

PABLO FONCILLAS

# FACT ENERGY

**LA SOSTENIBILIDAD  
QUE VIENE**

PRÓLOGO DE FERNANDO ÓNEGA

DEUSTO



**FACT**  
**ENERGY**



PABLO FONCILLAS

**FACT**  
**ENERGY**

**LA SOSTENIBILIDAD  
QUE VIENE**

PRÓLOGO DE  
FERNANDO ÓNEGA

**DEUSTO**

© Fundación Naturgy, 2021  
© De los textos: Pablo Foncillas Díaz-Plaja  
© Del prólogo: Fernando Ónega

Coordinación editorial: deleatur, s.l.  
Diseño de cubierta: Sylvia Sans  
Diseño de los gráficos: Albert Valero

ISBN: 978-84-08-24409-7  
Depósito legal: B. 5.384-2021  
Imprime: Liberdúplex

© Editorial Planeta, S. A., 2021  
Deusto es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.  
Avenida Diagonal, 662-664 - 08034 Barcelona  
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 17 - 28027 Madrid

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal). Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar a través de la web [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com) o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

Impreso en España

El papel utilizado para la impresión de este libro es cien por cien libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

*A los que reconocen que hemos de cambiar  
para seguir siendo los mismos.*

*A los que sueñan con un futuro mejor  
mientras tratan de inventarlo.*



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PRÓLOGO</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>PRIMERA PARTE: PUNTO DE PARTIDA</b> .....	21
Capítulo 1. Sobre sesgos, números y personas.....	23
Capítulo 2. La encrucijada de la energía: sesgos y mitos .....	35
Capítulo 3. El sistema es un embrollo .....	45
Capítulo 4. Algunas ideas sencillas pero poderosas.....	51
<b>SEGUNDA PARTE: ENERGÍA</b> .....	77
Capítulo 5. Energía humana.....	79
Capítulo 6. El ancla también pesa en la energía.....	89
Capítulo 7. Confirmación: no hay explicaciones sencillas a problemas complejos.....	119
Capítulo 8. La energía tiene halo .....	153
<b>TERCERA PARTE: TEJIDO ENERGÉTICO</b> .....	185
Capítulo 9. El sector energético: del ITER al ámbar, la batalla de las corrientes y la culpa .....	187
Capítulo 10. El tamaño importa.....	197
Capítulo 11. En la energía, no es oro todo lo que reluce .....	239
<b>EPÍLOGO</b> .....	249
<b>ANEXOS</b> .....	253



## PRÓLOGO

### ESTA SÍ QUE ES UNA TRANSICIÓN

Bien. De acuerdo. No desmintamos la modestia del profesor Pablo Foncillas. Si él dice que este libro, su libro, no es un tratado, y mucho menos un libro blanco sobre la energía, yo no soy quién para discutirlo. «Pero entonces, ¿qué es?», me estuve preguntando mientras leía sus páginas, me divertía con sus ramalazos de humor («sí, soy abogado, pero buena persona»), me intrigaba con algunos hallazgos («la energía tiene un lado sexy») o me apasionaba con algunas de sus preguntas («¿Está usted dispuesto a pagar —para no emitir CO<sub>2</sub>— para que funcione la fábrica que funde el acero del coche de empresa que conduce su vecino?»).

Creo que ya lo sé: este libro es un guion reflexivo, documentado, atractivo, también práctico, de la gran transición de este tiempo; de una de las grandes transiciones que vivió la humanidad y de la que somos protagonistas los actuales habitantes de la Tierra: la transición de la «vieja energía» a una energía nueva; la que tiene el *minúsculo* objetivo de salvar el planeta y la humanidad. El hombre vive esa transición desde que descubrió el fuego. Los últimos dos siglos la aceleraron con el vapor, la electricidad, la energía hidráulica, la fósil, la atómica. «Con la aparición de la

energía atómica —escribió Einstein—, nuestra generación ha traído al mundo la fuerza más revolucionaria.»

Esto lo dijo Einstein en 1947. Menos de un siglo después, la energía atómica es peligrosa, la fósil contamina, el vapor es una antigualla, la hidráulica es insegura para los tiempos de cambio climático que prometen periodos de sequía, el futuro es la electricidad. Todo va a ser eléctrico: el funcionamiento de las casas, de la tecnología, de la sociedad de la información, de los trenes y —el último reto apasionante— de los coches. Cuando se escribe este prólogo, el progreso de la economía, la economía sostenible, se basa en el coche eléctrico. Dentro de nada, la electricidad será el sinónimo por antonomasia de energía.

Al mismo tiempo que los científicos detectaban los riesgos de destrucción del planeta, provocada por las antipáticas energías fósiles, la economía descubrió el gran antídoto: las energías renovables, que disfrutan de «halo», como dice Foncillas, y los más prosaicos definimos como buena prensa o buena imagen. Y ahí empieza la transición: de un régimen contaminante y por tanto asesino, a un régimen idílico, limpio, saneado, casi virginal, sin emisiones, respetuoso con la calidad de vida y con un derecho fundamental, que es el derecho a respirar. En la España de Pedro Sánchez ya hay un ministerio, con categoría de vicepresidencia, que se llama de Transición Ecológica.

¿Qué hace Pablo Foncillas ante esto? Se me antoja que intenta ser el Fernández-Miranda de la transición política española: el gran guionista. Lo primero que sale de su pluma, pero se extiende a lo largo de todo el libro, es un diagnóstico de la agonía del viejo régimen energético. Y no deja muchas dudas: a ese viejo régimen hay que agradecerle lo que contribuyó al bienestar de las personas, a un desarrollo de la economía sin precedentes históricos y, genéricamente, al bienestar social. Pero hay que sustituirlo. Hay que transformarlo.

Y aquí viene, a mi juicio, su gran aportación. Después de muchos estudios, de muchos análisis, de multitud de informes técnicos y de

muchas estadísticas, hace un ejercicio intelectual con una enorme vocación educativa y divulgativa. Digo educativa porque a Foncillas se le nota su profesión docente y se preocupa de explicarlo todo, desde qué es la atmósfera, cuáles son los gases que existen en ella o por qué se produce el efecto invernadero, hasta descifrar cómo se hace la factura de la luz y cómo se subasta la energía, esos misterios para tantos usuarios.

Y digo divulgativa porque, sin querer ser un tratado de la energía, se le parece mucho. En estas páginas está la descripción de las características genéricas de la energía, de sus avances y sus problemas. Está también el relato de las energías limpias, que no son solo la eólica y la solar, sino también los gases renovables, el biogás y el hidrógeno, que acelera su paso para salir triunfante, como demuestra el hecho de que España ya dispone de su «Hoja de ruta del hidrógeno». Y están, sobre todo, las exigencias del futuro: producción a voluntad, funcionamiento constante, suministro permanente, coste asumible y emisiones de CO<sub>2</sub> lo más bajas posibles. Ese es el reto.

Como corresponde a todo periodo de transición, las dudas son importantes y Foncillas, que no es ningún dogmático, las desgrana a lo largo de toda la obra. Expongo algunas: ¿cómo se planifica y se gestiona una eólica que un día aporta el 62 por ciento de la producción, pero otro día del mismo mes aporta solo el 9 por ciento? ¿Está la electricidad en condiciones de resolver las necesidades de industrias que requieren altísimas temperaturas? ¿Cómo se resuelve que la calefacción eléctrica sea competitiva? ¿Es una utopía el horizonte 2050 de una Unión Europea sin emisiones? ¿Requiere algún cambio el sistema empresarial, si vive la contradicción de una rentabilidad limitada pero está obligada a fortísimas inversiones? ¿Cómo se arregla el problema del almacenamiento de la eólica para los días que no hay viento y de la solar para las noches y los días sin sol? Y, por seguir los dictámenes de la actualidad y de la moda, ¿habrá energía para todo el sistema automovilístico cuando

todos los coches sean eléctricos? ¿Habrá algún día baterías baratas y que duren toda la vida? ¿Se puede sostener con baterías el transporte marítimo de carga? Dicho en otras palabras: ¿es un mito la electrificación total?

Estos interrogantes sirven para calificar este libro como útil, informativo, sabio, provocador y realista. Y lo importante son las conclusiones que va obteniendo el lector. Por mi parte son estas: la transformación del sistema es obligada y, por tanto, imparable; reemplazar las energías fósiles en 2030 es carísimo, tan caro como construir cien parques eólicos al año; las insuficiencias de las renovables obligan a que haya tecnologías de respaldo que, a juicio de Pablo Foncillas, son los ciclos combinados a gas, que permiten un fácil encendido y apagado; la tecnología y la investigación tienen que trabajar con intensidad para hacer posible el cambio; los recursos financieros exigen nuevos esfuerzos de inversión por parte de los Estados y la iniciativa privada; pero el nuevo horizonte es posible. Es posible el mito. Y mientras el mito se hace realidad, quizá nos quede pasar ese tramo que Gramsci identifica con la crisis: cuando lo viejo no acaba de morir y lo nuevo no acaba de nacer. La ventaja de la transición energética es que lo nuevo ya nació. Está ahí, en pleno desarrollo. Es aceptado por la sociedad. Solo necesita consolidarse. Es la última —y pacífica— revolución.

Fernando Ónega

## INTRODUCCIÓN

Que levante la mano quien no considere que su industria está viviendo una profunda transformación. Todos lo consideran, ¿verdad? Pues bien, eso me encanta, ya que llevo más de veinte años estudiando y viviendo en primera persona diferentes transformaciones.

He trabajado en industrias sujetas a profundos cambios, como, por ejemplo, la industria aérea, que vive su particular «tsunami» provocado por las compañías *low cost* y los trenes de alta velocidad. También he trabajado en el sector de la publicidad, la enseñanza ejecutiva y las conferencias corporativas. Y, con el desarrollo del mundo digital, todas estas actividades se han tenido que transformar profundamente, por decirlo de forma educada.

He publicado varios libros e innumerables artículos, y he ofrecido probablemente cerca de un millar de conferencias (entre las académicas y las que imparto en el mundo empresarial) en las que hablo de cómo se transforman, de cómo cambian los sectores. Podríamos decir que soy un experto en transformaciones. Me obsesiona la transformación. ¿Tengo por eso una mente enferma? Lo sé, es raro, e incluso podríamos considerar un problema dicha obsesión; pero a mí me gusta.

De hecho, en los últimos años he dedicado una parte considerable de mi tiempo a analizar e investigar lo que ha venido llamándose (en mi opinión de forma equivocada) «transformación digital». De las dos palabras que conforman este concepto, los directivos se obsesionan con el vocablo «digital», cuando en realidad el futuro de sus empresas depende del término «transformación». Al final no deja de ser una transformación de tecnología, una transformación en bits; es una transformación que se considera profunda (llega hasta la última persona de la organización y la sociedad), transversal (no hay sector que quede a salvo) y duradera (no es una moda, sino que ha venido para quedarse).

¿Por qué me apasiona la transformación? Si me abstraigo del concepto «digital», puedo decir que la tecnología permite la transformación empresarial, que a su vez permite una transformación económica, la cual no deja de ser una transformación de la sociedad en general, de las personas. Y eso me interesa: las personas, cómo nos transformamos, nos adaptamos y cambiamos.

Y ahora, en este libro, hablo de nuevo de transformación, en este caso aplicada a la energía. ¿Energía? ¿Por qué? ¿Qué me seduce de la energía? La verdad es que, después de haber estudiado el fenómeno digital durante años, pienso que la energía es el otro gran vector de futuro de transformación social en los próximos años. Incluso creo que ambos ámbitos están relacionados. De hecho, dependiendo de con quién hables, algunos consideran la transformación de la energía tan o más primordial que la digital. Y sería irrelevante polemizar sobre si es así o al revés, porque esto no es un partido de fútbol en el que se compita para ganar y demostrar la propia importancia. Ambos ámbitos son fundamentales, y todos podremos ver que las transformaciones digitales y las energéticas van a trabajar juntas en los años venideros.

La energía no son bits, son moléculas, átomos, que condicionan nuestra forma de vivir, de respirar, de comportarnos como ciudadanos e incluso de movernos. Estamos en una encrucijada

energética, y creo que es interesante estudiarla y contar las conclusiones. Este libro va de eso, de cómo la transformación tecnológica de la energía transforma los sectores, las empresas y, en definitiva, la sociedad entera. Porque la energía, como todo el mundo sabe, ni se crea ni se destruye, tan sólo se transforma. Entendamos cómo lo hace. ¿Verdad que es interesante?

\* \* \*

Este libro se divide en tres partes.

La primera parte está dedicada a plantear el enfoque del libro e introducir las piezas que lo componen. Es un punto de partida necesario para entender las demás piezas que conforman este trabajo.

En el capítulo 1 abordo la cuestión de que los seres humanos tenemos visiones parciales sobre los temas, especialmente cuando son complejos, como es el caso de la energía, y expongo cómo los números nos ayudan a combatir esa mirada sesgada de la realidad energética. Tras ello, explico que las cifras cobran sentido en la medida en que afectan a las personas, relación fácil de establecer cuando hablamos de energía, porque la energía condiciona nuestra manera de vivir. A continuación, expongo que no conozco manera más poderosa de estimular nuestro cerebro y de aprender que a través de las preguntas. Es un método de contrastada solvencia y con miles de años de antigüedad (se considera que su origen se remonta a Sócrates). Debido a que vengo utilizando esta técnica desde hace años, y con resultados positivos, la usaré también en este libro.

En el capítulo 2 hablaré de que la energía está en un cruce de caminos vital para la humanidad, y también de que las razones del profundo cambio actual (¡sorpresa!) no son las que yo

pensaba —sobre esto entraré en detalle en las dos partes siguientes del libro—. Seguidamente, ofrezco una breve descripción de los principales sesgos que a mi juicio adoptamos a la hora de entender el sector de la energía y que condicionan profundamente nuestra opinión al respecto del mismo.

En el capítulo 3 hablo de la enorme, gigantesca e incluso colosal complejidad del sistema energético, así como de por qué este libro no trata de explicarla.

Ante tal dificultad, en el capítulo 4 termino la primera parte del libro con unas ideas sencillas pero poderosas sobre el sector de la energía. Son pocas, y ayudan a ordenar conceptos transversales del sector energético. Acudiré a estas ideas a lo largo del libro, y, al tratarlas aquí, evito tener que explicarlas de manera dispersa durante toda la obra.

En la segunda parte expongo ciertas cuestiones importantes relacionadas con la energía. Así, en el capítulo 5 abordo las exigencias que conlleva una idea asumida por todos: disponer de un sistema energético que sea continuo y sólido. Esto me permitirá traer a colación un tema de tan candente actualidad como el de las baterías para almacenar energía a gran escala.

A continuación, en los capítulos 6 y 7 llega el momento de tratar las energías renovables, incluyendo los gases renovables y biogases, un tema del que se habla poco, especialmente si tenemos en cuenta la relevancia que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) tiene en el debate energético. Con esto llegaremos al capítulo 8, el último de la segunda parte, en el que analizaré el tema de la oportunidad de electrificar totalmente el sistema energético.

La tercera parte está dedicada a hablar sobre los actores alrededor de la energía, lo que me atrevo a bautizar como «tejido energético». En el capítulo 9 comienzo por explicar el progreso que las empresas energéticas han aportado a la sociedad en los últimos siglos, para después exponer cómo se ha ido transformando el tejido empresarial alrededor del sector energético.

Esto dará pie, en el capítulo 10, a hablar de los eslabones de una cadena compleja y extensa que permiten que una molécula de gas procedente, por ejemplo, de Oriente Próximo acabe calentando nuestra casa en Parla o en Bilbao. Me estoy refiriendo a las piezas de la cadena de valor energética, así como a los agentes de la matriz energética de los países. Esto, a su vez, me permite enlazar con un tema de candente actualidad para todos porque toca el bolsillo de cada uno de nosotros: los factores que condicionan el precio de la energía. Y he querido hablar de este tema estableciendo relaciones entre diferentes países.

El último capítulo del libro, el capítulo 11, está dedicado a la rentabilidad de la industria de la energía, que disfruta de grandes cifras en valores absolutos, pero que no son tan jugosas como aparentan si las ponemos en contexto.

Como se puede ver, a juzgar por los contenidos expuestos en cada una de sus partes, este libro no habla de la energía en general. No es un tratado de la energía, y mucho menos un libro blanco de la energía. Tampoco pretende ser un libro en contra de nadie ni a favor de nada. No va de sostenibilidad —aunque en algún momento del libro se toque este tema tangencialmente—, y todavía menos de cambio climático —aunque me atreva a hablar de emisiones en algunos casos—. Estas dos últimas cuestiones, si bien importantes, se escapan al objeto de este libro y, sobre todo, a mi capacidad.

Este libro pretende algo mucho más modesto, aunque también más estimulante; intenta, por medio de datos y con el máximo rigor posible, combatir de forma cercana y divulgativa algunas ideas estereotipadas que pienso que muchos tenemos alrededor de la energía, ideas así construidas debido a diferentes sesgos adoptados en su abordaje. Porque el mundo es muy complejo; y la cuestión energética también lo es.

Ya tenemos claro cuál es el terreno de juego de *Fact Energy*. Es fácil decirlo, pero difícil hacerlo.

Vamos allá.



PRIMERA PARTE

# **PUNTO DE PARTIDA**



## CAPÍTULO 1

### SOBRE SESGOS, NÚMEROS Y PERSONAS

Poco después de empezar a dar clases en la IESE Business School, hace muchos años, me propusieron ser director académico en programas «a medida», es decir, cursos específicamente diseñados para una determinada empresa. Mi primer trabajo en ese rol fue para una compañía francesa que fabrica yogures cuya marca empieza por «D» y acaba con «E», pero cuyo nombre no puedo desvelar por cuestiones de confidencialidad. El proyecto me hacía ilusión, ya que no dejaba de ser un reconocimiento para mí, pero, por encima de eso, lo que yo sentía era un terror paralizante.

Era una enorme responsabilidad y no quería fracasar en el empeño. En esos cursos debes enfrentarte a un grupo de profesionales muy bien preparados: hombres y mujeres que acumulan una gran experiencia profesional. Además, esos profesionales esperan que cada minuto que pasan en el aula, trabajando sobre materias que tú has diseñado como director académico, les aporten mucho valor. Quieren aprender cosas prácticas, de rabiosa actualidad, muy adaptadas a su realidad, y todo ello en poco tiempo, puesto que suelen ser programas muy concentrados. Ya

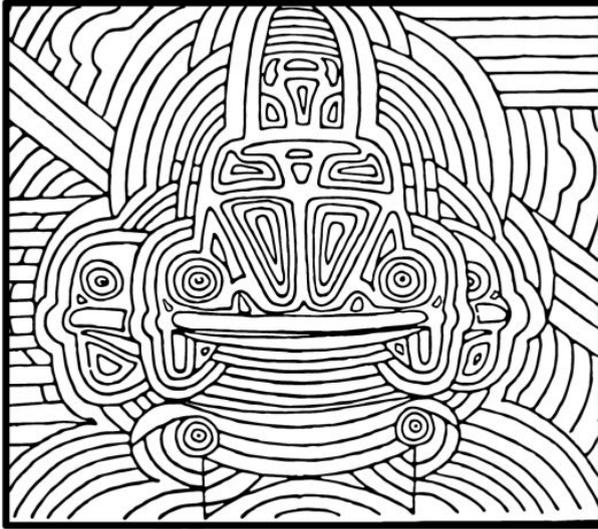
ven ustedes: una tarea «fácil» para un primerizo como lo era yo en aquel momento.

Y, como las cosas siempre pueden ir a peor, me explicaron que lo habitual era que el primer día, en la primera sesión, se desarrollase algún ejercicio con el grupo de participantes con la finalidad de romper el hielo entre ellos mismos y con el profesor (en este caso, yo). Esta labor, además, debía contribuir a abrir su mente de cara a aprovechar al máximo el programa. «¿¡Cómo!?, —les dije—. No soy experto en temas de comportamiento humano, me van a fundir vivo si entro en ese terreno». «Tranquilo —me respondieron—. Te ayudaremos. Otro profesor te enseñará cómo desarrollar una sesión de ese tipo». Así fue. Un miembro del claustro, con paciencia y amabilidad, me dedicó el tiempo necesario para que me desarrollara «con dignidad» en tal tarea (aunque mi ambición se limitaba a poder salir «vivo» del aula). Aún conservo las notas que tomé en aquella preparación.

Y llegó el día en que tuve que poner en práctica todo lo que el amable profesor me había explicado. Yo estaba nervioso, muy nervioso. No sólo era una nueva experiencia para mí, sino que, además, debía realizar esa sesión sobre una materia con la que no estaba cómodo.

La sesión inaugural constaba de varias partes. La que resultó especialmente reveladora, y por eso la traigo a colación, fue la que tenía que ver con el siguiente ejercicio. Les voy a pedir a ustedes (sí, sí, a usted, señora lectora o señor lector) que desarrollen una tarea para la cual van a necesitar lápiz y papel. Les voy a enseñar un dibujo (figura 1.1), y a continuación les voy a pedir que anoten todo lo que les viene a la cabeza después de verlo. Para ello limitaré el tiempo de visionado a, pongamos, diez segundos. Tras ese visionado, por favor, deberán dejar de mirar la imagen y se dedicarán a escribir lo que han visto sobre ella. Así que, allá vamos. Háganlo, por favor.

FIGURA 1.1



¿Qué han visto? ¿Una máscara indígena? ¿Una máscara indígena, quizá concretamente maya? ¿Una fuente? ¿Un coche? ¿Plantas exóticas? ¿Joyas incas? ¿Quizá un moño? ¿Un macetero? ¿Un sombrero? ¿Un jardín de estilo francés? ¿Un Volkswagen?, ¿de qué tipo?, ¿quizá un «Escarabajo»? Durante años he utilizado el mismo ejercicio con profesionales de todo tipo y condición. Y el resultado ha sido el mismo: una variedad amplísima de respuestas. La verdad es que, con el tiempo, he llegado a pasarlo bien proponiendo este juego, porque he comprobado que repetimos un patrón que se descubre al formular una nueva pregunta: ¿por qué, observando la misma imagen, en el mismo lugar y durante el mismo espacio de tiempo, cada uno de nosotros ha visto cosas distintas en ella? La respuesta es la siguiente: porque tenemos y desarrollamos sesgos basados en nuestras experiencias. Dicho con otras palabras, vemos lo que vemos en función de la historia de cada uno. Lo que quiere decir que cada uno de nosotros tiene sesgos. Todos los tenemos.

Una de las acepciones del término «sesgo»,<sup>1</sup> al fin y al cabo, es «torcido», y de ahí su uso en estadística para designar un error relacionado con la ausencia de un punto de vista neutral. Y es que, como personas, como sujetos, tenemos opiniones. No podemos ser completamente neutrales, porque, si lo fuéramos, seríamos objetos. Yo mismo puedo prometer ser sincero, pero no imparcial (me encantaría que esta frase fuera mía, pero pertenece al genio germánico Goethe). Nos encanta pensar que somos personas de mente abierta, pero realmente nos cuesta ser así.

Los sesgos han sido un terreno fértil para la investigación. Alguien que ha destacado especialmente en este campo ha sido el profesor (emérito ya) de la Universidad de Princeton Daniel Kahneman<sup>2</sup> (entre cuyos múltiples reconocimientos a lo largo de su vida destaca el Premio Nobel de Economía del año 2002).

Los sesgos nos influyen en la toma de decisiones en cualquier ámbito, tanto en los cotidianos como en los excepcionales; nos influyen, por ejemplo, en la compra en el supermercado, para determinar si alguien nos cae bien o si un político merece nuestro voto, y también cuando compramos una lavadora, cuando hacemos comparaciones de dos coches para saber cuál comprar o cuando analizamos multitud de factores para comprar una casa.

<sup>1</sup> En las páginas siguientes hablaré de los sesgos. Utilizo el concepto sesgo esencialmente restringido a los sesgos cognitivos, que son aquellos errores repetitivos o básicos en la forma de pensar, evaluar o recordar, o bien en otros procesos cognitivos. Las personas crean su propia «realidad social subjetiva» a partir de sus propias percepciones. Así, su visión del mundo puede dictar su comportamiento. Por lo tanto, los sesgos cognitivos a veces pueden conducir a una distorsión perceptiva, un juicio impreciso, una interpretación ilógica o lo que, en general, se llama «irracionalidad».

<sup>2</sup> El psicólogo israelí-estadounidense Daniel Kahneman (n. en 1934) publicó el libro *Thinking, fast and slow* en 2011 (versión castellana de Joaquín Chamorro Mielke, *Pensar rápido, pensar despacio*, Debate, Barcelona, 2012), que tuvo un impacto monumental. En él divulga el trabajo que realizó durante gran parte de su vida junto con Amos Tversky (aunque no sólo con él), alrededor de lo que se conoce como *behavioural economics* («economía conductual»).

En su libro *Pensar rápido, pensar despacio*, el profesor Kahneman habla de estos sesgos que afectan a nuestras decisiones, y plantea que dependen de lo que llama el «sistema 1» y el «sistema 2», que vendrían a ser algo así como dos tipos de cerebro, dos sistemas con los que éste trabaja:

- El sistema 1 opera de manera rápida, emocional y automática, con poco o ningún esfuerzo y sin sensación de control voluntario (actúa de forma instintiva, y no puedes desconectarlo). Ejemplos: nos hace mirar en la dirección de la fuente de un sonido repentino; conoce el resultado de  $2 + 2$ ; o completa el refrán «No por mucho madrugar...».
- El sistema 2, más lento, centra la atención en actividades mentales que exigen un esfuerzo considerable, incluidos los cálculos complejos. Ejemplos: contar las veces que sale la letra «a» en una página de texto o rellenar el impreso de la declaración de la renta.

Explicado de forma muy simplificada, lo que Kahneman viene a defender es que los dos sistemas están siempre en funcionamiento cuando estamos despiertos. El sistema 1 actúa en modo piloto automático en nuestro cerebro, por ejemplo, al hacer una tarea repetitiva sencilla (ir en bicicleta por una ruta llana, perfectamente pavimentada y bien conocida no exige pensar demasiado en que uno va conduciendo una bicicleta). El sistema 2, a su vez, está normalmente en «modo de mínimo esfuerzo», recibiendo sugerencias del sistema 1, propuestas que acepta la mayor parte del tiempo. Por lo general, el sistema 1, cuando encuentra una dificultad (cuando he de multiplicar  $35 \times 7$  o he de adelantar un camión en una carretera muy estrecha y con curvas), llama al sistema 2 para que éste analice con detenimiento la situación.

La división del trabajo entre ambos sistemas es muy eficiente, como sostiene el profesor Kahneman, porque minimiza el esfuerzo

y optimiza la ejecución. El problema se produce cuando nos damos cuenta de que en el sistema 1 hay sesgos, errores sistemáticos que nos afectan poderosamente en la toma de decisiones.

La conclusión de todo ello es sencilla pero impactante: cada día tomamos multitud de decisiones que no son racionales, porque las tomamos bajo la influencia de ciertos sesgos. Si reflexionáramos detenidamente sobre tales decisiones, tomaríamos otras diferentes y actuaríamos de formas distintas. Para eso hay que tener la disciplina de dominar al sistema 1 con el sistema 2. Es habitual que el sistema 1 domine al sistema 2, y normalmente no tiene nada de malo que sea así. El problema se produce cuando hemos de abordar cuestiones complejas, porque entonces hemos de controlar al sistema 1 (pararlo) y utilizar ampliamente el sistema 2. Y eso cuesta, y mucho.

Déjeme poner un ejemplo para que entendamos cómo funcionan los dos sistemas.

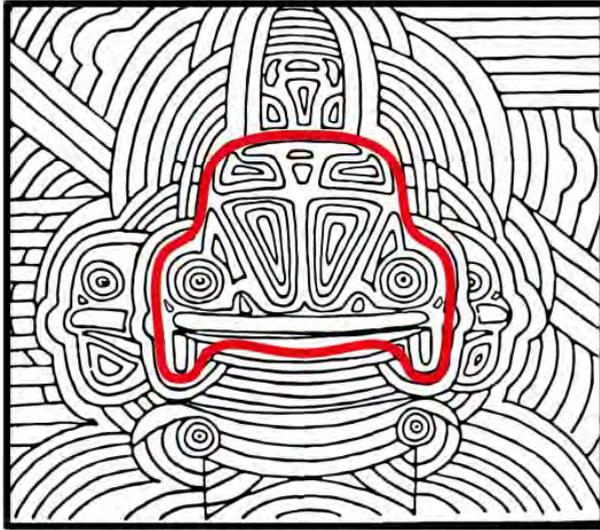
Voy a formular una pregunta, y les voy a pedir que respondan de forma ágil con lo primero que les venga a la mente una vez leída. Ahí va la cuestión: «El padre de Emily tiene tres hijas. Las dos primeras se llaman Abril y Mayo. ¿Cómo se llama la tercera?». ¿Alguien respondió «Junio»? Esa es la respuesta intuitiva que muchas personas dan (es la reacción del sistema 1 en su más pura esencia), pero la respuesta correcta es, por supuesto, «Emily».

Yo estoy bastante de acuerdo con la tesis del profesor Kahneman (¡como para contradecir a un Nobel!).<sup>3</sup> Lo comprobé con el ejercicio del dibujo abstracto que he comentado antes (el de la figura 1.1). Porque, si yo ahora les dijera que lo que se ve es un Volkswagen «Escarabajo» (véase la figura 1.2) y a continuación les ordenara que

<sup>3</sup> Además de Kahneman, el economista Robert J. Shiller recibió el Premio Nobel de Economía en 2013 «por su análisis empírico de los precios de los activos» (dentro del campo de las finanzas conductuales). En 2017, el economista Richard Thaler recibió el Premio Nobel de Economía por «sus contribuciones a la economía del comportamiento y por su trabajo pionero en establecer que las personas son previsiblemente irracionales en formas que desafían la teoría económica».

dejaran de verlo, ¿podrían hacerlo? No. Porque les he inducido a aplicar un sesgo. Y ahora sólo ven un Volkswagen «Escarabajo».

FIGURA 1.2



Es lo mismo que nos pasa cuando esperamos un hijo. De repente, sólo vemos embarazadas por la calle, detectamos noticias de embarazos, nos parece que en el metro todo el mundo habla de embarazos...<sup>4</sup> O cuando nos compramos esas exclusivas zapatillas deportivas que anhelábamos desde hace tiempo de la marca que empieza por «N» y acaba por «E», y que, para evitar hacer publicidad, no nombraré (aunque su cerebro, utilizando el sistema 1, no ha podido resistirse a rellenar las letras que hay entre esa «N» y esa «E»). De repente, parece que todo el mundo en su ciudad lleva esas zapatillas. Esto pasa porque, sin darse cuenta, uno busca información para confirmar una opinión parcial. Eso son sesgos.

<sup>4</sup> Este comportamiento recibe el nombre de «sesgo de selección».

Y aquí es donde me gustaría invitar a la conversación a los números. Las cifras ayudan a evitar o corregir sesgos. Los números son una de las materias primas para el sistema 2, que es el que podríamos llamar el empollón de la clase..., ése que trabaja más, ése que nos exige decir: «Mmm, espera, déjame pensarlo». Y que después nos permite decir: «¡EUREKA! Ahora lo he entendido». Sin embargo, entremedias uno ha necesitado sudar tinta china hasta captar la solución al problema. Debo reconocer que a mí los números me resultan odiosos. Soy licenciado en derecho, y he tenido que luchar constantemente con las cifras en la vida corporativa (aclaración: sí, soy abogado, pero buena persona). Para otros, por ejemplo los ingenieros, los números son maravillosos porque les hablan, les dicen cosas (mi hermano es ingeniero de caminos; nadie es perfecto, y le queremos igual). Cuando entiendes los números es genial, porque eliminan ciertos sesgos que podemos haber tenido al analizar una situación. Los números te ayudan a combatir las limitaciones que como seres humanos tenemos, porque contextualizan. Siempre que uno le dedique tiempo y energía a entenderlos. Fácil de decir, difícil de hacer.

A lo largo de mi vida profesional, he intentado que los números sean una seña de identidad en mi trabajo. Y este libro no es una excepción. Como en otros publicados en el pasado, aportaré cifras para dotar de rigor a un trabajo de divulgación, en este caso sobre la energía. Porque no es posible tener un debate serio alrededor de este tema (y de cualquier otro) sin aportar datos. Pero sólo con números tampoco lo es, porque la energía es un tema complejo que exige compaginar aspectos cualitativos y también cuantitativos. Así que, esperen números, datos, gráficos, análisis... A partir de ahí, daré mi opinión. Los datos pretenden dotar de objetividad al trabajo. Mi opinión, lo quiera o no, es lo contrario, es subjetiva. Porque, como dijo el matemático sueco Andrejs Dunkels: «Es fácil mentir con estadísticas. Es difícil decir la verdad sin ellas». Sobre esa fina línea he construido mi trabajo en los últimos quince años.

Los datos que emplearé en este libro provienen, en su mayor parte, de los casos de fuentes de contrastada solvencia del sector de la energía (agencias públicas u organismos internacionales, entre otros) o relacionados con él (como, por ejemplo, auditores y bancos de inversión con una intensa actividad en el ámbito de la energía). El alcance geográfico que utilizaré queda limitado a la información que he encontrado en esas mismas fuentes, así que en ocasiones es española, en otras, europea, y en otras tiene un alcance global. A veces compartiré ciertos análisis sobre la información encontrada. En estos casos, para aquellos que tengan curiosidad, al final del libro podrán encontrar información adicional utilizada para llegar a los resultados que comparto.

Quiero dejar clara, por si el lector o la lectora no lo ha percibido aún con claridad, mi aversión hacia los números. Y tal antipatía se debe esencialmente a dos motivos: el primero, porque los números no son perfectos; y el segundo, porque los números, además, son fríos.

En cuanto al primer motivo, la imperfección de las cifras estriba, entre otras cosas, en que son maleables. Una cita imbatible a este respecto corresponde a otro premio Nobel, en este caso de literatura, sir Winston Churchill: «Sólo creo en las estadísticas que yo, personalmente, he manipulado». Brillante. Con esto quiero decir que en este libro trato de aportar la máxima objetividad y el máximo rigor, que no dejarán de ser los míos. No pretendo tener razón, sino dar una versión, la mía, utilizando datos. Ténganlo presente, por favor. Yo también tengo sesgos.

En cuanto al segundo motivo, los números son aburridos, sosos, no interesan, son distantes y fríos... Pero su temperatura cambia en la medida que hablan de personas. Cómo esos números afectan y transforman la vida de las personas, para mí sí es interesante. Establecer un vínculo entre números y personas es relativamente sencillo cuando hablamos de energía, porque ésta afecta a la vida de las personas constantemente. Ya sea cuando hablamos del

precio de la energía, de emisiones de CO<sub>2</sub> o de la posibilidad de electrificar todo el sistema de suministro energético en un país, todas estas cuestiones están relacionadas con los individuos. Ahí, las cifras se vuelven cálidas. Y aquí es donde llega el tercer invitado de este capítulo, en el que hablo de sesgos y de números, pero también de personas.

Me gustaría utilizar el enfoque de las personas para hablar de energía. Porque la energía interesa en la medida en que está asociada a las personas. Por ejemplo, los kilovatios hora (kWh) son impersonales, grises o, peor aún, insípidos. Pero, si en lugar de pensar en kWh «traducimos» y pensamos en «familias que pueden disfrutar de una casa adecuadamente acondicionada térmicamente», como la suya o la mía, creo que lo entendemos mejor. A mis hijas Gabriela y Adriana, de doce y nueve años, respectivamente, les encanta, por ejemplo, desayunar descalzas —muy a mi pesar, por cierto—. Tal cosa sería imposible, especialmente en invierno, si no fuera porque disfrutamos de una calefacción formidable. Para mí, los números cobran sentido en la medida en la que comprendemos que éstos afectan a personas como usted y como yo. El reto, para mí, ha sido encontrar historias, anécdotas y situaciones en las que las personas son el centro de atención y la energía es lo accesorio.

Bienvenidos a *Fact Energy*.

Me interesa abordar la energía en la intersección de esos tres temas, como reza el título de este capítulo: sesgos, números y personas. O ahora que lo pienso mejor: personas primero, porque tienen sesgos y, por tanto, construyen mitos, los cuales pueden rebatirse por medio de números.

Aunque enseguida hablaré de los sesgos más comunes que tenemos al abordar el sector de la energía, antes conviene que cuente una pequeña historia personal.

Lo recuerdo como si fuera ayer. Imaginen la estampa. Sentado en clase junto con otros veintitantos niños y niñas. Todos en el

colegio. Yo, feliz, en mi pequeño mundo; mientras, de fondo, el profesor Herr Bohlinger impartía clase. De repente escuchaba mi nombre: «¡PABLO!». Así, sin avisar. ¡ZAS! A traición, diría incluso. No sólo te llamaba aunque no hubieras levantado la mano, sino que lo hacía sin que ni siquiera hubieras mostrado el más mínimo interés por participar.<sup>5</sup>

Treinta y cinco años más tarde... Sala repleta de directivas y ejecutivos de multinacionales de gran consumo. Sala abarrotada de dueños de ferreterías. Sala con respetables jubilados. Sala con un grupo de presidentes de empresas farmacéuticas... Da igual cuál sea el público. Ahora soy yo el que pregunta. Y la verdad es que me encanta hacerlo. Es genial no ser el que recibe la pregunta, sino el que la plantea. La diferencia respecto a mi etapa escolar es que, por aquello de no incomodar, yo no obligo a nadie en particular a hablar si no lo desea. Lo que utilizo más habitualmente son cuestionarios tipo test. Ya saben, esos en los que hay que «votar» obligatoriamente por una o más opciones de entre un grupo cerrado de ellas, del que elimino intencionadamente el «no sabe/no contesta» (si el mundo se polariza, mis preguntas también).

Normalmente, les pido votar a mano alzada para que se comprometan públicamente con su decisión. Cuando lo haces así, es decir, si además de tomar una postura la compartes abiertamente, acostumbras a escuchar con más atención las explicaciones que confirman o rebaten los argumentos que te han llevado a optar por una u otra respuesta. Pero no perdamos el foco, la clave está en preguntar en primer lugar, sea como sea. Con ello disparamos las neuronas de nuestra audiencia. Les damos un estímulo que les hace pensar. A continuación, el objetivo es exponer la respuesta correcta y explicar las razones que hacen que sea correcta, el camino que se sigue para dar con ella.

<sup>5</sup> Años más tarde descubrí que esta técnica ha recibido un nombre en inglés: *cold call* («llamada en frío»).

Los seres humanos no somos estúpidos. Cuando formulas preguntas y la gente responde de forma honesta pero equivocada, a continuación, normalmente, esas personas tienen un interés genuino en saber por qué están equivocadas. Lo he comprobado a lo largo de toda mi vida académica y profesional. No queremos permanecer en la ignorancia por el gusto de estar equivocados. Más bien al contrario. El test, formulado de manera amable, incrementa el interés de la gente por comprender los argumentos que hay detrás de la respuesta correcta y, como consecuencia de ello, por lograr una plena comprensión del asunto tratado.

Así que abordar un tema desde preguntas sobre las que muchas veces no tenemos respuesta o la tenemos equivocada porque tenemos prejuicios es algo muy muy poderoso, ya que nos predispone a aprender. Aunque ustedes y yo no estemos juntos en un aula, una sala o un anfiteatro, pueden tener presente que les interpelaré en este libro. ¿Me permitirán formularles preguntas? Será un recurso que utilizaré ampliamente a lo largo del libro. Como si ustedes y yo estuviéramos conversando amistosamente en una cafetería.

## CAPÍTULO 2

### LA ENCRUCIJADA DE LA ENERGÍA: SESGOS Y MITOS

El origen de este libro parte de mi fascinación por el concepto «transformación». Me interesan los fenómenos que conllevan cambios profundos. Mi interés por comprender cómo el desarrollo digital ha impactado en la vida de las personas, de los profesionales o de los negocios se remonta varios lustros atrás. He dedicado miles de horas a su estudio. Esto me ha permitido publicar decenas de artículos en todo tipo de medios (revistas de management, medios económicos, periódicos generalistas, revistas especializadas sectoriales, etcétera), impartir conferencias por medio mundo, participar en mesas redondas en congresos y convenciones e incluso atender entrevistas para la televisión o la radio. Me interesa el tema hasta el punto de que me he animado a escribir algún libro sobre la materia.<sup>6</sup>

En los últimos años he detectado que existe un cierto consenso al respecto de que la transformación que está viviendo la energía es, sin duda, otro gran tema (¿quizá EL TEMA?) de interés para la

<sup>6</sup> *Winners: el método para ganar clientes en la era de Amazon* (Deusto, 2019), con varias ediciones en los primeros meses desde su lanzamiento, es la obra de la que me siento más satisfecho. Los beneficios se destinan a la Fundación Exit, que colabora con jóvenes en riesgo de vulnerabilidad social.

humanidad. Estoy de acuerdo. Es un asunto de vital importancia y muy muy interesante. El mundo de la energía se encuentra en un cruce de caminos definitivo y, me atrevería a decir, sin retorno. Por un lado, necesitamos energía; y necesitamos cada vez más, porque la población mundial no ha parado de crecer, y con ello ha aumentado la demanda energética. Por el otro, debe ser una energía que tiene que casar dos cuestiones que no son fáciles de unir: la primera es que no afecte al medioambiente, que no se cargue el planeta en el que vivimos; y la segunda es que debe ser una energía viable económicamente, con la tecnología disponible en la actualidad. Ahí es nada. Doble salto mortal con triple tirabuzón.

Quizá por ello esté de moda hablar de energía. Es moderno. La energía tiene un lado sexi, incluso amable (energías renovables, progreso de la humanidad, mejoras sociales, etcétera). El tema interesa porque, si lo pensamos por un momento, nos va mucho en ello:

- tanto como sociedad en su conjunto (cómo vivimos la energía de la que disponemos o cómo nos puede facilitar nuestro día a día, por ejemplo),
- como en lo que se refiere a nuestra economía (la de cada uno de nosotros, porque la energía condiciona nuestra economía, y la de nuestro país, porque una y otra están indisolublemente asociadas),
- y también desde un punto de vista medioambiental (esta última es la «tercera cara» de la misma moneda).

Esta debe ser la razón por la que los medios no paran de informar sobre el sector de la energía: el cambio climático y los negacionistas del mismo, el CO<sub>2</sub>, el sector energético, la sostenibilidad, la eficiencia energética, las energéticas, las tecnologías energéticas, los medioambientalistas, etcétera.

