estas centrales están preparadas para producir la energía?

En el sistema eléctrico hay múltiples agentes desde la producción hasta el consumo. Por ejemplo, hay empresas que son dueñas de centrales o de presas hidroeléctricas; hay otras empresas que llevan la electricidad hasta la casa de cada uno; hay consumidores; hay productores independientes; hay grandes consumidores —fábricas intensivas en uso de electricidad o Renfe, que tiene que alimentar todos sus trenes—, y la mayoría, que somos simples usuarios.

Y, en el centro del sistema, Red Eléctrica de España, una empresa singular por muchos motivos, entre otros, porque no produce ni vende electricidad, aunque la mayor parte de la que se produce pasa por sus líneas. Precisamente, el papel de Red Eléctrica es garantizar la continuidad del suministro de electricidad, que haya luz al volver del trabajo y que la haya habido durante todo el día. Es decir, poder utilizar el microondas al llegar a casa por la noche para calentar el pollo que estaba en el congelador.

02

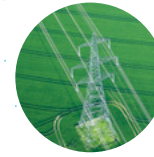
Una empresa muy particular

Red Eléctrica, creada en 1985, fue la primera empresa del mundo dedicada exclusivamente a la operación del sistema y al transporte de electricidad (el modelo TSO).

Un modelo recomendado por la Unión Europea que asegura la neutralidad y permite la competencia entre los agentes del sector.



Red Eléctrica de España (REE), creada en 1985, fue la primera empresa del mundo dedicada exclusivamente a la operación y al transporte de electricidad.



Red Eléctrica de España

Es el transportista único y operador del sistema eléctrico español, el TSO por sus siglas en inglés (Transmission System Operator)

Lo que había hasta entonces en España —y aún hoy en muchos lugares del mundo— eran los monopolios verticalmente integrados; es decir, las compañías que eran dueñas del salto de agua o de la central de carbón en las que se producía la electricidad, y de las líneas de transporte (400 y 220 kilovoltios) y de distribución (menos de 220 kV) que llegaban a cada punto de consumo, donde esas mismas empresas pasaban la factura. Con la creación de REE, se rompió ese modelo y se creó así el transportista único y operador del sistema en una misma empresa, conocido internacionalmente como TSO, por sus siglas en inglés (Transmission System Operator).

La propiedad de REE era en un 50% de las empresas eléctricas públicas, Endesa y Enher, en un 1% del INI (Instituto Nacional de Industria) y en un 49% del resto de empresas eléctricas, que aportaron sus líneas de alta tensión, de 400 kilovoltios. Desde los inicios, su misión fue prever la demanda de electricidad para mantener el equilibrio constante entre oferta y consumo, en su calidad de operador del sistema, y, al mismo tiempo, diseñar, construir y mantener la red de transporte de alta tensión, tarea encomendada al transportista. ^① ver gráfico página 23

Desde entonces, empezó un proceso cuyo hito más notable, ocurrido en julio de 1999, fue la salida a la Bolsa de un 31,5%

Composición del accionariado de Red Eléctrica en su creación, el 29 de enero de 1985

27,68%

Endesa

22,32%

Enher

12,54%

Iberduero

12,35%

H. Española

8,73%

Fecsa

6,37%

Unión Fenosa

3,99%

Sevillana

1,91%

Hecsa

1,63%

Viesgo

1,00%

Ini

0,44%

Erz

0,41%

H. Cantábrico

0,32%

Eiasa

0,31%

Langreo

Accionariado de Red Eléctrica después de su salida a bolsa

31,5%

Bolsa

28,5%

Sepi

10%

H. Cantábrico

10%


Unión Fenosa

10%

Iberdrola

10%

Endesa

de la compañía, quedando un 28,5% en manos de SEPI, el antiguo INI, y el restante 40% repartido equitativamente entre las cuatro grandes empresas eléctricas de entonces.  ver gráfico página 24

Posteriormente, en julio del 2008, para cumplir la Ley 17/2007, promulgada con el fin de adaptar la legislación nacional a una directiva del Parlamento Europeo y del Consejo Europeo sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, se reestructuró la compañía de manera que el Estado debía poseer al menos el 10% del capital, y se establecían limitaciones para los accionistas: nadie podía tener más del 5%, con una limitación de los derechos políticos del 3%, excepto las empresas del sector eléctrico, cuyos derechos políticos se limitan al 1%. Hoy el Estado tiene el 20% y el 80% restante está en Bolsa.

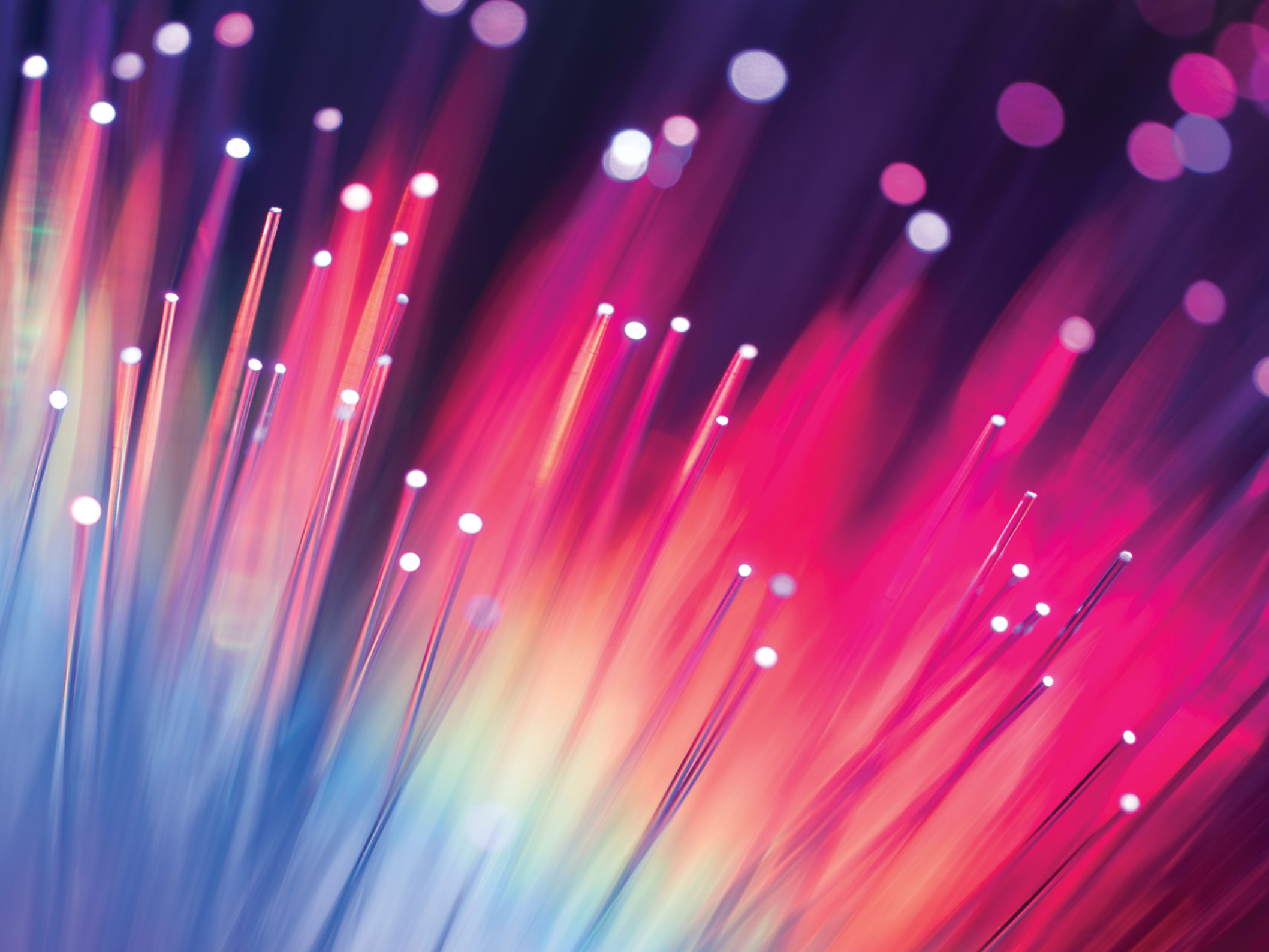
El modelo de transportista único y operador del sistema (TSO) es el más extendido en la Unión Europea, porque es el que permite la competencia, el más eficiente y el que posibilita la entrada de nuevas tecnologías renovables al eliminar las barreras y hacer posible la entrada de nuevas compañías. En el modelo TSO, el transportista y operador, que no puede producir ni vender electricidad, asegura la neutralidad del campo de juego, algo imprescindible para que entren al escenario nuevos jugadores. Si cada nueva empresa interesada en participar en el negocio tuviera que construir sus líneas eléctricas desde el punto de generación hasta el de consumo, sería imposible entrar en el sistema.

03

Ojo, que hay curvas

Red Eléctrica mantiene el constante e imprescindible equilibrio entre la generación y el consumo con el fin de que el sistema eléctrico funcione de forma correcta.

Para lograrlo, dispone del Cecoel (Centro de Control Eléctrico), donde se supervisa y opera en tiempo real el sistema de generación y transporte de electricidad.



Cada día, hay personas en Red Eléctrica que elaboran la previsión de consumo de electricidad de todo el país para los siguientes siete días. Para ello, tienen en cuenta todos los factores posibles, desde la temperatura, la pluviosidad, las festividades (nacionales o regionales), etcétera.



Equilibrio eléctrico

Red Eléctrica tiene que operar el sistema en tiempo real y mantener en constante equilibrio la generación y el consumo eléctrico.

Aunque no es posible saber el uso exacto que cada uno hacemos de la electricidad, sí es posible, con los algoritmos adecuados y con la experiencia acumulada, diseñar de forma bastante precisa la curva del consumo global para el día siguiente minuto a minuto, es decir, la previsión. Esa curva aparece pintada de color verde en los gráficos de Red Eléctrica y es accesible desde la página web.¹

A esa curva, que muestra la previsión del consumo de electricidad para todo sistema español peninsular —hay curvas equivalentes para Baleares y Canarias—, se añade posteriormente la escalera de color rojo (ver gráfico), que se corresponde con la electricidad que el mercado ha transaccionado, informando de ello al operador del sistema (Red Eléctrica). Esa curva, que se hace cada día por uno de los operadores de mercado europeos, es el resultado de la casación entre las ofertas y las demandas de los agentes que en el sistema se ocupan de la generación y la comercialización.

Este programa presenta una previsión económicamente viable, pero ha de ser evaluada por los técnicos de Red Eléctrica para asegurar que sea técnicamente posible. En otras palabras, dado que no se

¹<https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demanda/total>

Curva de demanda del sistema eléctrico peninsular (MW)



puede llevar cualquier cantidad de electricidad desde cualquier punto a cualquier otro en todo momento, Red Eléctrica debe asegurar que hay líneas capaces de hacer viable ese programa; es decir, que es sólido desde el punto de vista de las leyes de la física.

Una vez que ese programa económico ha sido validado, todo está listo. La curva amarilla (ver gráfico), la realidad, suele ir muy pegada a la previsión de Red Eléctrica pero, en todo caso, los técnicos están siempre vigilantes por si hay que tomar alguna medida excepcional. La curva verde de la previsión, por su parte, es capaz de ir aprendiendo para adecuarse a las próximas horas si algún acontecimiento hace que se desvíe sobre lo pronosticado.

Gracias a esta previsión, es posible mantener ese equilibrio constante imprescindible para que el sistema eléctrico funcione. Red Eléctrica realiza esta tarea desde su Centro de Control Eléctrico (Cecoel), que, por supuesto, funciona todos los días del año y todas las horas del día. Además, hay otro centro similar funcionando por si cualquiera de los dos tuviera un problema, para tenerlo como respaldo. Y en cada uno de ellos, todos los sistemas son redundantes; es decir, están repetidos por si hubiera algún fallo.

Para tenerlo todo bajo control, hace falta trabajar con una gran cantidad de información en tiempo real. En Red Eléctrica, siempre se ha prestado una enorme atención a las telecomunicaciones: en el Cecoel, la cabeza y el corazón del sistema eléctrico nacional, se reciben cada 8 segundos más de 200.000 señales con información, que los ordenadores procesan y que sirven para saber exactamente cómo está el sistema y para, automáticamente, dar las instrucciones oportunas a los generadores —que suben o bajan potencia—, al transportista y a los distribui-

Previsión de la demanda

Red Eléctrica prevé el consumo eléctrico que va a demandarse a lo largo del día en todo el país. Con esta previsión, las centrales eléctricas programan su producción para cada una de las horas de día siguiente.



Centro de control eléctrico

Red Eléctrica, a través de su Centro de Control Eléctrico (Cecoe), se encarga de mantener el constante equilibrio entre la producción programada en las centrales y el consumo demandado en cada instante.



Cerebro del sistema eléctrico

En el Cecoe se reciben cada 8 segundos más de 200.000 señales con información que los ordenadores procesan para saber exactamente el funcionamiento del sistema.

dores, así como a los grandes consumidores. Esos sistemas de comunicación son también redundantes.