El punto de vista que hace más interesante la energía, al menos para mí, es que se está transformando y que esta transformación

afecta a las personas. Se han vertido ríos de tinta para escribir sobre la extraordinaria evolución que están viviendo las energías renovables (hay centenares y hasta miles de publicaciones de todo tipo sobre este asunto). Al hilo de esto, todos seguimos con interés el gran avance que supuso, debido a la transformación que conllevaría, el Protocolo de Kioto (adoptado en 1997 pero que no entró en vigor hasta 2005), un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Y en Europa, también es importante el Green Deal, o Pacto Verde, que consiste en un conjunto de políticas que afectan a los países bajo el amparo de la Unión Europea y que persigue, para el año 2050, convertir nuestra región en una zona libre de emisiones netas de efecto invernadero, lo que sin duda implicará transformaciones de gran calado. Por no hablar del Acuerdo de París, un compromiso adoptado en el seno de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en la edición número 21 de la Conferencia de las Partes) en 2015,<sup>7</sup> y que establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Su aplicabilidad es desde el año 2021, tras finalizar la vigencia del segundo período del Protocolo de Kioto el 31 de diciembre de 2020. Esto implica, entre otras cosas, que las energías renovables no van a parar de crecer gracias al desarrollo de la tecnología aplicada a la industria energética. Todo ello es increíble. Son magníficas noticias para la humanidad.

Lo que pasa es que cuando intentas comprender los elementos de esta transformación energética, lo sorprendente, al menos para mí después de dedicarle ingentes horas a estudiarla, es que no es la transformación que creía, por los motivos que creía ni a la velocidad que creía. No. Lo explicaré más detalladamente en la segunda parte del libro, sobre energía y energéticas.

<sup>7</sup> El Acuerdo de París se adoptó el 12 de diciembre de 2015, se abrió a la firma el 22 de abril de 2016 (durante un año), entró en vigor el 4 de noviembre de 2016 y es de aplicación desde 2021.

Que el mundo de la energía se esté transformando por motivos que no son los que uno esperaría es tremendamente interesante. Y hace que me cuestione ciertas ideas preconcebidas que tenía sobre la energía y que no dejan de ser un reflejo de los sesgos humanos de los que he hablado anteriormente. Todo ello agravado por la idea de que me considero un ciudadano bien informado (probablemente porque tengo otro sesgo más, el de creerse uno mejor de lo que realmente se es). Hablando informalmente con personas de mi entorno profesional (alumnos, colegas, conocidos) y personal (amistades y familiares varios), es decir, con un rigor anecdótico total, me atrevo a decir que comparto esos mismos sesgos con muchas otras personas. Como, probablemente, los comparten muchos de ustedes.

De hecho, durante el trabajo de preparación de este libro fue apareciendo ante mí un patrón que explicaba los filtros que tenemos los seres humanos cuando reflexionamos sobre el sector de la energía. De alguna manera, esos filtros configuran un cierto tipo de lentes que colocamos ante los ojos limitando nuestro campo de visión. Esto provoca que desarrollemos opiniones y comportamientos que no son del todo correctos.

Por esta razón, pensé que escribir el libro desde las limitaciones que tenemos como individuos a la hora de considerar el sector energético podía resultar de enorme utilidad, porque identificar un problema siempre es el primer paso para solucionarlo. Sin diagnóstico no hay tratamiento adecuado. Con ello, además, surgía, de manera natural, un hilo conductor para estructurar el libro, uno que era retador e interesante a la vez: divulgar conocimiento acerca de la utilidad (el valor) que la energía tiene para las personas, desde el mismo punto de vista y con los mismos ojos sesgados del que mira, puede resultar muy provocador y, a la vez, muy útil para refutar ciertas ideas preconcebidas acerca del sector de la energía.

Y es que todos estos sesgos, los filtros, el desconocimiento, las limitaciones que todos tenemos alrededor de la energía, etcétera,

acaban construyendo mitos. Y si la energía está en un cruce de caminos, los sesgos son los puentes que construyen la calzada hacia los mitos de la energía.

Reconozcámoslo, los mitos son geniales. Los humanos tenemos pasión por los mitos. Nos encantan. Pero hay mitos y mitos. Por ejemplo, Elvis Presley es un mito. Incluso una leyenda para quien le guste su música (no hemos de entrar aquí a juzgar su calidad musical). Pero hay otro tipo de mitos que debemos tomarnos más en serio. Los que pertenecen a la categoría de construcciones idealizadas, a partir de un hecho real, que se han elaborado en una sociedad. En otras palabras, hablo de los mitos entendidos como concepciones equivocadas de la realidad: errores de percepción, alteraciones en las verdaderas cualidades de una persona o una cosa que acaban dándole más valor del que tiene en realidad.

Hay que tratar de entender y estudiar los mitos, y, en la medida de lo posible, hay que encontrar puntos de vista para combatirlos y desmontarlos, para desmitificarlos (o al menos para intentarlo). Debemos buscar e identificar los mecanismos que nos permitan desencallar los resortes mentales (los sesgos) que impiden su comprensión como mitos. Y es que, como dice un compañero mío del IESE, el profesor Jorge González, en términos cognoscitivos, los seres humanos somos míseros. Nos cuesta ser más racionales de lo que somos. Estirando el concepto, podríamos decir que el sistema 1 vence al sistema 2, de los que hablamos en el capítulo 1. Pero los mitos tienen algo imbatible: nos hacen prestar atención. Aquí «hay» libro, porque donde hay mitos hay interés.

Pasemos ya a conocer tres de los sesgos más comunes que en mi opinión encontramos a la hora de entender el sector de la energía.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Me detengo aquí a hablar de ellos de forma agrupada y con algo de detalle, ya que a lo largo del libro me referiré a ellos con cierta frecuencia. De esta manera, evito tener que explicarlos de forma dispersa en cada uno de los capítulos.

## Limitaciones

En el mundo de la empresa se utiliza mucho el concepto de *best practice*. Consiste en analizar una situación de negocio que ha resultado exitosa con la intención de aprender con el ejemplo. Utilicemos, por ejemplo, el pósito (Post-it®), sin duda un producto que ha resultado ser una conquista para el «*Homo officinensis*». Supongo que conocerán su peculiar origen. Érase una vez la compañía 3M. Esta empresa buscaba un pegamento de alta capacidad que pudiera emplearse en la construcción de aviones. En su investigación, el químico Spencer F. Silver, director del laboratorio de 3M, dio con algo que no tenía previsto: un pegamento de calidad pero que al mismo tiempo era tan débil que permitía pegar dos hojas de papel y luego despegarlas sin que resultaran dañadas. ¡Qué gran descubrimiento! No servía para aviones, pero habían inventado el pósito. Fin.

Nos cuesta comprender lo complejo, y nos convencen las historias sencillas. Al ser las historias más concretas que abstractas, nos es fácil construir un relato que creemos cierto. Es genial tener la sensación de que comprendes algo. El momento «¡EUREKA!» es imbatible. Pensar que existe un motivo que, relacionado con otro, nos explica cuestiones muy complejas es algo que nos procura sensaciones intensas e incomparables. La capacidad que tenemos de inventarnos historias que permitan conectar causalmente dos sucesos aunque esa conexión no exista (o la debilidad que sentimos por hacerlo) es un rasgo habitual de los seres humanos. Es algo que está en nuestra biología, algo más fuerte que nosotros, algo que no podemos evitar.<sup>9</sup> Es decir, historias dudosas del pasado construyen nuestras opiniones sobre el mundo y lo que esperamos del futuro.

<sup>9</sup> Esta teoría se conoce como «falacia narrativa», y la formalizó Nassim Taleb, quien aborda el tema en su libro *El cisne negro: el impacto de lo altamente improbable* (edición ampliada y revisada, Paidós, 2011), publicado originalmente en 2007 (*The Black Swan*).

Porque, nos guste o no, el azar dictamina gran parte de nuestra vida. En la historia sobre 3M y el pósit, hemos ignorado decenas de detalles, como el precio, las dificultades de fabricación, la distribución, la capacidad de los vendedores de la empresa para convencer a los clientes de que era un producto útil... , en fin, multitud de cuestiones que, de conocerlas en detalle, nos harían tener una opinión distinta sobre cuáles fueron las razones que terminaron por construir el éxito del producto en cuestión.

Creo que esto pasa constantemente en el mundo de la energía. No por nada se trata de un tema muy muy complejo. La cuestión energética plantea decenas de elementos a considerar, muchos de los cuales son muy técnicos y farragosos. Y todos ellos deben ser tenidos en cuenta para entender la realidad. Es normal tener limitaciones cuando analizamos ciertos temas y situaciones complejas. En cuanto al tema de la energía, creamos razonamientos sencillos alrededor de ella porque eso nos ayuda a creer que entendemos la cuestión. Y ese proceder no es malo en sí mismo, aunque muchas veces nos lleva a elaborar opiniones equivocadas.

Un caso de tales limitaciones en el ámbito del sector energético sería el de creer que, si los coches eléctricos son viables hoy día, todas las demás actividades que consumen energía pueden ser electrificadas en la actualidad. En mi opinión, esas limitaciones son quizá aquello que más afecta al sector de la energía, y están presentes en la mayoría de las ideas preconcebidas.

## **Simplificaciones y/o generalizaciones**

Indudablemente relacionada con el sesgo de las limitaciones, los seres humanos tenemos una tendencia considerable a generalizar. Necesitamos crear categorías, etiquetas que sintetizen y cajas que clasifiquen todo el ruido que hay en el mundo exterior. Si no lo hiciéramos, estaríamos exhaustos y aturridos ante el alud de

información que recibimos cada día sobre diversos temas. A veces, esto resulta útil, pero en otras ocasiones provoca que percibamos la realidad de forma equivocada. Simplificar es genial, pero tiene sus riesgos. Especialmente cuando el tema es complejo, como lo es el de la energía. Un caso ilustrativo: clasificar energías en buenas y malas. Otro caso: pensar que un coche eléctrico, por el mero hecho de serlo, genera cero emisiones de CO<sub>2</sub>. Ambas ideas son sencillas, pero peligrosas. Es necesario ampliar la mirada para obtener una imagen completa de estas simplificaciones o generalizaciones.

Existen multitud de sesgos relacionados con este factor que restringe nuestra capacidad de comprensión de la realidad:

- *Sesgo de los estereotipos.* Hacer generalizaciones no es siempre negativo, ya que, si tenemos que tomar una decisión rápidamente, éstas nos permiten decidir de forma eficaz a partir de información imperfecta. El problema se produce si desarrollamos un prejuicio y no ajustamos nuestra opinión y conducta ante nuevas evidencias. Los enamorados sufren este problema cuando su pareja les deja de amar. Hay que ajustarse a las nuevas circunstancias.
- *Sesgo de confirmación.* Buscamos datos que confirmen nuestras creencias. Por ejemplo, lees aquel periódico cuya línea editorial coincide con lo que piensas.
- *Sesgo de retrospectiva.* Se refiere a la tendencia común de las personas a percibir eventos que ya ocurrieron como más predecibles de lo que realmente eran antes de que éstos ocurrieran. Es decir, todos somos muy buenos explicando el pasado, pero no tanto uniendo los puntos que nos dirán cómo es el futuro.

En la segunda parte del libro utilizaré estos dos sesgos, el de las limitaciones y, sobre todo, el de las simplificaciones/generalizaciones para explicar algunas ideas preconcebidas en el sector de la energía.

## Culpa

El tercer y último sesgo que trataré en el libro no es estrictamente un sesgo como tal, según la literatura académica que he consultado. Yo al menos no lo he encontrado. Proviene de un libro de Hans Rosling, *Factfulness*,<sup>10</sup> que ha resultado decisivo a la hora de dar forma a este libro.<sup>11</sup> En la cubierta de esa magnífica obra se puede leer: «Cómo los prejuicios y un mal uso de los datos condicionan la visión de los problemas del mundo». ¡GUAU! Ahí es nada.

El sueco Hans Rosling (1948-2017), médico y profesor de salud internacional en el Instituto Karolinska, poseía una capacidad divulgativa admirable. Recomiendo que busquen sus charlas TED, que cuentan con millones de visionados. No sólo son vibrantes, y con algunos momentos hilarantes, sino que, sobre todo, son una delicia para el conocimiento. El profesor Rosling, fallecido poco antes de terminar el libro, no habla de sesgos humanos. La tesis de su libro parte de que los humanos tenemos instintos «dramatizadores». En su libro habla de diez distintos, alguno de los cuales coinciden con sesgos cognitivos, y otros no. Me gustaría describir el de la culpa citando a Rosling, por la simplicidad de sus palabras:

El instinto de la culpa es el instinto de encontrar una razón clara y sencilla por la cual sucede algo malo. [...] Este instinto de encontrar una parte culpable da al traste con nuestra capacidad de construir una conciencia verdadera del mundo y basada en datos reales. Nos aparta de nuestro objetivo, ya que hace que nos obsesionemos por encontrar a alguien a quien culpar y, a continuación, bloquea nuestro aprendizaje, porque, una vez hemos decidido a quién hay que dar una bofetada, dejamos de buscar

<sup>10</sup> Hans Rosling, *Factfulness: diez razones por las que estamos equivocados sobre el mundo. Y por qué las cosas están mejor de lo que piensas*, Deusto, Barcelona, 2018.

<sup>11</sup> Debo confesar que este libro, *Fact Energy*, está inspirado en *Factfulness*, una obra sencillamente magistral.

explicaciones en otros lugares. [...] Para entender la mayoría de los problemas importantes del mundo tenemos que poner nuestra atención más allá de un individuo culpable y fijarnos en el sistema.

Esta tercera idea de sesgo, la culpa, está especialmente presente en el sector de la energía, asociada a los actores del sector energético. En la última parte del libro analizaré detalladamente este concepto.

En conclusión, sin ser *Fact Energy* un libro de psicología social, conviene no olvidar ninguno de estos factores limitantes o sesgos en nuestra manera de entender la realidad durante su lectura, ya que construyen los mitos que existen alrededor del sector de la energía. Porque, al tratar de entender la realidad, los seres humanos adoptamos sesgos que acaban por construir mitos.

## CAPÍTULO 3

### EL SISTEMA ES UN EMBROLLO

En la primera guerra mundial, un soldado ruso fue destinado a combatir en el frente alemán. Durante la batalla, entró en varias casas de una ciudad de Alemania. Con asombro, observó que en los techos había un cacharro que iluminaba las habitaciones; un cacharro llamado bombilla. Le pareció que era un invento genial. «¡Tener luz cuando se pone el sol!», pensó. Así que decidió coger una de esas bombillas y la guardó en su mochila con mucho cuidado, envuelta en trapos, como si fuera un tesoro. La guerra terminó y el soldado regresó a su hogar en Rusia. Al llegar le mostró a su familia el magnífico tesoro que había traído de Alemania. A continuación, les explicó a su mujer y a sus hijos que producía luz y que podía iluminar de forma cómoda la modesta habitación en la que se encontraban. Subido a una silla en su domicilio hizo un agujero en el techo y encajó en él la rosca de la bombilla. Pero la bombilla nunca funcionó, y nadie le creyó.

Para que una bombilla funcione se necesita que previamente se cumplan decenas de requisitos, quizá centenares de ellos. La bombilla misma es el resultado de multitud de inventos que hacen posible que, con las circunstancias adecuadas, pueda encenderse.

¿Por qué utilizo este ejemplo? Porque la energía es compleja. Mejor dicho, la energía conforma un sistema muy complicado y con infinitud de dimensiones. Por consiguiente, tratar de entender primero la energía para poder hablar después con propiedad del sector energético no es tarea fácil. Cada cuestión que le atañe encierra todo tipo de matices, posibilidades, advertencias y consideraciones a tener en cuenta. Durante la elaboración de este libro, en el trabajo de documentación, he podido comprobar que por cada informe, noticia o análisis, existen otros tantos que completan, matizan o incluso contradicen lo que señalan aquellos. Al escribirlo, he tenido la sensación de que, cuanto más radical es un estudio a favor de una tesis, más extrema se vuelve la respuesta a ese estudio con otro que dice lo contrario. Así que, por favor, ténganlo presente durante la lectura, porque, en general, nadie está en posesión de la verdad. Yo tampoco. Al investigar el sector de la energía, he aprendido que, como en tantos otros ámbitos donde se abordan temas importantes (y ya sabemos que la importancia es relativa, ya que para unos es importante la política o la religión, y para otros lo es el fútbol, los toros o la fidelidad conyugal), las posiciones tajantes llevan a respuestas intransigentes. Probablemente, en la mayoría de los temas que abordaré, la «escala de grises» —como se suele decir de forma cursi— es amplia. Muchos temas no son blancos o negros; y, si lo son, entonces es su solución la que no es blanca o negra; y, si lo es, no lo es tanto el horizonte temporal con el que puede aplicarse tal solución.

Para hacer todo esto aún más complicado, el sector de la energía se encuentra en permanente evolución, es móvil, lo que provoca que el futuro sea muy abierto. La tecnología que hoy día se aplica a la energía está abriendo alternativas fabulosas e impensables hasta hace poco. Se extrae energía de todo tipo de fuentes, como, por ejemplo, del mar, por medio de las corrientes marinas y de las mareas. Hay varias estaciones instaladas ya de estos tipos de fuentes. En el caso de la energía de mareas, las dos más potentes,

una en Francia y otra en Corea, tienen unos 250 MW de potencia. No está nada mal, es una cuarta parte de la potencia instalada en un reactor nuclear como los que tenemos en España.

He llegado a leer que incluso se extrae energía del calor humano, sí, de usted y de mí. Algunas ciudades, como París o Estocolmo, están experimentando con la utilización del «calor atrapado» que hay en el metro o en centros comerciales para calentar casas.<sup>12</sup>

Ya veremos adónde nos lleva cada posible tecnología, pero no me negarán que es emocionante, ¿verdad?<sup>13</sup>

Además, existen enfoques de análisis de la energía que van más allá de lo puramente técnico relacionado con la ingeniería y que se adentran en otras disciplinas, como la economía (cómo financiar según qué iniciativas, con qué retornos, en qué horizontes temporales, etcétera), la sociología y, por qué no, la ciencia medioambiental.

Tratando de ser esquemático, si analizas el sector de la energía, pronto te das cuenta de que existen varios niveles de complejidad, y que al combinarlos ofrecen numerosos escenarios posibles. Obviamente, la categorización que sugiero no es exhaustiva y está abierta a discusión. Veamos algunos ejemplos.

En primer lugar, nos encontramos con agentes o grupos de interés que orbitan en torno a la energía. Aquí podemos mencionar algunos, como, por ejemplo, políticos, medioambientalistas, particulares, empresarios del sector energético, patronales, organismos reguladores, científicos, inversores, medios de comunicación, asociaciones, inventores y organismos supranacionales.

En segundo lugar, cualquiera de estos agentes puede tener su propio punto de vista, o enfoque, desde el que abordar el análisis y su posterior discurso alrededor del sector de la energía:

<sup>12</sup> Gavin Phillips, «10 unbelievable new ways of generating electricity», MakeUseOf (MUO), 30 de noviembre de 2020.

<sup>13</sup> Véase el anexo A para conocer mejor algunas de las fuentes energéticas que existen en la actualidad.

1. Social (foco en los individuos, en determinados colectivos o en la sociedad en su conjunto).
2. Económico (foco en aspectos financieros, de inversión o de viabilidad económica).
3. Medioambiental (foco en cuestiones ecológicas y de sostenibilidad).
4. Tecnológico (foco en el desarrollo técnico y tecnológico).
5. Otros.

En tercer lugar, también debemos tener en cuenta el alcance del análisis: ¿se centra en un tipo de energía (nuclear, solar, hidráulica, etcétera)?, ¿se limita a una industria energética específica?, ¿se refiere a la industria de la energía en general?, ¿los incluye a todos desde la perspectiva de la sostenibilidad?

Por último, cada uno de estos grupos de interés puede desarrollar su actividad en ámbitos territoriales muy distintos: local, autonómico, nacional, plurinacional o mundial.

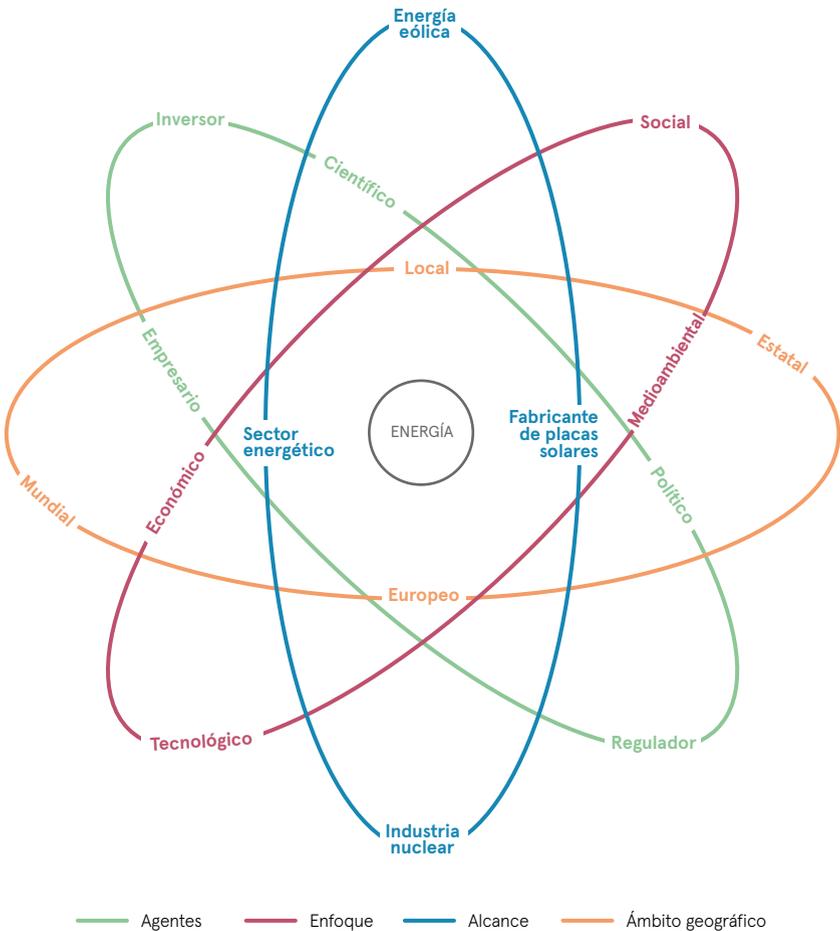
En la figura 3.1 encontramos una representación esquemática de la complejidad del sector de la energía.

Vamos a poner un par de ejemplos tratando de combinar los cuatro niveles (u «órbitas») de complejidad de las que hablo:

- Para tomar una decisión de inversión basándose en unos criterios determinados (energía accesible para un colectivo amplio de la población), un inversor (órbita verde) puede analizar desde un punto de vista social (órbita roja) una cesta de acciones de empresas energéticas (órbita azul) de un país concreto (órbita amarilla), por ejemplo España.
- Un medioambientalista (órbita verde) puede desarrollar un análisis de la viabilidad tecnológica (órbita roja) de una determinada energía (órbita azul), por ejemplo la solar, para su región (órbita amarilla).

No es necesario que siga. Ya ven, las opciones que se abren, de nuevo, son infinitas. Abordar de forma integral en un libro todas las dimensiones existentes alrededor de la energía es un jaleo del que es casi imposible salir indemne. Yo al menos no me veo capaz de abordarlo. No estoy preparado para ello, ni de lejos. Ni el alcance del trabajo que ofrezco en este libro ni (todavía menos) mi capacidad neuronal me permiten abordar el sector de la energía desde

FIGURA 3.1



una perspectiva tan holística, tan integral. Me consuelo pensando que cuatro premios Nobel juntos (Economía, Paz, Medicina y Literatura) lo pasarían mal intentándolo (y ellos sí lo conseguirían, aunque no sé cuánto tiempo les llevaría).

En conclusión, la energía forma parte de un sistema muy muy complejo, tanto que en este libro no vamos a intentar explicarlo. Ni podemos ni debemos hacerlo. Sería otro libro. Y no quiero eso. Me gustaría que este libro fuera recibido como un texto divulgativo, riguroso (con datos) y de candente actualidad, que arroje luz sobre temas de interés que pueden estar afectados por los diversos prejuicios generados alrededor de la energía hoy, y que nos alcanzan a ustedes y a mí.

Así que no esperen encontrar en esta obra un libro blanco de la energía o un tratado sobre la cuestión energética que sea capaz de abordar los niveles de la figura 3.1 de forma interconectada y sistemática. Antes de entrar en la segunda parte del libro, me ha parecido importante dejar claro este enfoque. Para mí, es suficiente saber que comparto con el lector la idea de que la energía es un bien esencial de la sociedad que tiene implicaciones muy profundas en un montón de temas que se recogen (modestamente) en esa figura 3.1.

## CAPÍTULO 4

### ALGUNAS IDEAS SENCILLAS PERO PODEROSAS

¿Han visto el documental de Al Gore? Se titula *Una verdad incómoda* (2006). Para ser un documental, está hecho al más puro estilo Hollywood (le concedieron dos premios Oscar, uno por mejor documental y otro por mejor canción original, además de un Grammy con el audiolibro). Entretenido, dinámico, cercano y personal, con algún que otro giro, aborda de manera trascendente y con toques de humor (se presenta en los primeros instantes del documental diciendo: «Soy Al Gore, solía ser el próximo presidente de Estados Unidos de América») los problemas que provoca el cambio climático. Es una labor a la que el exvicepresidente de Estados Unidos dedica una parte de su energía desde que perdió las elecciones contra George W. Bush. Incluso se atrevió con una segunda parte, *Una verdad muy incómoda: ahora o nunca* (2017), donde continúa la divulgación sobre este vital e indiscutible problema para la humanidad. Este documental también es un trabajo magnífico. Continúa sensibilizando al mundo, y es que, como ven, según Gore, tenemos varias «verdades inconfesables».<sup>14</sup>

<sup>14</sup> En 2013, Al Gore y su socio Joel Hyatt vendieron su cadena de televisión por cable Current TV a Al Jazeera, cadena fundada en 1996 por el gobierno de Catar, emirato cuyos ingresos provienen en casi un 70% de combustibles fósiles (principalmente del

Creo que en el mundo de la energía existen también otras verdades; unas que no son para nada incómodas. Son unas pocas ideas sobre el sector de la energía que querría agrupar en este capítulo. Bien explicadas (a ver si lo consigo), permiten, dando un paso atrás, avanzar más rápidamente en el resto del libro. Se trata de conceptos que, ahora que les he dicho que no voy a hablar del sistema en detalle, afectan de lleno al sector energético. Por eso me parece importante abordarlos en el inicio del libro. Espero que, lejos de parecer controvertidos, arrojen luz sobre este mundo tan complicado que es la energía. Para mí, son ideas sencillas pero poderosas.

## **Primera idea: energía disponible siempre**

Cuando era pequeño, en mi colegio adquirí cierta fama por romperme varios huesos del cuerpo, además de abrimme la cabeza, las cejas y otras partes de mi anatomía. Era tan habitual que llegó un momento en el que se convirtió en rutina lo que sucedía inmediatamente después de padecer algún percance, una rutina que duraba unas cuatro horas. Lo primero (condición necesaria) era sufrir un accidente (por ejemplo, fractura del radio). A continuación, normalmente acompañado de una turba de niños a mi alrededor, había que notificar la situación a la responsable del patio (una mujer a la que guardo un especial cariño, la señora Rosa). Ella realizaba una leve evaluación, tras lo cual determinaba si era necesario acudir a un centro médico (el colegio tenía un seguro con una mutua que en aquella época se llamaba Labor). Si era

---

petróleo y del gas natural). Las cifras exactas de la venta no fueron reveladas, pero se estima que el expolítico estadounidense ganó con la operación unos cien millones de dólares (según la revista *Forbes*). El revuelo que causó esta venta fue notable, debido a la contradicción aparente que existe entre los documentales medioambientalistas de Al Gore y el origen de la empresa a la que vendió su compañía. (Hoy, Al Jazeera está financiada mayoritariamente por miembros de la familia Al Thani, que gobierna el emirato petrolero de Catar, y sólo un 10% pertenece al gobierno catari.)

necesario, un miembro adulto del colegio me acompañaba en un taxi hasta el lugar en el que podía ser diagnosticado correctamente. Cuando llegaba, atendiendo a la gravedad de la situación, se me permitía colarme y no tener que esperar como el resto de pacientes; y rápidamente me hacían una radiografía. Tras ello, un doctor o una doctora colocaba la lámina de poliéster en un panel luminoso para poder determinar el tipo de fractura (total o parcial) o fisura. La última fase consistía en ponerme un rígido vendaje, armazón que, por otro lado, yo iba a blandir en la escuela como símbolo de heroicidad (para mis padres, de estulticia) y sobre el que estaba deseando que mis amigos firmaran nada más regresar al colegio. Con esta última etapa (la rúbrica de mis colegas), terminaba toda la rutina.

De las cuatro horas que transcurrían desde que me rompía el brazo hasta que regresaba a clase, a mí me interesan sólo unos dos segundos para poder relacionar eso con la cuestión de la energía. Son los dos segundos que transcurren entre que alguien aprieta un botón y el aparato de rayos X es capaz de traspasar mi cuerpo para, a continuación, proyectar la imagen en un trozo de poliéster, que se revelará posteriormente (o que generará una imagen digital, si se hace con esa técnica). Y es que lo que llamaremos «primera idea sencilla pero poderosa», la de tener energía disponible siempre, de tan obvia, la olvidamos. A mí me costó darme cuenta.

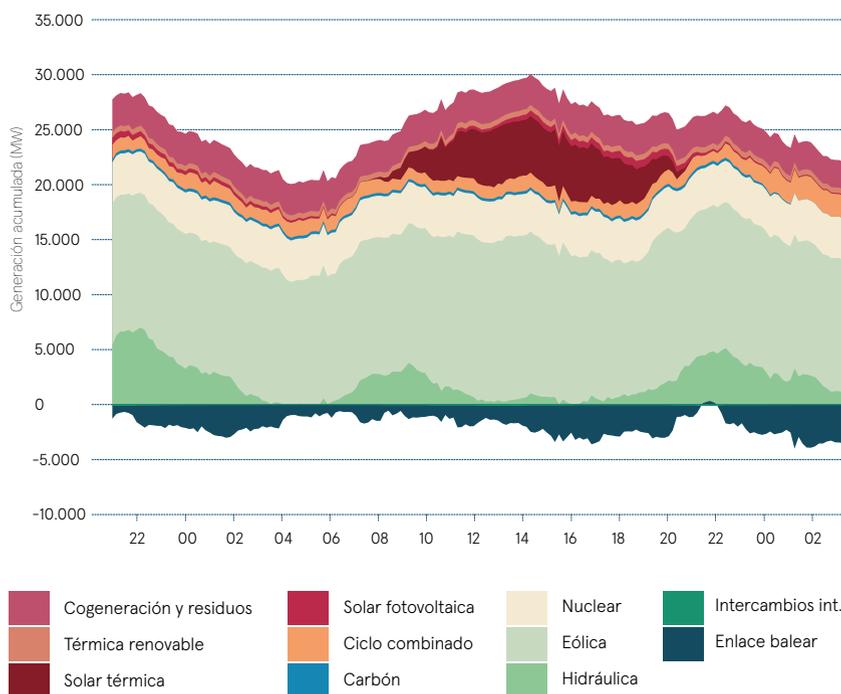
Necesitamos energía. Lleva siendo así desde hace miles y miles de años. De hecho, a medida que la hemos utilizado nos hemos ido haciendo dependientes de ella. Parte del progreso social está íntimamente relacionado con la energía. Desde esa óptica, hemos ido confiando en ella para continuar con nuestro avance. En la actualidad, la energía es tan ubicua, está tan presente en nuestras vidas, que ni nos damos cuenta de ella. Y aquí viene lo más importante, no sólo necesitamos energía, sino que necesitamos tener energía disponible «asegurada». No puede fallarnos. Cuando yo me rompía un brazo, por ejemplo, al llegar al hospital podrían haberme

dicho: «Vuelva usted mañana. Hoy no le podemos hacer una radiografía porque no hay luz, y, de poder hacerla, no podríamos observarla bien, porque los paneles luminosos tampoco funcionan». Si eso hubiera ocurrido, me temo que no tendría un recuerdo tan amable de lo sucedido (y la voz de mi padre, con su metro noventa centímetros y sus cien kilos, quizá se habría escuchado por los pasillos, y con un tono poco afable). Porque no hubieran podido determinar si se trataba de una fisura o de una fractura, ni valorar su gravedad, ni saber si era necesaria una intervención quirúrgica urgente o no. Subamos un nivel en la exigencia de disponer de inmediatez médica (al fin y al cabo una fractura no parece tan grave ¿verdad?), y pensemos en la atención sanitaria en los partos (como dato, en España, en 2019, hubo 359.770 nacimientos, una cifra que baja casi cada año desde 2008, cuando fue de casi 520.000). Imaginemos una parturienta que requiera de manera urgente (los niños no esperan) algún tipo de equipo de diagnóstico que necesite electricidad para funcionar, como, por ejemplo, un escáner. Todos ellos funcionan con energía. ¿Quién hablará con ella, mientras se retuerce de dolor, para decirle que espere a mañana, cuando quizá ya habrá energía? Y lo mismo sucede en muchos otros ámbitos, como cuando ponemos en marcha la calefacción de nuestra casa: confiamos en que habrá combustible para calentar nuestro hogar.

Esta idea tan básica, que dispongamos de energía —junto con que esté disponible cuando la necesitemos, donde la necesitemos y en la cantidad (mucho/poca) que la necesitemos—, resulta de vital importancia. Hoy día, nuestro país, simplificando mucho la explicación, se abastece de energía eléctrica procedente de varias fuentes: nuclear, combustibles fósiles (gas, fuel y carbón) y renovables (principalmente, eólica, hidráulica y solar). Es decir, nosotros (y la mayoría de los países) nos abastecemos de varias fuentes de energía, como se muestra en el gráfico 4.1.

Una fuente de energía importante para muchos países es la nuclear, porque constituye la «base» del sistema energético. Esta

## GRÁFICO 4.1 Seguimiento de la demanda de energía eléctrica



Fuente: Red Eléctrica de España (REE), 2020.

tecnología asegura mucha energía a un coste muy competitivo, lo cual es positivo; pero, por otro lado, esta fuente ofrece un aspecto negativo, y es que la energía nuclear se produce con mucha inercia. Las centrales nucleares son como locomotoras muy muy pesadas; les cuesta mucho arrancar, pero, una vez que cogen velocidad, son complejas de modular.<sup>15</sup> Es decir, una central de este tipo no puede «encenderse» y «apagarse» de manera ágil en función de la demanda energética (la demanda energética vendría a ser cuánta energía

<sup>15</sup> La producción de energía en las centrales nucleares puede detenerse en segundos y de forma totalmente segura si se da una situación que obligue a ello. Sin embargo, no están diseñadas para modular continuamente el volumen de energía que generan.

necesita un país, una región, una ciudad o usted y yo). Por eso aseguran la «base» del sistema y se las deja funcionar siempre a plena capacidad (o casi). Debido a las características que he mencionado, esa es la energía que «primero» se consume, es decir, es la energía de «base» (debo aclarar que, para que los sistemas eléctricos puedan funcionar y no se desestabilicen, la generación y la demanda deben estar equilibradas en todo momento).

En los últimos años estamos construyendo capacidad energética productiva («fábricas» de energía) en el campo de las renovables eólica y solar, con la ambición de ir reduciendo, por cuestiones medioambientales, la dependencia de otras fuentes de energía más contaminantes. Estas fuentes de energía, con un presente formidable y un futuro indiscutible, requieren de viento y sol para funcionar, respectivamente. También la energía hidráulica, generada gracias a los recursos hídricos (el agua), es muy útil (además de almacenable) por sus bondades medioambientales, si bien no hay grandes proyectos en construcción en este campo.<sup>16</sup>

Ya no quedan lugares útiles, con la tecnología (y el coste) actual, en los que aprovechar más el agua de nuestros ríos; además, más allá de la disponibilidad de emplazamientos adecuados, pesan sobre todo las barreras administrativas y medioambientales que tendría hoy la construcción de una nueva central hidroeléctrica de gran tamaño.

La generación de energía por medio de renovables ha dado resultados extraordinariamente alentadores, como son los casos de Alemania, que en 2018 pudo abastecerse durante unas horas sólo con energía proveniente de esas fuentes, y de Dinamarca, que en 2015 hizo lo mismo durante un día.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> En España hay algunos proyectos de envergadura en el campo de las centrales hidroeléctricas de bombeo, pero desde hace años no se han construido grandes pantanos con fines hidráulicos.

<sup>17</sup> Véase: Joaquim Elcacho, «Las renovables producen el 100% de la electricidad de Alemania, por unas horas», *La Vanguardia*, 3 de mayo de 2018 (actualizado *online* el 4 de mayo de 2018); y Arthur Neslen, «Wind power generates 140% of Denmark's electricity demand», *The Guardian*, 10 de julio de 2015.

Al conectar la idea de necesitar energía segura y estable con las energías renovables eólica, solar e hidráulica, principalmente —y si tenemos en cuenta el aumento del protagonismo que están adquiriendo las dos primeras en cuanto a su capacidad productiva dentro del «mix energético»—,<sup>18</sup> debemos tener muy presente la siguiente cuestión: ¿qué pasa si (dejando a un lado el agua por un momento) no hay viento y sol suficientes (con continuidad e intensidad necesaria) para poder mantener el sistema en marcha?, ¿podría asumir esta situación la población de un país? Porque, retomando el ejemplo anterior sobre los logros de alemanes y daneses, ¿qué han hecho éstos los otros 364 días del año? En definitiva, ¿qué consecuencias tiene vivir con la incertidumbre de si habrá electricidad o no? Porque todos sabemos que la intermitencia es inherente a la naturaleza de las fuentes renovables (el viento y el sol, además del agua, son, como usted y yo, impredecibles).

Tratando de ilustrar la variabilidad de las energías solar, eólica e hidráulica, incluyo a continuación tres gráficos en los que se puede comprobar el origen de la energía demandada en España en tres jornadas distintas, así como la enorme diferencia que existe entre unas y otras dependiendo de los fenómenos climáticos.

El día 16 de agosto de 2020, hacia las 14:00 horas, la energía solar gana protagonismo. La hidráulica, por el contrario, no sólo no se utiliza, sino que se bombea, para almacenar energía (véase el gráfico 4.2, p. siguiente).

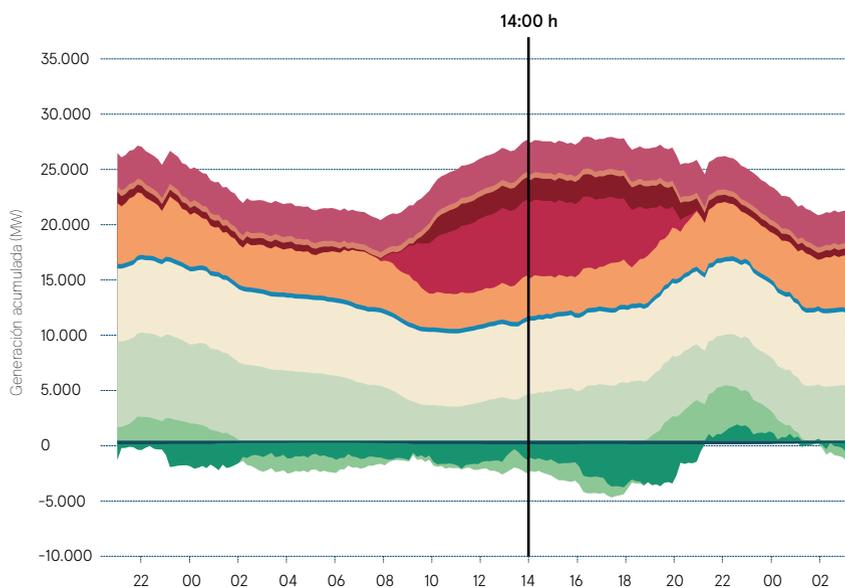
Día 3 de enero 2020 a las 13:00 horas; fresquito del invierno, pocas horas de luz. La energía solar no llega en ningún momento del día ni al 10%, y la eólica roza el 5% en ese momento. Durante otoño e invierno llueve mucho, y podemos utilizar el agua almacenada para generar energía hidráulica, que supone hasta el 25% de la energía

<sup>18</sup> El «mix energético» es una expresión que designa la combinación de las diferentes fuentes de energía que cubren el suministro eléctrico de un país; en español se usan también las expresiones «combinación energética», «surtido energético» y «matriz energética», entre otras.

ese día. No hay suficiente generación de energía ese día, y España importa aproximadamente un 13% (véase el gráfico 4.3).

Dos semanas más tarde, 19 de enero del 2020, a las 13:00 horas, en pleno invierno. Poca radiación solar, por lo que la energía solar apenas llega al 7,5% una hora después del mediodía. En cambio hace viento, mucho viento, y genera el 40% de la eólica. La hidráulica no es necesaria en gran parte del día, y se genera tanta energía

GRÁFICO 4.2 Estructura de generación (MW)  
el 16 de agosto de 2020 a las 14:00 h



Cogeneración y residuos	3.053	10,74 (%)	Nuclear	6.968	24,5 (%)
Térmica renovable	527	1,85 (%)	Eólica	4.490	15,79 (%)
Solar térmica	2.105	7,4 (%)	Hidráulica	-1.096	0 (%)
Solar fotovoltaica	7.247	25,48 (%)	Intercambios int.	-1.137	0 (%)
Ciclo combinado	3.616	12,72 (%)	Enlace balear	-284	0 (%)
Carbón	432	1,52 (%)			

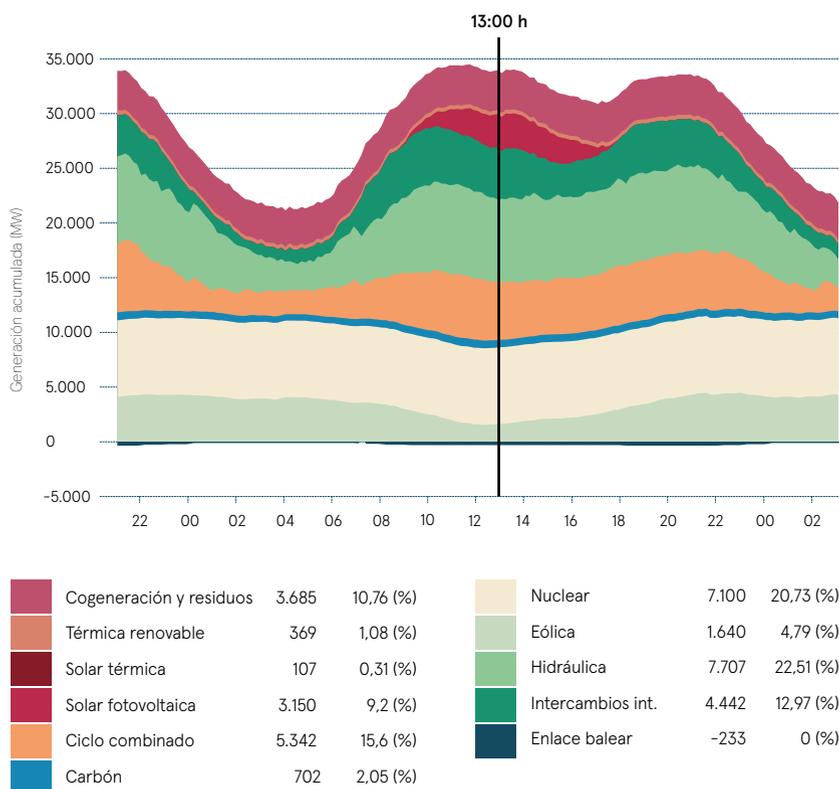
Fuente: Red Eléctrica de España (REE), 2020.

que se puede exportar un 10% aproximadamente (véase el gráfico 4.4, p. siguiente).