Esa manera de trabajar se aplica también a todos los elementos de la red de transporte eléctrico y se denomina N menos 1. Si falla cualquier elemento simple, sea el que sea, una central, una línea, un transformador, los usuarios no se enteran porque hay una manera inmediata de solucionarlo. Eso significa, por ejemplo, que si una central nuclear —son las que más producen, con una media de 1.000 megavatios—, se desconecta del sistema, bien por un problema interno o bien porque la red, donde se vierte la energía, se ha cortado por cualquier motivo —un rayo, una excavadora—, inmediatamente llegan otros 1.000 megavatios desde otro sitio. Y en este negocio eléctrico, inmediatamente significa en milisegundos, no en segundos.

Hacerlo en milisegundos requiere de automatismos, porque no hay capacidad humana para tomar decisiones de tal envergadura en tan poco tiempo. De hecho, dado que el sistema eléctrico interconectado funciona como un todo, de nuevo se impone la solidaridad y todas las máquinas que están produciendo electricidad, de manera solidaria y sin tener que hacer nada, aportan su granito de arena para rellenar ese agujero de 1.000 megavatios. ¿Cómo lo hacen? Veamos primero cómo fabricamos la electricidad.



04

Las máquinas de la luz

La energía eléctrica supuso un paso muy notable para la sociedad y, desde que los humanos aprendimos a fabricarla en grandes cantidades, a dominarla y ponerla a nuestro servicio, los progresos han sido constantes.



Desde siempre, la energía de la que ha dispuesto cada sociedad ha marcado su desarrollo. Cuando la energía era la tracción animal y el viento, los veleros cruzaban el Mediterráneo, los bueyes araban los campos y los caballos llevaban viajeros a Roma o a Lutecia, y se molía el trigo gracias a la fuerza del agua o de los animales.

El desarrollo de la máquina de vapor supuso la revolución industrial porque había una nueva fuerza capaz de hacer más trabajo que hasta entonces y así, los trenes y los telares cambiaron la faz de la sociedad.

La energía eléctrica supuso un paso muy notable y desde que los humanos aprendimos a fabricarla en grandes cantidades, a dominarla y ponerla a nuestro servicio, los progresos han sido constantes. Hoy somos capaces de fabricar luz en grandes cantidades en las centrales térmicas, en centrales hidroeléctricas, con el sol y con el viento. En el futuro, sin duda, la fabricaremos también con la fuerza del mar y, con seguridad, con otras muchas tecnologías de las que aún no disponemos, aunque sí sabemos que serán limpias y abundantes.

Las centrales térmicas son, en realidad, enormes ollas a presión, tecnológicamente muy avanzadas, que convierten calor en electricidad. Primero se obtiene el calor, lo que se puede conseguir quemando carbón o gas, mediante la fisión atómica en las centrales nucleares o, más recientemente, utilizando el sol como fuente. Si no se tuvieran en cuenta otros aspectos, como los ambientales, desde el punto de la producción eléctrica, son todas equivalentes. Ese calor calienta agua, que se convierte en vapor y que, a través de unas tuberías, mueve una turbina que transmite ese movimiento a un generador que produce la electricidad.

En definitiva, la energía, que, como sabemos, ni se crea ni se destruye, solo se almacena y se transforma al cambiar de estado, pasa de estar contenida en el combustible a encender las bombillas de casa. Por ejemplo, el gas se quema y genera calor y, a través del agua convertida en vapor, produce un movimiento que, a su vez, se transforma en electricidad que viaja por los cables hasta cada punto de consumo.

Y allí produce las microondas, que generan el movimiento en las moléculas del pollo congelado para dejarlo a la temperatura adecuada. ① ver infografía páginas 44 y 45

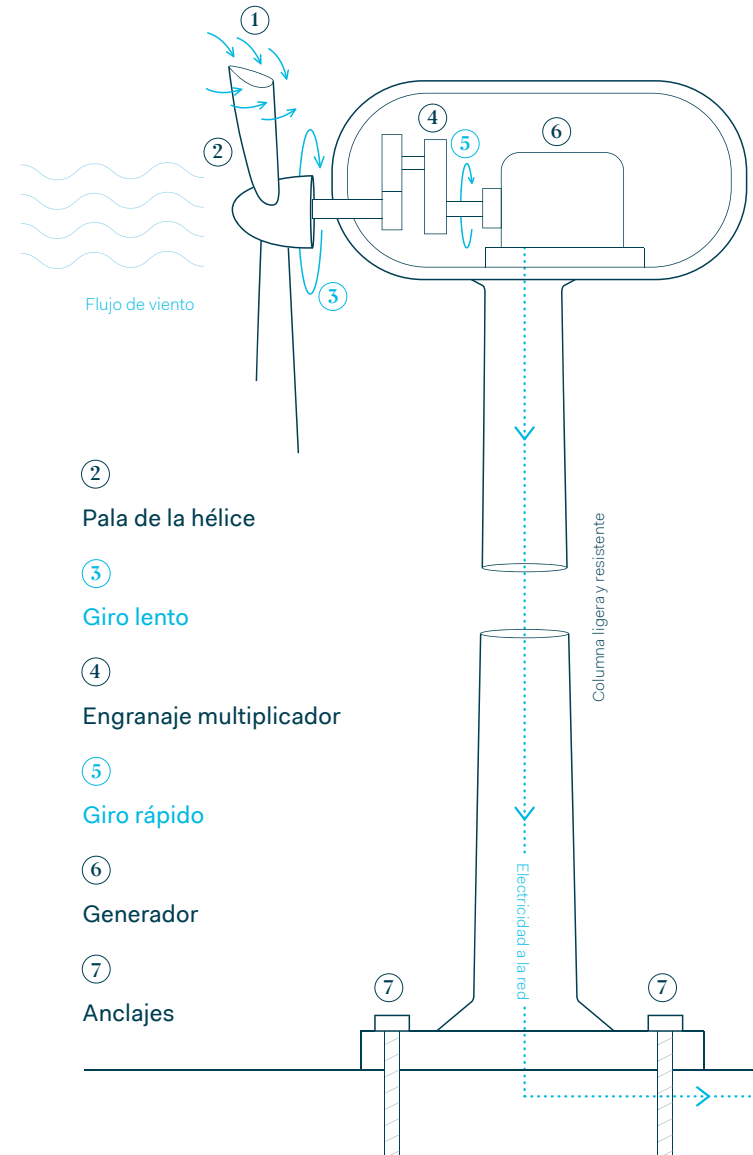
También se produce electricidad en grandes cantidades con centrales hidroeléctricas, que siguen el mismo sistema pero cambiando la fuerza del calor por la de la gravedad. Así, en las centrales hidroeléctricas con embalse, se deja caer el agua con fuerza hasta una turbina, que transmite su movimiento a un generador que produce la electricidad. ② ver infografía páginas 46 y 47

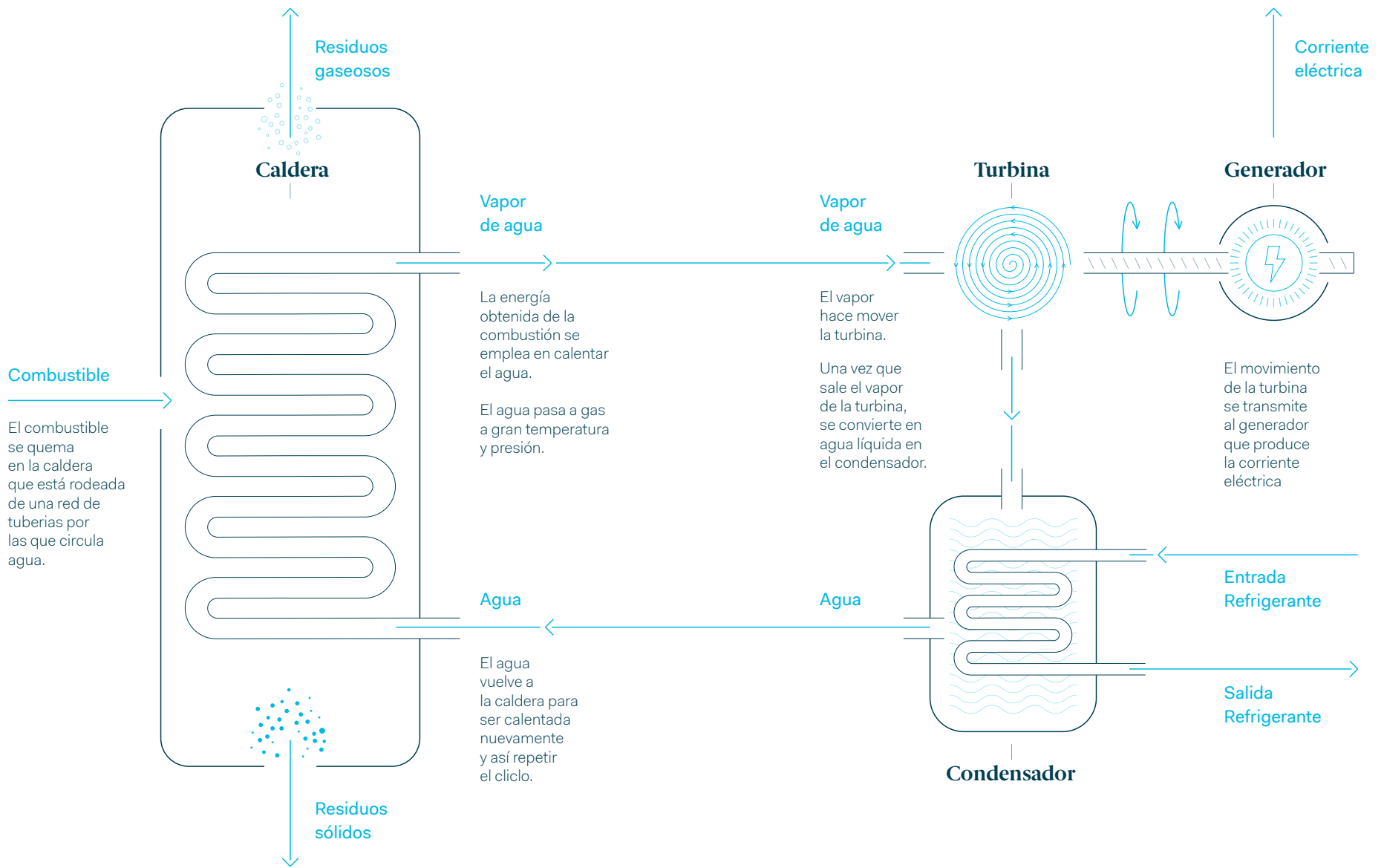
En los últimos 25 años, los tecnólogos también han sabido aprovechar antiguas experiencias usadas en molinos harineros para domeñar la fuerza del viento y construir aerogeneradores que se han convertido en un notable sistema para producir electricidad. Lo que hacen estos nuevos molinos de viento es utilizar el movimiento de las aspas para, de nuevo moviendo un generador, producir electricidad. ③ ver infografía página 43

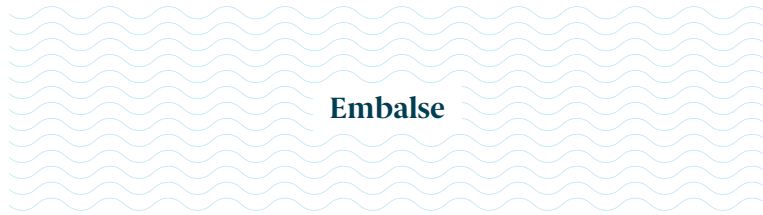
Y, por último, la energía solar, que siempre ha alimentado al mundo gracias a la fotosíntesis, se utiliza ahora para producir electricidad, bien a través de placas solares mediante procesos fisicoquímicos —la llamada solar fotovoltaica— o bien aprovechando el calor de sol para generar electricidad basándose en los mismos principios que las térmicas convencionales —llamada solar térmica—. ④ ver infografía páginas 48 y 49

Hay otras fuentes que aún son marginales, como la biomasa, la combustión de materia orgánica animal y vegetal procedente de residuos agrícolas, forestales o urbanos que se utiliza para producir electricidad en una central térmica. También se produce energía con la cogeneración, que es la producción combinada de calor y electricidad en procesos industriales que necesitan ambos tipos de energía.

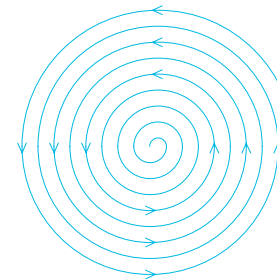
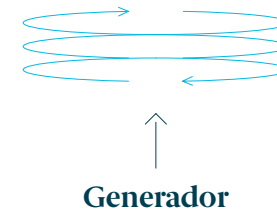
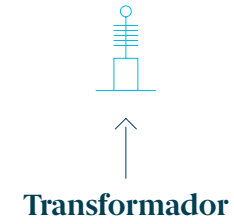
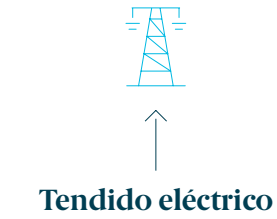
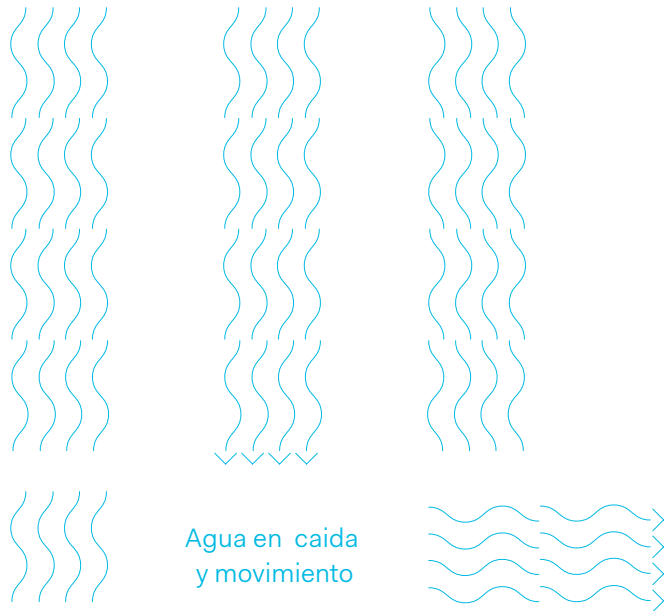
①
Sección aerodinámica
como el ala de un avión