Hasta ahora, el sol y el viento no los puedes almacenar como tal, pero sí puedes almacenar su energía de diferentes formas. De esto ya hablaré más adelante.

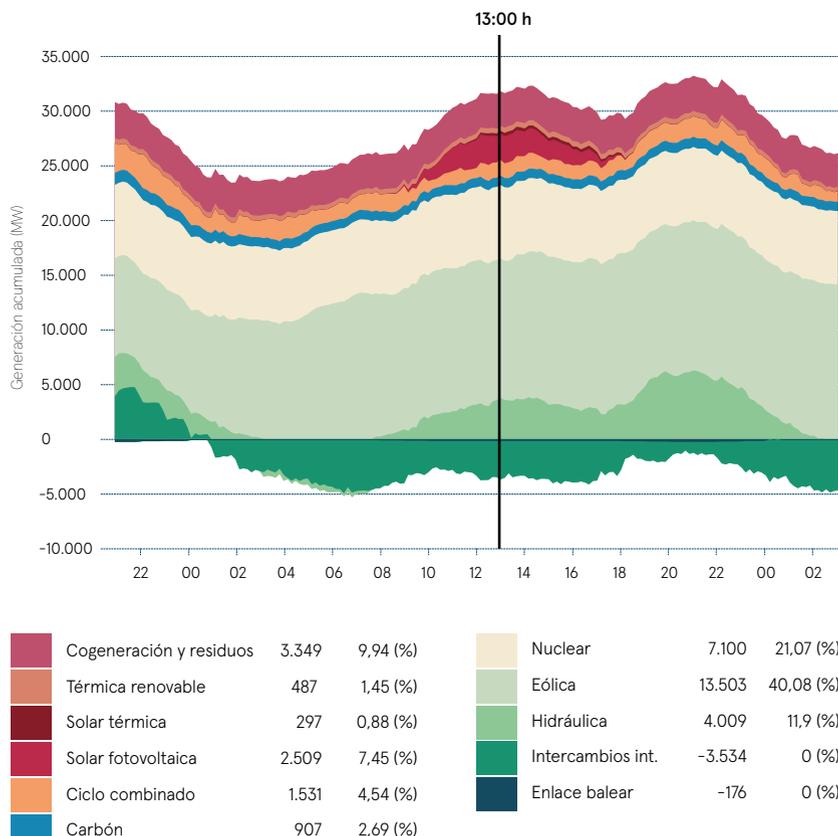
Otra opción, para no quedarnos sin energía, es sobredimensionar las «fábricas» (las plantas) de energía renovable, pero eso carecería de sentido económico, y, aun así, probablemente no cubriría toda la demanda en todos los momentos necesarios.

GRÁFICO 4.3 Estructura de generación (MW)  
el 3 de enero de 2020 a las 13:00 h



Fuente: Red Eléctrica de España (REE), 2020.

GRÁFICO 4.4 Estructura de generación (MW)  
el 19 de enero de 2020 a las 13:00 h



Fuente: Red Eléctrica de España (REE), 2020.

Resulta evidente que se necesitan tecnologías que puedan responder rápidamente a las variaciones de la producción y/o de la demanda. Sin éstas, el sistema eléctrico sería inestable y dejaría de funcionar de forma adecuada (la de la energía ubicua que siempre está disponible).

Para que esto sea así, debemos contar con lo que en el argot energético se conoce como «sistemas de respaldo», es decir,

sistemas que aseguren la continuidad del suministro energético<sup>19</sup> incluso aunque no hayan renovables.

Una buena manera de ilustrar los sistemas de respaldo, haciendo un símil un poco simple (permítanme la licencia porque no es exactamente lo mismo, pero ilustra la idea que trato de explicar), lo encontramos en los vehículos que disponen de dos motores, uno eléctrico y otro de explosión. Imaginemos que hemos de realizar un viaje entre dos ciudades porque se casa la hermana de tu mujer o de tu marido. Debemos llegar a una hora determinada al lugar de celebración, de lo contrario nuestra suegra nos odiará el resto de la vida. Para ello utilizamos nuestro coche híbrido. Cuando el motor eléctrico ha consumido toda la energía almacenada en las baterías, el coche utiliza el motor de explosión, cuya fuente de energía proviene de la gasolina del depósito. En este caso, el objetivo es utilizar, en la medida de lo posible, el motor eléctrico, a fin de contaminar menos; pero, por otro lado, tenemos un segundo objetivo, que es llegar puntuales al evento para evitar el disgusto de nuestra amada suegra. El automóvil no deja de circular, y te lleva a tu destino. Llegas a tiempo gracias a la combinación de ambos motores. El de gasolina ha funcionado como sistema de respaldo.

En los sistemas eléctricos, la demanda y la producción tienen que estar equilibrados en todo momento; es decir, la generación y la demanda han de coincidir en el tiempo. Por este motivo, es necesario disponer de tecnologías de respaldo rápidas y flexibles que garanticen la seguridad de suministro y la estabilidad que requiere el sistema. Deben ser sistemas de producción que sean fácilmente activables y desactivables (como un interruptor), porque la energía se necesita cuando se necesita (recuerden, cuando llega un niño al hospital con el brazo roto).

<sup>19</sup> Los sistemas de respaldo pueden suponer más generación, más almacenamiento (baterías u otros medios) o mejor gestión de la demanda (acomodar nuestro consumo a cuando hay más producción). Por diversas razones, que se irán abordando, los sistemas considerados maduros son los ciclos.

Así, en un contexto en el que las renovables son el principal vector de crecimiento en cuanto a instalación de plantas («fábricas») de generación eléctrica, cuanto más potencia renovable haya instalada en un sistema, mayor será la necesidad de estas tecnologías de respaldo. A modo de ejemplo, a día de hoy, en España tenemos más de 6.000 MW fotovoltaicos en operación. Eso significa que al ponerse el sol se da una situación que equivale a la «parada» de seis nucleares (si todas esas instalaciones estuvieran produciendo a plena capacidad). Es decir, cada noche necesitamos encender el equivalente a seis centrales nucleares, debido a que el sol se pone. Sabemos que esta cifra, la capacidad instalada de energía fotovoltaica, va a crecer significativamente en los próximos años, por lo que la necesidad de disponer de potencia de respaldo se acentuará.

Las renovables son importantes hoy y lo serán todavía más mañana. Por ello siempre vamos a necesitar sistemas de respaldo (hasta que no se desarrolle una tecnología que abra nuevas opciones, desconocidas ahora pero mejores que las actuales).

Hoy día, las tecnologías gestionables susceptibles de ser usadas como respaldo a gran escala son la generación con gas (por medio de las centrales de ciclos combinados, de los que hablaré más adelante) y también la hidroeléctrica. Esta última es ideal cuando se dispone de agua embalsada. Lo que sucede es que en países como España, que tiene una formidable potencia hidroeléctrica instalada, también se da mucha variabilidad en la producción entre un año y otro. Esto provoca que haya años de mucha lluvia que obviamente están asociados a una elevada producción hidroeléctrica, y otros de poca, en los que ésta baja sensiblemente. Todo ello hace que sea poco prudente depender exclusivamente de esta tecnología de respaldo. Porque queremos energía disponible siempre. En el siguiente recuadro sobre las centrales hidroeléctricas de bombeo se explica una alternativa tecnológica que permite utilizar de una forma diferente los recursos hídricos.

## Centrales hidroeléctricas de bombeo

Sabemos desde hace años que si el agua embalsada pasa por unas turbinas, el empuje del líquido elemento, gracias a la fuerza de la gravedad, permite que se genere electricidad (antes fueron los molinos de agua, que no generaban electricidad, pero de los cuales sin duda utilizábamos su energía). Mientras me documentaba para escribir este libro, aprendí que algunas centrales hidroeléctricas pueden ser reversibles. Ciertas instalaciones hidroeléctricas disponen de un sistema que permite actuar al revés: además de verter el agua de arriba abajo, se bombea el agua de abajo hacia arriba, es decir, de un depósito inferior de nuevo hacia el pantano superior.

¿Para qué sirve? ¿Es una tontería? Obviamente, no. Al contrario, es una idea curiosa: están utilizando los pantanos como baterías recargables.

Como veremos en algunos fragmentos del libro, hay momentos en los que se puede producir un excedente de energía. Por ejemplo, quizá por la noche tenemos centrales nucleares encendidas y además hace mucho viento, con lo que se genera más energía de la que consumimos (en California hay momentos del verano en los que se genera tanta energía solar que tienen que pagar a estados vecinos para que se la compren; y es que tener demasiada energía puede provocar sobrecargas en la red y generar un problema grave).

Es precisamente en esos momentos cuando se utiliza el excedente de energía para bombear el agua de abajo hacia arriba, de tal manera que ésta se manda hacia cotas más altas con energía «barata» para luego volver a generarla cuando es necesaria y se puede vender a un precio más elevado. Es evidente que en este intercambio se pierde una parte de la energía

generada, pero mediante esta técnica se puede recuperar entre el 70 y el 80% de la electricidad (ganando dinero en el proceso).

Este sistema no es algo especialmente novedoso, ya que se empezó a usar en Italia y Suiza ya en la década de 1980. En España, este tipo de energía es bastante residual. En los últimos años ha supuesto entre el 0,6% (2019) y el 0,9% (2017), lo que supone una fracción de la energía hidroeléctrica convencional, que a su vez representó el 9,5% de la producción en 2019.

En Estados Unidos encontramos la mayor central del mundo de este tipo, que se puede considerar como «la mayor batería del mundo». Tiene dos depósitos, separados por un desnivel de 380 metros, lo que le otorga una potencia instalada de unos 3 GW (como tres reactores nucleares de tipo medio).

## Segunda idea: la evolución tecnológica es inescrutable

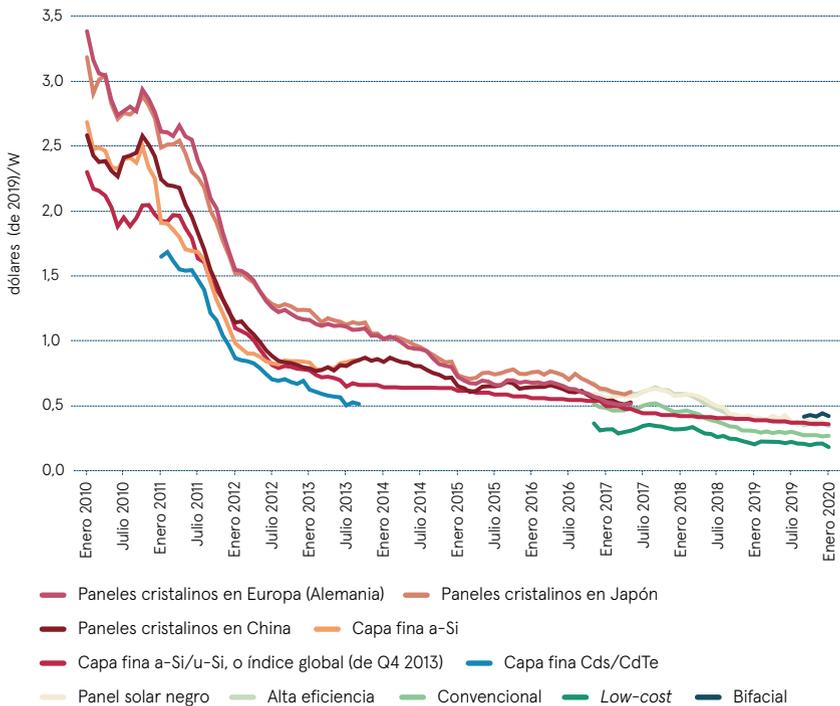
¿Han oído aquello de que los caminos del señor son inescrutables? Pues bien, cambien «camino» por «tecnología» y «señor» por «inventor» (aunque en el fondo siempre he pensado que no dejan de ser algo parecido). *Et voilà*, ya tenemos la «segunda idea sencilla pero poderosa», además de práctica: la tecnología evoluciona a un ritmo tan vertiginoso que desconocemos qué maravillosos resultados puede proporcionar si la aplicamos al sector de la energía. Déjenme entrar en detalle.

En la idea anterior he hablado de que las renovables se están desarrollando intensamente. De hecho, añado ahora, no sé si saben que en la actualidad producen energía en cantidad significativa para el sistema (dependiendo del país), algo que hace pocos años era impensable. Es el resultado de un magnífico desarrollo tecnológico. Las renovables son capaces de producir cada vez más energía a menor coste, gracias a los avances que aporta la ciencia.

En el gráfico 4.5 pueden comprobarlo ustedes mismos con datos referidos, por ejemplo y de manera exclusiva, a la energía solar. En el eje de ordenadas (vertical) se puede ver el coste de construcción de placas fotovoltaicas (dólar/vatio), y en el de abscisas (horizontal), la fecha del dato. En dos lustros, ese coste ha caído de forma abrupta (especialmente en el primero, entre 2010 y 2015).

Lo que sucede es que el camino que toma la tecnología (en todos los campos) es incierto. Un avance o un descubrimiento pueden llevar años y no ser todo lo útiles que te gustaría para el

GRÁFICO 4.5 Precio medio en dólares de módulos con placas fotovoltaicas, según diferentes tipos de tecnología (precios medios anuales en Europa, de 2010 a 2020)



Fuente: Agencia Internacional de las Energías Renovables (International Renewable Energy Agency, IRENA). *Renewable Power Generation Costs in 2019*, publicado en junio de 2020, p. 63.

problema que estás tratando de solventar; o bien, sencillamente, después de dedicar tiempo, esfuerzo y dinero, pueden no servir de nada. Añadan esta capa (la tecnología) a la explicación del sistema que he hecho en el capítulo 3 (a ver si tienen el valor de incluirla en la figura 3.1, p. 49). Encontrarán un motivo más (y de peso) para comprender por qué la energía es muy compleja.

Existen muchos casos de tecnologías que están en desarrollo desde hace tiempo pero que no logran convertirse en alternativas viables. Desde la noche de los tiempos, el ser humano sueña con hallar una fuente de energía ilimitada. En la actualidad hemos añadido una capa de complejidad: la necesidad de que, además sea limpia. ¿Se imaginan que eso fuera posible? Ciudades enteras iluminadas y acondicionadas térmicamente, fábricas funcionando, vehículos (coches, barcos, aviones, camiones, etcétera) en movimiento, todo sin límite y sin contaminar. Esta tecnología ya existe conceptualmente, a nivel experimental, aunque se encuentra lejos de tener aplicación comercial. Se llama fusión nuclear (sí, fusión, no confundir con fisión nuclear). Una tecnología que sabemos utilizar es la fisión nuclear, que consiste en «romper» el núcleo de un átomo pesado, o «grande», generalmente de uranio enriquecido, y, gracias a ello, generar energía. La fisión nuclear se emplea para producir electricidad en las centrales nucleares.

En cambio, la fusión nuclear consiste en lo contrario, ya que, en lugar de separar, se trata de «unir» dos núcleos atómicos ligeros (generalmente de hidrógeno), o muy «pequeñitos» (isótopos en realidad), para crear uno más grande (de helio), gracias a lo cual se genera una enorme cantidad de energía. La fusión nuclear tiene lugar de forma natural en las estrellas, como por ejemplo el Sol. ¿Qué pasaría si «embotelláramos» la energía resultante para usarla después dónde, cuándo y cómo necesitáramos? Sin duda, esa posibilidad supondría una oportunidad única para la humanidad, con independencia del ritmo al que siga creciendo ésta. Si se lograra dominar esta energía de fusión, podríamos tener plantas

de este tipo generando energía prácticamente sin costes. Serían muy caras de construir, pero generarían tantísima energía que el precio final de la misma sería bajísimo. Con ello se resolvería de un plumazo toda la discusión acerca de renovables, coches eléctricos, aerogeneradores (molinos de viento, o eólicos) con impacto visual, placas solares, etcétera. Resulta impresionante, ¿verdad? Aunque, por ahora, eso no parece aún posible. La fusión nuclear lleva decenas de años en desarrollo, y todavía no está madura. Ya en la década de 1950, la Unión Soviética y Estados Unidos empezaron a trabajar en ello, pero desde entonces no se ha conseguido controlar. En Europa se investiga en un centro llamado ITER,<sup>20</sup> situado en Cadarache, en el sur de Francia.

Así que, dependiendo de cómo evolucionen unas u otras tecnologías aplicadas al sector de la energía, los escenarios que se dibujen en el futuro serán muy diferentes al actual. Déjenme seguir ahondando en la idea de la variedad de opciones que se abren en función de cómo se desarrolle la tecnología. Vamos a centrarnos por un momento en un solo ámbito: el autoconsumo. Centrar la mirada en un solo campo hace más visible la idea de que la evolución tecnológica es inescrutable. ¿Se imaginan un futuro en el que cada uno de nosotros fabrique la energía que necesite? Sí, eso es posible. Según la evolución que tengan las tecnologías relacionadas con la energía, en lugar de depender de grandes centrales de producción energética, podemos llegar a una situación en la que cada uno de nosotros tengamos la capacidad de autoabastecernos. Para ello, deberemos hacer posible el autoconsumo por medio de la generación realizada por los propios ciudadanos, mediante microinstalaciones. Podría ser energía generada por cada individuo

<sup>20</sup> El Reactor Experimental Termonuclear Internacional (International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER) es un reactor de fusión experimental en construcción. Se encuentra todavía en una primera etapa, y ni siquiera está pensado para generar energía eléctrica y verterla a la red de forma continua, sino para demostrar la viabilidad de la fusión como fuente de energía a gran escala.

(cada vecino instala una placa en su balcón), por cada edificio o, quizá, por cada barrio o comunidad, con pequeños parques de generación cercanos a las viviendas.

Ahondando en esta idea, el modelo energético también podría evolucionar en el sentido de ceder un mayor protagonismo a la generación distribuida, es decir, una generación en la que no sólo te abasteces tú mismo, sino que incluso puedes fabricar energía para otros. De esta manera, el papel del consumidor tradicional (ya sea particular o empresa) evolucionaría hacia un rol más activo y bidireccional. Para esto, el sistema, tal y como lo concebimos actualmente, tendría que cambiar, y la tecnología debería evolucionar para adecuarse a ese modelo.

Al hilo de esto, según sean la evolución y el tipo de formas de generación que se desarrollen y dónde las localicemos, las redes de distribución de energía deberían profundizar en su evolución tecnológica, exigiendo a su vez ciertos desarrollos tecnológicos. Por ejemplo, incorporando «inteligencia» que les permita redirigir la energía de forma rápida y ágil durante todo el día a donde haga falta (al introducir la variabilidad de las renovables y el autoconsumo, la situación cambia, y la tecnología debe adaptarse y ser adecuada a ese contexto).

Como ven, sólo en el campo del autoabastecimiento, las opciones son múltiples. Ahora, abramos el espectro. Dejen volar su imaginación respecto a los siguientes ámbitos:

- Nuevas energías (como el biometano o el hidrógeno).
- Renovables (por ejemplo, energía hidrotérmica, oceánica o geotérmica).
- Baterías (esenciales en su función complementaria de las renovables).
- Captura, uso y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (lo que puede permitir desarrollar y utilizar en mayor o menor medida ciertas energías).

Resulta increíble pensar qué puede lograr la tecnología aplicada a cada uno de estos campos; tan increíble como abrumador es entender que los panoramas de futuro son muy abiertos. Confiamos en que la tecnología será capaz de todo. Y es posible que así sea, pero no lo sabemos. Quién sabe qué puede pasar...

En su casa, mi amigo Manuel, ingeniero de profesión, tiene calefacción comunitaria de gasoil. En su comunidad saben que el sistema es antiguo y que emite mucho CO<sub>2</sub>. Algunos vecinos plantean esperar a que se desarrollen más las energías renovables aplicadas a los domicilios. Mientras tanto, siguen quemando gasoil. Las preguntas que se formulan en las reuniones de vecinos son: ¿esperamos a que haya un nuevo avance tecnológico o cambiamos ya?, ¿es un buen momento para apostar quizá por la energía geotérmica doméstica o esperamos a que se invente algo mejor? Y no acaban de saber qué responder. Yo tampoco lo sé. Por eso en este libro trato de evitar aventurarme en ese ámbito. No planteo soluciones de futuro que desconozco porque no he sabido documentarlas con rigor. Por ello no valoro si un tipo de energía es mejor que otro. Tampoco me interesan los debates ideológicos; porque la evolución de la tecnología es insondable. Por ello, queremos energías cuya tecnología esté (muy) probada, no sea que falle cuando la necesitamos y que Manuel y su familia pasen frío en invierno. Dicho de otro modo, queremos la mejor tecnología, además de la más limpia, pero, por favor, que no falle.

En contraposición al concepto de evolución tecnológica, quizá se situaría el de madurez tecnológica. Este último se refiere a las tecnologías que se consideran probadas, que son fiables (no se rompen) y en las que no debes inventar nada, porque sabemos que, tal y como están, con el grado de desarrollo tecnológico que tenemos, funcionan. Quizá no esté dando una definición muy científica, pero, al fin y al cabo, es normal, porque no soy un científico, sino un abogado al que le interesa la transformación. Lo que intento es explicar de manera divulgativa un concepto técnico complejo.

Es difícil aplicar adjetivos a la capacidad creativa del hombre. En mayor o menor medida, estaremos de acuerdo en que nuestro ingenio nos ha permitido progresar de forma increíble a lo largo de la historia. Desconocemos dónde está el límite de la innovación. Seguiremos evolucionando. Pero, al mismo tiempo, hemos de ser cautos. Confiar en que somos capaces de solucionar todos los desafíos energéticos de la actualidad basándonos en que «ya inventaremos algo» es optimista, pero quizá resulta poco prudente.

Lo único seguro es que no está claro cuándo seremos capaces de lograr depende qué cosas y cómo las lograremos gracias a la tecnología. Porque la ciencia está en movimiento. Y esto importa por lo que respecta a la cuestión energética, porque la energía es un bien esencial que, como hemos señalado anteriormente, queremos que sea fiable y estable, y en el que, además, hay que hacer inversiones elevadas.

Hablando de inversiones, déjenme enlazar con la «tercera idea sencilla pero poderosa».

### **Tercera idea: en la energía, nadie improvisa**

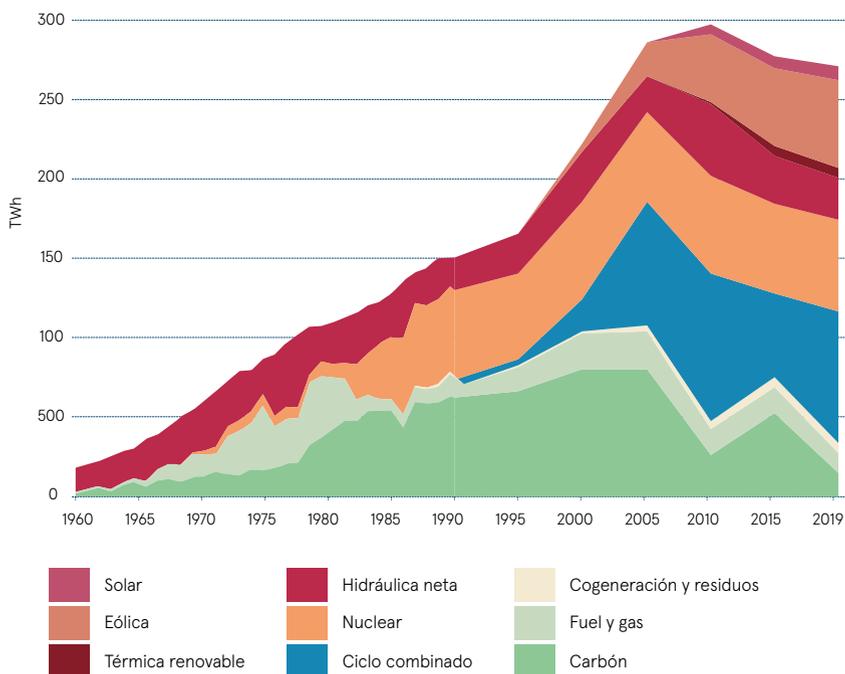
En el sector de la energía, como en casi todo, hay ganadores y perdedores. Aquellos países que planifican con tiempo y diseñan bien su política energética acostumbran a estar mejor situados para competir en el mercado de la energía que aquellos que improvisan. Esto se debe a que el sector de la energía tiene mucha inercia.

Por ejemplo, construir una central hidroeléctrica o una nuclear (hablo tan sólo de construir) lleva varios lustros (entre cinco y veinte años). No sólo se necesitan años para construir nuevos sistemas, sino también para desmantelarlos y migrar a otras tecnologías. Y no debemos olvidar que queremos energía disponible siempre (primera idea sencilla pero poderosa) de tecnologías que estén probadas (segunda idea sencilla pero poderosa).

Si un país se abastece de unas fuentes de energía determinadas, normalmente no puede cambiarlas en un plazo corto de tiempo (pongamos, cinco años, e incluso me atrevería a decir que diez) para migrar a otra distinta de forma integral. Definir e implantar un modelo energético lleva años..., muchos años (véase el gráfico 4.6). Y cambiar el modelo, también. Y eso ocurre con cualquier tecnología.

Porque cambiar el sistema energético conlleva necesariamente consecuencias profundas, que influyen en las expectativas de la población a la que afectan y que es imprescindible tener presentes,

GRÁFICO 4.6 Evolución histórica de la generación eléctrica en España



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de la Energía y del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

consecuencias tales como: necesidad de construir infraestructuras; realización de inversiones; cierres en ciertas actividades empresariales por reconversión (por ejemplo, en la minería del carbón); pérdida de puestos de trabajo derivados de los nuevos perfiles profesionales demandados por los nuevos modelos energéticos; afectación de paisajes (por ejemplo, al construir una planta de ciclo combinado); afectación de la flora y la fauna (por ejemplo, al construir una presa de central hidroeléctrica), etcétera.

Un ejemplo evidente de que en el sector energético no se debe improvisar es la interconexión energética entre países (por ejemplo, una tubería de gas que venga de otro Estado). Que dicha interconexión sea operativa no es algo que se consiga precisamente rápido. Y no me refiero sólo a construirla (lo cual lleva años), sino también a las negociaciones de los acuerdos comerciales y/o geopolíticos asociados (estos últimos son los que verdaderamente requieren más tiempo).

La inercia a la que me he referido antes está íntimamente vinculada a las inversiones. Porque, en el sector de la energía, no es sencillo deshacer fácilmente los activos en los que has invertido capital para transformarlos en otros. Transcurre mucho tiempo antes de que sea prudente y tenga sentido económico cambiar de decisión. Si construir una central nuclear puede alargarse hasta veinte años (desde el primer día hasta que está en marcha produciendo energía), operarla hasta que devuelve toda la inversión puede llevar el doble de tiempo, unos cuarenta años. Por eso todo el mundo evita improvisar respecto a las tecnologías de la energía, porque apostar por una equivocada sale caro.

Por todo lo anterior, en el sector de la energía, no es bueno improvisar en lo que respecta a la tecnología a utilizar (debe ser un estándar fiable), a las inversiones a acometer (que son elevadas e inmóviles) y a los plazos de implantación (largos y que conllevan procesos complejos). Y no olvidemos que esto que afecta al sector de la energía también afecta a toda la sociedad.

## Cuarta idea: las emisiones cero no existen

Culmino la lista de «ideas sencillas pero poderosas» sobre el sector de la energía con un último concepto un poco más provocador que los anteriores. Me voy a poner el sombrero de profesor alborotador. Empezaré por decir que hablar de «descarbonizar totalmente» la economía es incorrecto. No deberíamos utilizar tal concepto.

El siguiente texto está extraído de la web de noticias del Parlamento Europeo.<sup>21</sup> Arroja luz sobre esta «cuarta idea sencilla pero poderosa». Por su claridad, me parece útil traerla a colación:

La neutralidad de carbono se consigue cuando se emite la misma cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera de la que se retira por distintas vías, lo que deja un balance cero, también denominado «huella cero de carbono».

Hay distintas formas de conseguir este equilibrio: la más saludable es no emitir más CO<sub>2</sub> del que pueden absorber de forma natural los bosques y las plantas, que funcionan como sumideros de carbono a través del proceso de fotosíntesis, asimilan CO<sub>2</sub> atmosférico y lo transforman en oxígeno, con lo que ayudan a reducir las emisiones.

Se considera un sumidero de carbono cualquier sistema que absorbe más carbono del que emite. Los principales sumideros naturales de carbono son el suelo, los bosques y los océanos. Los sumideros naturales eliminan entre 9,5 y 11 Gt de CO<sub>2</sub> al año, según estimaciones científicas, mientras que las emisiones globales anuales de CO<sub>2</sub> alcanzaron 37,1 Gt en 2017. [...]

Existen otras vías para evitar que el CO<sub>2</sub> llegue a la atmósfera, como la captura y el almacenamiento de carbono, por ejemplo, en formaciones geológicas o en las profundidades marinas,

<sup>21</sup> Parlamento Europeo, «¿Qué es la neutralidad de carbono y cómo alcanzarla para 2050?», web de noticias, 3 de octubre de 2019 (actualizado el 8 de octubre de 2020).

lo que se denomina el «secuestro de carbono». Se trata de técnicas de almacenamiento a largo plazo: una solución temporal, que todavía resulta costosa y que no está blindada contra el riesgo de fugas.

También se puede reducir emisiones y avanzar hacia la neutralidad de carbono a través de la llamada «compensación de carbono», que consiste en equilibrar las emisiones emitidas en un sector determinado mediante la reducción de CO<sub>2</sub> en otro lugar. Esto puede conseguirse a través de las inversiones en energía renovable, eficiencia energética y otras tecnologías no contaminantes.

Es decir, no existe el concepto «emisión cero»; aun siendo maravilloso, en la actualidad es utópico. Construir un panel solar, un coche eléctrico o un aerogenerador también produce CO<sub>2</sub>, y no poco. Para construir un aerogenerador, por ejemplo, se necesita fabricar cemento que será utilizado en su cimentación, además de fundir metales a alta temperatura. Ambas actividades exigen procesos que generan CO<sub>2</sub> por sí mismos (por ejemplo, triturar las rocas que contienen hierro hasta obtener barras de hierro «puro» emite CO<sub>2</sub>). Para ello hace falta disponer de combustibles fósiles que, a su vez, emiten CO<sub>2</sub>. De hecho, para medir de forma rigurosa el impacto de cualquier instalación de fuente energética (incluyendo las renovables) hay que tener en cuenta todo su ciclo de vida: la extracción de los materiales, la construcción de la planta, la gestión de los residuos producidos, etcétera.

Por ello, tal vez tenga más sentido el concepto de «compensación de carbono» (o quizá el de «neutralidad de emisiones»): el CO<sub>2</sub> que se genera se contrapesa con el que se reduce (intentando, por supuesto, generar lo menos posible). Porque, aunque estamos mejorando en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (unos países más que otros, y dentro de ellos, unas actividades más que otras; de esto hablaré en la segunda parte del libro), todavía seguimos generando

emisiones. Y, lo más importante, seguiremos haciéndolo. Esto abre la puerta a que el debate gire en torno al desarrollo de energías renovables y, quizá en mayor grado, alrededor del impulso a las medidas para incrementar la eficiencia energética.<sup>22</sup> Resulta evidente que la humanidad quiere frenar el cambio climático, y para ello no se puede seguir aumentando la emisión de gases de efecto invernadero (al contrario, hay que reducir su concentración). Por ahora, parece que de lo que se trata es de compensar. O al menos de intentarlo, porque las emisiones cero no existen.

Estamos cansados de leer una y otra vez el impacto que tendrá el efecto invernadero provocado por la quema de combustibles fósiles iniciada de forma intensa a partir de la revolución industrial del siglo XVIII. Quizá porque sucede como a cámara lenta ante nuestros ojos, no le prestamos demasiada atención al efecto invernadero. Es como esas verdades que, de tanto repetirse al principio, acaban por no parecer ciertas o por ser obviadas, y que sólo cuando demuestran sus peores consecuencias se contemplan como lo que son. La alta concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es un grave problema que debemos afrontar. De hecho, más de la mitad de este gas emitido a la atmósfera procedente de la quema de combustibles fósiles se ha producido en las tres últimas décadas. Seguro que conocen la serie *Dallas*, que narra las andanzas de los Ewing, una acaudalada familia de Texas contemporánea a la emisión de la serie (iniciada en 1978 en Estados Unidos) y cuya fortuna procede de negocios relacionados con el petróleo. Pues bien, hemos producido un mayor daño al futuro de la especie humana (y al resto de la vida en la Tierra) desde la primera emisión de esta

<sup>22</sup> Existe un último debate del que se habla bastante menos, uno que se centra en la reducción de la demanda de energía, es decir, en la disminución del consumo de energía. Con la tecnología actual, esto lleva implícito que deberíamos producir menos, y por ello me da la sensación de que no es un debate que la humanidad quiera afrontar. No queremos renunciar al progreso, por ahora. Mientras no surjan tecnologías que permitan progresar de manera distinta, seguiremos progresando emitiendo cantidades de CO<sub>2</sub> mayores o menores que las actuales.

serie que en todos los siglos anteriores. Dicho de otro modo, en solo dos generaciones, las que separan el nacimiento de mis padres del de mis hijas, el problema ha aumentado de forma exponencial. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), si seguimos emitiendo CO<sub>2</sub> al ritmo que lo hemos venido haciendo en las últimas décadas,<sup>23</sup> hacia el año 2100 alcanzaremos un aumento de la temperatura de 4,5 °C. Es decir, superaremos en más de 2 °C lo que establece como umbral máximo el Acuerdo de París de 2015 (en la práctica, el Protocolo de Kioto, adoptado en 1997 y que entró en vigor en 2005, no pudo impedir que siguiéramos emitiendo cantidades ingentes de CO<sub>2</sub>). Esto tiene como consecuencia lo que se conoce como «cambio antropogénico», expresión que designa la alteración o modificación que causa la acción humana sobre el medio ambiente. Y en este caso la palabra «alteración» significa algo terrible para todos. El uso de combustibles fósiles ha supuesto un evidente progreso para la humanidad. Sin embargo, todo ese progreso ha provocado que, para alimentarlo, hayamos usado (y sigamos usando) un volumen no asumible de combustibles que llevan aparejadas emisiones de CO<sub>2</sub>. El cambio climático es real y nadie lo desea. Sucede en todo el mundo a la vez. Es un peligro evidente, global e imponente, y nadie en su sano juicio lo quiere. Las emisiones son un problema complejo del sector de la energía en particular y de la sociedad en su conjunto. Y, ante los problemas complejos, no hay soluciones sencillas.

En la segunda parte del libro intento explicar por qué.

<sup>23</sup> Véase: IPCC, *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*, 2014, pp. 10 y 11. El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, se encarga de asesorar a la ONU y a los países sobre las evidencias del calentamiento global.

SEGUNDA PARTE

# **ENERGÍA**



## CAPÍTULO 5

### ENERGÍA HUMANA

La verdad es que hace tiempo que nos gusta. Fue hace centenares de miles de años cuando comenzamos a generarlo, controlarlo y utilizarlo, aproximadamente hace unos 300.000 años, según los expertos.<sup>24</sup> Fue entonces cuando nuestros primos lejanos, especies humanas como *Homo sapiens*, *Homo erectus* y los neandertales, comenzaron a emplear el fuego de manera cotidiana. Era el segundo gran avance, después de las herramientas (cuyos primeros indicios datan de hace unos 2,5 millones de años).

Con el fuego, los humanos tenían (o teníamos) por primera vez una fuente fiable de luz y calor, y también algo con lo que defenderse de algunos animales, aquellos que, esencialmente, nos querían comer. Sin embargo, lo más interesante e importante que consiguió el fuego fue que nos hizo capaces de cocinar. A su vez, la comida cocinada permitió varias cosas; por ejemplo, hizo más comestibles y digeribles los alimentos, reduciendo su posible toxicidad y haciendo necesaria menos energía en el proceso de comer y digerir; y también hizo que no fuera necesario disponer de

<sup>24</sup> Yuval Noah Harari relata maravillosamente bien esta evolución en su libro *Sapiens, de animales a dioses: una breve historia de la humanidad*, una lectura muy recomendable.

un aparato masticatorio (dientes y maxilares) tan desarrollado, lo cual condujo a dejar más espacio craneal para el cerebro. Todo ello, según algunos expertos, supuso que se pudiera destinar más energía al desarrollo y crecimiento del cerebro. Es decir, se produjo una especie de «dopaje» natural que nos permitió desarrollar nuestra especie hasta lo que somos hoy día.

El uso del fuego constituyó uno de los primeros rasgos que nos diferenció de manera notable de los animales. El fuego contribuyó a la evolución de nuestro cuerpo y nuestro cerebro, y marcó un antes y un después en la raza humana. Además de su influencia en la alimentación, el fuego nos permitía protegernos, calentarnos y superar nuestras limitaciones físicas. Así, el fuego podía usarse para trabajar la piedra y hacer con ella mejores herramientas, y también para arrasar a voluntad un trozo de bosque en cuestión de horas, lo cual permitía recoger los frutos tostados del suelo y localizar animales o raíces con más facilidad, algo impensable sin él. El fuego nos otorgaba una potencia gigantesca, sin límites.

Visto desde otra perspectiva, hace centenares de miles de años que la energía nos interesa a los humanos. Desde que la descubrimos y tomamos conciencia de su poder, la deseamos. Queremos dominarla desde el origen de los tiempos. Desde esos orígenes, si nos trasladamos unos centenares de miles de años después, hasta la actualidad, podemos ver que ha cambiado la forma de relacionarnos con el fuego (con la energía), pero no la esencia.

¿Saben quién fue William Willcocks?<sup>25</sup> William, de padre británico, nació en India en 1852. Su progenitor fue el señor Willcocks, ingeniero de profesión, enviado a Roorkee, un pueblo del estado indio de Uttarakhand, a los pies del Himalaya, para gestionar obras de un canal y una represa del río Ganges. Al chaval parece que le gustó la profesión de su padre, y estudió ingeniería civil en el

<sup>25</sup> El siguiente pasaje sobre William Willcocks está inspirado en información de la Enciclopedia Británica y fuentes adicionales sobre la presa de Asuán y el canal y represa del Ganges.

Thomason College of Civil Engineering, en Roorkee. Con veinte años de edad, William ya estaba trabajando en el mismo sector que su padre. En aquel contexto de colonización, quizá se sentía orgulloso de ver cómo las grandes obras hidráulicas eran capaces de modernizar un país milenario, mejorando las condiciones de vida de los habitantes del país, tanto en lo que a higiene como a irrigación se refiere. Cuando tenía treinta años, su madre patria invadió Egipto, y en ese contexto estableció su residencia ahí en 1883, al servicio del departamento de obras públicas egipcio. Poco tiempo después, le nombraron responsable de las reservas de agua de Egipto, un país que dispone de la desembocadura y de un gran tramo del río Nilo, que cruza diez países y se considera como el mayor río de África y el segundo del mundo. William fue entonces el encargado de supervisar una de las mayores obras de ingeniería del mundo, una que el país no había visto desde las pirámides: construir la primera presa de Asuán. Tardó sólo tres años en finalizarla (en 1902), y la presa se convirtió en la más grande jamás construida hasta la fecha. Además, el ingeniero mantuvo el puesto de responsable de la presa durante décadas. En ella, unos años más tarde se instalaron generadores de electricidad. La presa de Asuán sirvió también para controlar las crecidas del río, domando así la naturaleza. El ser humano llevaba centenares de años, e incluso milenios, construyendo pequeñas presas, pero un niño nacido en la India del siglo XIX había dado el pistoletazo de salida a la era de la hidráulica moderna. Por eso se le recuerda como sir William Willcocks, caballero de la Orden de San Miguel y San Jorge.

Ahora, además de domar el caudal de los ríos, somos capaces de domesticar también el viento, el sol, el calor de la tierra, el uranio o el gas que sale de la tierra. Parece que no es descabellado decir que, después de todo este tiempo, está en nuestra naturaleza querer dominar la energía. Somos los únicos seres vivos del

planeta que lo hemos logrado (¡qué impactante sería ver a un grupo de monos alrededor de una hoguera cocinando su cena!).

Experimentar cómo se mueve un velero gracias al viento es una experiencia inigualable. Para mí, resulta increíble. Y me sucede lo mismo cada vez que voy en avión y siento despegar un cacharro que pesa más de setenta toneladas. No puedo creer que seamos capaces de canalizar toda la energía necesaria para conseguirlo.

La energía es intrínsecamente humana, ya que la humanidad lo es gracias al progreso y la utilidad que aquella nos aporta. La energía está presente en toda nuestra vida: en lo técnico, por ejemplo, en el quirófano de un hospital donde gracias a la energía pueden cuidar de mi cuerpo mejor; en lo emocional, por ejemplo, cuando por la noche disfruto leyendo un buen libro porque tengo luz en casa, cultivando así mi alma; en lo minúsculo de mi vida más íntima, por ejemplo, el cepillo de dientes eléctrico; en lo mayúsculo de la vida en comunidad, por ejemplo, la iluminación de una ciudad entera; en lo cotidiano, como al coger el ascensor; y en lo extraordinario, como al acudir a un estadio a escuchar un concierto. Todo eso es posible gracias a la energía, que cobra sentido en la medida en que es humana, cercana, personal...

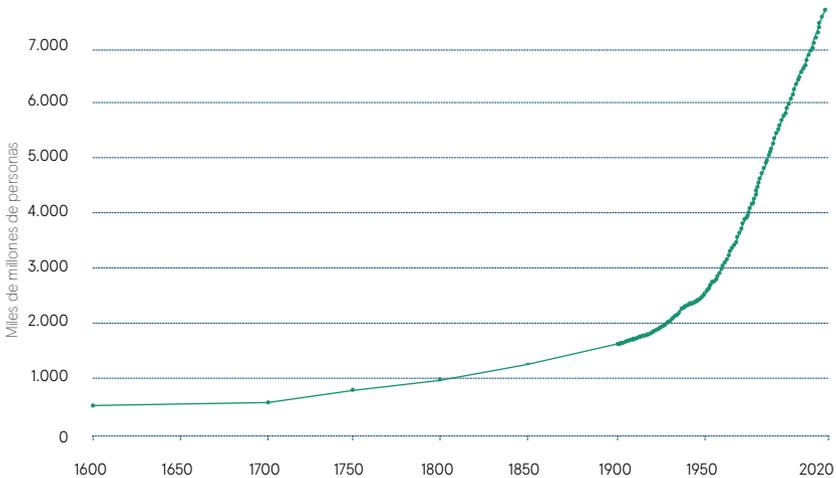
Con un sencillo gesto, como, por ejemplo, al apretar el botón de encendido de nuestro ordenador, ponemos a nuestro servicio una infraestructura gigantesca de instalaciones, máquinas, sistemas y, por supuesto, personas, una infraestructura que permite que la electricidad llegue donde queremos, cuando queremos y como queremos (con la potencia justa).