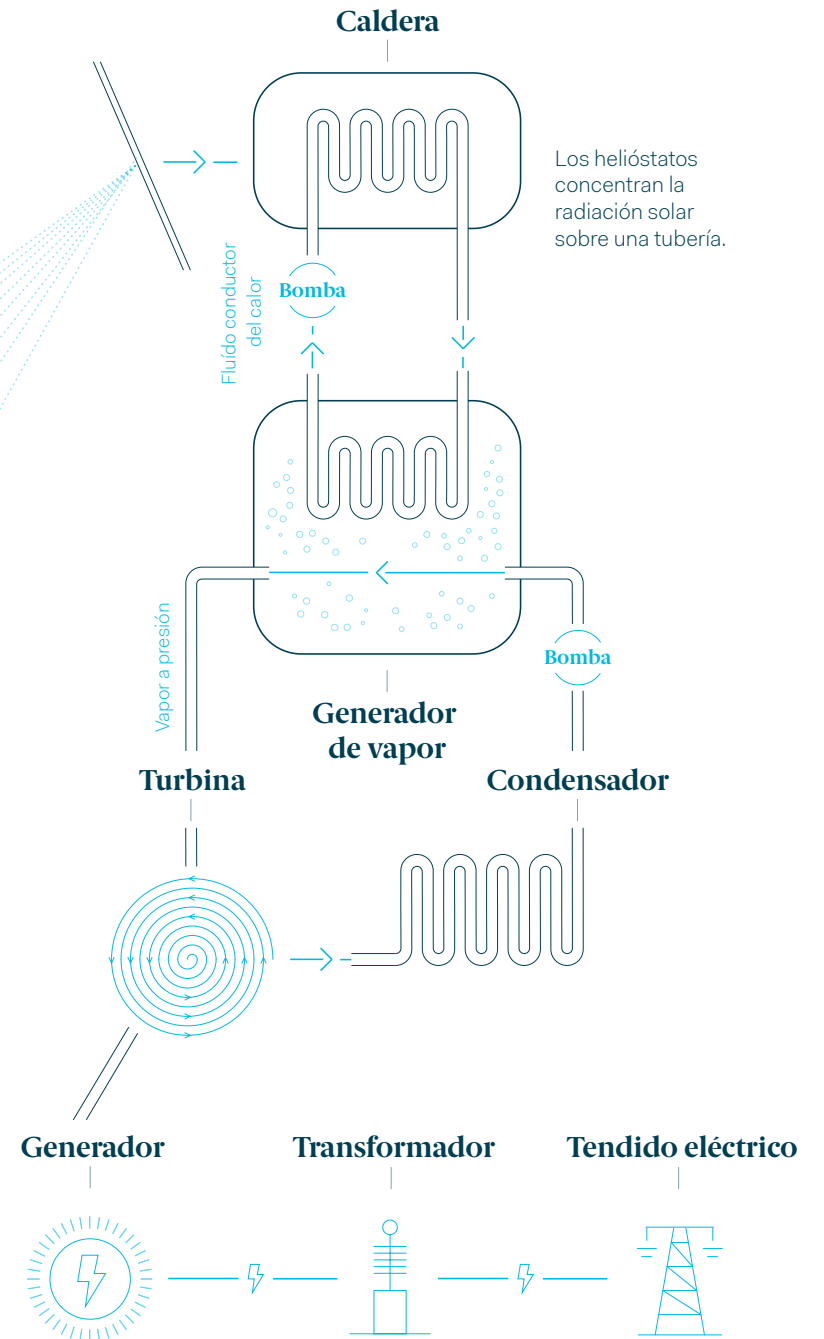
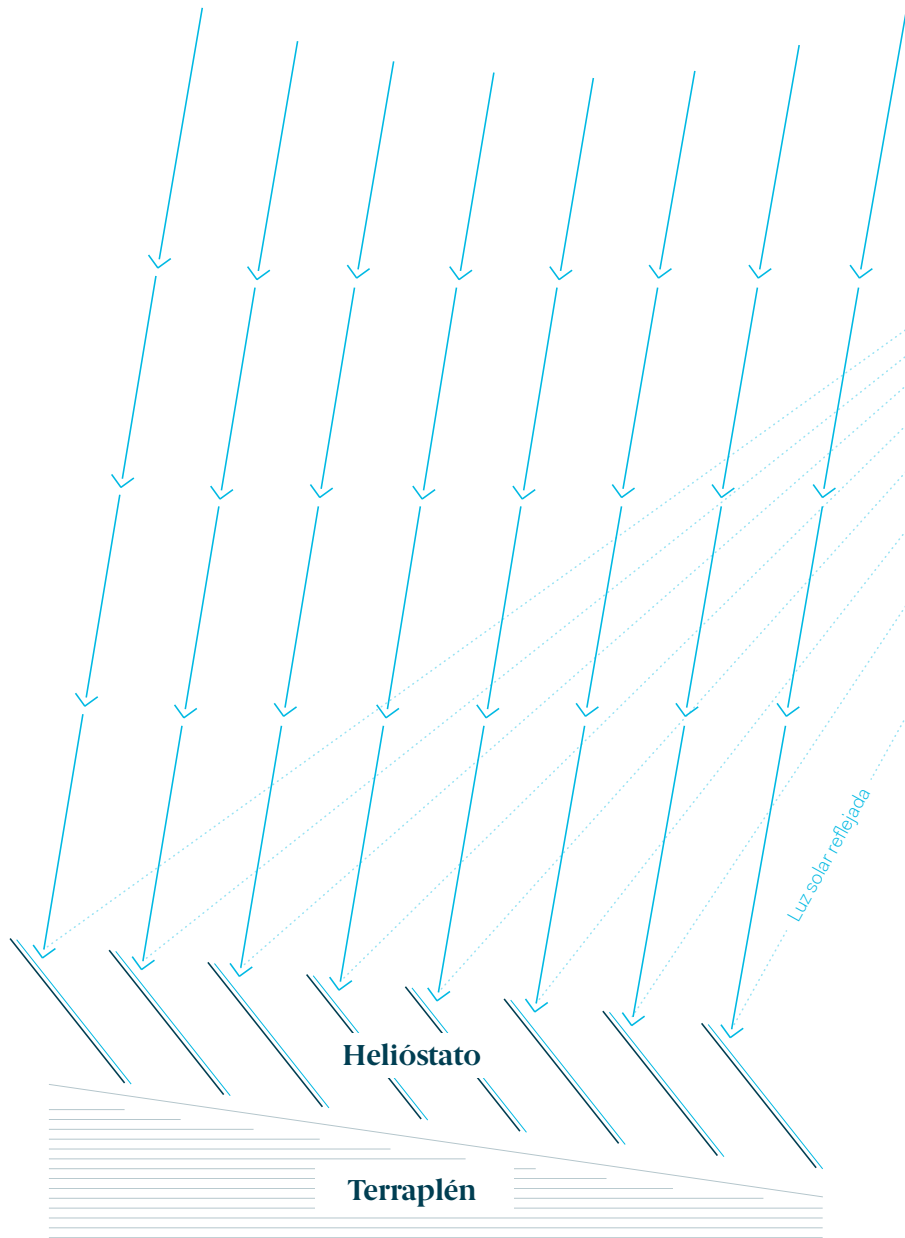




Presas



Luz solar



05

De la fábrica a la autopista

El sistema eléctrico español tiene la fortuna de estar conectado al sistema europeo, el más grande del mundo, pero la enorme desventaja de disponer del nivel interconexión más bajo de los países de nuestro entorno.



Gracias a cualquiera de estos sistemas –los electrones son todos iguales y no es posible distinguir cómo se han fabricado–, se produce la electricidad, que se transporta a toda velocidad hasta los puntos de consumo. Y se transporta, de nuevo, aprovechando las ventajas de las leyes de la física, a alta tensión, mucho más eficiente.



Redes eléctricas

La red de transporte de alta tensión española representa aproximadamente el 10% de la red de transporte de electricidad europea.

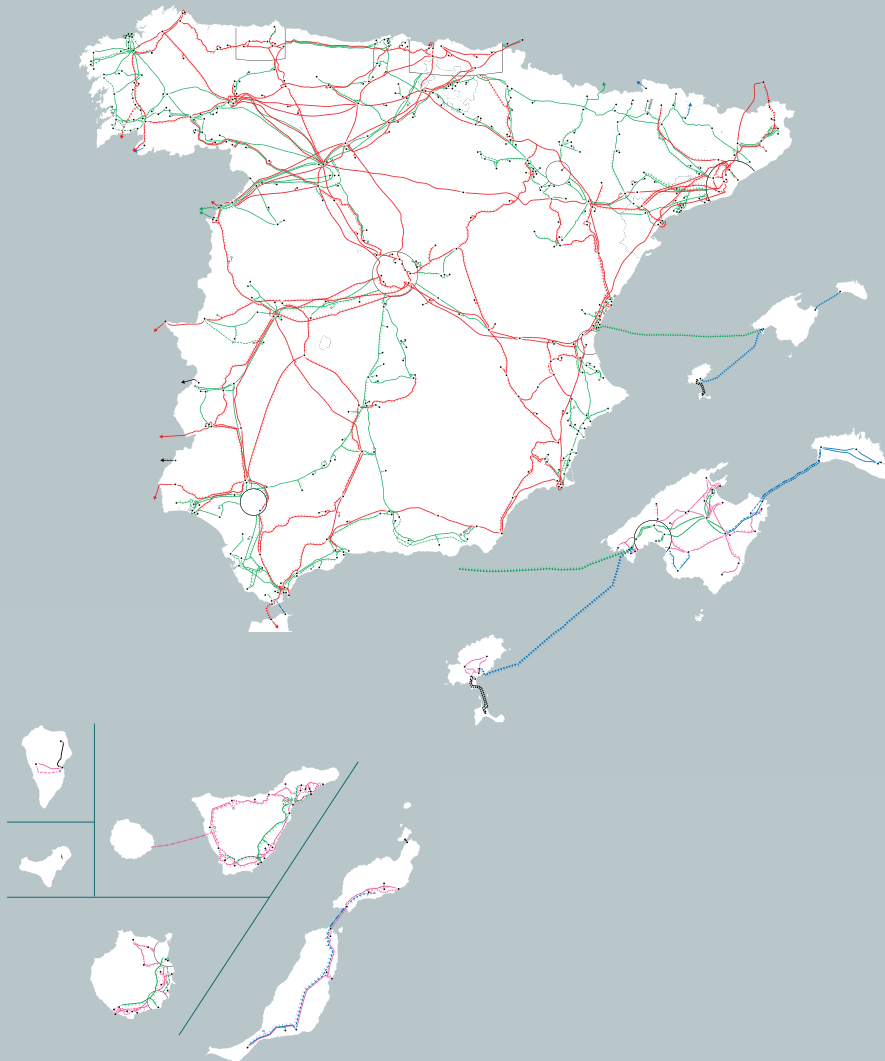
Según el estándar europeo, la tensión de la red de transporte de electricidad es de 400.000 voltios (400 kilovoltios, kV) y 220.000 voltios (220 kV), porque es el más adecuado para el sistema europeo, el más grande del mundo —algo mayor que la Europa comunitaria—. España tiene la fortuna de estar interconectada a este sistema, pero la enorme desventaja de estar muy poco interconectada.

Nuestro país cuenta con unos 44.000 kilómetros de líneas eléctricas de alta tensión, más o menos la mitad de 400 kV y la otra mitad de 220 kV. El total del sistema europeo interconectado supone unos 400.000 kilómetros de red (en estas tensiones), por lo que España representa, más o menos, el 10% y este porcentaje es válido también para el consumo. ① ver mapa página 56

El N menos 1 en cuestión de redes quiere decir que los técnicos han de tener previsto qué sucede si falla alguna línea por cualquier causa, natural o no, por ejemplo, debido a una ciclogénesis explosiva o a una excavadora que rompe un cable. Al regirse el sistema eléctrico por leyes físicas fijas, es posible establecer un modelo matemático preciso de cada situación, de manera que cualquier escenario puede ser analizado y previsto hasta el último detalle. Y efectivamente, si ocurre un incidente, el comportamiento del sistema será exac-

Red de transporte de electricidad en alta tensión

(400 y 220 kV)



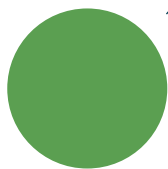
tamente el que el modelo matemático predice. Esto, unido a que la red sea suficientemente mallada, que los elementos sean redundantes, permite que, en caso de incidentes, el cliente no lo note y el pollo siga congelado.