Unos 300.000 años después de domesticar el fuego, nos sigue interesando dominar la energía. Ahora lo hacemos a partir de tecnologías mucho más sofisticadas que la usada en la prehistoria para controlar el fuego. Imagino que, hace unos 300.000 años, los modos de producir y domar el fuego se considerarían algo así como «tecnología punta». Y, del mismo modo, a buen seguro que en unos miles años, o quizá menos, a nuestros descendientes les

parecerá rudimentaria la forma de fabricar energía que tenemos hoy día. El principio es el mismo: el ser humano busca trascender su propio cuerpo y su propia mente en busca del progreso. En cambio, la ejecución de tal propósito es muy diferente en cada fase de la historia.

Existe un cierto consenso en que, en los últimos doscientos años, la humanidad ha experimentado un progreso considerable en todo tipo de ámbitos (social, político, económico, demográfico, etcétera). Muchos sostienen, y no es descabellado, que hemos cambiado más en este corto período de tiempo que en los mil años anteriores. Quizá uno de los cambios más destacable está relacionado con la población mundial. En 1800, ésta era de unos mil millones de personas, y en el año 2000, de unos seis mil millones. Entre el inicio del tercer milenio (o del siglo XXI) y hoy, el aumento de población nos acerca a los ocho mil millones de almas en el planeta (somos unos dos mil millones de personas más en tan sólo veinte años, un crecimiento que, de tan vertiginoso, marea), como refleja el gráfico 5.1.

GRÁFICO 5.1 Crecimiento de la población mundial (1600–2020)

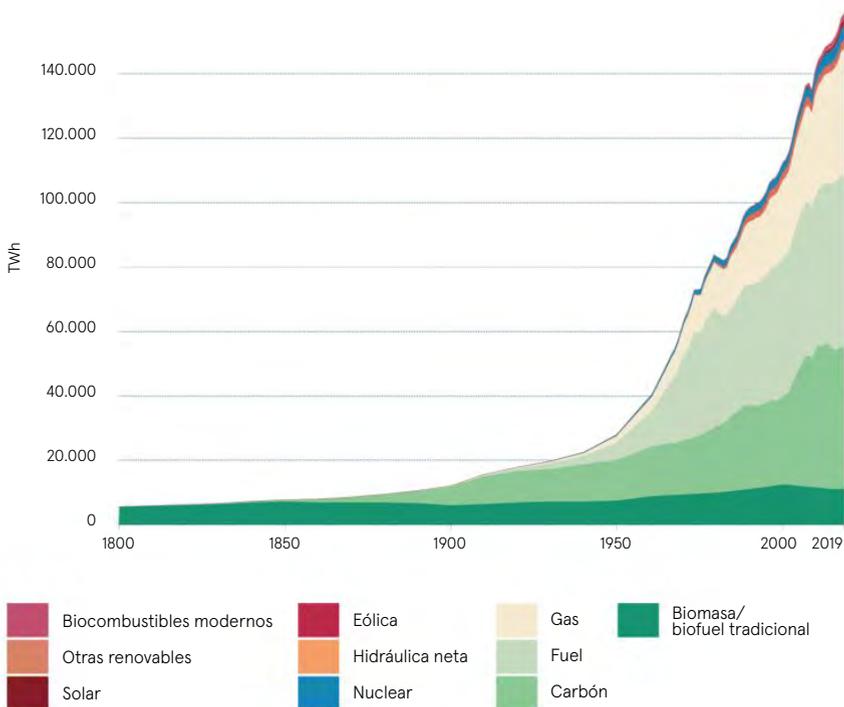


Fuente: Our World in Data, a partir de datos de la ONU.

Y, parejo con el crecimiento de la población mundial, se ha producido un aumento increíble de la energía que consumimos (véase el gráfico 5.2).

Parece claro que todos necesitamos energía, así como que la energía y el progreso social van unidos, junto con el crecimiento de la población mundial (al menos hasta ahora). Y, en los últimos treinta o cuarenta años, la energía, por cierto, también está sufriendo un cambio increíble en lo que a las fuentes de generación de electricidad se refiere. Obviamente, estoy hablando de las energías renovables, y concretamente de las que provienen del sol y del viento, que son las principales. El crecimiento que están

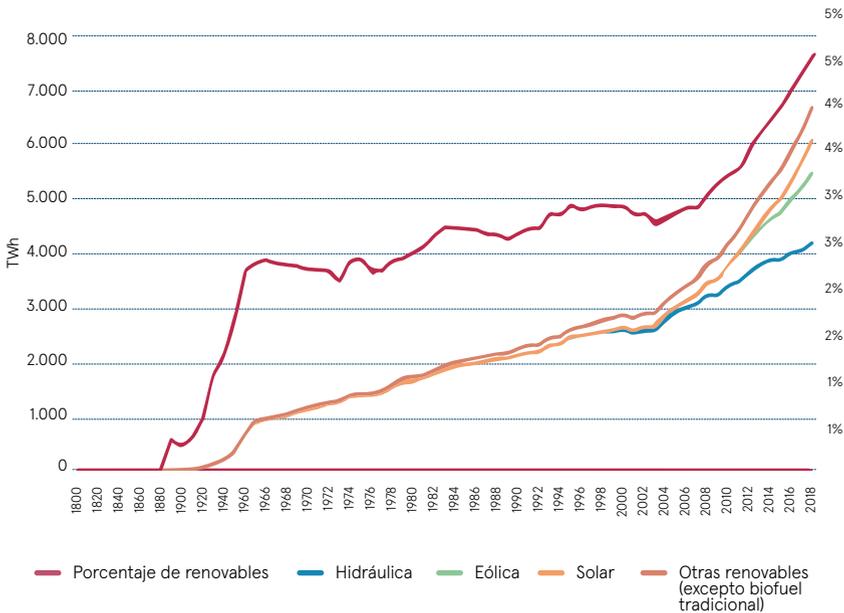
GRÁFICO 5.2 Consumo agregado mundial de energía (1800-2019)



Fuente: Our World in Data, a partir de datos de Vaclav Smil (*Energy transitions: global and national perspectives*, 2016) y BP Statistical Review of World Energy.

experimentando en la actualidad la energía eólica y la energía solar es muy notable, al menos en determinadas partes del mundo. El origen de las energías renovables podríamos establecerlo hacia finales del siglo XIX. En 1890 se empezó a producir electricidad gracias a la energía hidráulica, que comenzó a destacar especialmente a partir de la década de 1950. Hasta la década de 1980, prácticamente no había otras energías renovables «modernas», exceptuando la originada a partir de biomasa —aunque incluso en la producción de ésta se emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), tema sobre el que volveré más adelante—. Desde 2005, el conjunto de las energías renovables ha comenzado a crecer rápidamente (véase el gráfico 5.3).

GRÁFICO 5.3 Generación de energías renovables a nivel mundial (en TWh) y porcentaje de renovables respecto al total de energía generada



Fuente: Elaboración propia a partir de Our World in Data, a su vez a partir de datos de Vaclav Smil (*Energy transitions: global and national perspectives*, 2016) y BP Statistical Review of World Energy.

Y esto está pasando en todo el planeta. En Bangladesh, con más de 160 millones de habitantes y donde todavía una cuarta parte de la población rural vive sin electricidad en 2021, las instalaciones solares a pequeña escala están cambiando radicalmente el país. Hace años que se introdujeron programas de ayuda, como un proyecto de electrificación financiado por el Banco Mundial. Esto ha permitido que, en la actualidad, uno de cada ocho hogares tenga luz gracias a las pequeñas instalaciones de placas solares, en lo que se ha convertido en la expansión más rápida de este tipo de energía registrada en el mundo. Hemos de tener presente que la mayoría de esos hogares no tenían ningún tipo de energía eléctrica antes. Todo ello implica una mayor facilidad para la educación de los niños del país, así como una mejora de las condiciones de empleo (o posibilidad de conseguirlo), además de mayor seguridad para las mujeres que tengan que salir de noche. E incluso es una mejora en cuanto a la facilidad para recibir remesas enviadas por familiares que trabajen en el extranjero.<sup>26</sup>

Tal y como hemos comentado en el capítulo anterior, queremos energía para todos, y queremos que no sólo sea ubicua (que llegue donde se precisa), sino estable (que haya suministro siempre y con una intensidad determinada, ni más ni menos) y fiable (que no sea endeble, que no se «rompa»). Precisamente, si nos detenemos a analizar los conceptos de estabilidad y fiabilidad asociados a las energías renovables, vemos que se debe salvar un escollo básico: el viento y el sol son intermitentes y no se pueden «almacenar» fácilmente. A veces hay viento, y a veces

<sup>26</sup> Véase: Rosamond Hutt, «Life for millions in Bangladesh is being transformed thanks to this simple solution», World Economic Forum, 13 de enero de 2020; Xiaoyu Chang, «Lighting rural Bangladesh with rooftop solar & carbon credits», Banco Mundial, blog Development and a Changing Climate, 24 de marzo de 2015; y Andy Shuai Liu, «Seis historias muestran que las energías renovables son la base de un futuro inocuo para el clima», Banco Mundial, blog Voces, 12 de enero de 2016.

no. A veces hay sol, y a veces hay nubes (y por la noche, por definición, no hay sol).<sup>27</sup>

Aquí es donde entran en juego diferentes sistemas de almacenamiento. De hecho, para paliar el escollo que presentan estas fuentes de energía renovable (la dificultad de «guardar» viento y sol a causa de su intermitencia), en los últimos años, por ejemplo, se ha producido un avance considerable en el campo de las baterías. El desarrollo tecnológico asociado a las baterías está siendo increíble también. Vemos aplicaciones en múltiples sectores, como, por ejemplo, en la automoción. La evolución de las baterías está siendo extraordinariamente rápida, y nos permite utilizarlas en usos sencillos y cotidianos pero que nos dan un confort magnífico. Recuerdo que, siendo yo pequeño, mi padre tenía un taladro con un cable de un par de metros como mucho. Siempre había que ir a buscar el alargador. Y en cualquier caso se volvía un engorro tener el cable por ahí colgando mientras hacías el agujero subido a la escalera, sujetando el tornillo y el taco con los labios, la alcayata con una mano y el taladro con la otra (por no hablar del aspirador y su cable kilométrico que vamos enchufando y desenchufando por toda la casa para limpiar cada habitación). Para mí, fue increíble el día en que un operario profesional vino a casa a realizar el típico apaño y contemplé con sorpresa y admiración que su taladro no tenía cable.

Por ello, quizá uno podría pensar que las baterías en la actualidad son una tecnología de almacenamiento madura que permite generar ahorros importantes y, sobre todo, hacernos autosuficientes; lo que a su vez abriría la puerta a que, gracias a las baterías (pero no sólo a ellas), todas las aplicaciones de la energía puedan electrificarse de manera viable y segura.

<sup>27</sup> A este respecto, entre las energías renovables, la hidráulica presenta una peculiaridad, ya que los embalses no dejan de ser «pilas» o «baterías» gigantes en formato líquido, dispuestas a ser utilizadas cuando hace falta la energía (porque no olvidemos que la energía debe fabricarse cuando hay demanda).

Hablamos de un suministro eléctrico viable y firme sólo con energía renovable (sol, agua o viento). Y es que la evolución tecnológica que se está dando en el campo de la energía solar y eólica en la generación eléctrica es tan importante que, en la actualidad, no existen otras tecnologías que puedan apoyar de forma considerable la generación de electricidad siguiendo los objetivos del proceso de descarbonización. Y esto es muy importante, ya que el sector energético es el principal responsable de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y, en su conjunto, la generación eléctrica ha evolucionado poco en cuanto a reducción de emisiones.

¿Increíble verdad? Tienen razón. Lo que he escrito en el último párrafo entero, siendo estupendo, no es creíble. Ni correcto. O no del todo. O no siempre. O no en todos lados. Perdonen que les confunda... Precisamente esto es a lo que me refería en el capítulo 3 respecto a que la energía está en un cruce de caminos, pero no el que creemos. En los dos párrafos precedentes hay cinco ideas sobre las que conviene ahondar para ampliar la mirada con datos que nos permitan combatir ciertos sesgos que tenemos sobre la energía. Desde mi punto de vista se trata de generalizaciones, efectos halo o deseos, o bien una combinación de las tres cosas. En el fondo, el tipo específico de sesgo a combatir es un poco lo de menos. Lo importante es saber que tenemos esos sesgos.

Por ello, en los próximos capítulos voy a profundizar sobre cada una de esas cinco ideas. Lo haré por medio de diversos instintos humanos que limitan nuestra mirada. Hay materia prima suficiente para abrir un debate interesante, incluso «enérgico», si me permiten hacer este juego de palabras. ¿Me acompañan? Aunque parezca extraño, empezaré contando que en la energía existen las «anclas», y hablaré sobre cómo nos afectan.

## CAPÍTULO 6

### EL ANCLA TAMBIÉN PESA EN LA ENERGÍA

¿Alguna vez les han limitado la compra de algún producto? Por ejemplo, ¿de un determinado dulce (turrón), cuya producción se concentra en una época del año (por ejemplo, en Navidad)? Ustedes van a su tienda de confianza y saben que pueden llevarse seis unidades como máximo. ¿Cuántas comprarán? ¿Cuatro?

En un supermercado hicieron un experimento años atrás. Limitaron la compra de latas de sopa a tan sólo doce unidades durante un cierto período de tiempo. ¿Resultado? Los clientes se llevaban de media siete latas cada uno. Lo interesante (y hasta gracioso, en mi opinión) es que esa cantidad era aproximadamente el doble de la que los clientes compraban si no se imponía ningún límite (de media), lo cual también comprobaron. Ese límite no sólo creaba una sensación de escasez, sino que, por encima de ello, sugería que doce latas de sopa era una cantidad razonable (muy sensato, ¿verdad?) de unidades a comprar de este producto.

La teletienda (sí, esa que ustedes y yo hemos visto en alguna noche de insomnio) y algunos políticos (sí, esos que a ustedes y a mí nos provocan un insomnio que nos lleva a mirar la teletienda en pijama) funcionan igual que las latas de sopa. La teletienda, antes de

mostrar el precio final del producto que anuncia, dice aquello de: «Y todo esto lo puede comprar, no por 200 euros, ni por 175, ni siquiera por 160, usted puede comprar la magnífica almohada de cuidado cervical por 99 euros. Sí, han escuchado bien, 99 euros». Obviamente, uno cree entonces que es un buen precio (sobre todo porque son las 3:30 horas de la madrugada, y supongo que a esas horas el sistema 1 está en funcionamiento, y el sistema 2 está desaparecido). En el caso de los políticos, también emplean una técnica similar a la de la almohada cervical o las latas de sopa cuando dan ciertas cifras en sus discursos de campaña electoral, en los que, hipotéticamente, pueden prometer que crearán «un millón» de puestos de trabajo y plantear, en paralelo, el problema, por ejemplo, de los «cien mil» inmigrantes que entran ilegalmente en el país. Ambas cosas pueden ser verdad o no, pero las dos grandes cifras están ahí. Y si otro político dice que creará «diez mil» puestos de trabajo, aun siendo quizá una meta más realista y asequible, nos parecerá menos interesante.

¿Por qué pensamos así? Se debe al llamado «efecto ancla». Esencialmente, se trata de una limitación que todos hemos padecido alguna vez. Recibimos una información y simplificamos, al creer que en general es aceptable, sin cuestionarnos ese dato fundamental. Es un sesgo provocado por la tendencia humana a darle un mayor peso a la primera noticia, argumento o evidencia que se tiene sobre algo a la hora de tomar una decisión. Cuando cualquiera de nosotros se encuentra frente a una fuente de información, sea de la naturaleza que sea, los datos que se presentan al principio quedan «anclados» en la memoria de la persona con mucha más fuerza que los que vienen a continuación. Los humanos hemos de tener mucho cuidado, y debemos frenar el sistema 1 (más emocional e intuitivo) y hacer que el sistema 2 (más racional y reflexivo) entre en juego, siguiendo el discurso del profesor Kahneman (véase el capítulo 1).

Por mi trabajo, debo viajar con regularidad. Esto implica que paso largas jornadas en aeropuertos, taxis, trenes, aviones, cafeterías

y restaurantes (cada uno hace su vida miserable a su manera). Recuerdo que, cuando empecé a trabajar en esta actividad, debía transportar un ordenador portátil cuya tenencia prácticamente exigía disponer de un permiso de armas, debido a su volumen y peso. Era un cacharro grande, además de caro; y su batería, para ser francos, se evaporaba en cuestión de una hora. Sin embargo, hoy día, el ordenador con el que trabajo no sólo es más ligero, barato, compacto y con mucha más velocidad de procesamiento que los anteriores, sino que dispone de una batería que dura varias horas. Eso sí que mola. Ahora, gracias a esta mayor autonomía, puedo trabajar sin parar (y así mi vida es aún más miserable): en el avión, en la zona de espera o en la cafetería mientras mato el tiempo antes de acudir a una reunión.

La verdad es que las baterías han evolucionado mucho. Por este motivo, quizá no es descabellado pensar que las baterías en la actualidad son una tecnología de almacenamiento madura que permite generar ahorros importantes y, sobre todo, ser autosuficientes.

Sin embargo, esto último no es correcto, o no del todo. Se trata del efecto ancla. Si veo que una batería dura cada vez más en unos determinados usos, tengo una tendencia a creer que eso se aplica a otras actividades, y extraigo mi conclusión, la del párrafo anterior. Así que el ancla también pesa en la energía.

## **La cara B de las baterías empieza por «c» de costes**

Según el banco de inversión Lazard, que goza de una excelente reputación en el sector de la energía dada la cantidad de operaciones que realiza cada año en esta industria, existe un considerable desafío de costes en el campo de las baterías.<sup>28</sup> Según esta fuente, el

<sup>28</sup> Véase: Lazard, *Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage 2019*, informe, 7 de noviembre de 2019.

coste de las baterías como sistema de almacenamiento, en términos de la electricidad que se puede obtener de ellas durante su vida útil (desde que la compras hasta que «mueren»), es en promedio hasta seis veces el coste de la energía proveniente por ejemplo de ciclos combinados, un sistema que combustiona gas natural para producir electricidad (véase la información ampliada en el anexo B).

La electricidad no puede almacenarse como tal. Las baterías son una de las diferentes formas de almacenamiento de energía (no las únicas), y sirven precisamente para paliar ese problema, el de guardar la energía (funcionan a base de compuestos químicos capaces de generar carga eléctrica).

Existen diferentes sistemas de acumulación de energía en función de su capacidad. Se considera a gran escala cuando se trabaja con gigavatios hora (GWh) de energía. Hablar de GW, como podrán imaginar, supone manejar «cantidades» muy elevadas de potencia. Un GWh equivale a la energía «puesta en juego» con una potencia de mil millones de vatios durante una hora; es decir, por poner un ejemplo, es la energía que necesitamos para mantener encendidas 50 millones de bombillas de 20 W durante una hora, o aproximadamente 2,1 millones de bombillas de 20 W durante un día. Un ejemplo de capacidad de almacenamiento a gran escala de este tipo son las centrales de bombeo, de las que ya he hablado en el capítulo 4. El siguiente escalón más bajo se mide en megavatios hora (MWh), y en el siguiente encontramos el almacenamiento en el usuario final, que se mide en kilovatios hora (kWh). Las baterías a gran escala en la actualidad se plantean como solución a la intermitencia proveniente de la energía solar y eólica con el objetivo de reducir el CO<sub>2</sub>. Tal solución pasa por almacenar energía de fuentes sostenibles. Es la fórmula que empleamos para «guardar» la energía del sol y el viento. De alguna manera, las baterías a gran escala son el recipiente donde vertemos la energía del sol y del viento, la cual guardamos hasta que nos hace falta.

## Diferencia entre potencia y energía

En un libro como este es necesario aclarar la diferencia que existe entre potencia y energía. La potencia se mide en vatios (W), kilovatios (kW), megavatios (MW), etcétera. La energía se mide en vatios hora (Wh), kilovatios hora (kWh), megavatios hora (MWh), etcétera. (El vatio es la castellanización de *watt*, la unidad del Sistema Internacional de Unidades.) La forma de entender la relación que existe entre ambas es sencilla. Lo explicaré con un ejemplo simple.

Supongamos que vamos a vivir a un apartamento en el que solo hay una bombilla de 90 W conectada a la red y que pende del techo. Si durante un mes cualquiera la encendemos una hora sólo un día obtendremos un consumo mensual de 90 Wh. Si la dejamos encendida ese mismo tiempo, 60 minutos, cada día del mes (30 días), resultará fácil calcular su consumo:  $90 \text{ Wh} \times 30 \text{ días} = 2.700 \text{ Wh}$ , es decir, 2,7 kWh. La potencia de la bombilla son 90 vatios (W) y la energía necesaria para encenderla cada días del mes durante una hora es de 2,7 kWh.

No es lo mismo almacenar energía que producirla. No obstante, ambos conceptos (producir y almacenar) están íntimamente ligados a la hora de valorar la utilidad de una determinada tecnología energética. En este caso, la alternativa al almacenamiento es utilizar una tecnología que te permita disponer de energía lista para ser consumida en el momento justo después de haber sido «fabricada», sin necesidad de almacenarla. Esto es precisamente lo que hace una planta (o central) de ciclo combinado de gas, quizá la forma más económica y menos contaminante de tener energía entre las tecnologías disponibles (más allá de la nuclear, que,

por su diseño, como hemos visto en capítulos anteriores, genera un porcentaje relevante de energía en España, pero que no sirve para ajustar la oferta con la demanda de manera ágil). Intentemos comparar unas tecnologías con otras para saber cuál es mejor. Para responder a esta pregunta, quizá debamos formularnos antes otra: ¿de qué forma podemos comparar dos tecnologías?

Una manera sencilla de valorar la utilidad de diversas tecnologías pasa por tener en cuenta lo que cuesta disponer de la energía que cada una nos provee comparando una con otra. Es decir, ¿cuánto cuesta producir un kWh con cada sistema? En términos de energía, la manera de hacerlo es comparando kWh con kWh (en castellano cervantino se dice comparando peras con peras). Así es más sencillo formarse una opinión. Porque si estamos tratando de entender si un sistema es mejor que otro nada mejor que compararlo utilizando el mismo factor de medición. Parece razonable, ¿verdad?<sup>29</sup>

Entender los costes de generar un kWh utilizando dos tecnologías diferentes es relevante, porque, en función del resultado que arroje este análisis (el coste de un kWh proveniente de una batería o de un sistema de almacenamiento versus el coste de un kWh producido por una planta de ciclo combinado), deberás utilizar una u otra tecnología (si quieres pagar menos por la energía que utilizas teniéndola disponible siempre). Además, hay que tener en cuenta que la energía almacenada se ha tenido que producir antes, es decir, que tiene un coste adicional.<sup>30</sup>

Según el análisis de Lazard, en la actualidad todavía no resulta económicamente interesante utilizar baterías para almacenar

<sup>29</sup> Nótese que, en este caso, el criterio de comparación de una tecnología respecto a otra es el del coste (al final todos llevamos un pequeño director financiero dentro de nosotros, y yo, aunque soy licenciado en derecho, también). No olvidemos que el coste de fabricar energía tiene una relación directa con el precio que pagamos por disfrutarla.

<sup>30</sup> El coste total sería el correspondiente al coste de producción más el coste de almacenamiento.

energía proveniente de fuentes solares o eólicas, si lo comparamos con la tecnología de ciclo combinado de gas natural. Es decir, a igualdad de energía producida (kWh), en estos momentos sale más caro utilizar baterías. Actualmente, esto pasa tanto si comparamos los costes fijos de construir una planta de ciclo combinado junto con sus costes variables —los derivados de operar la planta— como si tan sólo comparamos los costes variables.

Lo que cambia la situación es saber a partir de cuándo puede ser mejor usar una tecnología que otra. Algunos expertos<sup>31</sup> consideran que, si la comparación se establece respecto a los costes fijos junto con los variables de una planta de ciclo combinado de gas, podría ser interesante utilizar baterías en un plazo relativamente corto de tiempo. El horizonte temporal para conseguirlo es variable, según las opiniones de los entendidos en la materia. Algunos creen que esto puede ser posible en dos años; otros calculan que no lo será antes de entre cinco y diez años, sin poder determinar de manera exacta cuándo (la tecnología es inescrutable). Si nos ceñimos sólo a los costes variables, entonces es más complicado decantarse por las baterías respecto a la tecnología de ciclo combinado, porque el coste con el que se compara es más bajo. De ser así deberíamos esperar durante un período de tiempo más largo (se necesita que el coste de éstas baje aún más).

OK, entendido. Las baterías serán útiles a partir de que sea más barato producirlas. Entonces, ¿cuánto está previsto que baje su precio? Traigo buenas noticias. El coste de la inversión que se debe realizar para fabricar baterías (en inglés se conoce como *capex*, acrónimo de *capital expenditure*, o inversiones en capital) está previsto que baje aproximadamente un 8% anual en promedio hasta el año 2022 (véase información ampliada en el gráfico 2 del anexo B). De hecho, en un estudio del National Renewable

<sup>31</sup> Por ejemplo, en la página 9 del «10th Annual Energy Paper» de 2020, de J. P. Morgan, se explica cómo el almacenamiento a corto plazo es una opción viable, pero todavía está lejos de llegar a gran escala.

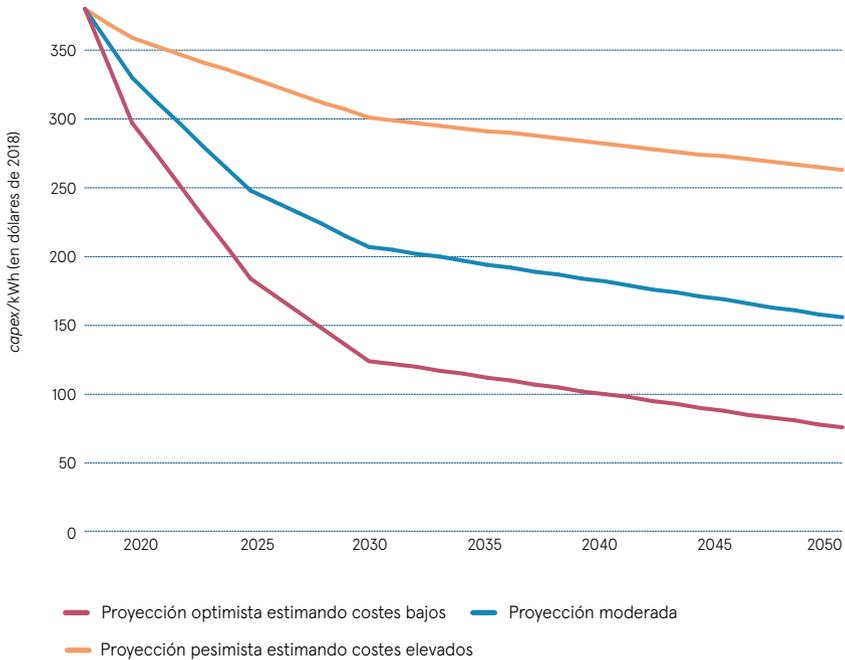
Energy Laboratory (NREL, el departamento público de energías renovables del gobierno de Estados Unidos; véase el gráfico 6.1) que consolida 27 predicciones de precios de baterías para uso en grandes instalaciones de almacenamiento, como vehículos u hogares o incluso mayores (entre ellas, la predicción de Lazard, mencionada anteriormente), se ha calculado este promedio de bajada (con tres escenarios distintos en función de la evolución tecnológica o la posibilidad de fabricarlas a gran escala, planteando un rango entre el escenario más optimista y el más pesimista).<sup>32</sup>

El mensaje es claro: considerando la proyección de coste medio (ni el escenario más optimista ni el más pesimista), la inversión necesaria para construir baterías seguirá bajando. Los primeros años (hasta 2020) se predijo un descenso del 7% anual, que luego se iría suavizando. Más tarde, hasta 2025, los estudios señalan un descenso anual del 5,5%; hasta 2030, del 3,5%; y posteriormente sólo bajará un 1,5% anual. Es decir, las baterías son caras, pero cada vez lo serán menos. Con ello, a medida que baje su coste de fabricación, se hará más viable utilizarlas para obtener un kWh de coste atractivo frente a otras opciones, debido a que será más barato disponer de una batería junto con su fuente de generación (un aerogenerador, por ejemplo) que otros sistemas de generación. Sin embargo, esto depende de cómo evolucione la tecnología. Y ya hemos comentado en el capítulo 4 que la tecnología puede tanto avanzar (en múltiples direcciones, y no siempre en la que queremos) como quedarse estancada; y puede hacerlo en horizontes temporales indeterminados.

En lo tocante a las baterías concurre un factor adicional a tener en cuenta para atisbar cómo pueden evolucionar sus costes de fabricación. Me estoy refiriendo a las diferentes tecnologías que se están empleando en su desarrollo. Y son muchas. Tener varias

<sup>32</sup> El gráfico 6.1 reproduce otro del estudio técnico «Cost projections for utility-scale battery storage», de Wesley Cole y A. Will Frazier para el National Renewable Energy Laboratory (NREL), que ofrece gráficos más complejos.

GRÁFICO 6.1 Proyección de costes para sistemas de baterías de iones de litio de 4 horas (capex por kWh, en dólares de 2018)



Fuente: Extraído de James Temple, «How a new class of startups are working to solve the grid storage puzzle», *MIT Technology Review*, 10 de octubre de 2019; fuente original: Wesley Cole y A. Will Frazier, «Cost projections for utility-scale battery storage», estudio técnico del National Renewable Energy Laboratory (NREL).

líneas de investigación abiertas puede ser algo positivo (¡alguna funcionará!), pero, al mismo tiempo, esto determina que no se sepa aún cuál puede ser la ganadora, lo cual provoca que se destinen muchos recursos a las diferentes opciones.

Según el Electric Power Research Institute (EPRI), hay más de quince tecnologías de almacenamiento y baterías en desarrollo.<sup>33</sup> Por su parte, la energía solar esencialmente dispone de dos líneas

<sup>33</sup> En un informe del Electric Power Research Institute, en Palo Alto (California), se estudian unos diez tipos de aplicaciones diferentes para las baterías, y se investigan más de quince tecnologías de almacenamiento y baterías diferentes. Cada tipo de

de trabajo: la energía solar térmica, que aprovecha la luz del sol para generar calor; y la energía solar fotovoltaica, que convierte directamente la luz del sol en electricidad. Es decir, queda mucho camino por recorrer hasta que existan estándares útiles y aplicables a un amplio espectro de usos para las baterías. El hecho de que no haya estándares dificulta la adopción por parte de los usuarios. Existen múltiples ejemplos de la relevancia de disponer de un estándar para que una categoría o industria avance.

Como soy una persona de cierta edad, recuerdo con sorpresa cosas de cuando era niño, por ejemplo, la batalla de formatos de cintas de vídeo que se desató en la década de 1980 entre los dos sistemas principales, el VHS (de JVC) y el Betamax (llamado «Beta», de Sony). Cada uno tenía sus virtudes y sus defectos. La virtud estaba en encontrar la película que querías con el sistema que tuvieras en casa (en mi caso, VHS). Por ejemplo, la última de James Bond. La virtud estribaba en encontrarla en mi sistema, y el defecto era que estuviera sólo en Beta. No fue hasta que las grandes cintas VHS impusieron su ley que estuvieron todos los títulos disponibles.<sup>34</sup>

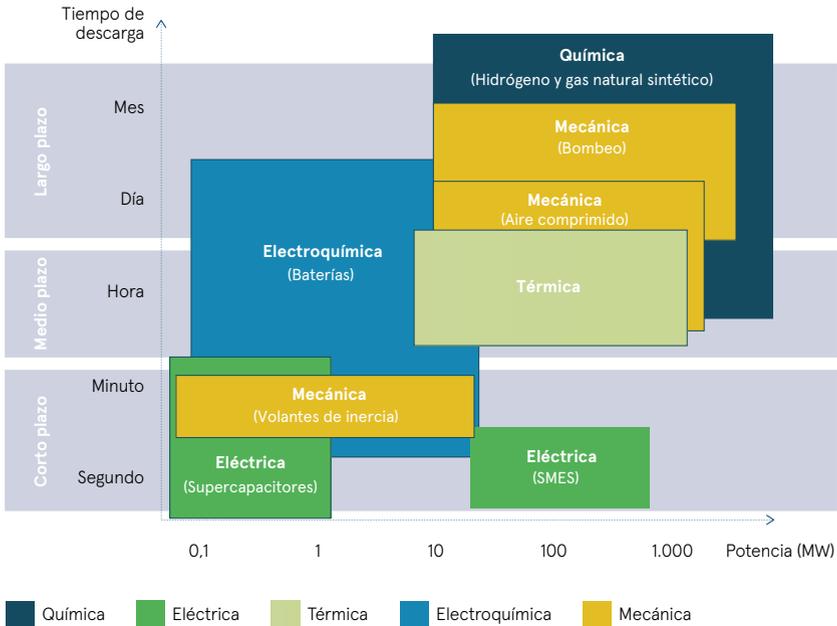
En el caso de las baterías, sabemos que la cuestión es un poco distinta a este ejemplo. Al final se desarrollarán varias tecnologías diferentes en función del uso que se le vaya a dar a cada una, pero, incluso en ese escenario, los expertos predicen que se reducirá la dispersión actual en la investigación de diversas opciones tecnológicas (véase el gráfico 6.2).

---

almacenamiento puede ser bueno para una aplicación y diferente para otras, así como puede haber diferencias de rentabilidad según la ubicación o el país.

<sup>34</sup> En 1975, Sony lanzó Betamax para grabar películas, y poco después JVC lanzó su estándar VHS (Video Home System); también hubo otros, como Video 2000, de Philips, pero pronto desaparecieron. Beta tenía el apoyo del gobierno de Japón, y esperaban que otros fabricantes lo usarían. Además, tenía mayor calidad, y las cintas eran más pequeñas. Pero VHS era un poco más barato, y tenía mayor duración de grabación (el original de Sony solo podía guardar 60 minutos, y el de JVC, 120). Más adelante, Beta llegó a las 3 horas y 30 minutos, y VHS a las 4 horas; pero VHS había ganado la partida de la duración y el precio, y se acabó imponiendo.

## GRÁFICO 6.2 Tecnologías de almacenamiento



Fuente: VV. AA., «Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación», Monitor Deloitte, enero de 2018.

Una opción en la que parece que existe cierto consenso (es decir, una aceptación de que es un estándar y de que, por consiguiente, tendrá una adopción masiva por parte de los particulares) es la que se refiere a equipos electrónicos de uso personal (dispositivos como ordenadores, teléfonos móviles, tabletas, etcétera). Otra es la movilidad terrestre. Los expertos sostienen<sup>35</sup> que el desarrollo de tecnologías está más avanzado en usos orientados al consumidor

<sup>35</sup> Francisco Javier Alonso Martínez, «Tecnologías de baterías eléctricas. Situación actual y viabilidad económica», *Cuaderno de Energía*, n.º 46, Club Español de la Energía, Deloitte y Garrigues, octubre de 2015, p. 77: «[...] se observa que, dentro de las baterías, las que están más cerca de alcanzar la madurez se sitúan principalmente en el espectro de aplicaciones orientadas a los usos distribuidos y a los clientes finales».

final, con énfasis en el almacenamiento de corto plazo (de minutos a horas) y baja energía.

Como he dicho antes, quizá sean estas dos aplicaciones las causantes de que nos afecte el sesgo de anclaje. Son aplicaciones relacionadas con usos tan cotidianos que es fácil que pensemos en ellas como adecuadas para cualquier uso. Se trata de las baterías de iones de litio. Sin embargo, incluso en el transporte terrestre existen áreas en las que no está claro que este tipo de baterías pueda cumplir el rol que se desea, como, por ejemplo, en el transporte de mercancías de larga distancia. Por ahora, para ser usadas con este fin, las baterías de iones de litio no son eficientes, ya que deberían tener mucha más capacidad, un tamaño mucho más pequeño y un tiempo de recarga mucho más reducido.

Además, y en cualquier caso, este tipo de baterías (iones de litio) no solo no son adecuadas para el transporte terrestre, sino tampoco para otros muchos usos. Existe un amplio abanico de aplicaciones para las que estas baterías no tienen sencillamente la potencia o la capacidad de almacenamiento de energía suficientes como para ser utilizadas de manera viable (al menos por ahora). Con ellas, se hace complicado, por ejemplo, tanto el almacenamiento a largo plazo (o estacional) como el de alta energía. Algunos casos en los que no sería viable usar estas baterías serían la industria siderúrgica del acero (para fundirlo), la de fabricación de cemento y la de procesos petroquímicos, entre otras. (Las peculiaridades de estas industrias las abordaré en capítulos siguientes.)

## Los humanos y el almacenamiento

Resumamos. En los próximos años, las baterías se van a convertir en una tecnología importante a medida que caminemos hacia fuentes de energía de origen renovable, debido a su intermitencia. En la actualidad, el coste de un kWh proveniente de una batería

es más costoso que uno de una tecnología alternativa, como la planta de ciclo combinado de gas. Y el coste nos importa, porque determina el precio que pagamos por la energía. La evolución tecnológica prevista por los expertos sugiere que el coste de las baterías será cada vez más bajo, con lo que cada vez dispondremos de energía almacenada más barata.

A los humanos nos interesa almacenar cosas desde hace miles de años. Nueve mil años antes de Cristo, aproximadamente, pasamos de ser animales cazadores nómadas a recolectores sedentarios, y comenzamos a almacenar comida. Compartimos esta característica con otros animales, como algunos roedores y pájaros, y también como los perros, que cuando no pueden roer un hueso, lo entierran para cuando vengan tiempos duros (son un poco glotones los chuchos). Nuestro comportamiento con la energía no podía ser una excepción. Teníamos que aprender a guardarla, y lo hicimos. Una manera de lograrlo de manera sencilla fue embalsando el agua, por ejemplo. Y, a medida que la tecnología avanza, lo hacemos de otras maneras. Sin embargo, nos queda camino que andar en cuanto al almacenamiento de energía se refiere. Siguiendo con los animales y la energía, permítanme un símil. Seguro que conocen el cuento de la cigarra y la hormiga. Sí, claro, me refiero a esa fábula que nos contaban de pequeños sobre la importancia de trabajar y almacenar comida en verano para tener con qué llenar el estómago en el duro invierno, con la cual nos enseñaban el valor de ser previsores. Pues bien, con la energía solar y térmica no podemos aplicar esa enseñanza. No se puede guardar en una batería el magnífico sol que hay en verano para disfrutarlo en invierno, porque las baterías pueden almacenar la energía para un tiempo limitado, y no mucho, ya que se trata de pocas horas o días. No quiero decir con esto que debemos ser como las cigarras (pobres bichos, menuda fama), pero seguro que todavía no somos hormigas en cuanto a guardar la energía del sol o del viento. Lo intentamos, pero no lo hemos conseguido aún. No del todo al menos.

De hecho, una batería pensada para almacenar energía solar o eólica y que tenga el nivel máximo de almacenamiento (carga) se puede vaciar en dos o tres días, en función de la demanda que tengas que cubrir (siempre que no se recarguen en ese período de tiempo, claro). A día de hoy, esto no hace posible guardar un gran volumen de energía (es diferente a lo que sucede con el agua de los pantanos, donde se puede almacenar una enorme cantidad de fuente de energía). Déjeme poner un ejemplo de los límites de las baterías para un uso cotidiano en la actualidad. La mayor planta de baterías del mundo, instalada en Australia por Tesla,<sup>36</sup> puede almacenar 193,5 MWh. Si tenemos en cuenta que un hogar en España consume unos 3.500 kWh (3,5 MWh) al año, significa que la superbatería de Australia puede almacenar, aproximadamente, la energía que consumen 55 hogares a lo largo de un año, 20.100 hogares en un día, o 482.400 hogares durante una hora. Para los datos referidos a un día y una hora, en caso de ser pleno verano (con aire acondicionado encendido) o pleno y frío invierno, sólo podría dar servicio a aproximadamente un tercio de estos hogares.

Ya se ve que dependiendo de la demanda que debe cubrir esa batería como única fuente de energía varía mucho su utilidad. Si sólo es para unos minutos (en caso de caídas de la red o apagones, por ejemplo), se puede usar para una ciudad pequeña o mediana. Si quieres almacenar en una batería la energía necesaria para todo un año, sólo es posible hacerlo para un par de edificios de seis o siete plantas y cuatro viviendas por planta. Con el estado actual de la tecnología, el tamaño de las instalaciones de almacenamiento energético necesarias para alcanzar un suministro ciento por ciento renovable hace que la viabilidad de la propuesta sea económicamente dudosa y técnicamente complicada.

<sup>36</sup> Se trata de la Reserva de Energía Hornsdale, a unos 200 kilómetros al norte de Adelaida (estado de Australia Meridional), y está conectada al parque eólico homónimo (operado por la empresa de energías renovables francesa Neoen).

En el anexo B se detalla la cuestión de cuándo compensa utilizar energía almacenada en diferentes formas (litio, hidrógeno comprimido, amoníaco, etcétera), comparado con el consumo directo de la energía (sin almacenar) producido por una planta de ciclo combinado de gas.

### ¿Sabía usted que las baterías...?

#### *Tienen una vida útil limitada*

Según Lazard, la vida útil de una batería se calcula en ciclos de recarga (y también le afectan negativamente los años que tenga, aunque se haya usado poco). Las baterías se degradan por el paso del tiempo y por los ciclos de carga. Según la Battery University, una batería pierde cada año el 20% de su capacidad. Además, una vez cumplidos los ciclos de carga útiles, la capacidad cae en picado.\*

Se calcula que las baterías de un coche eléctrico, por ejemplo, pueden tener una vida útil de tres mil ciclos de carga completos, es decir, unos ocho años, si se descarga y recarga completamente cada día. Esto es bastante gradual: durante los primeros centenares de ciclos (o los primeros mil), la degradación es muy baja, pero empieza a degradarse de forma mucho más rápida cuando supera esa fase útil. Tesla, sin embargo, garantiza (según el modelo) que en ocho años, o 240.000 km recorridos, la batería aún durará al menos un 70%.\*\*

#### *Son necesarias para que el sistema energético funcione*

Es decir, no existen sólo para ser «almacenes» de fuentes renovables, sino que tienen vida más allá de eso. Hacen falta baterías



para cuestiones diversas, como, por ejemplo, para los momentos en que hay que ajustar la oferta y la demanda. Las baterías se demuestran especialmente útiles en los casos en que debemos intervenir con rapidez para «introducir» energía en el sistema por razones diversas, tales como una leve interrupción en la generación solar porque hay una nube que de forma momentánea pero intensa interrumpe la generación, o bien cuando cae el viento de forma puntual, etcétera.

También hacen falta baterías en una central de generación que cuenta con equipos en los que no puede faltar ni un momento la energía (ni siquiera el corto espacio de tiempo que tarda en entrar en funcionamiento un grupo diésel eléctrico). En esos casos, se tiene que asegurar el abastecimiento energético en todo momento (y, por ejemplo, permitir que los operarios lleguen a la sala de control para poder realizar una parada segura de la instalación si es necesario). Esta energía proviene de los llamados «sistemas de alimentación ininterrumpida» (SAI), que están formados, entre otras cosas, por baterías. En general, no son sistemas que vayan a permitir el funcionamiento de la instalación, pero sí podrán mantenerla en condiciones seguras. Las baterías también te permiten corregir los cambios en la tensión que podrían afectar a equipos muy sensibles a la variación de ésta.

\* Véase: Isidor Buchmann, «Checking battery health while charging: a new tool that prompts replacement of a faded battery», Battery University, noviembre de 2012.

\*\* Véase: Diego Gutiérrez, «¿Cuánta autonomía pierde un Tesla Model 3 después de 80.000 kilómetros?», *Híbridos y Eléctricos* (Tecnofisis Global, S.L.), 10 de octubre de 2019.

Mientras no seamos capaces de construir baterías competitivas en coste (que, según Lazard, hoy todavía no lo son), además de gigantes (lo cual podría ser técnicamente posible, pero hoy pro-

blemente inviable, dado que cuanto mayor es la acumulación de las baterías, mayor es su complejidad técnica), ¿qué podemos hacer? ¿Cómo darle la máxima flexibilidad al sistema, por un lado (aprovechando las energías renovables junto con otras fuentes de energía, como la nuclear, por ejemplo, aunque sabemos que hoy, en ocasiones, esa generación conjunta de energía no cubre la demanda), sin descuidar, por el otro, que se dispare el coste de la energía? La cuestión es que, si no hay viento ni agua ni sol en la cantidad necesaria como para abastecernos y sabemos que las baterías no son aún competitivas, ¿cómo podemos prepararnos? Con sistemas de respaldo que nos permitan encender y apagar de manera ágil la fábrica de energía que cubra esa necesidad. Hasta ahora, parece que la mejor opción que se nos ha ocurrido en este campo son las plantas de ciclo combinado con gas natural. Quizá en unos diez años (si el coste de fabricación de baterías sigue bajando a un 8% anual) deberemos desmontar esta tecnología y cerrar esas fábricas. Mientras llega ese día, todo parece indicar que, al menos en España, necesitamos esa tecnología, la cual nos permitirá transitar el presente hasta que el desarrollo de la misma haga aconsejable utilizar otros sistemas más orientados hacia las energías renovables.

## **El ancla y la contaminación**

Ya que estamos en el capítulo de las anclas, permítanme hablar de otro ámbito donde es complejo utilizar baterías: el del transporte marítimo (especialmente el de carga, y también, aunque en menor medida, el de pesca). Los buques más grandes del mundo alcanzan los 400 metros de eslora y pueden transportar más de 20.000 contenedores, que, dispuestos todos en fila, tendrían una longitud mayor que la distancia entre Barcelona y Gerona (ésta es de unos 100 km, y los contenedores superarían los 120 km). Las

baterías actuales no sirven para el transporte marítimo de carga, y esto se debe esencialmente a dos razones: por un lado, el tamaño y el peso necesarios de las baterías que pudieran mover la nave en largas distancias no es el adecuado; y, por otro lado, en el caso de las baterías de iones de litio, se desaconsejan por motivos de seguridad, ya que, debido a la cantidad de energía que albergan, existe el riesgo de que se produzcan cortocircuitos y combustión (por aumento de temperatura, en caso de que sus componentes se degraden). Por todo ello, si deseamos barcos eléctricos deberemos construir mejores baterías. De hecho, los barcos de transporte marítimo son unos de los más destacados emisores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de otras sustancias contaminantes. Según la prestigiosa revista *Wired* (muy reconocida en el ámbito de la innovación tecnológica), «sólo los quince buques portacontenedores más grandes del mundo emiten más contaminantes de óxido de nitrógeno y óxido de azufre que todos los automóviles del mundo combinados. La electrificación de los automóviles y otros modos de transporte promete reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, y lo mismo ocurre con el sector del transporte marítimo».<sup>37</sup>

¿Cómo es posible que quince buques contaminen más en óxido de nitrógeno y de azufre que todos los coches del planeta, según afirma *Wired*? Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, debemos tener en cuenta que hay dos efectos diferentes que no tenemos que confundir (y que a menudo se confunden):

- Calentamiento global/efecto invernadero: causado por gases de efecto invernadero (fundamentalmente, el CO<sub>2</sub>).
- Baja calidad del aire: causada principalmente por óxidos de nitrógeno y partículas de azufre.

<sup>37</sup> Daniel Oberhaus, «Want electric ships? Build a better battery», *Wired*, 19 de marzo de 2020.

Llevándolo a una simplificación cercana al absurdo, las emisiones de CO<sub>2</sub> no generan problemas de calidad del aire (por favor, entiéndanme, es una simplificación enorme, ya que, aunque no es tóxico, el CO<sub>2</sub> produce el efecto invernadero), pero sí de calentamiento global, con las consecuencias que ello puede tener, que son colosales. Los problemas derivados de la baja calidad del aire nos afectan de manera directa a la hora de respirar, es decir, a escala local. Los combustibles que se utilizan en el sector marítimo son muy variados y, en muchas ocasiones, muy pesados y de baja calidad (se denominan «*heavy fuel oil*»), lo cual tiene una importante incidencia en la calidad del aire, fundamentalmente. Cada vez hay más zonas de regulación o de limitación de emisiones (de óxidos de nitrógeno y de azufre), conocidas como zonas ECA (Emission Control Areas) o SECA (Sulphur Emission Control Areas),<sup>38</sup> pero siguen siendo minoritarias. Vale la pena destacar que la normativa internacional en este ámbito es muy compleja (¿qué pasa en aguas internacionales?).

### El CO<sub>2</sub> equivalente, las neveras y el calentamiento global

El CO<sub>2</sub> es el más conocido de entre los gases que causan el famoso efecto invernadero. Pero no es el único que lo provoca, ya que existen otros gases que, en mayor o menor medida, también son causa del peligroso calentamiento global. La cuestión es que unos son más «dañinos» que otros, y esto impide que se puedan comparar de manera sencilla.

Esta fue la razón que recomendó crear una regla métrica que homologase o estandarizase la masa de gases emitidos como equivalente al CO<sub>2</sub> que contribuye a la llamada «huella de carbono», es decir, a la totalidad de la emisión de gases de efecto



<sup>38</sup> En Europa, por ejemplo, en el mar Báltico no se permite la circulación de estos buques altamente contaminantes.

invernadero. Usando un paralelismo sencillo, no engorda lo mismo comerse un kilo de *brownies* que un kilo de brócoli. Los dos alimentan y te hacen aumentar de peso, pero en proporciones distintas. Por ello se utiliza la unidad de tCO<sub>2</sub>eq (tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente) que supone un volumen de emisión de gas de efecto invernadero equivalente a una tonelada de CO<sub>2</sub>.

Desde una perspectiva genérica, se suelen considerar determinados valores para comparar el nivel de contaminación que suponen diferentes gases, valores que contabilizan «cuántas veces más» calienta la tierra una unidad de estos gases, en relación con el CO<sub>2</sub>. Dichos valores se expresan en la tabla 6.1.

TABLA 6.1

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global
CO <sub>2</sub> (dióxido de carbono)	1
CH <sub>4</sub> (metano)	25
N <sub>2</sub> O (óxido de nitrógeno)	298
HFC (hidrofluorocarbonos)	124 - 14.000
PFC (perfluorocarbonos)	7.390 - 12.200
SF <sub>6</sub> (hexafluoruro de azufre)	22.800

Fuente: Cuarto Informe de Evaluación (AR4), del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), de la ONU.

Es decir, emitir una tonelada de óxido de nitrógeno tiene efectos similares para la salud de la capa de ozono que emitir 298 toneladas de CO<sub>2</sub>. Uno de los gases que más contribuye al calentamiento global pertenece a la familia de los perfluorocarbonos (PFC), conocidos por ser los gases usados para enfriar en las neveras (qué contradicción, ¿verdad?). Una sola tonelada de PFC equivale a emitir entre 7.390 y 12.200 toneladas de CO<sub>2</sub> (por eso, desde hace años, se procura reducir su uso).

A mí me sorprenden el tipo de noticias como la que acabo de apuntar relacionadas con los barcos, porque me afecta el sesgo que describo en este capítulo. En mi cabeza, durante años, se ha construido la impresión de que existen unas industrias que emiten más CO<sub>2</sub> que otras, probablemente porque he sido influido por el efecto ancla.<sup>39</sup> Si les preguntara a ustedes qué dos industrias son las principales emisoras de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en nuestro país, ¿cuáles les vendrían a la mente? Si piensan en un viejo camión expulsando una enorme humareda de color negro, probablemente su intuición sea correcta, porque el transporte es la primera causa de emisiones. ¿Y la segunda? La segunda es la industria (las fábricas en general). Así pues, la generación de energía (las centrales), aun con sus enormes chimeneas, no son la primera ni la segunda causa. Y, para mí, descubrir esto fue una sorpresa. Porque *a priori* hubiera dicho lo contrario.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA),<sup>40</sup> organismo de la Unión Europea (UE) cuya labor es ofrecer información sólida e independiente sobre el medio ambiente, el sector que más emisiones de CO<sub>2</sub> emite a la atmósfera en España es el transporte, con un 26% de emisiones. Los coches y furgonetas suponen el 64% de las emisiones del transporte; y los camiones, el 30%. El resto proviene de los vuelos domésticos, las motocicletas, los trenes, los barcos domésticos (ferris, barcos de recreo o de paseo, como los llamados «golondrinas» de ciertos puertos), los yates, las barcas de transporte fluvial, etc. En un epígrafe separado, y en cuarta posición, encontramos el transporte aéreo y marítimo internacional, que añade un 12% adicional al CO<sub>2</sub> emitido (lo que llegaría a sumar un 38% en total en «transporte»). Este CO<sub>2</sub> lo

<sup>39</sup> He estado intentando encontrar un juego de palabras entre barcos y anclas para enlazar un tema con otro. Parece fácil y divertido, ¿verdad? El resultado fue tan precario que consideré prudente no escribirlo, protegiéndoles así a ustedes, queridos lectores, de algún sinsabor. De todos modos, espero que sigan leyendo el resto de la obra.

<sup>40</sup> En inglés, European Environment Agency (EEA).

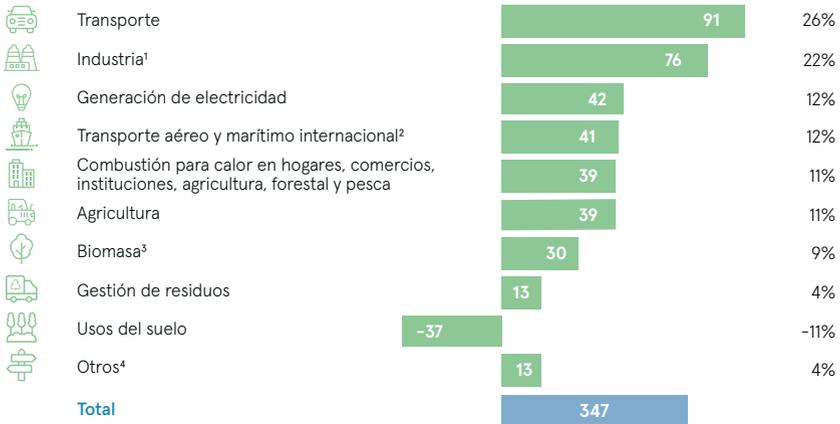
emiten principalmente los aviones en vuelos internacionales (un 48%) y los barcos de largo recorrido (un 52%).<sup>41</sup>

El segundo sector que más CO<sub>2</sub> emite es la industria. Más de la mitad del CO<sub>2</sub> que produce ésta proviene de la quema de combustibles, principalmente para calentar o fundir, y el resto, de los propios procesos industriales. Las industrias que más CO<sub>2</sub> generan son la cementera y la de refrigeración y aire acondicionado, con casi un 30% cada una. (En el gráfico 6.3 se expone la información por sectores.)

El tercer sector por emisiones es el sector de generación de electricidad, y en el cuarto lugar encontramos un «sector miscelánea», el de los hogares, los comercios, las instituciones, la agricultura, la explotación forestal y la pesca. Este último sector es diverso, y depende en parte de los ciclos económicos. Vale la pena aclarar que la categorización por sectores que acaban de ver es una reelaboración que he realizado a partir de datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Es decir, he organizado la información como me ha parecido más razonable para hacerla comprensible para mí, prejuzgando quizá que, si yo lo entiendo bien así, otros también lo harán —aunque mi forma de ver las cosas no tiene por qué coincidir del todo con la de otras personas—. Para mí, en este debate sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, también es crítico conocer, a partir de datos, cuál ha sido la evolución que se ha producido en las diferentes sectores mencionados en el gráfico 6.3. Pienso que así evitaré el efecto ancla. En primer lugar, me gustaría mostrar la evolución de emisiones de CO<sub>2</sub> en España, como se observa en el gráfico 6.4.

<sup>41</sup> En el argot técnico, se llama al transporte internacional «*bunkering* internacional». En España se produce una situación peculiar: muchos barcos pasan de largo al navegar frente a nuestro país en sus rutas internacionales, pero recargan fuel en nuestro entorno. Este CO<sub>2</sub> se «asigna» a cada país. Sin embargo, para otros cálculos —por ejemplo, aquellos incluidos en los planes nacionales integrados de energía y clima (PNIEC), que se comentan ampliamente en el capítulo siguiente—, esto no se tiene en cuenta.

GRÁFICO 6.3 Emisiones de CO<sub>2</sub>eq por sector en España (en Mton, 2019)



<sup>1</sup> Industria: se incluye refino de petróleo. <sup>2</sup> Transporte aéreo y marítimo internacional: se aporta en inventario nacional a título informativo. <sup>3</sup> Biomasa: sólo se contabilizan las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. <sup>4</sup> Otros: incluye emisiones fugitivas, transporte y almacenaje de CO<sub>2</sub>, y otros sectores.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).

GRÁFICO 6.4 Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq en España (en Mton, 1990–2019)



Fuente: Avance de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2019, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (Excluye usos del suelo, forestal, bunkers internacionales y biomasa.)

A continuación, quiero compartir el análisis de la evolución de los sectores comentados anteriormente tomando como referencia datos de 1990, 2000 y 2019, y considerando dos entornos temporales, 1990-2019 y 2000-2019, como se refleja en el gráfico 6.5.

Aquí parece que hay ganadores y perdedores en cuanto a reducción de CO<sub>2</sub>. El sector que más ha reducido las emisiones en cualquiera de los dos horizontes temporales ha sido el sector de generación de electricidad (tanto en valor absoluto como en relativo). Liderando el *ranking* en lo que a reducción se refiere, sigue siendo la tercera actividad en emisiones netas (emite bastante), aunque cada vez es menor el volumen de CO<sub>2</sub> generado. Está mejorando a pasos agigantados, en comparación con otros sectores. En ello, seguro que tiene que ver el progresivo cierre de centrales de carbón

GRÁFICO 6.5 Emisiones de CO<sub>2</sub>eq en España (1990, 2000 y 2019) (en Mton)

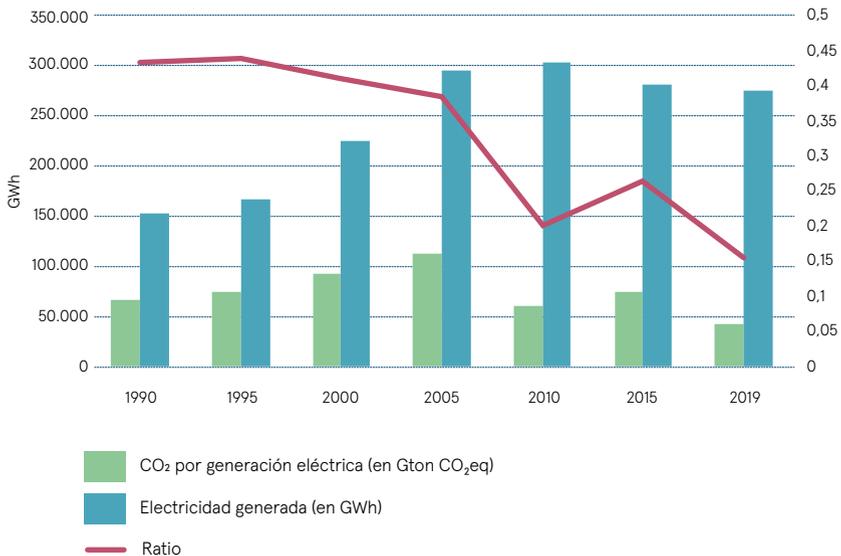
	1990	2000	2019	Cambio 1990-2019 (en %)	Cambio 2000-2019 (en %)
 Transporte	59	87	91	54%	5%
 Industria	75	101	76	1%	-25%
 Generación de electricidad	66	92	42	-36%	-54%
 Transporte aéreo y marítimo int.	17	29	41	141%	41%
 Combustión para calor en hogares, comercios, instituciones, agricultura, forestal y pesca	26	35	39	50%	11%
 Agricultura	34	39	39	15%	0%
 Biomasa	18	17	30	67%	76%
 Gestión de residuos	10	13	13	30%	0%
 Usos del suelo	-39	-43	-37	-5%	-14%
 Otros <sup>1</sup>	17	18	13	-24%	-28%
<b>Total</b>	<b>283</b>	<b>389</b>	<b>347</b>		

<sup>1</sup> Otros incluye: emisiones fugitivas, transporte y almacenaje de CO<sub>2</sub>, y otros sectores.

que han ido asumiendo sus propietarios, lo cual ha favorecido la generación energética desde otras fuentes más sostenibles. De hecho, en 2020, la intención del sector de generación eléctrica en España era cerrar prácticamente todas las centrales de carbón o adaptar las que sigan en funcionamiento para reducir la producción de CO<sub>2</sub>. La reducción de emisiones en generación se aprecia mejor aún si se expresa en relación con la energía total generada (emisiones de CO<sub>2</sub> por MWh generado), ya que se han reducido las emisiones a la vez que el volumen total de energía generado ha aumentado. En el gráfico 6.6 se puede observar esta mejora.

En España, la industria fabril ha experimentado un notable descenso en cuanto a emisiones. Sin ánimo de restarle mérito, eso se debe en parte a una mejora de la intensidad (o eficiencia) energética

GRÁFICO 6.6 Emisión de CO<sub>2</sub> emitido por generación eléctrica; electricidad generada en España; y relación entre ambos parámetros



Fuentes: Para la generación, Agencia Internacional de la Energía; para el CO<sub>2</sub>, Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).

y de la adaptación a una producción más limpia, pero en buena parte está asociado a una caída en la capacidad industrial de nuestro país en los años de crisis financiera. Véase el gráfico 6.7, donde, con datos del Banco Mundial, se ve la evolución del peso de la industria española (incluida la construcción) en relación con el PIB.

Por último, merece una especial mención la agricultura en su esfuerzo por controlar el impacto de su actividad en emisiones de CO<sub>2</sub>.

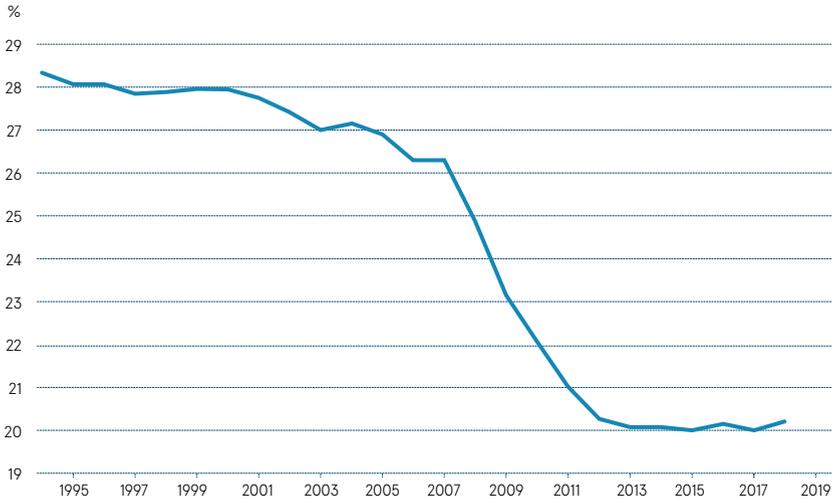
Otras actividades, si bien su contribución neta es menor, han aumentado el volumen de emisiones de CO<sub>2</sub>, algunas notablemente. Cabe destacar aquí el transporte aéreo y marítimo, con crecimientos de dos o hasta tres dígitos, en función de si ponemos el reloj de la comparativa en marcha en 1990 o en 2010.

El motivo de utilizar 1990 como punto de partida para la comparativa de emisiones de CO<sub>2</sub> responde al hecho de que, en términos generales, es el año que se toma como referencia para la mayoría de acuerdos internacionales asumidos por España en su compromiso con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, expresados, en el ámbito de la UE, en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima español (PNIEC).<sup>42</sup>

En cualquier caso, y para terminar, todo parece indicar que algunos sectores reducen de forma más notable que otros sus emisiones de CO<sub>2</sub>. ¿Las razones? Intuyo que se debe a una de estas tres causas: porque se toman más en serio el compromiso de reducir el CO<sub>2</sub>; porque el marco legislativo es más estricto con

<sup>42</sup> De los cuatro grandes objetivos que establece el PNIEC español, el primero es lograr una reducción del 23% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990. El PNIEC está vinculado con el cumplimiento de lo establecido por la UE, cuyos objetivos fundamentales del marco de clima y energía para 2030 son tres; el primero de ellos es lograr una reducción de al menos el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de 1990). El año 1990 se toma como la fecha de referencia también en el ámbito de acuerdos mundiales; así, en 1997, el Protocolo de Kioto acordó una reducción de al menos un 5% de las emisiones de estos gases (GEI) en 2008-2012 en comparación con las emisiones de 1990.

GRÁFICO 6.7 Porcentaje del sector industrial en el PIB en España (incluyendo la construcción)



Fuente: Banco Mundial (gráfico «Industria, valor agregado [% del PIB]: España»).

esas industrias; o porque se da una combinación de las dos causas precedentes. Como país, de forma colectiva y desde cada sector, se debe intentar reducir las emisiones por medio de una de estas tres fórmulas:

- mejorando la eficiencia (haciendo lo mismo con menor esfuerzo energético);
- sustituyendo las fuentes energéticas por otras menos contaminantes, y
- en la medida de lo posible, con un menor consumo de energía por reducción de actividad (tema polémico y difícil de acometer, y que no es objeto de este libro).

Este capítulo ha comenzado abordando las limitaciones tecnológicas y económicas de las baterías como sistema de almacenamiento.

Por el momento, no se trata de una tecnología que se pueda considerar madura, y todavía no genera ahorros importantes en términos generales y para todo tipo de usos. La tecnología de iones de litio es quizá la favorita entre los consumidores, con aplicaciones evidentes en ámbitos como la automoción o la tecnología de consumo (ordenadores, teléfonos móviles y aspiradores, por ejemplo), pero no resulta aplicable a otras actividades tales como los procesos industriales con altas temperaturas, el transporte aéreo o marítimo o el almacenamiento estacional. Si bien hay una tendencia decreciente en los costes de estos sistemas de almacenamiento, aún no son competitivos comparados con tecnologías de generación eléctrica como el gas natural para proveer estabilidad y flexibilidad a la red. Hoy día, las baterías son aún caras respecto a otros sistemas de generación de energía (malas noticias), pero cada vez lo serán menos gracias a la evolución tecnológica (buenas noticias). A continuación, hemos analizado el ámbito de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y hemos comprobado qué industrias emiten más (o menos) y cuáles han logrado reducir (o aumentar) las emisiones de CO<sub>2</sub>.

¿Cómo podemos escapar del sesgo ancla en el ámbito de la energía? Comencemos por reconocer que nadie está a salvo de tal sesgo. Ni siquiera los expertos en una materia (y tampoco los expertos en energía). Una buena manera de combatir este sesgo pasa por ser conscientes de su existencia, recordarlo, tener presente que nuestras capacidades cognitivas quedan afectadas por él. Buscar razones o intentar comparar basándonos en hechos objetivos puede ayudar. Hacerse preguntas difíciles puede actuar de antídoto. El inconveniente es que, para poderlas responder, necesitamos información y tiempo. Y no siempre podemos tomarnos el tiempo necesario para realizar el análisis completo de una situación, o bien, sencillamente, y aunque dispongamos de ese tiempo, no queremos esperar.

¿Les estoy sesgando o están de acuerdo? Creo que negarlo o confirmarlo tiene que ver con lo que abordaremos en las siguientes

páginas, y es que «no hay explicaciones sencillas a problemas complejos». Así se titula el capítulo 7. En él hablaremos de las energías sostenibles.

### **Hablando de que el ancla también pesa en la energía...**

- ¿Las baterías en la actualidad son una tecnología de almacenamiento madura?
- ¿Las baterías permiten generar ahorros importantes hoy día?
- ¿Cuáles son los principales sectores responsable de las emisiones de CO<sub>2</sub>?
- ¿Qué sectores han evolucionado más en cuanto a reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>?



## CAPÍTULO 7

### CONFIRMACIÓN: NO HAY EXPLICACIONES SENCILLAS A PROBLEMAS COMPLEJOS

En Londres disfrutaban de la cerveza. Yo viví ahí durante un tiempo y lo pude comprobar. Unos investigadores realizaron un experimento consistente en ofrecer cerveza gratuita a diferentes consumidores en tres tipos de vasos: de plástico, de cristal sin marcas y de cristal con la marca de una cerveza. A continuación, les preguntaron cómo valoraban la bebida. Como pueden ustedes imaginar, a mejor vaso mejor valoración del producto. Hasta aquí, todo normal, ¿verdad? Este comportamiento está relacionado con el llamado *packaging*, y hace años que hemos comprendido que el envoltorio o el envase influyen en nuestras percepciones del producto que consumimos.

Lo interesante viene ahora: comprobaron que si los bebedores estaban familiarizados con la marca de cerveza, entonces el tipo de vaso tenía un impacto moderado en la percepción de los clientes (su opinión ya está formada, decidida), mientras que si la marca, por el contrario, era desconocida, el vaso influía más (ese logo impreso modificaba su opinión). Por otro lado, si los clientes no sentían un especial afecto por esa cerveza (o si no les gustaba), cuando bebían del vaso con la marca impresa se exacerbaban sus

comentarios negativos hacia la bebida. Es decir, la opinión previa sobre la cerveza influía notablemente sobre lo que los bebedores de la prueba decían cuando se les preguntaba *a posteriori*. En definitiva, probar la cerveza era lo de menos. Lo más decisivo era lo que opinaba la persona antes de beberla.

Yo también hago experimentos sesudos. Sí, en mi casa y con mis hijas. Cuando eran pequeñas, hacíamos «catas a ciegas». Cuando comíamos un plato de pasta de tres colores, sólo les gustaba, decían ellas, la que era de color blanco, mientras que la verde o naranja (fabricadas en parte con verduras, y ya saben la mala fama que tienen éstas entre los pequeños) no les gustaban, porque su sabor era «diferente». Así que comían la pasta blanca y evitaban las otras, que quedaban en sus platos. Como padre, uno no puede aceptar un «motín gastronómico» de esta envergadura, así que yo les proponía un reto: taparse los ojos anudando la servilleta alrededor de su cabeza (el improvisado disfraz ayudaba a restar tensión a la situación), darles a probar tres bocados de pasta, cada uno de un color, y que intentaran acertar el color de cada uno. Si lo averiguaban podían dejar de comer en el acto, si así lo querían, o comer sólo la pasta blanca. La oferta era tentadora; y ellas la aceptaban, y perdían. Problema «gastronómico» solucionado.

Aunque nos gusta pensar que somos seres con opiniones racionales, objetivas, basadas en datos y, por tanto, lógicas, lo cierto es que, a menudo, muchas de nuestras ideas se basan en el hecho de que prestamos atención de forma selectiva a la información que verdaderamente coincide con esas ideas nuestras, mientras que, sin darnos cuenta, ignoramos la información que no nos encaja. Dicho con otras palabras, no vemos las cosas como son, sino que vemos lo que nos conviene en función de cómo pensamos.

Todos caemos en esta forma de actuar. Es muy común. Se llama sesgo de confirmación. Hay demasiada información en el mundo, no tenemos más remedio que filtrarla. Nuestro cerebro utiliza unos cuantos trucos simples (atajos mentales) para seleccionar los

trocitos que cree que nos van a servir mejor. Uno de esos trucos es utilizar la información que confirma lo que pensamos o creemos, y dejar de atender aquello que no lo hace. Esta idea es especialmente seductora, ya que nos ofrece una explicación sencilla sobre un fenómeno que antes creíamos más complejo. En muchos casos, este sesgo nos lleva a ignorar completamente las ideas contrarias a las propias, dejándonos con un único punto de vista. Esto nos puede llevar al pensamiento circular, porque una creencia simple lo explica todo y, a la vez, no explica nada. Está claro: no hay explicaciones sencillas a problemas complejos, sesgo «confirmado».

Hace años que, por la geografía de nuestro país (y de otros de nuestro entorno y del mundo), han proliferado los aerogeneradores (o molinos de viento) para producir energía eólica. Los puedes ver con relativa frecuencia. Los encuentras tanto en zonas montañosas como en extensiones de terreno más plano. Son vistosos; al menos a mí, ahí donde los veo me provocan la sensación de estar en un país moderno, avanzado, incluso a la vanguardia. Me gusta observarlos (sobre todo cuando están en funcionamiento) porque me lleva a pensar que tenemos conciencia ecológica, que estamos haciendo bien las cosas y que progresamos en la dirección adecuada.

Algo similar me pasa con la energía solar, especialmente la fotovoltaica. Ya saben, la que se genera a partir de paneles (a veces colocados en los tejados de las casas, y otras veces en plantas sobre el terreno). Recuerdo haberlos visto en la década de 1990 en minúsculas localidades de países del centro de Europa, como Alemania o Suiza, donde me llamaban doblemente la atención, por la novedad en sí misma (entonces, un panel solar era algo marciano para mí) y porque en esos países no es que luzca mucho el sol. Los que sí brillaban eran mis ojos cuando me contaban las bondades de capturar la luz del sol y transformarla en energía para poder usarla en el día a día. Magia de la modernidad.

También los embalses de las centrales hidráulicas, con la majestuosidad de sus inmensas presas de piedra y hormigón, me

parecen increíbles. Ver toda el agua embalsada me hace pensar que somos doblemente inteligentes, ya que la almacenamos para generar electricidad y, en un país como el nuestro donde es un bien tan escaso, también para regar y para usarla cuando más falta hace. Me encantaría visitar las dos mayores presas del mundo por potencia instalada: la de las Tres Gargantas (en China) y la de Itaipú (entre Brasil y Paraguay). La primera tiene 22.500 MW de potencia instalada, y la segunda 14.000 MW, si bien la segunda tiene un 20% más de producción anual. Por comparar, las cinco centrales nucleares españolas tienen una potencia instalada conjunta de casi 7.400 MW, es decir, la presa de América del Sur puede generar el doble que todas nuestras nucleares juntas, y la de China, el triple. Desde tiempos inmemoriales, las crecidas del Yangtsé (el río más largo de Asia, que alimenta la presa de las Tres Gargantas) provocó enormes desastres en China. Por ejemplo, sólo en el siglo xx murieron unas 300.000 personas a causa de inundaciones del Yangtsé. Esta presa china protege de las crecidas del río a unos quince millones de personas que viven en sus márgenes. La contrapartida de todo esto (nada es gratis) es que, para construir este complejo energético se tuvieron que realojar a entre 1,2 y 2 millones de personas, además de anegar importantes áreas con restos históricos.

Es importante tener en cuenta que no es lo mismo la potencia instalada que la energía que generan las centrales, como hemos explicado en el recuadro «Diferencia entre potencia y energía», en el capítulo 6 (p. 93).

Los parques solares, o plantas termosolares, que capturan la energía por medio de concentrar el calor del sol me parecen interesantes como ejemplo de transformación energética. Sobrevolando el sur y suroeste de España, he podido ver alguno de estos parques. En Estados Unidos, donde sabemos que les gusta hacerlo todo a lo grande, han construido la central de Ivanpah, que es una de las mayores centrales de este tipo por extensión. Cubre

una superficie de 1.420 hectáreas. Eso es el doble que el Ensanche barcelonés (746 hectáreas).

La han levantado en el mejor sitio posible: donde menos gente vive y más calor hace: el desierto de Mojave. Sí, en pleno erial, a 80 km al sur de Las Vegas han montado una central con una potencia instalada de 392 MW.<sup>43</sup> La planta ha recibido varios reconocimientos, entre otros «Planta del año 2014» por la revista *Power Magazine* (imagino que debe ser como aparecer en la portada de *Time Magazine* como personaje destacado del año). Es una buena solución para abastecer de energía (al menos en parte) a la ciudad de Las Vegas y sus miles de carteles luminosos, sus hoteles, sus aires acondicionados, sus teatros y sus salas de congresos. Sin embargo, como sucede con las presas, no todo son ventajas, porque para poder construirla tuvieron que desplazar de su hábitat a tortugas protegidas y otras especies (el desierto no está muerto, al contrario de lo que solemos pensar). Además, las estimaciones apuntan que cada año mueren seis mil pájaros abrasados por esta «granja» solar.<sup>44</sup>

Constantemente aparecen noticias en los medios de comunicación que apuntan al enorme desarrollo de las energías renovables (y vuelvo a tener la sensación de que vamos en la dirección correcta). Me impactan las imágenes que veo en la televisión de la descarga de las piezas que conforman un aerogenerador (o molino de viento) de un barco para ser transportadas por vía terrestre hasta su emplazamiento definitivo, donde se montarán. (A veces, conduciendo por las autopistas, me impresiona también ver camiones con grandes tráileres que transportan palas, mástiles y otras piezas de enormes aerogeneradores.) En los diarios o en la radio, la información sobre los cambios que se están produciendo en el

<sup>43</sup> En España hay en construcción proyectos mayores. En Extremadura, Iberdrola está construyendo una central fotovoltaica de 500 MW.

<sup>44</sup> Recomiendo ver la charla TEDx «Why renewables can't save the planet», de Michael Shellenberger, TEDxDanubia, en la que habla de esta central con una mirada distinta a la que podría esperarse.

sector de las renovables es abundante y constante, incluyendo las menciones a los acuerdos internacionales a favor de reducir las emisiones e impulsar las energías renovables.

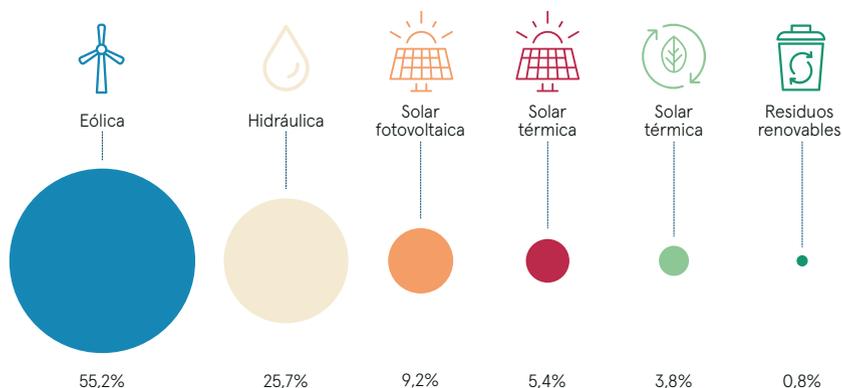
FIGURA 7.1 Las energías renovables en la prensa



Ante tal despliegue de evidencias, quizá resulte razonable considerar que el suministro eléctrico sólo con energía renovable es posible en la actualidad. Y esto es magnífico, porque si lo unimos a la idea de electrificar toda la actividad económica (los usos que le damos a la energía eléctrica) tenemos una fórmula ganadora. Pero esto no es correcto. Lo que pasa es que aplicamos un poderoso sesgo de confirmación. Recopilamos mentalmente la información que respalda nuestras creencias previas o interpretamos la que recabamos como nos conviene para confirmar lo que pensamos. En España, resulta normal ver parques eólicos; hay 1.203, en 807 municipios (datos de 2020).<sup>45</sup> Su desarrollo ha sido notable en los últimos quince años. Tanto es así, que más de la mitad de la generación de energía eléctrica renovable es eólica (véase el gráfico 7.1).

La instalación de paneles fotovoltaicos privados también está en expansión. E incluso los parques de energía solar también están creciendo, y ahí donde están son vistosos. En España se ha producido

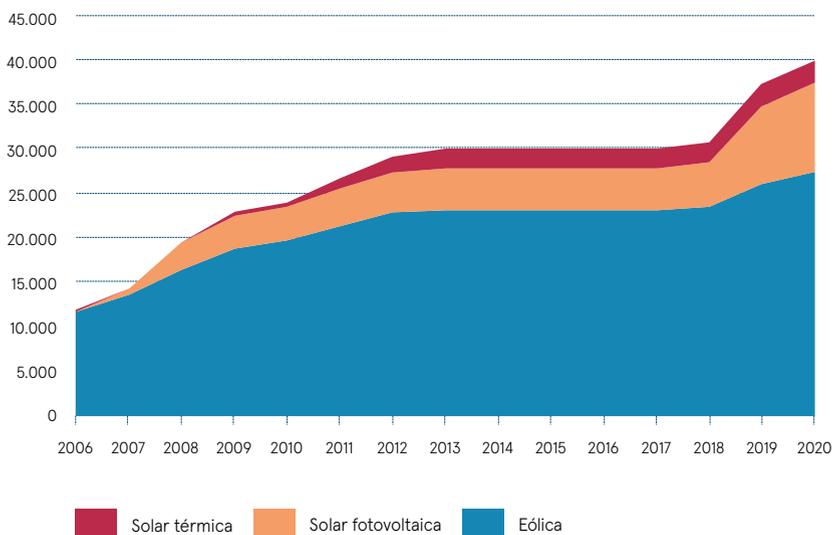
GRÁFICO 7.1 Estructura de la generación anual de energía eléctrica renovable peninsular en 2019 (en %)



Fuente: Red Eléctrica de España (REE), informe «El sistema eléctrico español 2019», publicado en 2020.

<sup>45</sup> Asociación Empresarial Eólica (AEE), Anuario eólico 2020.

GRÁFICO 7.2 Potencia instalada de una selección de energías renovables en España (en MW)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Red Eléctrica de España (REE), 2021.

un formidable incremento de la potencia instalada con estas fuentes energéticas desde 2006 hasta 2020 (véase el gráfico 7.2). Cada aerogenerador, placa fotovoltaica o espejo solar es un estímulo que confirma la opinión de que, si estas instalaciones y tecnologías están por todos lados, uno puede abastecerse con energías renovables. Por todo ello, resulta habitual atribuirles más peso en cuanto a su capacidad de generar electricidad para el sistema (en comparación hay siete reactores nucleares en España —en cinco centrales—, tres de los cuales están en el sur de Cataluña, dos en Extremadura, uno en Castilla-La Mancha y otro en la Comunidad Valenciana).<sup>46</sup>

Sólo basta que mi cabeza sea un poco selectiva al escuchar en la radio, ver en la televisión o leer en los periódicos aquellas noticias

<sup>46</sup> Datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021).

sobre los grandes avances de la tecnología de las renovables y... ¡zas!, ya tengo el sesgo montado en mi cabeza. Incluso si llego a encontrar información contraria a mi sesgo confirmatorio (noticias que hablen de la dependencia que tenemos de los combustibles fósiles o nucleares) me costará atribuirles la relevancia que se merecen. Al actuar así evitamos entrar en contradicción con nosotros mismos, lo cual nos provocaría un conflicto (y uno siempre quiere llevarse bien consigo mismo). En el fondo, simplificamos para explicar lo que nos interesa, ignorando lo que queremos ignorar.

Hace poco viví una situación con un conocido, Javier, que me parece un ejemplo interesante de cómo nos afecta este sesgo. Javier tiene un coche Tesla. Un día me dijo: «Deseo un Tesla». Y se lo compró (obviamente, a él le van bien las cosas). Hoy día, un Tesla es un gran coche. Es un icono automovilístico que representa el éxito de su propietario.<sup>47</sup> Pero un Tesla también es la expresión de que te importa la salud del planeta. Con un Tesla quieres pensar que eres un tipo responsable que está ayudando al medio ambiente. Javier me lo dijo: «No contamina. Porque es eléctrico y, como tal, no contamina cuando circula. Tú deberías hacer lo mismo». Así de fácil. Así de simple. Pero no, no es así. Porque, como dijo la escritora francesa del siglo XVII Madeleine de Souvré, marquesa de Sablé: «Nada tan peligroso como un buen consejo acompañado de un mal ejemplo».

Un coche eléctrico no contaminaría si la energía que consume para circular proviniera de fuentes renovables completamente, lo cual no es del todo así (y no hemos entrado a valorar si la energía empleada para fabricar el vehículo es o no más o menos contaminante). ¿Qué sentido tiene pensar que uno conduce un vehículo eléctrico porque es de cero emisiones si la electricidad

<sup>47</sup> Hace poco leí, no recuerdo dónde, que los propietarios de coches Tesla son *eco show-off*, es decir, «eco-pijos» (el Tesla es el Porsche Cayenne de los *eco-friendly*). Se hablaba de estas personas diciendo que, por un lado, existen los «hijos» de Greta Thunberg (la famosa y jovencísima medioambientalista) y, por otro, los «pijos» de Greta Thunberg. Los propietarios de un Tesla son los segundos, según ese texto.

que consume proviene, por ejemplo, del carbón (que es altamente contaminante en CO<sub>2</sub>, que provoca el calentamiento global)? Sin embargo, el propietario de un Tesla no quiere hablar de este tema, porque no confirma su sesgo.

La realidad es que, hoy día, la energía eléctrica proviene aún de múltiples fuentes; algunas emiten CO<sub>2</sub>, y otras no, pero incluso estas últimas, a veces, y de manera indirecta, acaban emitiendo CO<sub>2</sub>. Por lo tanto (y esto va para todos los Javieres), habría que detenerse a entender muy bien algunas cuestiones relacionadas con un suministro energético que provenga al ciento por ciento de energías renovables. Para mí, esas cuestiones se resumirían en las siguientes dos preguntas; la primera está relacionada con la velocidad, y la segunda, con la dependencia de las renovables:

- Sabiendo que ahora no toda la energía proviene de fuentes renovables, ¿en cuántos años podemos sustituir aquellas fuentes que emiten CO<sub>2</sub> hasta lograr que toda nuestra energía provenga de las renovables?
- ¿Qué implicaciones tiene disponer de un sistema energético que sea totalmente proveniente de las renovables?

(Advertencia: como de costumbre, no hay explicaciones sencillas a problemas complejos; la energía es un tema complejo, y el sesgo de confirmación no ayuda nada.)

## **La energía y las fuentes: no sólo de viento, sol y agua beberá la energía en el año 2030**

Para comprender si es posible lograr el abastecimiento energético completo con renovables, debemos comenzar por analizar cuánta energía en la actualidad proviene de qué fuentes. Sólo si tenemos una imagen clara de la situación del origen de la energía en la

actualidad podemos entender el esfuerzo que deberíamos hacer para sustituirlas por las renovables.