Además de los kilómetros de red, el sistema está compuesto por subestaciones, que son los nudos donde las líneas se unen. Se encuentran cerca de centros de generación, próximas a puntos de consumo o en los lugares adecuados para cumplir sus funciones. En estas subestaciones están los aparatos más pesados que se transportan en España, los enormes transformadores cuyo traslado, por ejemplo, de Córdoba a San Sebastián de los Reyes, puede tardar cuatro o cinco meses. Los más voluminosos pesan unas 200 toneladas y para moverlos es necesario plataformas de hasta 180 ruedas, que son movidas por dos cabezas tractoras; no pueden pasar por encima de ningún puente, y en su camino, algunas veces es necesario desmontar una rotonda y volverla a montar una vez que ha pasado. Por tanto, no es ni fácil ni rápido sustituirlos.

Esos transformadores, sin embargo, tienen una función capital en el sistema: elevar la tensión a la que se produce la electricidad o bajarla a la que se consume. La electricidad llega a la subestación a una tensión de 15.000 voltios, aunque eso depende del tipo de central que la produzca, y estos transformadores la elevan hasta 400.000. De esta manera, se pierde menos energía durante el transporte, porque a 15.000 voltios las pérdidas (debidas fundamentalmente al efecto Joule) pueden llegar al 12 o al 15%, mientras que a 400.000, las pérdidas son inferiores al 2%. Es decir, si se transportara la electricidad a tensiones más bajas, haría falta quemar mucho más gas para encender el mismo número de bombillas.

Red de transporte de alta tensión

El sistema eléctrico español cuenta con unos 44.000 kilómetros de líneas eléctricas de alta tensión, más o menos la mitad de 400 kV y la otra mitad de 220 kV.



Los nodos de la red

Además de los kilómetros de red, el sistema está compuesto por subestaciones que son los nodos donde las líneas se unen para formar una red mallada.



Transformación de tensión

En las subestaciones se produce el cambio de tensión de la energía necesario para optimizar su transporte, elevándola para trasladarla a grandes distancias y disminuyéndola para acercarla a los consumidores.

Como se ha dicho anteriormente, 400 y 220 kV es el estándar europeo de transporte de electricidad, la más alta tensión, pero hay otros lugares, por ejemplo, en Canadá, donde las grandes presas están muy lejos de los centros de consumo y las líneas son de hasta 800 kV o más. La razón es que la capacidad de cada línea, lo que puede transportar, depende de la tensión; como se trata de una función cuadrática de la tensión, una línea de 400 kV no transporta el doble que por una de 220 kV, sino más de tres veces más. Por eso, el transporte a 400 kV es muy eficiente. A cambio, los conductores (los cables) son más gruesos y han de estar más separados. Por eso, los apoyos (las torres) que vemos por el campo son tan altas, para ser capaces de transportar esa enorme e imprescindible cantidad de electricidad de manera eficiente.

Una vez que se produce la electricidad, el transformador eleva la tensión en una subestación más o menos próxima a la planta de generación, y entonces la energía fluye por las líneas eléctricas hasta otra subestación, ya más cerca del lugar del consumo. Allí, otro transformador baja la tensión hasta, por ejemplo, 132 kV, aproximando la electricidad a las casas con sucesivas bajadas, 66 kV, 20 kV, y líneas cada vez más pequeñas hasta que llega a nuestra casa para su uso a una tensión de 220 voltios. A la alta tensión —400 kV y 220 kV— se le llama transporte y a las tensiones más bajas se le llama distribución.

06

N menos 1, ruego por nosotros

El N menos 1 es un criterio de seguridad que permite prever la posible avería, uno a uno, de todos los elementos que componen el sistema eléctrico con el fin de comprobar si su pérdida afectaría al conjunto.



Como decíamos, el sistema funciona con el criterio N menos es 1; es decir, que, pase lo que pase, tanto desde el punto de vista de la generación como del transporte, los usuarios no perciben los problemas que podrían ocurrir. Pero, si se desconecta una central nuclear, por ejemplo, ¿cómo se recuperan en milisegundos esos 1.000 megavatios perdidos? La respuesta, de nuevo, es la solidaridad de todo el sistema interconectado.

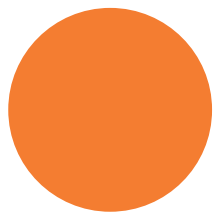
España está conectada al sistema europeo, del que supone un 10%. Que un sistema esté conectado de manera síncrona significa que todas las máquinas de todas las centrales que están aportando energía lo hacen al mismo ritmo. Los alternadores de las centrales, las máquinas que convierten el movimiento en electricidad, son grandes masas que giran a gran velocidad, unas 3.000 revoluciones por minuto (dependiendo del tipo de central). Eso supone unas 50 vueltas por segundo, que se corresponde con los 50 hercios de frecuencia que tiene todo el sistema europeo. Además, es importante que tengan mucha masa porque así aportan inercia al sistema, un elemento clave en la respuesta inmediata a una pérdida de generación.

Así que hay que imaginarse el mapa de Europa lleno de aparatos de este tipo, todos girando a la misma velocidad eléctrica (frecuencia de la onda de tensión) y con la inercia de un tren gigantesco a toda máquina. Si una central se desconecta, todas las demás, sin que el sistema haga nada, tratan de mantener la misma energía en el sistema, lo que se traduce en producir más: se frenan levemente —perdiendo inercia; es decir, energía cinética— y esa cantidad de movimiento que pierden se convierte en electricidad extra que suple la que se ha perdido. A través de las interconexiones con otros países y gracias a la interconexión con Francia, la mayor parte de esa energía llega hasta España, todo ello en milisegundos. De esta manera, los usuarios no perciben el problema. Por supuesto, el mecanismo sirve para España y para cualquier otro país. Si el problema ocurriese en otro lugar, las máquinas españolas, puesto que nuestro sistema representa el 10% del interconectado, aportarían el 10% de la pérdida.

Por eso, es muy importante que el sistema interconectado sea lo más grande posible, porque si en el sistema europeo,

Mejor conectados

La seguridad del suministro eléctrico es mayor cuanto más grande e interconectado sea un sistema, por ello las interconexiones son elementos clave en el sistema eléctrico.