Según datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE)<sup>48</sup> y Red Eléctrica de España (REE),<sup>49</sup> podemos comprobar que el suministro eléctrico en España en la actualidad (datos de 2019) proviene de combustibles fósiles en un 28% (5% carbón, 2% petróleo, 21% gas natural), en un 21% de energía nuclear, en un 36% de las renovables principales (eólica, hidráulica y solar) y un 15% de otras. El gráfico 7.3 (p. siguiente) muestra el detalle de los diferentes orígenes de la energía eléctrica en España en comparación con otros países de nuestro entorno (datos de 2019). En dicho gráfico se observa que, en España, los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) representan el 28% del total, lo cual sitúa a nuestro país en la novena posición en cuanto a la utilización de dichos combustibles.

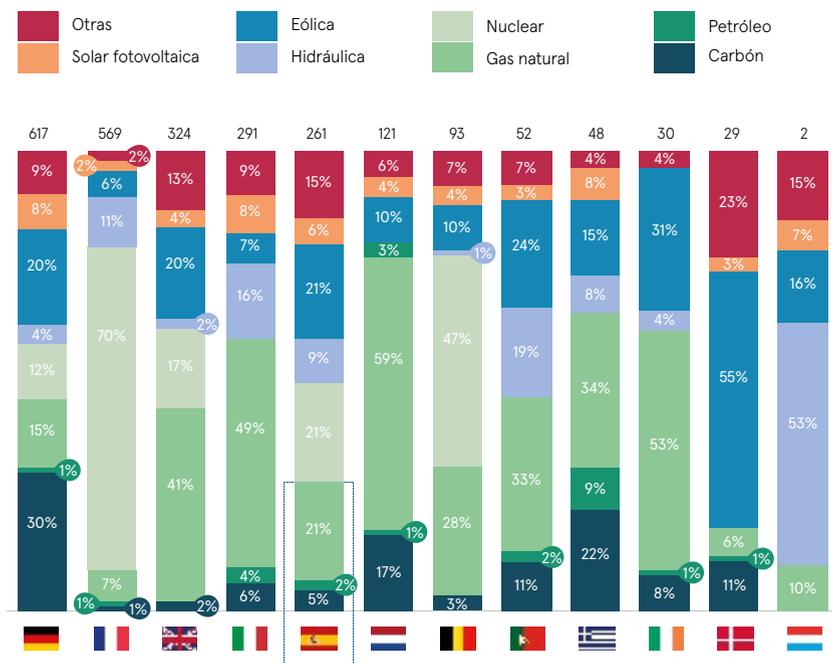
En 2019, la generación eléctrica en España (la cantidad de energía eléctrica producida) fue de 261 TWh (la quinta más grande de la muestra analizada). Veamos ahora qué esfuerzo deberíamos acometer para que el suministro eléctrico elimine los combustibles fósiles y los sustituya por renovables llegados al año 2030 (partiendo de 2019).

Para que el análisis sea lo más realista posible, dejaré fuera del mismo la energía nuclear, puesto que utiliza un combustible que no está catalogado como fósil (los combustibles fósiles son sólo los procedentes de la biomasa producida en eras pasadas). El estudio

<sup>48</sup> La Agencia Internacional de la Energía (o International Energy Agency, IEA) es una organización internacional creada en 1974 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), de la cual depende. Coordina las políticas energéticas de sus Estados miembros —treinta países, entre ellos, España—, con la finalidad de asegurar energía confiable, adquirible y limpia a sus respectivos habitantes.

<sup>49</sup> Fundada en 1985, REE es la empresa propietaria de la infraestructura de transporte y operación eléctrica de alta tensión en España. Por su carácter de servicio esencial, el Estado tiene una participación del 20% en ella, por medio de la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI), y el 80% restante cotiza en bolsa a través de la empresa matriz, creada en 2008, Red Eléctrica Corporación.

GRÁFICO 7.3 Diferentes orígenes de la energía eléctrica en doce países europeos seleccionados, y generación eléctrica total (en TWh)



Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE) y, para los datos de España, Red Eléctrica de España (REE); datos de 2019.

lo hago con el horizonte temporal del año 2030. Utilizo esta fecha porque, según los compromisos de la UE sobre emisiones, se fija ese año como el objetivo para que la generación eléctrica en España provenga de una capacidad instalada que debe alcanzar el 74% de origen renovable, según el PNIEC (y un ciento por ciento en 2050). (Véase el recuadro «Compromisos del PNIEC español», p. siguiente.)

¿A qué ritmo debe crecer el desarrollo de las renovables en España para sustituir a las fuentes fósiles (ese 28% actual, que emite una cantidad importante de CO<sub>2</sub>)?

## Compromisos del PNIEC español

La Unión Europea (UE) solicitó a cada país miembro un plan que mostrara cómo iba a cumplir con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y con el Acuerdo de París.

Los planes nacionales integrados de energía y clima (PNIEC) son el nuevo marco dentro del cual los Estados miembros de la UE deben planificar, de manera integrada, sus objetivos, metas, políticas y medidas climáticas y energéticas ante la Comisión Europea.

España envió a Europa su propuesta de Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC 2021-2030). Uno de los cuatro grandes objetivos a los que se compromete el PNIEC español es llegar, en 2030, a un 74% de la energía instalada procedente de renovables en la generación eléctrica, lo que es un paso importante que permitirá alcanzar el objetivo final del ciento por ciento en 2050. El plan abarca hasta el año 2030, lo que significa que, entre 2030 y 2050, habrá que hacer nuevos planes. En cualquier caso, los países tendrán que desarrollar sus PNIEC en forma continua por períodos de diez años, con una actualización a mitad del período de implementación. Y, de todos modos, los planes nacionales deberán adaptarse siempre a los objetivos globales de la UE si estos cambian (por ejemplo, a finales de 2020 se aprobó a nivel europeo una mayor reducción de emisiones).

Aquí van las asunciones de las que he partido para realizar esta proyección hacia el año 2030:

- Voy a considerar que la demanda eléctrica total permanece estable en esos alrededor de 261 TWh de 2019.

- Tomaré como base para el crecimiento a qué ritmo han venido aumentando las renovables en nuestro país desde 2010.
- Voy a considerar que el suministro basado en fuentes fósiles es reemplazado por energía eólica y solar (en la actualidad, 21 y 6%, respectivamente) en una proporción constante.
- También voy a tener en cuenta que la generación nuclear (21%) e hidráulica (9%) se mantienen con el mismo porcentaje que ahora.

El motivo de hacerlo así es porque no hay planes de aumentar la capacidad nuclear ni hidroeléctrica en España en los próximos años. De hecho, el PNIEC español fija una reducción de la potencia instalada nuclear a 3 GW para 2030, lo que quiere decir que, antes de 2030, se cerrarán cuatro de los siete reactores existentes.

Este plan prevé también la finalización de la actividad de los otros tres reactores nucleares en el período comprendido entre 2031 y 2035 (por tanto, el apagón nuclear definitivo en España está previsto para el año 2035).

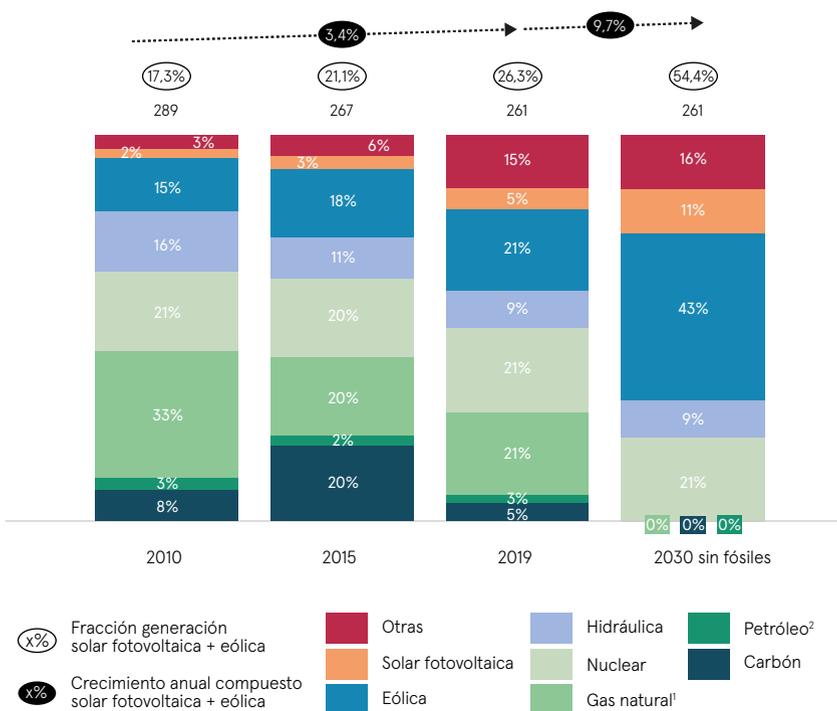
¿Me acompañan al año 2030? El resultado de este análisis es que reemplazar las fuentes fósiles de energía en España (un 28% del total actual) implicaría fabricar unas tres veces la cantidad de energía generada hoy a partir de las fuentes solar y eólica. Esto significa crecer casi al 10% cada año desde 2019. Y eso significa que las energías renovables deberían crecer a un ritmo muy muy elevado para llegar a ese horizonte de 2030, hasta aproximadamente tres veces el promedio del crecimiento que han tenido entre 2010 y 2019.

Recordemos, por otro lado, que la energía nuclear representa un 21% del total del consumo nacional. Si incorporamos también la retirada de la energía nuclear a este análisis, algo que sí contempla nuestro plan de adaptación nacional de reducción de emisiones dentro de los compromisos con la UE en el horizonte temporal comentado, todavía debería darse un crecimiento más acelerado.

Quiero aclarar que este supuesto que acabo de realizar, y cuyo resultado pueden ustedes contemplar en el gráfico 7.4, toma como ángulo de análisis la generación.

Si en lugar de la generación me centro en la capacidad instalada, es decir, la capacidad teórica máxima de generación por fuentes renovables (para entender la diferencia entre capacidad instalada y energía generada, véase el recuadro «¿Qué pasaría si pudiésemos tener renovables el ciento por ciento del tiempo?», p. siguiente),

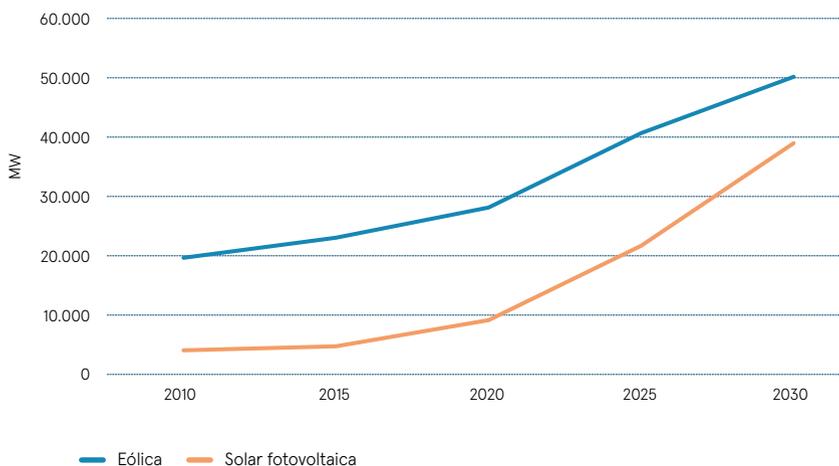
GRÁFICO 7.4 Evolución de la generación de electricidad por fuente en España



<sup>1</sup> Incluye ciclo combinado y cogeneración, según nomenclatura de REE.

<sup>2</sup> Incluye fuel + gas, según nomenclatura de REE.

## GRÁFICO 7.5 Potencia instalada en España



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y de Red Eléctrica de España (REE).

podríamos decir que el PNIEC es igualmente un plan optimista, ya que prevé que multiplicaremos por cuatro la potencia solar instalada y duplicaremos la eólica instalada en los próximos diez años aproximadamente (véase el gráfico 7.5). Es decir, supone que en los próximos dos lustros aumentaremos el ritmo de la potencia instalada renovable de forma significativa. Es bonito, pero ¿es realista? Que cada uno extraiga sus conclusiones.

### ¿Qué pasaría si pudiésemos tener renovables el ciento por ciento del tiempo?

Existe una diferencia importante entre potencia instalada y energía generada: por definición, la fotovoltaica sólo emite de día, y la eólica, cuando hay viento. Eso implica que no siempre



las instalaciones que transforman el sol y el viento en energía útil para ser utilizada por el ser humano están funcionando. En términos generales trabajan entre una cuarta parte y la mitad del tiempo. En otras palabras, sobre su capacidad teórica máxima (el ciento por ciento) generan entre el 10 y el 40% de energía.

Utilizando datos públicos de Red Eléctrica de España (REE), la potencia instalada en España a finales de 2019 basada en energías renovables se refleja en los datos de la tabla 7.1.

TABLA 7.1

	MW
Hidráulica	17.085
Hidroeólica	11
Eólica	25.799
Solar fotovoltaica	8.913
Solar térmica	2.304
Otras renovables	1.076
Residuos renovables	160
<b>Renovables</b>	<b>58.678</b>
Sólo eólica, solar fotovoltaica y solar térmica	37.016

Fuente: Red Eléctrica de España (REE), informe «El sistema eléctrico español 2019», publicado en 2020.

¿Podemos funcionar en nuestro país sólo con la base teórica instalada actual de energías renovables? Vamos a calcularlo. Recordemos que en 2019, según datos de REE, la demanda total de energía en España necesitó 264,3 TWh (y generó 260,8 TWh). Si fuera así, con los 55 GW de potencia renovable (o 37 GW, teniendo en cuenta sólo la eólica, solar fotovoltaica y solar térmica), funcionando 24 horas al día durante 365 días al año, generarían la energía que se muestra en la tabla 7.2 (p. siguiente).



TABLA 7.2

	Total (pot. instalada × 24 h × 365 días)	Factor sobre generación	Factor sobre consumo
Total	484,85 TWh	1,83	1,86
Sólo eólica, solar fotovoltaica y solar térmica	324,26 TWh	1,23	1,24

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Red Eléctrica Española (REE).

Es decir, si tuviéramos sol las 24 horas del día, y siempre al máximo de potencia, y los molinos siempre estuvieran al cien por ciento gracias al viento constante (y de nuevo al máximo de potencia), sólo con estas tres energías generaríamos 1,23 veces lo que necesita España.

Si calculamos sobre lo que genera España, este factor sería de 1,24 veces (es un poco mayor, porque hay una parte que importamos).

Si tuviésemos el sol y el viento al cien por cien, y además le sumáramos los pantanos al cien por cien y generando todo el día, así como otras energías renovables, entonces, en España podríamos generar ya, sólo con lo instalado, casi el doble de lo que consumimos.

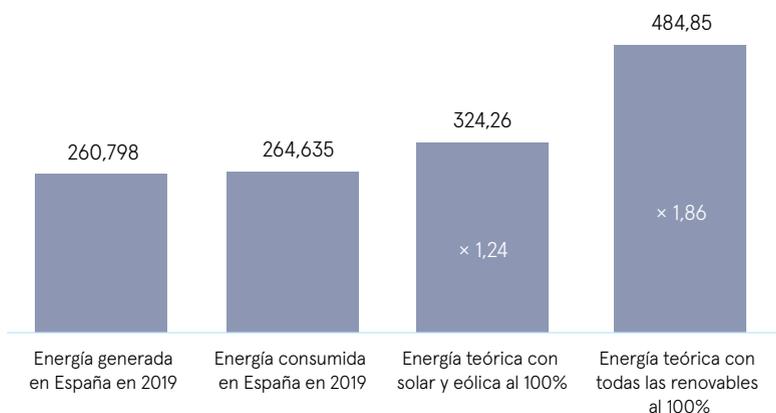
Sin embargo, la realidad es muy distinta. Todas las renovables juntas aportaron el 37,5% de la electricidad generada en España en 2019. Hay que tener presente que, si queremos, podemos tener las centrales nucleares y las plantas de combustibles fósiles funcionando el cien por cien del tiempo. Si no lo hacemos es porque no es necesario.

¿Y si le sumamos los sistemas de respaldo? Contando con su capacidad de generación, tenemos el doble de la potencia teórica que necesita el país.



¿Y si contamos con todas las fuentes al máximo rendimiento? Podríamos, teóricamente, generar hasta cinco o seis veces la que acabamos fabricando en realidad. Parece evidente que la capacidad de las plantas sostenibles es magnífica. Pero la naturaleza es imprevisible.

GRÁFICO 7.6 Energía generada y consumida en España en 2019, y energía teórica si las renovables ya instaladas funcionaran al 100% (en TWh)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de datos de Red Eléctrica Española (REE).

Para tener una idea de lo que estamos hablando en términos del volumen de energía que debemos migrar de un sistema (fósil y nuclear) a otro (renovable), querría que visualicen lo siguiente: un reactor nuclear como los que hay en España fabrica una cantidad muy muy importante de energía cada año. Con siete reactores, fabricamos el 20% de lo que necesita toda España. Cada uno de ellos dispone de una potencia aproximada de 1 GW (aunque dos de las nucleares que tenemos, Almaraz y Ascó, tiene dos reactores, es decir, tienen 2 GW de potencia). El análisis

comentado da como resultado que hemos de construir una capacidad productiva por medio de renovables equivalente a dos nucleares, cada año.

Por favor, fíjense en las palabras «cada año». La nuclear fabrica sin parar. En las renovables hay que distinguir entre potencia instalada y potencia efectiva (de nuevo recomiendo consultar el recuadro «¿Qué pasaría si pudiésemos tener renovables el ciento por ciento del tiempo?», p. 134). La potencia instalada es la energía que estas plantas de producción podrían fabricar en el supuesto de que funcionaran 24 horas al día. Y la potencia efectiva es la generación que éstas realmente acaban produciendo (porque la materia prima de estas fuentes, el sol, el agua y el viento, van y vienen). Diversos estudios señalan que la generación de una planta solar oscila entre un 10 y un 29%, y la de una eólica, entre un 24 y un 39%;<sup>50</sup> además, la energía que generan no siempre coincide en el tiempo con las horas de demanda. Dicho de otro modo, las placas solares trabajan entre 35 y 105 días al año, y los aerogeneradores entre 88 y 142 días al año, y además no son siempre los días que se necesita esa energía. ¿El resto? Como mis suegros y los suyos los domingos: descansan. En la tabla 7.3 se puede observar la diferencia entre la capacidad instalada y la energía producida, referida a diversas energías renovables.

<sup>50</sup> La fuente de los datos proviene de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (International Renewable Energy Agency, IRENA), una agencia intergubernamental para la promoción de la energía renovable en todo el mundo a la que países como Alemania, España y Dinamarca pertenecen desde su fundación. Su objetivo es proporcionar asesoramiento sobre políticas energéticas concretas y facilitar la capacidad y la transferencia de tecnología. A principios de 2021, IRENA tenía 163 signatarios y 21 solicitantes de afiliación. Los datos presentados son una evolución entre 2010 y 2019 (pp. 55 y 69 del informe, respectivamente) y se refieren a la energía solar como promedio mundial, y en eólica se refieren a España. IRENA lista 15 países para eólica, y en solar aporta datos de más países agregados. No hay datos diferentes por tipos de aerogeneradores por país, sino que se muestran promedios. Fuente: IRENA, *Renewable Power Generation Costs in 2019*, publicado en junio de 2020.

TABLA 7.3 Diferencia entre la capacidad instalada y la energía producida de distintas energías renovables

1	2	3	4	5	6	7
Energía renovable en España, 2019	Potencia instalada (2019)	% sobre el total de potencia instalada (2019)	Energía máxima teórica (columna 2 multiplicada por 24 h y por 365 días al año)	Energía producida (2019)	% sobre la energía producida (2019)	Factor de utilización (% sobre uso teórico máximo) en 2019 (columna 5 dividida entre la 4)
Hidráulica	17.085 MW	15,5%	149,66 TWh	24,71 TWh	9,5%	17%
Eólica	25.799 MW	23,4%	225,99 TWh	54,24 TWh	20,8%	24%
Solar fotovoltaica	8.913 MW	8,1%	78,78 TWh	9,24 TWh	3,5%	12%
Solar térmica	2.304 MW	2,1%	20,18 TWh	5,17 TWh	2,0%	26%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de datos de Red Eléctrica Española (REE).

Hagamos un ejercicio de proyección, por ejemplo, con la energía eólica. ¿Cuánto debe crecer ésta según los planes previstos? Tenemos 1.203 parques eólicos en España<sup>51</sup> (dato de 2020) que suponen una potencia instalada de 25.799 MW. Esto significa más o menos el 23,4% de la potencia instalada «teórica necesaria» del país en 2019. Esta capacidad posible se tradujo en una generación real del 20,8% de la energía ese año (porque no siempre hay viento). Si queremos alcanzar el objetivo de 50.333 MW de potencia instalada en renovables para el año 2030 (según el PNIEC, la hemos de doblar), eso significa, a su vez, que necesitaremos aproximadamente 2.300 parques eólicos, es decir:

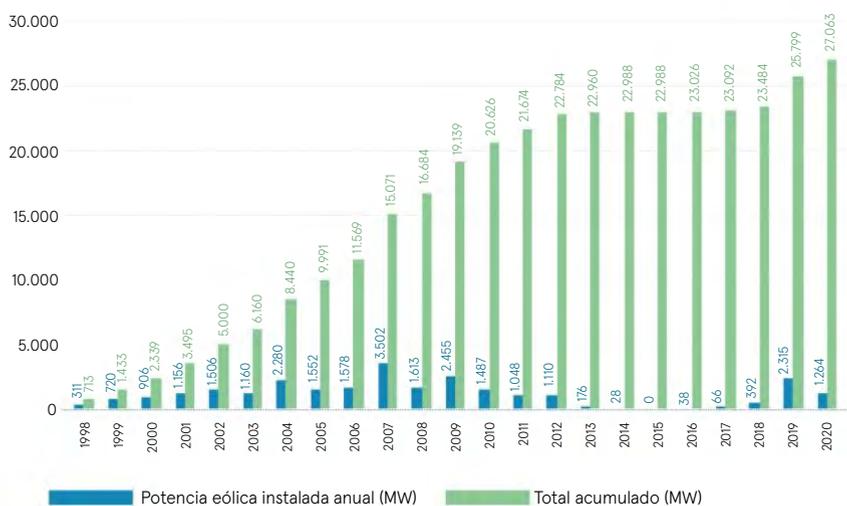
<sup>51</sup> Datos de la Asociación Empresarial Eólica (AEE) de 2020.

- unos cien nuevos cada año (sobre los actuales),
- o, lo que es lo mismo, unos ocho o nueve al mes,
- o unos tres o cuatro a la semana.

Esto permitirá incorporar cada doce meses, y durante once años, 2.145 MW de potencia eólica instalada nueva adicional a la actual. Vale la pena notar que de 1998 a 2012 se creció a un ritmo promedio de 1.500 MW cada año en eólica. Pero, fíjense en el gráfico 7.7: entre 2000 y 2012 se creció mucho en eólica desde la nada; pero, desde ese último año y hasta 2019, los crecimientos han sido francamente modestos. En acumulado, España creció, entre 2017 y 2018, un leve 1,7% en potencia instalada en energía eólica (nótese el estancamiento entre 2013 y 2018).

Tomando el caso de la energía eólica, cien nuevos parques cada año suponen miles de personas trabajando (estupidas

GRÁFICO 7.7 Evolución anual y acumulada de la potencia instalada en España



Fuente: Asociación Empresarial Eólica (AEE), Anuario eólico 2020.

noticias para el empleo), tanto en estudios de viabilidad como en permisos, construcción, etcétera. Tengamos en cuenta también que deberemos dimensionar los sistemas de respaldo en consonancia para protegernos de la intermitencia de esta fuente de generación.

Por lo tanto, ¿es posible? Sí. ¿Es sencillo? No. En conclusión, ¿quiero decir con ello que no es posible reemplazar completamente ya los combustibles fósiles? En absoluto. En primer lugar, he tomado como base de sustitución todas las energías fósiles en su conjunto (14% carbón, 3% petróleo, 23% gas natural). Por ejemplo, en España, prácticamente todas las centrales de generación eléctrica de carbón dejaron de funcionar en el año 2020. Y estamos preparados para migrar esa producción energética. Hay motivos concretos para pensar que estamos evolucionando en la dirección adecuada (estamos mejorando). En segundo lugar, he acotado un período de tiempo determinado para realizar el análisis: desde 2010 hasta 2030. Si nos vamos más adelante en el tiempo, la tensión para la progresiva sustitución de fuentes hacia las renovables debería ser menor, porque dispondríamos de más tiempo para evolucionar. Pero eso nos haría incumplir con bastante seguridad nuestros compromisos medioambientales con la UE en un horizonte temporal a corto plazo (2030) y, probablemente, también a largo plazo (2050).

Hasta aquí he abordado el reto de la velocidad de sustitución en España de las fuentes de generación fósil por medio de las renovables. Lo he hecho con un diagnóstico basado en datos de fuentes públicas y asumiendo unos supuestos. Obviamente, yo no poseo la verdad. Se pueden hacer otros análisis tomando en consideración diferentes asunciones que podrían ser también válidas. No deja de llamar mi atención que países como Alemania —con un PIB enorme, tremendamente industrializado y con un fuerte desarrollo en renovables—, habiendo comunicado el cierre de las centrales de carbón para el año 2038, haya incurrido en la

paradoja de inaugurar en 2020 una central térmica que utiliza este tipo de combustible con una potencia instalada de 1,1 GW.<sup>52</sup>

## **El desafío de las renovables: combinar la flexibilidad del junco con la dureza del roble**

¿Conocen la metáfora del junco y el roble? Se la cuento de forma resumida, porque es una historia insufrible de psicología barata. A pesar de ello, el mensaje me sirve para lo que explicaré a continuación.

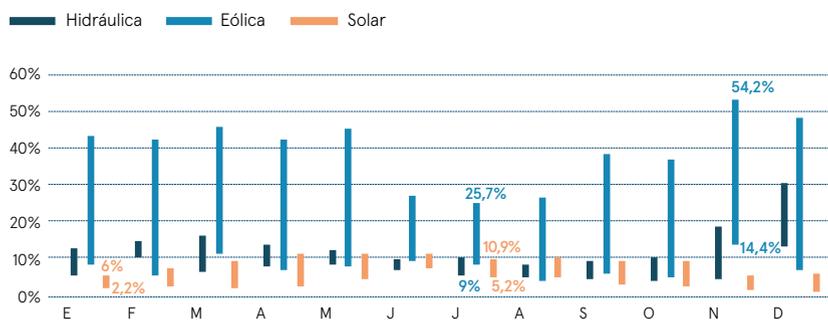
Cuenta la leyenda (empezamos mal) que una vez crecieron juntos un junco y un roble. Al cabo del tiempo, el roble se hizo un enorme y engreído árbol que menospreciaba al junco burlándose del que era su vecino, diciendo: «Yo soy grande y tengo poderosas ramas. ¡Qué pequeño e insignificante eres tú!». El junco sufría por ese menosprecio, al menos aparentemente (depende de quien cuenta esta historia, o bien el junco lo pasaba mal, o bien, sencillamente, ignoraba al roble). Una noche llegó una terrible tormenta ciclónica que arrasó con todo, incluido el roble, que se opuso con todas sus fuerzas al temporal. Al acabar la tormenta, el roble yacía en el suelo, mientras que el junco había sabido capear la situación doblándose con flexibilidad al recibir los embates del viento y de la lluvia. Precioso. Pues bien, en el sector de la energía, en la medida en que queramos disponer de un sistema energético cuyas fuentes provengan de renovables, la estrategia es distinta: hemos de ser junco y roble a la vez (o «juncoble»).

¿Recuerdan la «primera idea sencilla pero poderosa» que expuse en el capítulo 4? Disponer de energía siempre. En el gráfico 7.8 puede verse la cobertura máxima y mínima de las tres fuentes de energías renovables (viento, sol y agua).

<sup>52</sup> Ramón Roca, «La “verde” Alemania pone en marcha una nueva central térmica de carbón de 1,1 GW», *El Periódico de la Energía*, 1 de junio de 2020.

La «cobertura» la expresa cada una de las barras, y marca el mínimo y el máximo porcentaje que ha aportado ese tipo de energía al mix de generación en un mes determinado. Así, por ejemplo, vemos que la energía solar (las barras verticales en naranja) aportó muy poco en enero, entre el 2,2 y el 6%; mientras que, en julio, la solar supuso entre el 10,9 y el 5,2% del total de energía demandada en España. Esto muestra que la energía solar es entre nada y muy poco demandada en invierno (obvio), y que, en verano, el peor día de la solar genera más que el mejor día de enero (más obvio si cabe). La eólica (azul claro), que por su parte aporta de media más cantidad de energía al sistema, tiene una variación mayor. Por ejemplo, hay jornadas en las que contribuye mucho (el día que más genera del peor mes, que es julio, aporta un 25,7%, y, en noviembre, la fecha en que más aporta lo hace con un 54,2%, más del doble). Por otro lado, hay días en que la eólica aporta muy poco, debido a que el viento es muy variable. Así, por ejemplo, en noviembre hubo alguna fecha en la que aportó sólo un 14,4% a la red. Tener una energía que, dentro del mismo mes —por ejemplo, noviembre—, en un día aporta menos de un 9% y otro día aporta el 62% (¡seis veces

GRÁFICO 7.8 Cobertura diaria máxima y mínima con hidráulica, eólica y solar en 2019 (en %)



Fuente: Red Eléctrica de España (REE), informe «El sistema eléctrico español 2019».

más!) resulta muy compleja de gestionar de cara a la planificación de la generación energética, porque generación y demanda deben estar equilibrados para que el sistema energético funcione. Esto pone de manifiesto, una vez más, que un sistema con mucha potencia renovable requiere disponer de tecnologías de respaldo capaces de arrancar (o subir carga) y parar (o bajar carga) rápidamente.

Resulta evidente, por tanto, lo que se desprende del gráfico 7.8 (p. anterior). Se trata de una idea que vamos abordando desde la primera parte del libro: la intermitencia de las fuentes de energía renovables. El principal desafío de un suministro ciento por ciento renovable es la necesidad de agregar flexibilidad al sistema (¿recuerdan los sistemas de respaldo?) cuando las condiciones meteorológicas no permiten generar energía con fuentes renovables (por ejemplo, cuando no hay viento o cuando padecemos sequía), es decir, la metáfora de ser un «juncoble». En el supuesto de que sea así, las opciones para proveer de abastecimiento energético de manera fiable cuando esto sucede son limitadas:

- *Energía hidráulica.* El potencial hidráulico es magnífico desde un punto de vista de flexibilidad, mientras haya agua. En la actualidad, ya está capturado, y el riesgo de disminuciones del suministro aumenta en la medida en que estemos en estaciones o años con poca lluvia (períodos de sequía).
- *Energías renovables y baterías.* La tecnología de las baterías aún no está suficientemente desarrollada como para ser técnica y económicamente viable, tal y como vimos en el capítulo 6.
- *Energía termoeléctrica del carbón.* Progresivamente, las centrales térmicas de carbón se están dejando de usar, con un fuerte descenso en España durante 2020.
- *Energía nuclear.* Construir una central nuclear lleva mucho tiempo; además, en la actualidad, en España existe un plan

de cierre de esta tecnología en los próximos diez años. Por tanto, nada parece indicar que vayamos a construir nuevas centrales. Esta opción queda descartada.

- *Gestión de la demanda.* Además de cambiar la oferta de electricidad, también se puede gestionar desde el otro lado, cambiando la demanda de electricidad. Esto se puede hacer, por ejemplo, mediante precios baratos por la noche (en momentos de exceso de oferta) o incentivando otros usos. De esta manera podemos gestionar la demanda para que el abastecimiento sea más fiable, aunque con limitaciones.

Estos escenarios dejan pocas opciones. Así, llegamos a la alternativa de las plantas de ciclo combinado de gas: tienen un mejor perfil de emisiones que las plantas que usan otros combustibles fósiles. Se trata de una tecnología considerada madura. La posibilidad de ser encendidas y apagadas de forma ágil, en función de la demanda y de la capacidad de las renovables, las convierte en el sistema de respaldo más adecuado en la actualidad en España. Los expertos consideran que las plantas de ciclo combinado son probablemente la mejor alternativa hoy día para llegar finalmente a tecnologías que no emitan CO<sub>2</sub>. Según éstos, es la última energía que usaremos antes de llegar al objetivo de abastecernos solamente con renovables (lo cual ocurrirá cuando sea aconsejable por tecnología y costes). El propio PNIEC no proyecta el cierre de ninguna planta de ciclo combinado para 2030, y sí se plantea esta tecnología como respaldo, junto con una mejora en la gestión de la demanda, en las interconexiones y en el almacenamiento.

## Un mundo entero por electrificar

Después de haber aportado algunos datos sobre los retos actuales para abastecernos sólo con renovables, vamos a abordar

finalmente la cuestión de si es posible la electrificación total de los usos de la energía en la actualidad. Porque, utilizando el ejemplo de Javier y su Tesla, hace falta una red de «electrolineras» para poder recargar las baterías del coche durante los desplazamientos. Estas estaciones de servicio están en expansión. Cada vez vemos más surtidores de este tipo. Llegados a este punto, la pregunta interesante quizá sea: ¿podemos electrificar todos los usos de la energía (todo el transporte, toda la industria, toda la economía en general)?

Para responder a ello, me gustaría recurrir a un informe de la Agencia Internacional de la Energía (AIE),<sup>53</sup> concretamente a su informe *World Energy Outlook* de 2018.<sup>54</sup> La respuesta que se da en dicho informe es que, en la actualidad, no es posible electrificar todos los usos de la energía, porque existe una limitación principalmente tecnológica para ello, ya que muchas de las tecnologías necesarias están aún en vías de desarrollo.

En su escenario más optimista, la AIE estima que el límite técnico de electrificación está en el entorno del 65% de la energía consumida (hoy día, lo cifran en un 19%, lo cual es buena noticia, ya que indica que hay mucho espacio para crecer, un mundo entero por electrificar), lo que implica que un tercio de todo el consumo no es electrificable en la actualidad con la tecnología disponible. Su escenario más probable estima una electrificación del 31% de la energía consumida final (en cualquier caso, la AIE insiste en recordar que para alcanzar estas cifras resultará imprescindible superar barreras económicas, sociales y de comportamiento).

En el gráfico 7.9 (pp. 148-149) se resume la posibilidad de electrificar por tipo de uso, y se destacan algunas ideas para cada uso concreto.

<sup>53</sup> En inglés, International Energy Agency (IEA).

<sup>54</sup> *World Energy Outlook* 2018, p. 383.

Incluso en el escenario optimista, la AIE apunta que la electrificación total no es posible en ningún sector:

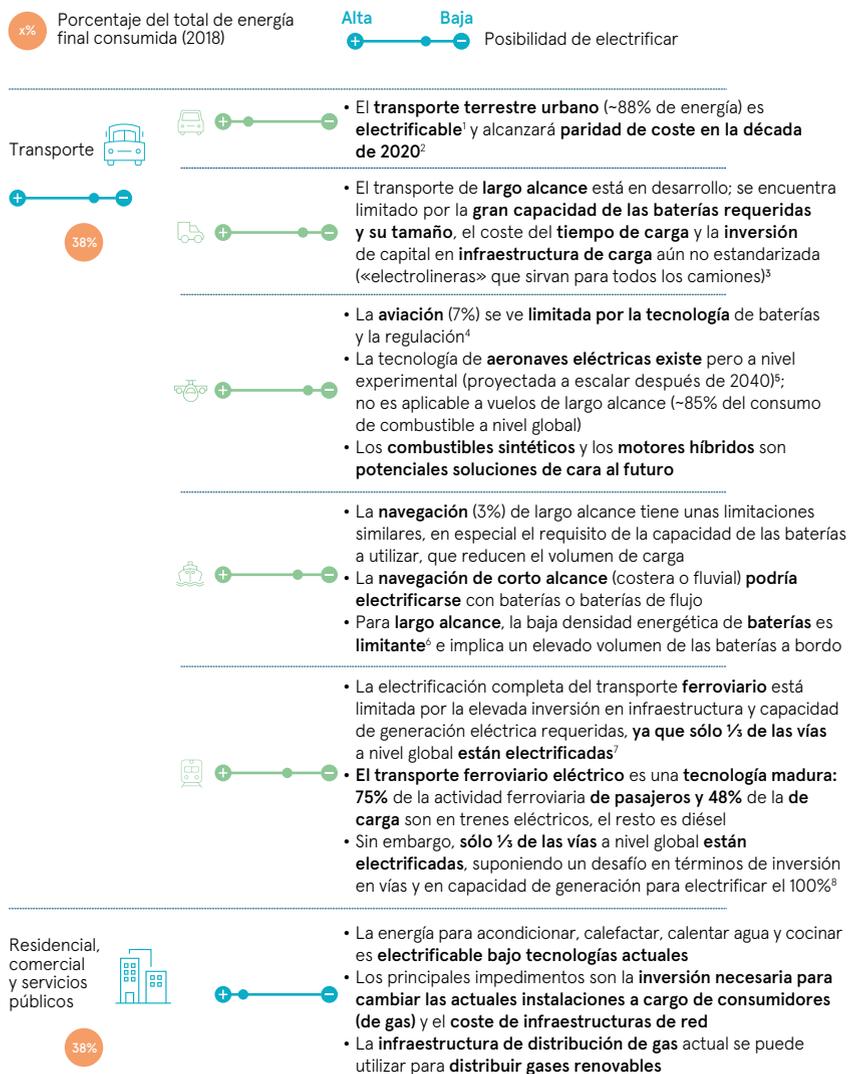
- *Transporte*
  - Para el transporte terrestre de larga distancia, según la AIE, podría ser competitivo a partir del año 2035 aproximadamente, siempre que se haga una inversión estimada de unos cuatro billones de dólares hasta el año 2040 en infraestructuras de cargadores de alta potencia (>200 kW), al menos a lo largo de las principales rutas, excluyendo que habría que tener en cuenta que se deberían reforzar las redes.<sup>55</sup>
  - Según la AIE, el 38% del consumo de energía pertenece al transporte. Y según datos del Ministerio de Transporte español,<sup>56</sup> el 73% del combustible en nuestro país se gasta o bien en tráfico urbano, o bien en coches y furgonetas en tráfico interurbano. En ambos casos, es consumo que sería perfectamente electrificable. Como puede observarse, hay motivos para el optimismo. Estamos hablando de que aproximadamente un 28% (73% de 38) del total de la energía final consumida se puede electrificar. ¡Más de una cuarta parte!
- *Residencial*
  - Hoy día, la tecnología de calefacción sólo eléctrica no es competitiva en cuanto a costes, y se ve limitada por las inversiones necesarias para reacondicionar edificios existentes<sup>57</sup> (en algunos países europeos podría serlo a

<sup>55</sup> Véase: Agencia Internacional de la Energía (AIE), World Energy Outlook 2018, p. 401.

<sup>56</sup> Véase: Pedro José Pérez Martínez y Andrés Monzón de Cáceres, «Consumo de energía por el transporte en España y tendencias de emisión», Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

<sup>57</sup> Véase: Agencia Internacional de la Energía (AIE), World Energy Outlook 2018, pp. 397-398.

## GRÁFICO 7.9 Posibilidad de electrificar los usos de la energía



<sup>1</sup> Existe una limitación desde el punto de vista de infraestructura de puntos de carga.

<sup>2</sup> Agencia Internacional de la Energía (AIE), World Electricity Outlook 2019, p. 148.

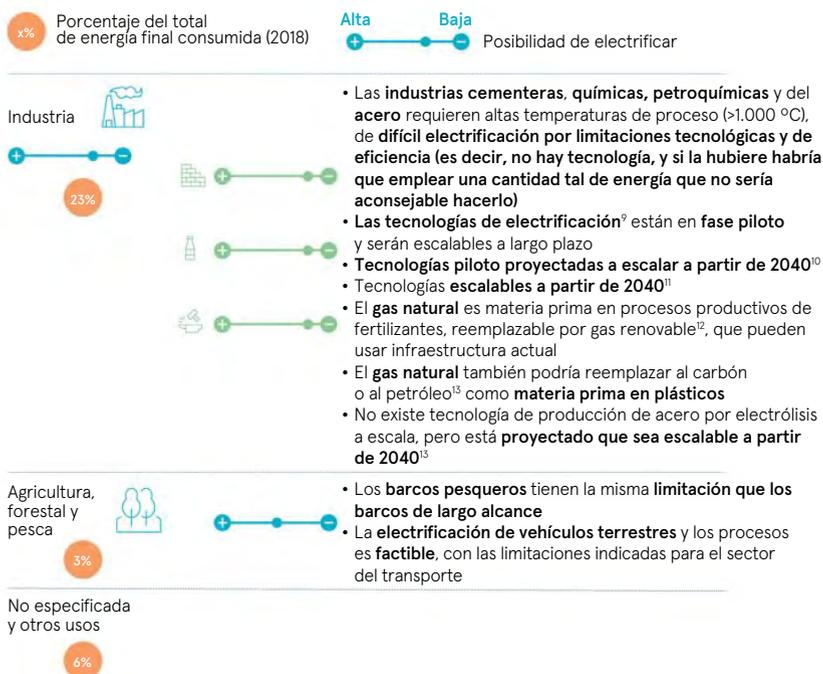
<sup>3</sup> AIE, Global EV Outlook, pp. 61-65.

<sup>4</sup> *Ibidem*, p. 48.

<sup>5</sup> *Ibidem*, p. 50.

<sup>6</sup> *Ibidem*, p. 49; se necesita una batería de 50 toneladas para cubrir distancias apenas superiores a 22 millas náuticas.

<sup>7</sup> <sup>8</sup> AIE, The Future of Rail 2019.



<sup>9</sup> AIE, World Electricity Outlook 2019, pp. 253-254.

<sup>10</sup> Energy Transitions Commission, Mission Possible: reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century (informe), p. 28.

<sup>11</sup> Ibidem, pp. 66-67.

<sup>12</sup> En particular, biometano.

<sup>13</sup> Energy Transitions Commission, Mission Possible: reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century (informe), p. 67.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE), Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (ONU); A roadmap to 2050, NREL; Energy Transitions Commission, Mission Possible: reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century (informe).

partir del 2025, siempre que se acometan las inversiones necesarias). Un par de curiosidades en este sentido son que, globalmente, el 20% del calor residencial viene de bombas eléctricas (y el 80%, combustión), mientras que, por el contrario, la generación de frío (aire acondicionado) sí es ciento por ciento eléctrica. Debido a la mejora económica mundial, a escala global se está incrementando el consumo de energía para generar calor (más personas acceden a tener sistemas de calefacción).

- *Industria*
  - Más desafiante aún, a menos de que se produzcan avances disruptivos en tecnologías productivas.
  - En cualquier caso, se limitará a los sectores de baja temperatura de proceso.<sup>58</sup>

Vale la pena aclarar que en la industria, para determinados procesos, se necesitan temperaturas muy elevadas (más de 1.000 °C), que sólo se pueden alcanzar con la ayuda de combustibles fósiles (y, aunque aún en desarrollo, también con gases renovables). Por ejemplo, mi amigo Javier no hablaría con tanta satisfacción *eco-friendly* de conducir un Tesla, porque para fabricarlo (al igual que pasa con todos los demás coches) se necesita acero, cuya temperatura de fusión es altísima.<sup>59</sup> Y sucede lo mismo en la industria del cemento, la química o la petroquímica, que también requieren altas temperaturas de proceso (¿sabían que el cemento requiere unos 1.500 °C durante su fabricación, por ejemplo?) y son de difícil electrificación, debido a las actuales limitaciones tecnológicas.

Así que hemos de entender que lo «fósil» no se contrapone a lo «verde», sino que lo complementa. Y así será por lo menos durante unos años (unos 25-30 años en Europa, como poco), por lo menos mientras no surjan alternativas tecnológicas mejores. En cualquier caso, lo que parece claro es que la electrificación total deberá esperar. Hasta que inventemos...

En este capítulo hemos analizado cómo nos afecta el sesgo de confirmación ante el bombardeo de estímulos (esencialmente informativos) que recibimos respecto a las posibilidades de las energías sostenibles. Como hoy tales posibilidades son magníficas (y lo serán aún más en el futuro), hemos aportado información que nos permita entender que realizar un suministro eléctrico sólo

<sup>58</sup> Véase: Agencia Internacional de la Energía (AIE), World Energy Outlook de 2018, p. 383.

<sup>59</sup> En su web, Tesla aclara que su Model 3 está compuesto de acero y aluminio.

con energía renovable es complejo en la actualidad. Partiendo de las fuentes energéticas actuales, hemos visto que el escenario para migrar hacia otras sostenibles pasa por aplicar un fuerte desarrollo a la energía solar y eólica. Sabiendo que se trata de una evolución progresiva, ¿seremos capaces de cumplir con nuestro propio plan (el PNIEC español) para el año 2030? La exigencia de crecimiento en cuanto a generación de energías renovables es del orden de tres veces la capacidad de fabricación actual. Si nos centramos en la capacidad instalada, eso implica multiplicar por entre dos y cuatro la capacidad de las energías solar y eólica actuales. El objetivo no es imposible, pero el salto necesario a realizar es considerable. ¿Existe capacidad suficiente de inversión (pública y/o privada), de mano de obra, de velocidad de las administraciones públicas, etcétera, para autorizar los proyectos? Y, llegado el caso, por último y muy importante, ¿disponemos de los sistemas de respaldo suficientes? Parece que las plantas de ciclo combinado se erigen en la opción más accesible, por el momento.

A su vez, todo ello condiciona la idea de que sea viable electrificar toda la actividad económica (los usos que le damos a la energía eléctrica). Basándonos en el trabajo de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), hemos visto que establecen un techo en la electrificación en el orden del 65% y un suelo en el 31%, pero no creen que la electrificación total sea posible en ningún sector. Como decíamos, existen ciertos procesos que, por las elevadas temperaturas necesarias, no parecen candidatos (al menos con la tecnología disponible) a ser electrificados. Así que el camino es largo, y parece que nos harán falta diversas fuentes de energía durante años.

Evitar caer en el sesgo de confirmación es complejo, por algo es un sesgo (que nos «engaña» y que limita nuestra manera de pensar). Quizá una opción sea intentar analizar de forma objetiva y cuidadosa las opiniones contrarias a la nuestra. La diferencia, si es bien entendida, razonada y con datos, resulta positiva. Ponerse en

la piel del otro nos ayuda a tomar perspectiva. Dudar no es malo. Ser neutral es muy muy difícil. Tratar de demostrar que puede ser cierto aquello que consideras contrario a tu opinión puede resultar tan difícil como esclarecedor. ¿Se atreven ustedes a desafiar el sesgo de confirmación?

La verdad es que, cuanto más profundizas en la energía, más misteriosa se torna. Es como si la envolviese un halo que no te deja ver con claridad toda su complejidad y que nubla tu juicio. De hecho, si me acompañan, en el siguiente capítulo les hablaré de que la energía tiene un halo. ¿Cuál es?

### **Hablando del sesgo de confirmación y de que no hay explicaciones sencillas a problemas complejos...**

- ¿Es posible el abastecimiento energético completo con renovables?
- ¿Todos los usos energéticos son electrificables con la tecnología disponible hoy día?
- ¿El transporte marítimo de mercancías, el terrestre de gran tonelaje o determinados usos industriales también son electrificables en la actualidad?
- ¿El suministro eléctrico sólo con energía renovable es posible de manera viable y constante?
- ¿Lograremos en España el desarrollo de las renovables a la velocidad necesaria para sustituir las fuentes fósiles y cumplir los compromisos internacionales que hemos adquirido?

## CAPÍTULO 8

### LA ENERGÍA TIENE HALO

¿Todavía no les he hablado de mi amiga Luisi? Ahora verán por qué tengo interés en que la conozcan. Déjenme que la describa en seis palabras: inteligente, esforzada, impulsiva, crítica, cabezota y envidiosa. Luisi tiene una hermana, de nombre Laura. Aquí paso a contarles los adjetivos que mejor la resumen: envidiosa, cabezota, crítica, impulsiva, esforzada e inteligente.

Describiendo así a ambas mujeres, la mayoría de las personas, usted y yo incluidos, habremos visto más favorablemente a Luisi que a Laura. Y si se fijan, se trata de los mismos adjetivos, aunque dispuestos en diferente orden. Este es un experimento, considerado ya clásico, realizado por el psicólogo polaco-estadounidense Solomon Asch en 1946.

A diferencia de lo que postula la propiedad conmutativa en matemáticas, en lo que respecta a los humanos, el orden de los factores sí altera el producto. Los que entonces (y ahora) escucharon las descripciones de ambas personas consideraron a la primera de mejor manera que a la segunda. Combinados, los rasgos «esforzada» y «cabezota» resultan muy positivos. En cambio, una persona que es envidiosa y, además, inteligente se percibe incluso como peligrosa. Las

virtudes de Luisi tapan sus leves defectos, mientras que los terribles defectos de Laura no se ven reducidos por sus pequeñas virtudes.

Les presento el «efecto halo». Nos afecta a todos: conocemos a alguien, y la primera impresión que nos causa es la que prevalece. No necesitamos más que cinco o diez segundos para formarnos una opinión. Los pocos datos que tenemos de esa persona condicionan lo que vamos a pensar de ella de manera global. Es una tendencia que nos lleva a valorar los productos y, por supuesto, a los individuos sobre la base de un rasgo que sobresale de ellos, para a continuación extrapolarlo al resto de sus características, que muy pocas veces tienen relación con aquel rasgo sobresaliente. Hacemos depender nuestra impresión general de una persona, un producto o una circunstancia de una característica específica, muchas veces con información limitada.

Algunas empresas dominan este sesgo y lo usan en su beneficio. Si uno de sus productos consigue que una de sus características sea percibida de manera favorable por los consumidores, ésta se extiende al resto de la gama de productos que venden. Por ejemplo, utilizar el logotipo de una conocida marca de tecnología que representa una manzana mordida resulta imbatible.

Creo que el efecto halo se da con frecuencia en el mundo de la energía. Juzgamos las fuentes energéticas disponibles de una manera que confirma nuestra primera impresión. Tal efecto nos hace rellenar los huecos que existen en nuestro entendimiento de las fuentes energéticas que no conocemos a fondo (porque es un tema complejo y técnico). Es decir, una vez he construido un hilo narrativo coherente (por ejemplo, el sol y el viento son ilimitados, además de limpios) es muy difícil desprenderme de esa idea. De alguna manera, volviendo al ejemplo de las dos hermanas, las energías renovables serían las «Luisis». Nos han caído muy bien. Disfrutan de un efecto halo indudable. Son el producto estrella del catálogo energético. Su magia es insuperable. Cualquier «producto» que podamos colgar de esta percha tiene el partido ganado.

En cambio, ¿quiénes son las «Lauras» de la energía? ¿De cuáles nos hemos formado una impresión menos favorable? Obviamente, de las energías nucleares, porque sus residuos son muy nocivos; y también de las fósiles, esencialmente porque emiten mucho CO<sub>2</sub>, que es el principal problema que queremos atajar. Aquí extendemos nuestra opinión basada en una propiedad (la emisión de gases de efecto invernadero) a toda la categoría. Hacemos que esta impresión interfiera en el modo en que interpretamos o percibimos todas las opciones que existen dentro de la misma categoría (las energías fósiles).

¿Qué nos hace actuar así? No es que los humanos seamos tontos, sino que tenemos tendencia a generalizar a partir de un solo atributo (el sistema 1, del que he hablado en el primer capítulo del libro, es más rápido, y se impone sobre el sistema 2, más analítico y reflexivo, pero que también exige más esfuerzo para ser activado). El efecto halo es una muestra de que el cerebro humano está dispuesto a rellenar vacíos de información (algo así como tomar un atajo) con los pocos datos de los que dispone, y todo con tal de que la incertidumbre desaparezca. Nuestro cerebro está preparado para hacer las cosas simples y sencillas. A veces, este mecanismo resulta tremendamente eficaz; otras veces, nos hace cometer errores de valoración importantes.

Un halo viene a ser como un brillo que da fama. Es como un círculo de luz difusa, algo etéreo que rodea a una persona o un objeto. Es como los gases, que están ahí y que sabes que existen aunque no los veas. Gases hay de muchos tipos. En un libro como éste interesan los gases que sirven para diferentes actividades, como soldar, congelar, curar, enfriar o calentar. Son fundamentales para un sinnúmero de cuestiones que aportan bienestar y progreso a la humanidad. Me refiero a actividades como la agricultura, la medicina, la electrónica o las industrias alimentaria, siderúrgica y petroquímica, entre otras. Y también a una cosa más: a nosotros junto con el resto de los seres vivos. Los seres vivos no somos

una «actividad» o una «industria», pero las condiciones (cantidad y tipología) de los gases nos afectan profundamente. Porque si los gases que emitimos en los procesos productivos (además de los que genera el planeta sin nuestra intervención) provocan el efecto invernadero, tenemos un problema muy grave, ya que se pone en peligro la vida (especialmente la humana, como especie).

### Efecto invernadero

Explicado de forma esquemática, el efecto invernadero (que de por sí es un fenómeno natural y necesario para el desarrollo de la vida en la Tierra) se intensifica principalmente cuando quemamos combustibles que liberan gases que van a la atmósfera, creando el llamado «calentamiento global». La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la Tierra, y está compuesta por varios estratos; el más cercano, la troposfera, tiene aproximadamente un grosor de unos 8 km en los polos y 16 km en el ecuador, sobre el nivel del mar; la estratosfera llega a los 45-55 km de altitud; la mesosfera alcanza los 100 km; la termosfera llega a los 700 km; y la exosfera se extiende desde los 700 km hasta casi 1.000 km.

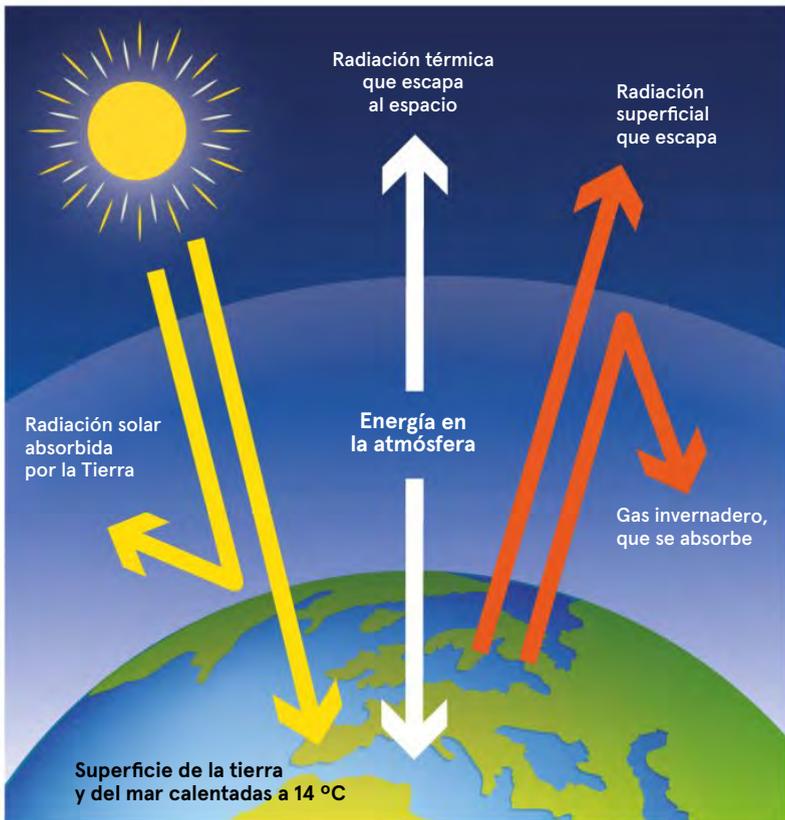
La mayor parte de la atmósfera está compuesta principalmente por dos gases: nitrógeno y oxígeno (en el entorno del 78 y el 21%, respectivamente).

También encontramos parte de vapor de agua, pero en una cantidad muy pequeña (menos de un 0,5%, aunque puede aumentar hasta el 4% justo encima del mar por evaporación, pero luego se disuelve). Igualmente contiene otros gases, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y gases nobles como el argón o el helio, por ejemplo, en porcentajes muy bajos.

El efecto invernadero es un fenómeno natural que impide que se escape el calor de la tierra, de modo que evitamos que la

temperatura esté decenas de grados bajo cero, haciendo el planeta inhabitable. Sin embargo, algunos de los gases que hemos combustionado incrementan de forma antinatural este efecto. Hay un calor en exceso que queda «atrapado» y provoca que la temperatura aumente demasiado, dando lugar a cambios tales como que se derritan los polos, inundaciones o que suba el nivel del mar (por citar unos pocos de los desastres que provocamos con el  $\text{CO}_2$ ).

FIGURA 8.1 El efecto invernadero



Fuente: Elaboración propia.

Me estoy refiriendo esencialmente al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este gas se produce de diferentes formas, tanto artificiales como naturales (lo generan, por ejemplo, los volcanes, las aguas termales y las plantas, además de los animales, incluyéndonos usted y yo). Y es en las emisiones artificiales de CO<sub>2</sub> en las que merece la pena centrarse, ya que son fruto de la intervención humana y tienen un impacto en el planeta, para bien o para mal.

Todos sabemos que los combustibles fósiles generan CO<sub>2</sub>. Existe un consenso claro respecto a que el CO<sub>2</sub> es el principal causante del efecto invernadero. Por eso resulta clave tratar de reducirlo. Tal y como se ha explicado en la sección «El ancla y la contaminación» (p. 105), en el capítulo 6, la «cuarta idea sencilla pero poderosa» nos ha permitido entender que debemos generar el menor CO<sub>2</sub> posible, y que si lo producimos debemos orientar nuestros esfuerzos a desarrollar el concepto de «neutralidad de carbono», es decir, que el CO<sub>2</sub> que liberamos a la atmósfera debe quedar compensado por el que reducimos y retiramos por medio de distintas vías. Una de esas vías tiene que ver con potenciar las energías renovables, principalmente, la eólica y la solar, ampliamente abordadas ya.

Por tanto, pensarán ustedes, para la generación eléctrica, ¿no existen otras tecnologías que puedan apoyar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y que no sean esencialmente las que tienen como fuente el sol y el viento? Aquí es donde se produce un claro efecto halo. No es correcto que no existan otras tecnologías. Sí que las hay. Lo que pasa es que debemos decidir entre coste y CO<sub>2</sub>. Dicho de otro modo, ¿cuál es la relación entre el coste (y, a continuación, el precio) que estamos dispuestos a pagar por la energía y la cantidad de CO<sub>2</sub> que queremos dejar de emitir? ¿Están ustedes preparados a desembolsar cualquier cantidad de dinero para encender la luz del cuarto de estar o para que funcione la fábrica que funde el acero del coche de empresa que conduce su vecino? En última instancia, técnicamente es posible reducir mucho las

emisiones de CO<sub>2</sub>, pero ¿a qué precio? Tal decisión tiene un impacto tanto en la renovación de equipamientos como en el propio precio de los combustibles. Un ejemplo práctico y sencillo: ¿cambiaría usted hoy la caldera de su casa o los fogones de la cocina, por no hablar de su coche o el autobús de su ciudad, con tal de no emitir CO<sub>2</sub>? Estas preguntas se responden mejor en función del horizonte temporal que queramos considerar: corto plazo versus medio-largo plazo.

### **Corto plazo versus medio-largo plazo, y coste versus emisiones**

Si pensamos en objetivos a corto plazo (pero un corto plazo de los del mundo de la energía, ¿quizá cinco o diez años?),<sup>60</sup> debemos retomar las consideraciones realizadas respecto a la velocidad a la que debemos migrar de un sistema (fósil) a otro (no fósil), tema abordado en capítulos anteriores. Tenemos que hacerlo sabiendo que no podemos electrificarlo todo, y también debemos lidiar con los enormes retos asociados en cuanto a la posibilidad de almacenar la electricidad, dado que la tecnología disponible no está lo suficientemente madura, según la Agencia Internacional de la Energía (AIE). En ese contexto, mientras evolucionamos hacia un sistema energético con mayor peso en las renovables, resulta razonable apostar por tecnologías que se apoyen en siete variables:

1. Madurez (que no haya que inventar nada).
2. Flexibilidad (que pueda usar plantas y centrales que ya tenemos disponibles y que se enciendan y apaguen rápido, cuando la demanda lo exija).

<sup>60</sup> Recuerden la «tercera idea sencilla pero poderosa», según la cual la energía no se improvisa.

3. Fiabilidad (que no se «rompa» la tecnología).
4. Estabilidad (que ofrezca un suministro permanente).
5. Producción de energía a voluntad (que produzcamos cuando queramos y lo necesitemos).
6. Coste asumible para quienes usamos la energía (que el precio máximo de la energía se corresponda con el que, como sociedad, estamos dispuestos o podemos pagar).
7. Emisiones de CO<sub>2</sub> lo más bajas posibles (que, a poder ser, haya emisiones cero, o bien, dado que no tenemos la tecnología que lo permita de forma absoluta, que generen cuantas menos emisiones mejor).

Teniendo en cuenta este exigente planteamiento (si tuviera que buscar un símil deportivo, éste sería un doble salto mortal con triple tirabuzón), después de haber llegado a este punto del libro, escojan ustedes mismos la mejor opción. Hemos hablado de ella antes. En mi opinión, se trata de una fuente que, aun generando CO<sub>2</sub>, emite menos, y que permitirá una transición energética hacia modelos con menor CO<sub>2</sub>, hasta que finalmente contribuyan a esa neutralidad de carbono deseada. Mientras no haya un avance tecnológico rápido en lo que respecta a otras fuentes de generación eléctrica, todas las flechas indican en la misma dirección para este primer período (entre unos cinco y diez años, como poco): el gas natural asociado a los ciclos combinados. Ojo, estamos hablando de una fuente energética cuya finalidad esencial es contribuir a utilizar al máximo las energías renovables provenientes del sol y del viento (además de la del agua) mientras, reduciendo el CO<sub>2</sub>, encontramos otras opciones a un coste mejor que el actual. No es la solución final, sino un remedio temporal. Porque, si me permiten, no sólo de sol y viento viven las renovables. Los combustibles del futuro tiene más opciones. Y todo parece indicar que deberán combinarse. En el pasado, eso nos ha funcionado; y también funciona en el presente, y lo hará en el futuro, que no será una excepción.

Energéticamente hablando somos «promiscuos». Ahora, acompáñenme más adelante en el tiempo, es decir, veamos qué ocurre en el medio-largo plazo.

En el horizonte que se dibuja entre los diez y treinta próximos años, además de la eólica y la solar, junto con el gas natural, ¿qué otras fuentes de energía y otros combustibles podemos encontrar para seguir reduciendo el CO<sub>2</sub>? Para este medio-largo plazo, también debemos mirar al etéreo mundo de los gases, una opción de la que últimamente se habla mucho y que se demuestra muy sólida en cuanto a reducción de CO<sub>2</sub> se refiere. Ciertos gases pueden suponer (tecnología mediante) un avance en la reducción de CO<sub>2</sub>, hasta llegar incluso a posibilitar un escenario de neutralidad de carbono (no por no emitir CO<sub>2</sub>, sino por compensar el que se emite) a un coste asumible. Me estoy refiriendo a los gases renovables, una alternativa para apoyar la reducción del CO<sub>2</sub> en usos como el transporte, la industria o el residencial (los edificios en que vivimos usted y yo). «¿Gases renovables?», se estarán preguntando, para a continuación añadir: «No es posible. Si es gas, emite CO<sub>2</sub>». Cuidado, esta última frase tiene un efecto halo de nuevo, porque, en contra de lo que pueda parecer, los gases también pueden ser «renovables». Profundicemos en ello.

## La perspectiva y los gases

Para hablar de los gases es necesario tomar perspectiva, así que déjenme explicar algo obvio: no todos los combustibles son iguales en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>. Ni los de origen fósil ni tampoco los demás. Compruébenlo, por favor, en la tabla 8.1 (p. siguiente), donde se expresan valores de emisión de CO<sub>2</sub> equivalente para diversos sistemas y diversas fuentes de generación.

Como se puede observar en la tabla 8.1, hay diferencias sustanciales entre las diversas fuentes. Un aspecto que me llama la

atención es el hecho de que alguna de ellas no emite prácticamente nada de CO<sub>2</sub> (el hidrógeno azul) y otras muchas son de emisiones cero, como el hidrógeno verde.

TABLA 8.1

Fuente/tecnología energética	Emisión (tCO <sub>2</sub> /MWh)
Carbón (según el tipo)	1,06-1,21
Central de fueloil	0,85
Gas siderúrgico*	0,82
Cogeneración (según el tipo)**	0,39-0,5
Ciclo combinado (central de gas)	0,42
Incineración de residuo sólido urbano	0,28
Hidrógeno gris***	0,27
Hidrógeno azul***	0,03
Hidrógeno verde***	0
Nuclear	0
Hidroeléctrica	0
Biomasa	0
Biogás	0
Fotovoltaica	0
Solar termoeléctrica	0
Eólica	0

\* Los gases siderúrgicos son los gases creados como subproductos «libres» durante los procesos de producción del acero, como, por ejemplo, el gas que se evapora del carbón al derretirlo (entre otros). No se trata de gas natural. Estos gases se aprovechan a veces en la industria siderúrgica para ser quemados y generar energía.

\*\* La cogeneración consiste en quemar un combustible y aprovechar tanto el calor producido como la energía mecánica o la eléctrica que se genera al mover turbinas. Hay varios tipos de centrales o plantas de cogeneración: motor de combustión interna, turbina de gas, turbina de vapor o ciclo combinado.

\*\*\* El hidrógeno no emite CO<sub>2</sub> al quemarse, y no existen en la actualidad centrales eléctricas que quemen hidrógeno, pero este es el nivel de emisión de CO<sub>2</sub> equivalente que supone generar la cantidad de hidrógeno cuya combustión permitiría producir 1 MWh.

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), «Factores de conversión de consumo o producción a energía primaria (EP) y factor», 30 de noviembre de 2010.

## ¿Cuáles son las energías renovables?

Quizá merece la pena detenerse por un momento para entender qué se considera como energía renovable, porque es un concepto en cierto modo ambiguo, ya que está muy vinculado al «triumvirato» energético (viento, sol y agua). Sin embargo, no es así, porque no sólo de viento, sol y agua viven las renovables. Hay más. En este sentido, es interesante comprobar qué energías se consideran renovables desde un punto de vista legal.

Según las definiciones de diversas directivas europeas, por ejemplo, las 2003/54/CE y 2009/28/CE, las energías renovables son: eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás. Son éstas y ninguna más. No voy a adentrarme a especular sobre por qué son éstas y no otras.

Generalmente, se considera como renovable la energía generada a partir de fuentes que pueden rellenarse o reabastecerse por ellas mismas de forma natural. Es importante tomar en consideración que el hecho de ser renovable no significa que una fuente de energía no emita CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Por ejemplo, la biomasa —la energía generada a partir de quemar restos de plantas, cosechas o árboles— se considera renovable, pero sí emite CO<sub>2</sub>.

Parece evidente que queremos reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> asumiendo la «tercera idea sencilla pero poderosa»: nadie improvisa en lo referente a energía (y la energía misma no se improvisa). En paralelo, debemos tener en cuenta qué fuentes emiten más y menos CO<sub>2</sub> (con la tecnología disponible en la actualidad) para tratar de ver cómo podemos sustituir de forma progresiva unas por otras sin afectar a la «primera idea sencilla pero poderosa», la de tener

energía disponible siempre. Teniendo en cuenta estas cuestiones, aquí es donde los gases renovables cobran especial sentido, sobre todo si pensamos en el medio y largo plazo. Para hablar de estos gases, es importante realizar una distinción respecto a su origen, porque esto determina cuánto CO<sub>2</sub> emiten asociado a la madurez de su tecnología, como se explica en el gráfico 8.1.

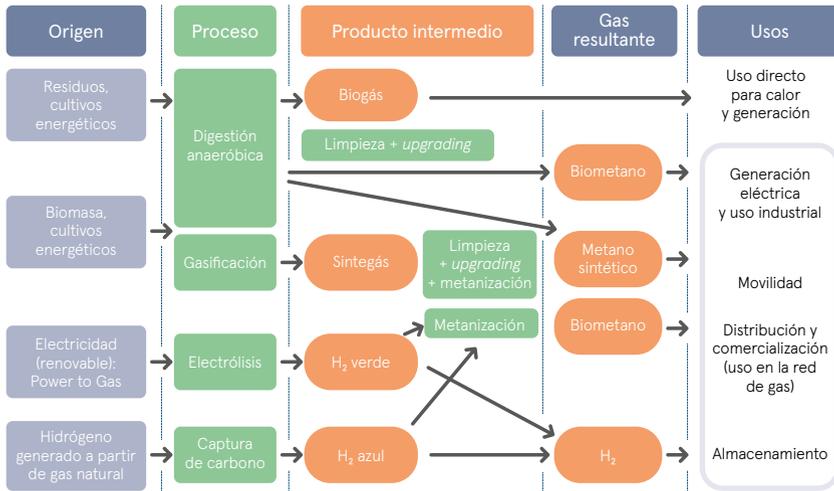
Podemos hablar de dos tipos de gases renovables, el hidrógeno y otros con origen en el biogás. Además, se suelen clasificar según si provienen del mundo orgánico o si tienen su origen en un fenómeno eléctrico o térmico. A continuación, los tratamos en detalle.

### *Biogás*

El primer gas renovable es el biogás. Se trata del gas obtenido esencialmente mediante el proceso de digestión anaeróbica de materiales orgánicos biodegradables, principalmente residuos orgánicos domésticos, industriales, agrícolas, lodos de depuradora y deyecciones ganaderas, así como cultivos energéticos. Así, a partir de capturar gas de los residuos (vertederos y depuradoras) o de la biomasa (tanto de origen animal como vegetal), estos gases aprovechan las materias de las que queremos prescindir para capturar el gas que desprenden. Gracias a un proceso de limpieza y mejora del gas (llamado *upgrading* y metanación), se convierten en combustible (biometano) disponible para producir energía (véase el gráfico 8.2).

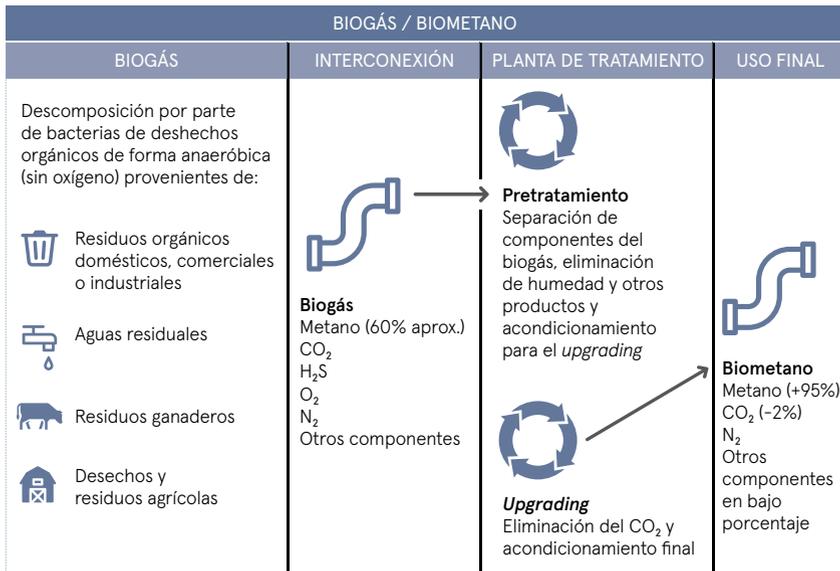
Lo interesante es que adicionalmente produces más energía con el gas obtenido que la que obtendrías de la combustión directa del residuo. Dicho de otro modo, es más eficiente energéticamente (si se pudiera hacer, porque no siempre es posible). Este biometano es prácticamente metano. Es decir, es como el gas natural, pero, a diferencia de éste, está catalogado como neutro en emisiones

GRÁFICO 8.1 Origen de los gases renovables



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 8.2 Del biogás al biometano



Fuente: Elaboración propia.

de CO<sub>2</sub>. Dicho de otro modo, si bien es un gas cuya combustión emite CO<sub>2</sub>, es el mismo CO<sub>2</sub> que el material había capturado de la atmósfera (por ejemplo, una planta al hacer fotosíntesis). Fabricar o generar este gas tiene un coste energético, pero a menudo se usa la propia energía que genera la planta, por lo que las emisiones de este consumo son neutras. Por lo tanto, se considera un combustible de emisiones netas nulas.

Esta tecnología exige realizar fuertes inversiones en los vertederos y las plantas de tratamiento de aguas. También existe otro tipo de biogás sintético (o de síntesis), llamado «sintegás» o, en inglés, «*syngas*», y que se obtiene mediante el proceso de gasificación térmica de materiales orgánicos, principalmente lignocelulósicos (residuos forestales y agrícolas).

### *Hidrógeno*

El segundo gas renovable es el hidrógeno. Se trata de un elemento que desde hace tiempo se usa como materia prima para diversos procesos industriales (fabricación de fertilizantes, producción de vidrio, etcétera), y últimamente se ha vuelto a estudiar su uso como combustible energético.

No emite CO<sub>2</sub> en su combustión, pero sí puede hacerlo en su generación, dependiendo de la energía utilizada (más o menos renovable). El tipo de proceso seguido para su producción determina una categorización en tres niveles (gris, azul y verde) que indican cuán ecológica es su fabricación:

- El hidrógeno gris, el más utilizado hoy día, se genera a partir de combustibles fósiles, sobre todo del gas natural (que es esencialmente metano, CH<sub>4</sub>), del que se extrae el hidrógeno (o dihidrógeno, H<sub>2</sub>) emitiendo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. Este gas no puede considerarse «limpio». Su

tecnología es muy conocida y parte de procesos térmicos. Es el único rentable económicamente hoy día.

- El hidrógeno azul requiere combustibles fósiles (normalmente gas natural) para su producción mediante procesos térmicos; por tanto, también produce CO<sub>2</sub> en su procesamiento, si bien menos que el gris. Además, y a diferencia del hidrógeno gris, en lugar de emitir el CO<sub>2</sub> a la atmósfera, éste se captura y almacena,<sup>61</sup> o bien se captura y se usa.<sup>62</sup> En cualquier caso, como digo, se emite CO<sub>2</sub>. Se trata de una tecnología conocida, pero con problemas para la captura y almacenamiento (tanto por coste como por los lugares donde almacenar el CO<sub>2</sub>).
- El hidrógeno verde es el producido con electricidad y agua. Por medio de electrólisis, se descomponen las moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) en hidrógeno (o dihidrógeno, H<sub>2</sub>) y oxígeno (o dióxígeno, O<sub>2</sub>). El hidrógeno es el elemento más ligero y abundante del mundo (está en el agua, presente en el 70% del planeta). Sin embargo, como todo en la vida, nada es perfecto: la electrólisis es un proceso caro. Se necesita mucha energía eléctrica para generarlo. Si la electricidad que se usa en este proceso es renovable (eólica, solar e hidráulica), el proceso de producción del hidrógeno no emite CO<sub>2</sub> y es igual de renovable. Esto cobra sentido cuando hay excedente de energía producida con estas tecnologías. Es más, se plantean incluso instalaciones de energía renovable destinadas a la producción de H<sub>2</sub>. Bajo esta premisa, sí es totalmente limpio, puesto que está generado con energía proveniente de renovables. Esta alternativa, aun teniendo una tecnología conocida, es la

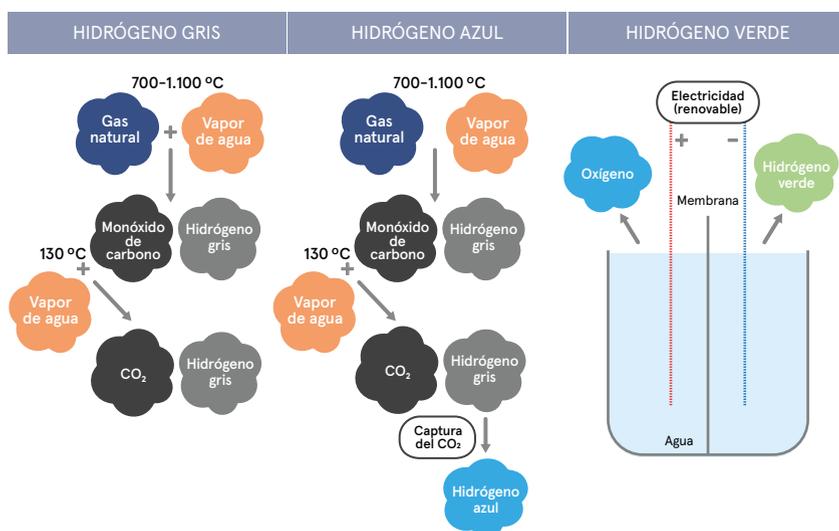
<sup>61</sup> Tecnología *carbon capture and storage* (CCS), o de captura y almacenamiento de carbono.

<sup>62</sup> Tecnología *carbon capture (storage) and utilization* (CCSU o CCU), o de captura (almacenamiento) y utilización de carbono.

menos común del mercado hoy en día, porque a su vez es la menos viable económicamente. Se emplea mucha energía renovable para obtener este hidrógeno. Es demasiado caro. Si aumentara el parque instalado de energías renovables y, además, se desarrollara la eficiencia energética de las mismas (que produzcan más energía, tanta que acabe sobrando), podría cobrar más sentido económico este tipo de combustible denominado «verde» (véase el gráfico 8.3).

En la tabla 8.2 se muestra la comparativa del precio por kilo de gas de los tres tipos de hidrógeno y su relación con el precio por MWh de poder calorífico inferior. Investigando sobre el precio por kilo de gas de hidrógeno se descubre que éste evolucionará a la baja en el tiempo. Así, el coste del hidrógeno verde, según Strategy&Co., la división de consultoría de PricewaterhouseCoopers (PwC), se

GRÁFICO 8.3 Modos de producción de hidrógeno gris, azul y verde



Fuente: Elaboración propia.

espera que sea competitivo hacia el año 2030 e incluso el más barato hacia 2050 (véase el gráfico 8.4).

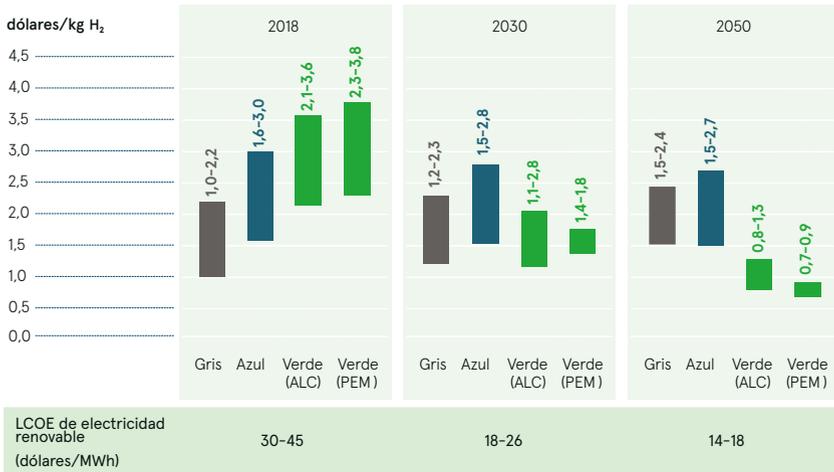
A fecha de hoy, el hidrógeno (con la excepción del gris) sigue siendo mucho más caro que otras alternativas; así que todas las proyecciones de uso de hidrógeno dependen de unas perspectivas

TABLA 8.2 Precio del hidrógeno según el tipo

Tipo de H <sub>2</sub>	Precio por kilo de gas	Precio por MWh de poder calorífico inferior (PCI) (es decir, la energía que podemos conseguir si lo quemamos)
Gris	0,85 a 1,87 €/kg	27 a 59 €/MWh
Azul	1,36 a 2,56 €/kg	43 a 81 €/MWh
Verde	1,78 a 3,24 €/kg	57 a 103 €/MWh

Fuente: BNEF, IEA, Strategy & Analysis.

GRÁFICO 8.4 Coste de producción según el tipo de hidrógeno<sup>1</sup>



Nota: ALC= electrolizador alcalino; LCOE = coste nivelado de la energía; PEM = electrolizadores de electrolito de membrana.

<sup>1</sup> Estimación de costes basada en proyectos «greenfield», excluyendo edificios y refrigeración necesaria.

Fuente: «The dawn of green hydrogen», informe de Strategy&Co. (PwC).

de caída de costes, que aún está por ver si se cumplen o no y que dependen de varios desarrollos tecnológicos futuros.

Respecto al hidrógeno hay que aclarar dos cosas más antes de avanzar:

- En la actualidad, según la AIE:<sup>63</sup> «El hidrógeno desempeña un rol insignificante en el sector eléctrico [...], pero hay potencial para que esto cambie en el futuro [...], turbinas a base de hidrógeno y turbinas de ciclo combinado podrían ser una fuente de flexibilidad en sistemas con proporciones de renovables crecientes». Ya ven, una de cal (hoy es «insignificante») y otra de arena (tiene «potencial»).
- En la producción de hidrógeno, debemos tener presente el concepto de huella de carbono, abordado en el capítulo 6: si bien el combustible en sí, una vez lo combustionas, no emite CO<sub>2</sub>, estamos teniendo en cuenta que en su producción sí se generó (por ejemplo, en los camiones que transportan material hasta la planta, que con seguridad tienen motores que utilizan combustibles fósiles).

Hemos abordado algunas características de los gases renovables, así como las diferencias en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> entre estos tipos de combustibles. Avancemos... Abordemos ahora otras cuestiones relacionadas con los gases renovables. A mí me interesaría conocer cuestiones como las siguientes: ¿a qué usos se pueden dedicar?, ¿cómo los podemos distribuir?, ¿implicaría esto inversiones?, ¿cómo se realiza su almacenamiento? y ¿cuánta producción se puede alcanzar? Entender todo esto también nos importa mucho, porque la energía cobra sentido en la medida en que nos permite progresar como humanidad.

<sup>63</sup> Véase: Agencia Internacional de la Energía (AIE), informe The Future of Hydrogen, elaborado a petición del gobierno de Japón en su presidencia del G20 (2019), p. 150.

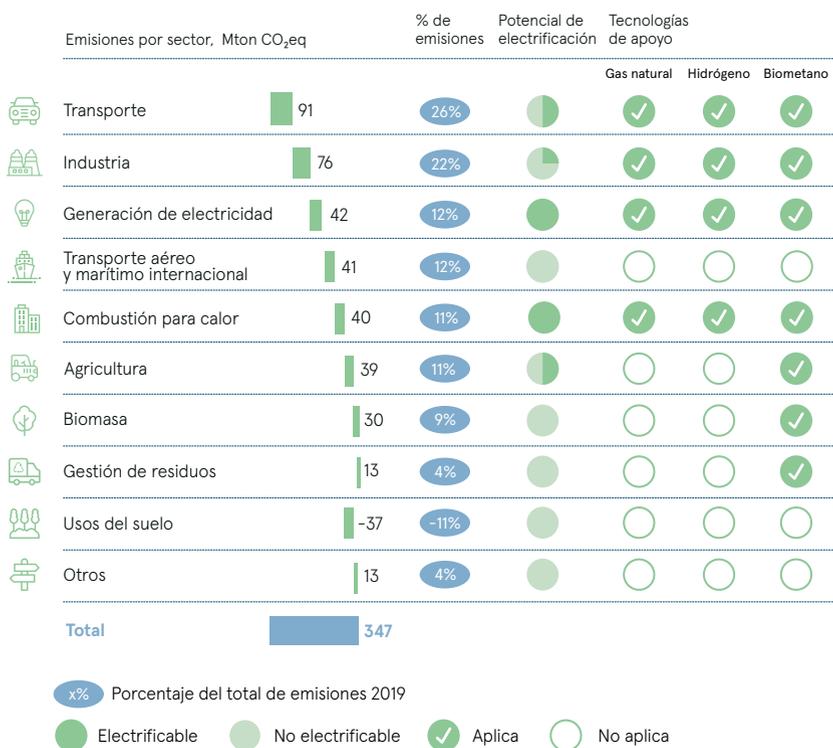
## Usos de los gases renovables y «sinfonías»

Vamos con la primera cuestión: ¿cuál es la utilidad práctica de estos gases? Exploremos el tema según los diferentes usos (transporte, agricultura, industria, etcétera) de estos gases renovables. Lo haré teniendo en cuenta que la economía no puede estar totalmente electrificada (como hemos visto en el capítulo 7), e incluiré junto con estos combustibles renovables el gas natural. Quiero dejar claro que este último no es renovable. Sin embargo, dispone de las siete variables comentadas en el anterior epígrafe «Corto plazo versus medio-largo plazo, y coste versus emisiones» (en este mismo capítulo, p. 159), por lo que me parece lo suficientemente relevante como para ser incluido en el análisis recogido en el gráfico 8.5 (p. siguiente), elaborado con datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA),<sup>64</sup> de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico español.

Observando el gráfico 8.5, parece razonable pensar que en el futuro, como ahora, dispondremos de un modelo que combine fuentes energéticas diversas. Si las exigencias de energía son variadas (sus aplicaciones), las fuentes (sus formatos) también lo son. Parece que las múltiples facetas de nuestra actividad económica y social (desde calentar una cuba de acero hasta refrigerar el interior de una residencia de ancianos) deben ir «acompañadas» con el uso de diversos combustibles, como en una suerte de partitura en la que cada nota fuese una fuente de energía. Cada una aporta una utilidad, y todas en su conjunto conforman una sinfonía que se llama progreso de la humanidad. En este avance permanente que deseamos, los gases renovables no son *la pieza*, sino *una pieza*

<sup>64</sup> La Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency, EEA) es una agencia de la Unión Europea cuya labor consiste en proporcionar información sólida e independiente sobre el medio ambiente. La AEMA tiene como objetivo apoyar el desarrollo sostenible y contribuir a conseguir una mejora significativa y cuantificable del medio ambiente europeo facilitando información actualizada, específica, pertinente y fidedigna a los responsables de la política medioambiental y al público en general.