Frecuencia que no cesa

España está conectada de manera síncrona al sistema eléctrico europeo. Esto significa que las máquinas de todas las centrales que están generando energía lo hacen al mismo ritmo (50 hercios de frecuencia), aportando inercia al sistema.



que puede estar produciendo en un momento determinado 430.000 megavatios hora y tiene una inercia gigantesca, se pierden 1.000 megavatios, eso supone una parte muy pequeña y basta con que cada máquina aporte muy poco de su inercia para solventar el problema. Si el sistema español estuviera aislado completamente y se perdieran 1.000 megavatios de electricidad de los 40.000 que podría estar consumiendo, el sistema no tendría inercia bastante como para evitar una significativa pérdida de velocidad de los generadores, que, en determinadas circunstancias, podría requerir cortes de consumo para evitar un apagón de grandes proporciones. Y, de nuevo, todo en milisegundos.

Ese es uno de los motivos por los que las interconexiones son elementos clave en el sistema eléctrico y, de hecho, es uno de los principales cuellos de botella de nuestro sistema. España tiene una capacidad de interconexión con el sistema eléctrico europeo de unos 3.000 megavatios, lo que supone un 3% de la potencia total que puede generar nuestro sistema nacional (potencia instalada). Pero, para un sistema que tiende a producir cada vez más energía renovable, ese porcentaje es claramente insuficiente. De hecho, en el marco de la transición energética, la Unión Europea recomienda que los países tengan, al menos, un 15% de capacidad de interconexión en el 2030, para facilitar el intercambio de energía renovable en un mercado único.



07

De la necesidad, virtud

La insularidad eléctrica del sistema español, la alta penetración de energías renovables, no gestionables, y la necesidad de garantizar la seguridad del suministro, dio como resultado que Red Eléctrica creara en 2006 el Centro de Control de Renovables (Cecre).

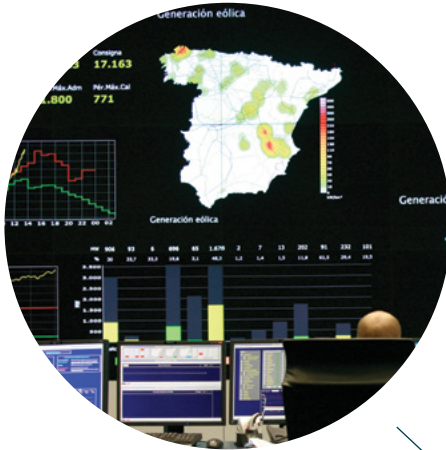


En el sistema español, se han dado ciertas características que lo han hecho único en el mundo. Una de ellas es la creación del primer TSO (modelo operador del sistema y transportista en una misma empresa) del mundo. Otra, la insularidad eléctrica, la escasa capacidad de interconexión. Incluso las islas británicas, islas geográficas, tienen más capacidad de interconexión eléctrica que la península ibérica.

Y, tercero, una paulatina penetración de instalaciones eólicas, que comenzó lentamente a mediados de los años 90 pero que, en el 2004, suponía ya una potencia instalada considerable, cercana a los 12.000 megavatios.

La suma de todos esos factores y la firme decisión de Red Eléctrica de asegurar el suministro de electricidad, pero contando con la máxima integración de energías limpias, dio como resultado el Centro de Control de Renovables (Cecre). Es una instalación, inaugurada en el año 2006 y todavía única en el mundo, destinada a garantizar que el sistema utilice siempre la máxima cantidad posible de energía renovable, pero sin poner en riesgo la seguridad de suministro. El Cecre recibe cada ocho segundos información en tiempo real de cada instalación renovable sobre el estado de la conexión a la red, la producción y la tensión. Esos datos llegan a través de 23 centros de control, que actúan como interlocutores, y son inmediatamente analizados por sofisticadas herramientas que permiten comprobar si el total de generación de las energías renovables puede integrarse en cada instante en el sistema eléctrico sin afectar a la seguridad del suministro.

Los aerogeneradores más antiguos tenían un inconveniente técnico: en caso de problemas en el sistema, se desconectaban automáticamente. Esto, que originariamente y cuando había muy pocos era una exigencia para operar mejor el sistema si había problemas, se había convertido en un riesgo considerable, porque significaba que, ante una perturbación eléctrica (un cortocircuito), podría producirse la desconexión súbita de mucha potencia eólica, que era muy vulnerable ante estos fenómenos, de manera que la reducida capacidad de la interconexión no podría suplirla, lo que necesariamente supondría un apagón importante en el país.



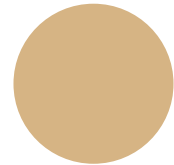
Centro de Control de Renovables (Cece)

Es una instalación, inaugurada en el año 2006 y todavía única en el mundo, destinada a integrar en el sistema la máxima cantidad posible de energía renovable, pero sin poner en riesgo la seguridad de suministro.



Más renovables en el sistema

La labor del Cece está contribuyendo a que en los últimos años cerca de un 40% de la demanda eléctrica anual se cubra con generación renovable, alcanzando, en algún caso, valores de cobertura horaria superiores al 80%.



Integración segura

El Cece recibe, cada 12 segundos, información en tiempo real de los centros de generación renovable, lo que le permite comprobar qué cantidad de energía renovable puede integrarse en cada instante en el sistema eléctrico de forma segura.

Por eso, el operador del sistema propuso al Gobierno una modificación de la normativa que instara a la instalación en los aerogeneradores de equipos que los hicieran más robustos, de forma que, con la colaboración del sector eólico, se modificaron esos automatismos para evitar esa desconexión súbita. Al mismo tiempo, se conectaron todos ellos al Cece, mediante pequeños centros de control, para así estar seguros tanto de recibir la información sobre su estado como de dar instrucciones en cualquier momento. Para anticiparse ante las posibles incidencias que puedan surgir con las energías renovables, el Cece analiza constantemente la situación actual y prevé las medidas de operación necesarias para que el sistema se mantenga en un estado seguro.

Hoy la potencia eólica instalada es de 23.500 megavatios, lo que supone casi un 25% del total de la potencia instalada en España y, con el nuevo marco de transición energética, se prevén nuevas instalaciones, por lo que Red Eléctrica y su Cece tienen que estar preparados para seguir estableciendo precisos modelos matemáticos basados en las leyes de la física que permitan, con independencia del sol y del viento que haya, que el pollo siga congelado y el microondas funcione al llegar a casa.

Por lo tanto, el gesto cotidiano de enchufar el móvil para cargarlo implica que todo el sistema eléctrico se pone en marcha para garantizar que, a las 7.45 de la mañana, suene la alarma. Y luego, de nuevo, lámpara, ducha, cafetera, tostadora, ascensor, semáforo, cajero automático, ordenador, muchas llamadas, más ordenador, metro, serie de televisión, vitrocerámica, lavaplatos, libro electrónico... A no ser, claro, que sea sábado o domingo, y entonces podremos, al menos durante un rato, prescindir de la electricidad y echar otro sueñecito.