## GRÁFICO 8.5 Usos de los gases renovables por sector



Fuentes: Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), Agencia Internacional de la Energía (AIE) —informes World Energy Outlook 2019 y The Future of Hydrogen 2019— y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

*más* de un puzzle más amplio que incluye varias fuentes de energía. En conjunto, vendrían a conformar un sistema, bien con menores emisiones (gas natural respecto a otras fuentes fósiles, en una primera etapa), o bien con emisiones neutras (el caso de los gases renovables para un período posterior si se madura su tecnología). Se trata de entender la situación como un todo, rico y complejo, donde las redes de gas trabajan conjuntamente con las eléctricas. «Complementación» es la palabra clave. En la tabla 8.3 se detallan tecnologías que sirven potencialmente de apoyo las unas a las otras.

TABLA 8.3 Tecnologías alternativas de apoyo a la descarbonización

Potenciales tecnologías de apoyo a la descarbonización		
	Hasta 2040	A partir de 2040
Suministro líquido 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Biolíquidos (combustible para aviones, diésel y gasolina)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CCUS<sup>1</sup> en refinerías de suministro de hidrógeno</li> </ul>
Gas natural 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Detección remota de fugas continuas de metano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Gasificación de biomasa</li> <li>· Hidrógeno limpio en el suministro de gas a los edificios residenciales/comerciales</li> </ul>
Generación y suministro de energía 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Paneles fotovoltaicos</li> <li>· Contadores inteligentes (<i>smart meters</i>)</li> <li>· Ciclos combinados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Pequeños reactores nucleares modulares</li> <li>· Baterías de almacenamiento</li> <li>· Generación de energía a base de biomasa</li> </ul>
Residencial 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Biogás como energía complementaria</li> <li>· Bombas de calor</li> <li>· Edificios con emisiones casi nulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Celdas de combustible de hidrógeno y calderas</li> </ul>
Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Coches y camiones eléctricos para transporte urbano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Transmisión alternativa para barcos</li> <li>· Camiones pesados impulsados por hidrógeno</li> </ul>
Industria 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CCUS para hierro, acero y cemento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Materia prima electrolítica de hidrógeno para procesos industriales</li> <li>· Bombas de calor para calor industrial</li> </ul>

<sup>1</sup> Captura, almacenamiento y utilización de carbono (*carbon capture, utilization and storage*).

## Distribución e inversiones

Una vez vistas las emisiones de CO<sub>2</sub> por sector y considerados los usos posibles de los gases (según la AEMA y la AIE), me gustaría ir un paso más allá. Las cuestiones ahora son: ¿cómo podemos distribuir estos gases renovables?, ¿está el sistema listo para hacerlo? Antes de nada, hay que distinguir entre biometano e hidrógeno.

El biometano, al tratarse de metano, es prácticamente equivalente al gas natural, lo que permite que se mezcle con éste.<sup>65</sup> Lo importante viene ahora: que sea tan similar al gas natural y que incluso pueda mezclarse con él permite transportarlo usando la misma infraestructura ya construida para el gas natural. Una vez llega al punto de consumo —su casa o la mía, por ejemplo, o una fábrica—, se puede usar de la misma manera que el gas natural. Su utilización es tan sencilla que en algún país, como en Francia, están obligando a que el gas que circula en las tuberías tenga un porcentaje de biometano. De esta manera incentivan el reciclaje de las basuras. En este sentido, la AIE apunta lo siguiente: «El biometano, una fuente casi pura de metano, es casi indistinguible del gas natural, y, por lo tanto, puede ser usado sin cambios en la infraestructura de transmisión y distribución ni en artefactos de uso final».<sup>66</sup>

Hay que reconocer que sobre todo las depuradoras de agua (no tanto los vertederos) acostumbra a estar cerca de las ciudades. Eso permitiría, haciendo los pertinentes estudios de flujo y con las inversiones necesarias, reinyectar el gas en la red (por cierto, a

<sup>65</sup> Para ser precisos, el metano es un gas concreto (con símbolo CH<sub>4</sub>). El gas natural es un gas, o mezcla de gases que aparece en la naturaleza, que en su mayor parte sí es metano (entre el 83 y el 97%, según el yacimiento), pero que puede estar mezclado con otros hidrocarburos (gases compuestos por hidrógeno y carbón), como etano, propano o butano, e incluso con algo de hidrógeno puro.

<sup>66</sup> Véase: Agencia Internacional de la Energía (AIE), informe World Energy Outlook 2019, p. 594.

una presión más baja que cuando se transporta desde distancias mayores, debido a que, cerca de la ciudad, el gas circula a menor presión, lo que produciría un ahorro energético). En España, la primera planta de biometano que se construyó se ubicó en Madrid, en el vertedero de Valdemingómez, que, junto con el plan piloto de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Butarque, son las únicas que inyectan biometano a la red de gas en España. Hay también otros proyectos y pruebas piloto en marcha. En estos casos, los vertederos ya tienen una red de distribución desplegada, pues muchas veces ya tienen su propia planta de incineración, lo que exige utilizar gas, así que tienen acceso al gas.

Por su parte, en lo que respecta al hidrógeno, según la AIE, varios proyectos piloto han arrojado resultados favorables respecto al transporte y uso de este gas. Los resultados, aun teniendo buena pinta, también indican que es posible que haya que realizar importantes adaptaciones, desarrollos tecnológicos e inversiones tanto en la red de transporte y distribución como en los equipamientos que los deben usar (calderas, cocinas, motores o turbinas), en función del porcentaje de hidrógeno que se introduzca en la red. Esto se desarrolla en el siguiente recuadro: «Las adaptaciones exigidas en la red».

### **Las adaptaciones exigidas en la red**

Para determinar el impacto en la red de la inyección de hidrógeno en el gas natural hay que evaluar las diferentes etapas del sistema, como el transporte, el almacenamiento, la distribución y el uso en las aplicaciones finales. Así, definir las adaptaciones necesarias para que la red de distribución de gas natural actual tolere un mayor o menor porcentaje de hidrógeno no es sencillo.



De hecho, desde un punto de vista técnico, no existe un consenso hoy por hoy sobre el porcentaje máximo de hidrógeno que se puede tener en la red de gas. Es necesario llevar a cabo un estudio específico de cada situación concreta que determinará los porcentajes de hidrógeno que la red gasista puede admitir sin modificaciones, considerando los materiales, dispositivos, equipos y elementos en el sistema. Para determinar los costes, se requieren los resultados de estos estudios y pruebas exhaustivas en relación con la adecuación de la infraestructura existente.

Existen pruebas piloto que evalúan las mezclas de hidrógeno en la red de gas en países como Alemania o en ciudades como Dunkerque, en Francia (mezcla de hidrógeno de hasta el 20%), y Keele, en Reino Unido (mezcla de hidrógeno de hasta el 20% en el proyecto HyDeploy en la Universidad de Keele, en 2019).

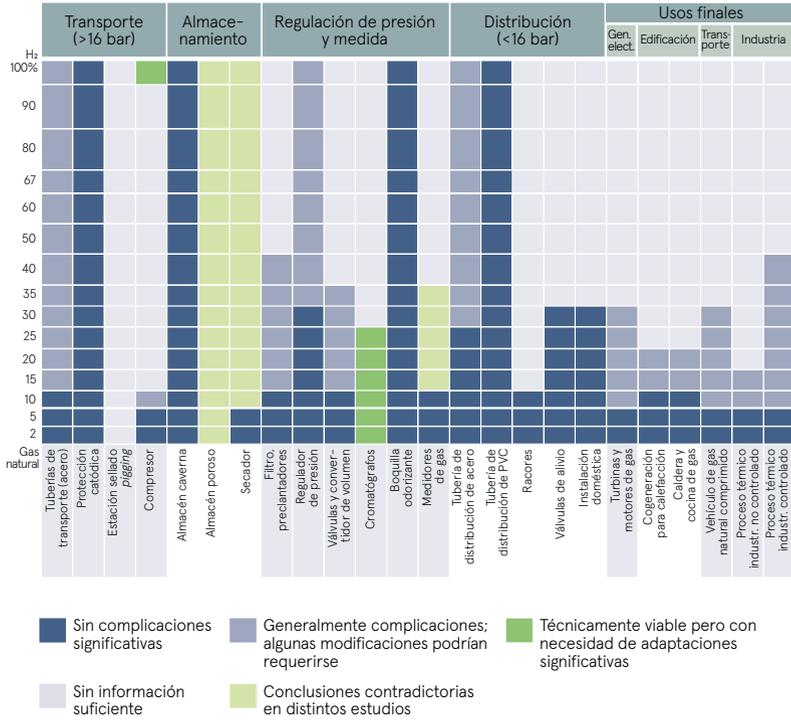
En España se permite que los gases procedentes de fuentes no convencionales puedan contener hasta un máximo del 5% de hidrógeno y que sean inyectados en la red de gas.

A continuación, el gráfico 8.6 —elaborado por la asociación técnica de la industria europea del gas natural Marcogaz— identifica los límites actuales potenciales y las áreas en las que el conocimiento no es completo.

En concreto, para la parte de distribución de gas natural, existen infinidad de cuestiones a tener en cuenta, como el material del que están hechas las tuberías o los accesorios del sistema de gas natural. Por ejemplo, en el caso de las tuberías poliméricas (PVC) no se limita el porcentaje de hidrógeno en la red. En las tuberías de aleaciones de acero, el porcentaje admitido de hidrógeno es de hasta un 25%. El contenido de hidrógeno en el gas natural admisible por accesorios como adaptadores y acoplamientos sería de hasta un 10%, y el de las válvulas de exceso de flujo admiten un 30% de hidrógeno sin modificación.



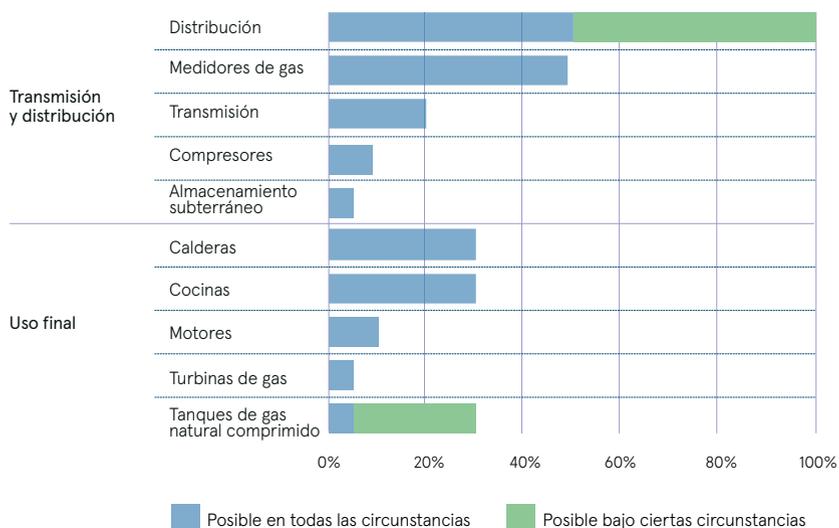
**GRÁFICO 8.6** La inyección de hidrógeno en la red de transporte estaría limitada al 5% por la tolerancia de los turbocompresores de la red y ciertos usos finales en industria y movilidad



Fuente: «Hydrogen admission into existing natural gas infrastructure and end use», presentación de Marcogaz en el 33.º Madrid Forum (foro europeo de regulación del gas), octubre de 2019.

El punto que me gustaría dejar claro es que el sistema del que disponemos en la actualidad para el gas natural (entendido de manera integral, desde el transporte hasta su uso) no funciona igual de bien con el hidrógeno que con el biometano. Con poco hidrógeno funciona sin problemas. Pero sólo con hidrógeno no funcionaría tal y como está planteado ahora mismo. El gráfico 8.7 (p. siguiente) arroja algo más de luz sobre este tema.

GRÁFICO 8.7 Tolerancia de los elementos de la red de gas natural a la mezcla con hidrógeno, en proporción de mezcla por volumen



«Hay al momento 37 proyectos piloto para examinar la mezcla de hidrógeno en la red. El proyecto Ameland en Países Bajos no ha hallado que mezclar hasta un 30% de hidrógeno presentara dificultades para equipos domésticos como calderas, hornallas y artefactos de cocina».

AIE, *The Future of Hydrogen 2019*, p. 73.

#### Hidrógeno

«Existen evidencias [...] de que: a) las redes de distribución podrían reacondicionarse para el uso de hidrógeno a largo plazo, a un coste aceptable, y b) una proporción de hidrógeno podría incorporarse a la actual red de gas a medio plazo, también a un coste aceptable».

Christopher Jones, «El papel del gas en la descarbonización del sistema energético de la UE», p. 33.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE), informe *The Future of Hydrogen 2019*; Christopher Jones, «El papel del gas en la descarbonización del sistema energético de la UE» (informe), European University Institute y Naturgy, 2019.

En el gráfico 8.7 destaca el dato de que, si se invierte en adaptar la red de distribución (ese «posible bajo ciertas circunstancias» equivale a «invirtiendo», si llamamos a las cosas por su nombre), entonces se puede usar más cantidad de hidrógeno. En cambio, por ejemplo, las calderas o las cocinas de las casas pueden funcionar mezclando tan sólo hasta un 20-30% aproximadamente de

hidrógeno con el gas natural o el metano.<sup>67</sup> Si introduces más, no pueden funcionar, a menos que también los adaptes (inversión de nuevo). Así que, con el hidrógeno podríamos seguir usando las mismas infraestructuras introduciendo un gas más limpio; y, por tanto, emitiríamos menos CO<sub>2</sub>, eso sí, siempre que acometamos inversiones importantes. Vale la pena señalar que, si quisiéramos ir a un escenario de electrificación total, también habría que considerar grandes inversiones. Por ejemplo, a escala doméstica se tendrían que hacer modificaciones tales como cambiar las calderas de gas o los coches particulares; y a gran escala, las redes de transporte deberían ajustarse para poder atender el consumo respecto a donde se ha generado la energía.

Sin embargo, si lo que queremos es dejar de emitir CO<sub>2</sub>, entonces la cosa se vuelve más compleja, y las inversiones necesarias aumentarían considerablemente. Hablando de inversiones, la Agencia Internacional de la Energía también advierte de dos cuestiones:

- «Si se mezclara a niveles bajos, aunque posiblemente incrementaría el coste del gas natural para consumidores, también reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub>»;<sup>68</sup> lo dicho, análisis de aumento de costes versus el beneficio de reducir CO<sub>2</sub> (¿hasta dónde estamos dispuestos a llegar?).
- «Desarrollar una nueva cadena de valor del hidrógeno dependerá de la exitosa compleción y conexión de infraestructura de producción, transmisión, distribución, almacenamiento y uso final. Mezclar hidrógeno en la infraestructura de gas natural existente ahorraría significativos

<sup>67</sup> Véase: Agencia Internacional de la Energía (AIE), informe World Energy Outlook 2019, p. 592.

<sup>68</sup> Véase: Agencia Internacional de la Energía (AIE), informe The Future of Hydrogen, 2019, p. 71.

costes de capital necesarios para desarrollar nueva infraestructura de transmisión y desarrollo».<sup>69</sup>

Es decir, si ordenamos toda la información anterior, a día de hoy se pueden vislumbrar dos escenarios:

- Si se inyecta poco hidrógeno, subiría el precio, dado que el coste de generación en la actualidad es más alto que el del gas natural.
- Si inyectamos mucho, aumentaría más el precio, porque no sólo deberíamos asumir el coste del hidrógeno (más elevado), sino que tendríamos que acometer cambios en todo el sistema. A cambio, en este segundo supuesto, dejaríamos de emitir CO<sub>2</sub> durante la combustión de este gas.

En ambos escenarios, lo que parece una oportunidad es aprovechar la infraestructura del gas. ¿Ustedes lo harían? Yo lo haría después de hacer muy bien las cuentas. Primero ha de madurar la tecnología para que merezca la pena acometer las inversiones en lo que a generación y almacenamiento se refiere (ya saben que en la energía no se improvisa).

## Almacenamiento y baterías

Ya que sale a colación el almacenamiento, es importante destacar que los gases renovables se pueden almacenar durante más tiempo que otras energías renovables. Esto es crítico, porque, para llegar a una economía neutra en emisiones en el año 2050 (tal y como se propone la Unión Europea), los gases renovables son

<sup>69</sup> *Ibidem*, pp. 70-71.

imprescindibles, especialmente el hidrógeno. Los expertos<sup>70</sup> aseguran que sin él no será posible tal objetivo, especialmente porque necesitamos gas, sobre todo para la industria, así como por la necesidad de almacenamiento estacional (de invierno a verano y viceversa). Por eso, algunos países, especialmente Alemania y Japón (aunque también Francia, Italia y Estados Unidos), están invirtiendo enormes sumas de dinero en investigación para desarrollar el hidrógeno. También en nuestro continente ha surgido la Estrategia Europea del Hidrógeno y, en España, la Hoja de Ruta del Hidrógeno, que contemplan que en 2030 haya una potencia instalada para realizar electrólisis de 40 GW en Europa y 4 GW en España. El gobierno español ha anunciado que, de aquí a 2023, destinará 1.500 millones de euros para el desarrollo de hidrógeno verde, y prevé una inversión de unos 9.000 millones de euros del sector privado hasta 2030; y en el resto de países europeos existen otras iniciativas similares que buscan impulsar el uso del hidrógeno como vector energético para el futuro. Parece que una parte importante de los fondos de recuperación de la UE vinculados a combatir los efectos de la pandemia por la COVID-19 se van a dedicar a proyectos de desarrollo en esta materia en los países europeos.

Estos países consideran que el hidrógeno es una de las mejores maneras de reducir o eliminar las emisiones de CO<sub>2</sub> en sectores enteros, especialmente en los industriales. Por este motivo, en 2017 se creó el Hydrogen Council, un organismo privado, compuesto por empresas energéticas, industriales y del transporte, que promulga el desarrollo de esta tecnología como fuente energética y de generación de riqueza (u oportunidad de negocio, según se vea).

<sup>70</sup> Fuentes: informe especial de World Energy Outlook, The Role of Gas in Today's Energy Transitions, Agencia Internacional de la Energía (AIE), julio de 2019; y Akos Losz y Jonathan Elkind, «The Role of Natural Gas in the Energy Transition», artículo del departamento de energía de la Universidad de Columbia.

En cuanto a su almacenamiento, debemos distinguir de nuevo entre el biometano y el hidrógeno. El primero no exige adaptaciones, puesto que es equivalente al gas natural. Lo que valga para el gas natural también sirve para el biometano en lo que a esta faceta se refiere. Sencillo.

Por su parte, el hidrógeno requiere unas condiciones muy distintas para ser almacenado. En estado gaseoso es muy inflamable, pero se puede licuar e incluso convertir en amoníaco, que es aún más estable. Por otro lado, lo podemos almacenar durante mucho tiempo (no «se gasta»), aunque no se suele almacenar a gran escala en estado líquido, sino como gas a presión. Esto es en verdad una gran ventaja, especialmente frente a la energía eólica y solar (la hidráulica se puede almacenar mientras haya agua; sin embargo, las energías solar y la eólica tienen un tiempo de almacenamiento mucho menor, como hemos comentado anteriormente).

Una última consideración relacionada con los gases renovables tiene que ver con la producción. A pesar de que el biometano y el hidrógeno comparten ciertas propiedades que apuntan en la misma dirección en lo que se refiere al transporte, uso y almacenamiento (con más facilidades para el biometano que para el hidrógeno en las tres facetas), conviene distinguir un último punto respecto al que no son similares: el potencial de ambos en lo que a cantidad de producción se refiere. En eso sí que hay una notable diferencia, ya que la expectativa referida a la cantidad de hidrógeno que se podrá producir (con la tecnología adecuada) es mucho mayor. Y eso es maravilloso, porque, si logramos que eso suceda «a tiempo» —es decir, si evitamos liberar tanto CO<sub>2</sub> como para que el cambio climático sea enormemente profundo y se den fuertes afectaciones para la vida tal y como la conocemos (especialmente la nuestra, la de los humanos)—, el hidrógeno se presentaría como una solución al abastecimiento energético casi infinito.

Obviamente, combatir este sesgo cognitivo, el efecto halo, tampoco es sencillo (como pasa con cualquier otro sesgo). Por eso,

disponer de algo tan subjetivo como datos que defiendan tu primera impresión o que, por el contrario, la invaliden puede ser una buena forma de conseguirlo, como también lo es evitar las generalizaciones o ser consciente de los juicios que todos realizamos tratando de darle una segunda oportunidad a las primeras impresiones. Todo ello resulta útil para no caer en la trampa del efecto halo.

Llegamos al final de la segunda parte del libro, en la que hemos tratado la energía desde una perspectiva humana. En el capítulo 5 hemos visto lo que la energía nos aporta como sociedad; y en los capítulos 6, 7 y 8 hemos comprobado algunos de los sesgos cognitivos que probablemente influyen en la percepción que nos hemos formado sobre la energía. Por medio del efecto ancla (capítulo 6), del sesgo de confirmación (capítulo 7) y del de halo (en este capítulo 8), hemos comprobado y rebatido algunos de los mitos existentes alrededor de la energía por medio de fuentes de información contrastada y sin componentes ideológicos alrededor de las mismas. Pero, cuidado, porque ya Spinoza, el filósofo racionalista del siglo XVII, afirmó con tino que «es sumamente raro que los hombres cuenten una cosa simplemente como ha sucedido, sin mezclar al relato nada de su propio juicio». Llegados aquí, que cada uno extraiga sus propias conclusiones.

¿Qué nos queda? En la tercera y última parte del libro es necesario identificar a los actores que, gracias a la energía, hacen posible el avance de la humanidad. ¿Quieren saber cuáles son? Adentrémonos en los próximos capítulos para conocerlos.

### Hablando de que la energía tiene halo...

- ¿Podemos electrificar todos los usos de la energía (todo el transporte, toda la industria, toda la economía en general)?



- ¿Están ustedes dispuestos a desembolsar cualquier cantidad de dinero para encender la luz del salón de su casa?
- ¿Cuál es el coste (y, a continuación, el precio a pagar) que estamos dispuestos a asumir por la energía versus la cantidad de CO<sub>2</sub> que vamos a emitir?
- ¿Existen otras tecnologías que puedan apoyar la electricidad renovable en el proceso de descarbonización?
- ¿Es el gas natural necesario para la matriz energética en España?
- ¿Qué gases renovables podemos utilizar para reducir el impacto del CO<sub>2</sub>?
- ¿Está listo el sistema energético para distribuir los gases renovables?

TERCERA PARTE

**TEJIDO  
ENERGÉTICO**



## CAPÍTULO 9

### EL SECTOR ENERGÉTICO: DEL ITER AL ÁMBAR, LA BATALLA DE LAS CORRIENTES Y LA CULPA

Tres hitos en la historia de la electricidad nos pueden servir para comenzar a vertebrar esta tercera parte del libro. Uno es actual; otro sucedió hace miles de años; y el tercero data de hace un par de siglos. Los tres tienen en común que se encontraban en la frontera del conocimiento humano. Los tres dibujaban caminos donde la ciencia tuvo, o tiene, mucho que decir, y donde los resultados eran, o son, inciertos. Y con independencia del horizonte temporal que manejemos, la culpa desempeña un papel importante.

Quisiera empezar por el más reciente, el Reactor Experimental Termonuclear Internacional (International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER), que ya he mencionado en el capítulo 4. El proyecto del ITER, auspiciado por 35 países y de gran complejidad científico-técnica, pretende ser el origen de una nueva forma de energía a partir de la fusión nuclear de los núcleos de hidrógeno, imitando las condiciones de las estrellas, para conseguir energía limpia, segura e ilimitada. Este es, sin duda, el proyecto más ambicioso y vanguardista hasta la fecha, además de monumental en su inversión (es uno de los proyectos de investigación más costosos de la historia). En estos momentos se especula con que

pueda arrojar algún resultado más o menos relevante en el horizonte de 2030, aunque, como pasa con todo lo que concierne a la tecnología, ya se verá. Si somos capaces de conseguirlo, será una gran noticia para el planeta y, especialmente, para la humanidad. La ciencia tiene que hablar en los próximos años, y ojalá lo haga alto y claro, porque nos va mucho en ello.

Retrocedamos 2.600 años y viajemos hasta el siglo VI a. C. Cuenta la leyenda (no hay nada documentado de forma fehaciente al respecto) que Tales de Mileto, un filósofo, matemático, geómetra, físico y legislador griego, experimentó frotando de manera continuada una piedra de ámbar con lana o piel, pudiendo observar el fenómeno de la electricidad electrostática (pequeños objetos se enganchaban a la bonita roca dorada). El versátil ciudadano griego hizo al respecto algunas observaciones de carácter especulativo-científico (explicaciones naturalistas) por medio de deducciones, las cuales sirvieron de base para el estudio de la electricidad por parte de miles de investigadores posteriores, gracias a cuyo ingenio se fueron obteniendo respuestas a enigmas diversos.

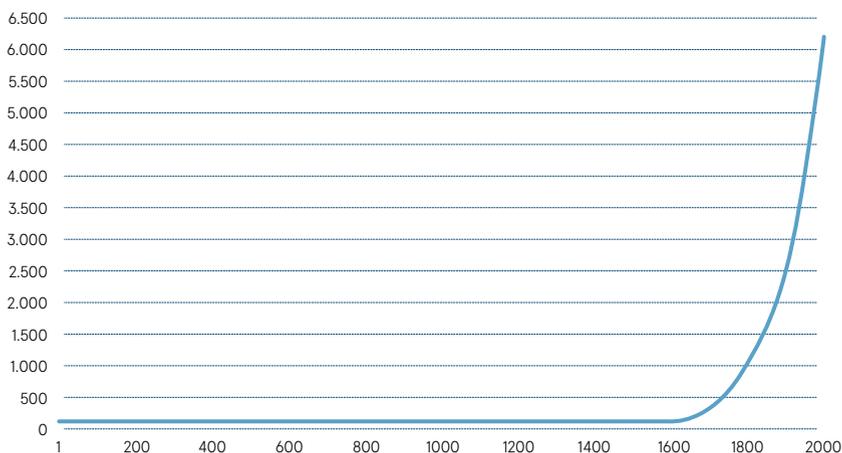
Merece la pena traer a colación ahora la primera Exposición Internacional de Electricidad celebrada en París en 1881. Dicho evento tuvo lugar después de la Exposición Universal de París de 1878, en la que la ingeniería eléctrica avanzada no había sido puesta en valor, según los defensores de ésta. Por primera vez se veía en un solo recinto cuánto había avanzado la ciencia en relación con la electricidad y, sobre todo, qué utilidad podía tener para la sociedad. El impacto de la feria fue notable. Con presencia de expositores de varios países, como Alemania, Estados Unidos, Italia y Países Bajos, se pudo comprobar en ella todo tipo de usos que aportaba la electricidad en aquel momento. Los visitantes y participantes que asistieron (casi un millón de personas) pudieron contemplar inventos tales como las bombillas eléctricas de Edison, las farolas de arco voltaico de Pável Yáblochkov, el tranvía de Siemens, el teléfono de Bell o incluso el coche eléctrico de

Gustav Trouvé (leyendo esto cualquiera diría que el prodigioso Elon Musk llega tarde). ¿Se imaginan lo que debía de pasar por la cabeza de quienes fueron testigos de excepción de aquel muestrario tecnológico? A partir de ese momento comienza la carrera por electrificar el mundo (que sigue vigente hoy día), un proceso técnico que conlleva un verdadero cambio social con implicaciones extraordinarias, comenzando por cuestiones de lo más cotidianas, (alumbrado público o ascensores en los edificios) pasando por las comunicaciones (radio o telefonía), y terminando por los procesos industriales (motores eléctricos, metalurgia o refrigeración, por citar sólo algunos).

De alguna manera, podríamos decir que esa exposición de finales del siglo XIX celebrada en la capital de Francia supuso el pistoletazo de salida de la segunda revolución industrial (los desarrollos tecnológicos que produjo la primera revolución industrial no hicieron uso de la electricidad, sino del vapor). Desde un punto de vista de productividad, ambas revoluciones industriales supusieron, conjuntamente, un cambio de paradigma que afectó a la sociedad, la cultura, la economía e incluso al medio ambiente. Aproximadamente hasta el año 1800, el mundo no había experimentado prácticamente ningún cambio sustancial en lo que a crecimiento económico se refiere. Por contra, las mejoras asociadas al vapor, primero, y a la electricidad, después, supusieron cambios profundos en las condiciones laborales y de vida de la población, por lo demás acompañadas de un despegue económico sin igual. Esto tiene un nombre. Le hemos llamado progreso. Juzguen ustedes mismos, con datos del Fondo Monetario Internacional (FMI), el crecimiento de la economía mundial desde el año 1 hasta hoy (véase el gráfico 9.1, p. siguiente).

Si regresamos al evento celebrado en la capital francesa en las postrimerías del siglo XIX, quizá uno de sus temas más destacados fue la legendaria batalla entre las corrientes alterna y continua, una apoyada por Nikola Tesla, y la otra, por Thomas Alva Edison.

GRÁFICO 9.1 Crecimiento de la economía mundial desde el año 1 hasta la actualidad (PIB per cápita, en dólares de 1990)



Fuente: «Statistics on World Population, GDP, and per capita GDP, 1-2008 AD», Angus Maddison, FMI.

(Los periódicos de la época llamaron a aquello la «guerra de las corrientes», debido a la feroz competencia que se vivió por conseguir que una de ellas se convirtiera en el estándar para su aplicación comercial.) La corriente alterna resulta más eficiente a la hora de transportar electricidad entre grandes distancias para ser transformada a continuación, y la corriente continua se demostró más segura, fluyendo de manera estable y en una sola dirección (es la que encontramos en las pilas y baterías).

Es el momento de los grandes ingenieros e inventores, como Edison y su revolucionaria manera de entender la relación entre investigación científico-técnica y mercado capitalista, que convirtió la innovación tecnológica en una actividad industrial (dando lugar más tarde a lo que se ha llamado I+D+i, investigación y desarrollo e innovación). De hecho, la industria eléctrica continúa su crecimiento a la par con la sociedad de consumo y junto con el progresivo asentamiento del capitalismo. En los hogares

de aquella sociedad comenzó a ser habitual la electricidad. Desde entonces hasta hoy, el progreso que la electricidad ha supuesto para miles de millones de personas es evidente. Gracias a la electricidad, la calidad de vida ha mejorado en todos los rincones del mundo. La manera en que nos relacionamos y la forma en que nos organizamos como sociedad también ha progresado. Sin las primeras luces de gas (en España, las primeras se instalaron en Barcelona en 1842, sustituyendo a las de aceite originales, de 1752), no se habría podido salir masivamente a la calle al anochecer para cualquier actividad, laboral o recreativa, en lo cual influyó el mayor grado de seguridad que aportaban unas calles mejor iluminadas. Sólo entonces se superó el ciclo agrícola; es decir, ya no era necesario acompañar la jornada con la luz del sol, porque cuando éste se escondía se podía continuar con numerosas actividades y ocupaciones. Desde entonces, la gente podía escoger entre leer, dormir, pasarlo bien, trabajar... Fue a partir de entonces cuando los horarios los marcó el hombre, y no los rayos de sol.

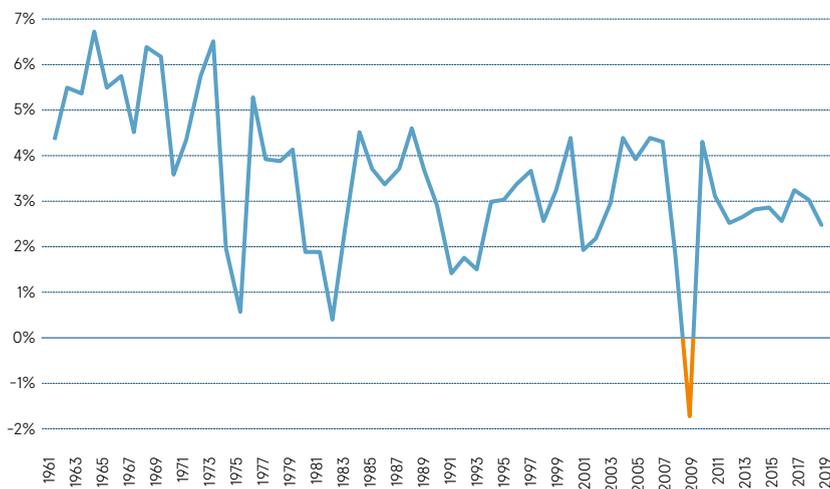
En definitiva, sin energía no podríamos haber logrado avances increíbles que han sido, son y serán vitales para la mejora de la vida de las personas. Hablemos del progreso que trae y seguirá trayendo la energía en el futuro.

La competitividad de las empresas también es más potente gracias a la energía, y su consecuencia es un fomento del bienestar de las sociedades en las que operan. Vinculadas con este desarrollo han surgido compañías como General Electric (derivada de la compañía fundada por Edison), Westinghouse Electric (derivada de la de Westinghouse y Tesla), las alemanas AEG, Siemens AG y Braun, y las japonesas Mitsubishi, Matsushita (Panasonic) o Sony (esta última después de la segunda guerra mundial, previamente llamada Totsuko). Incluso en países de mucho menor tamaño, pero desarrollados, el sector eléctrico y la electrónica de consumo tuvieron presencia temprana y destacada en los procesos de concentración industrial, como son los casos de la

holandesa Philips o la finlandesa Nokia. Todas ellas han ido evolucionando junto con la sociedad a la que dan servicio. La sociedad y la actividad empresarial han ido adaptando sus contornos e influyéndose la una a la otra; y se transforman en parte porque la sociedad lo demanda, con tal de continuar contribuyendo al progreso social. De hecho, en los últimos sesenta años se observa que es ahora cuando se ha producido el mayor crecimiento económico de la historia. Sólo con las excepciones de 2020 (por la COVID-19) y de 2008 (año en el que se vivió la mayor crisis de la historia reciente), desde 1960, el PIB mundial ha registrado crecimientos cada año, en mayor o menor medida (véase el gráfico 9.2).

Para alcanzar este nivel de desarrollo ha sido necesario contar, entre otras muchas cuestiones, con una infraestructura energética que permita y soporte este crecimiento. A ello han contribuido desde pequeñas *startups* hasta grandes empresas que se encargan de la

GRÁFICO 9.2 Crecimiento de la economía mundial desde 1960 hasta la actualidad (en % de variación de PIB anual)



Fuente: Banco Mundial y cuentas nacionales de la OCDE.

generación y la distribución de energía (eléctrica, gas o petróleo). Éstas, quizá debido a las enormes inversiones que se deben acometer junto con el hecho de que habitualmente se trata de activos considerados estratégicos por parte de los Estados, han creado verdaderos gigantes en esta industria (que, con el tiempo, incluso se han ido consolidando en sociedades de mayor tamaño). Algunos ejemplos son la Corporación Estatal de la Red Eléctrica de China (la empresa eléctrica más grande del mundo), Total, E.ON, Lukoil, Gazprom, EDF, Chevron, Enel, Shell, BP, Saudi Aramco, China National Petroleum y ConocoPhillips, por citar unas pocas (hay verdaderos conglomerados con cifras de facturación, de empleados y de beneficios que dan vértigo en este sector).

Viendo el tamaño de estas empresas, uno establece paralelismos con lo que sucede en España, y quizá por este motivo es habitual considerar que el precio de la energía aquí (luz y gas) es el más alto en Europa porque apenas hay competencia (es un oligopolio, es decir, no hay competencia real), y que eso permite que las empresas que operan en este sector se enriquezcan de forma abusiva a costa de todos nosotros (y, frente a esto, los particulares no pueden hacer nada).

Aquí es donde encaja la última pieza del puzle. Porque esta última consideración es errónea, y sólo parece buscar un «culpable». Se trata de un mecanismo que funciona como un instinto, el de señalar la culpa, que vendría a funcionar como esos sesgos a los que me he referido en capítulos anteriores. Nos encanta encontrar culpables, es algo inevitable. En cuanto tenemos un problema, lo normal consiste en buscar una razón clara y sencilla por la cual sucede algo que no nos conviene. Así funciona nuestro cerebro.

Esto es lo que pasa con la visión que se tiene de las grandes empresas energéticas. Por un lado, vemos la factura de la luz o del gas; por el otro, leemos las noticias sobre los beneficios obtenidos por tal o cual compañía en este campo..., y, obviamente, ya tenemos un culpable. Blanco y en botella...

Como dice Hans Rosling en su maravilloso libro *Factfulness*:

El instinto de la culpa hace que exageremos la importancia de los miembros de grupos concretos. Este instinto de encontrar una parte culpable da al traste con nuestra capacidad de construir una conciencia verdadera del mundo y basada en datos reales: nos aparta de nuestro objetivo, ya que nos obsesionamos por encontrar a alguien a quien culpar y, a continuación, bloquea nuestro aprendizaje, porque, una vez hemos decidido a quién hay que darle una bofetada, dejamos de buscar explicaciones en otros lugares. Esto mina nuestra capacidad de solucionar el problema o impedir que vuelva a surgir, porque nos quedamos atascados señalando con el dedo de manera simplista, lo cual nos distrae de la verdad más compleja y nos impide centrar nuestra energía en los lugares adecuados.

En las próximas páginas concentraré todas mis energías en aclarar, con datos lo más objetivos posible, algunas ideas relacionadas con los precios de la energía, los beneficios obtenidos y la competencia que existe en este sector en España. Lejos de lo que podría parecer, las apariencias engañan, y, aunque lo más cómodo sea buscar un culpable, quizá no es lo más aconsejable. Porque, de nuevo, en el mundo de la energía no hay explicaciones sencillas a problemas complejos. Como he dicho anteriormente, el sector energético es un embrollo en el que confluyen centenares de (f)actores. De hecho, tiene tantos actores como intereses, y son tanto intereses públicos como privados. Todo ello debe tratar de armonizarse por el bien del sistema, porque la «primera idea sencilla pero poderosa» todo lo puede: queremos (necesitamos) energía disponible siempre. Y para que esto suceda, todo este elenco de (f)actores debe trabajar de manera conjunta.

En este sentido, vale la pena destacar que el sector energético va mucho más allá de estos grandes conglomerados empresariales,

ya sean de capital público o privado. El sector energético incluye multitud de actores (por citar algunos y sin ánimo exhaustivo): desde organizaciones que extraen la materia prima en los países de origen (ya sea petróleo, gas, silicio o metales como el uranio o el radio), hasta empresas constructoras de centrales (de varios tipos), pasando por fabricantes de equipos, tuberías o cables; empresas de mantenimiento de instalaciones; empresas transformadoras (por ejemplo, las refinerías); empresas de transporte; distribuidoras; centros de investigación y universidades; empresas gestoras de proyectos; comercializadoras; instaladores de placas; empresas y profesionales de reparación e instalación en hogares (de sistemas eléctricos, de gas y otros); centros de homologación e inspección de instalaciones; empresas relacionadas indirectamente (como las de servicios financieros, de *marketing*, de eventos, de *software*, etc.); empresas propietarias de las centrales; empresas petroleras; administraciones públicas y asociaciones internacionales, etcétera. Tal vez el gráfico 9.3 (p. siguiente), que no deja de ser una simplificación, sirva para reflejar la complejidad de la cuestión energética.

Lo que merece la pena tener en cuenta es que las unas sin las otras no podrían vivir. Todas esas empresas y organizaciones se necesitan (y las necesitamos todas), y todas, conjuntamente, construyen el sector energético. Las energéticas son la base, el andamiaje, que sostiene todo un sector que va mucho más allá de ellas mismas, y forman parte de un conjunto mucho más amplio, de un tejido empresarial mucho más extenso, con jugadores o actores grandes, medianos y también pequeños. Las energéticas de mayor tamaño son la punta del iceberg del sector de las empresas dedicadas al sector de la energía (fabricantes de equipamiento, instaladores, constructoras, empresas subcontratadas, cooperativas eólicas, etcétera). Y, contrariamente a lo que cabría esperar, dentro de un sector tan extenso, las grandes empresas energéticas no son precisamente las compañías que más dinero ganan.

GRÁFICO 9.3 Algunos actores del sector energético



Fuente: Elaboración propia.

Llegamos así a la última parte del libro. Nos adentramos a continuación en el avispero que constituye el tema por excelencia del debate público sobre la energía: si creían que las grandes energéticas son las malvadas del siglo XXI, que se forran a su costa y que, además, no tienen competencia, las próximas páginas sin duda les interesarán.

## CAPÍTULO 10

### EL TAMAÑO IMPORTA

Afrontémoslo. Después del último párrafo del capítulo anterior, ahora mismo en su cabeza revolotea una cuestión. A ver si sé explicarlo. Lo que está pensando es que las grandes empresas energéticas (y aquí me refiero esencialmente al puñado de compañías de gran tamaño que hay en España en este sector) son percibidas por parte de la opinión pública como un mal necesario. Hacen falta para tener energía..., PERO:

- Son gigantescas (y usted y yo, como individuos o como empresas, somos pequeños).
- Disfrutan de un monopolio y, por tanto, son abusonas (ponen precios elevados, y se están forrando con ello).
- Y un largo etcétera no especialmente positivo.

Para algunos, esas empresas son auténticas villanas corporativas del mundo de la energía. Así las cosas, cualquiera que las ataque es como Robin Hood frente a los poderosos. Es David contra Goliat. Y cualquiera que las defienda es un vendido al capital.

Partiendo de este funesto escenario, aportaré información que a buen seguro le hará pensar, pero no precisamente sobre lo que

uno reflexionaría de manera intuitiva de buenas a primeras. Para ello, me gustaría invitar como participantes a dos entidades tan sospechosas de «faltar a la verdad» (léase en tono irónico) como Eurostat y la Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía (ACER). Con sus datos abordaré la espinosa cuestión de los precios de la electricidad y del gas. Resulta interesante traer a colación su información para abrir una nueva perspectiva sobre la base de lo que ellas dicen.

Según su propia web, Eurostat (u Oficina Estadística de la Unión Europea) se encarga de publicar estadísticas e indicadores de alta calidad a escala europea que permitan hacer comparaciones entre países y regiones. Bajo sus responsabilidades encontramos:

- Desarrollar definiciones, clasificaciones y metodologías armonizadas para la elaboración de las estadísticas oficiales europeas, en colaboración con las autoridades estadísticas nacionales.
- Calcular los datos agregados para la Unión Europea y la zona del euro a partir de la información recopilada por las autoridades estadísticas nacionales según normas armonizadas.
- Ofrecer estadísticas europeas a libre disposición de los responsables y los ciudadanos a través de la web de Eurostat y otros canales.

Por otro lado, el segundo organismo cuyos datos merece la pena mencionar es la Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía (Agency for the Cooperation of Energy Regulators, ACER). Se trata de una agencia, también de la Unión Europea, creada en 2009 con el objetivo de avanzar en la consecución del mercado interior de la energía de la electricidad y del gas natural.

En el anexo D encontrarán las fuentes de datos utilizadas, que emplearemos en las próximas páginas esencialmente como base factual para el análisis (aunque no será la única). Centraremos el estudio especialmente en doce países de la Unión Europea: Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal y Reino Unido; de hecho, este último país no es miembro de la UE desde el 31 de enero de 2020 (con un período transitorio que se extendió hasta el 31 de diciembre de 2020), pero parte de este análisis se realizó antes de materializarse completamente el *brexít*.

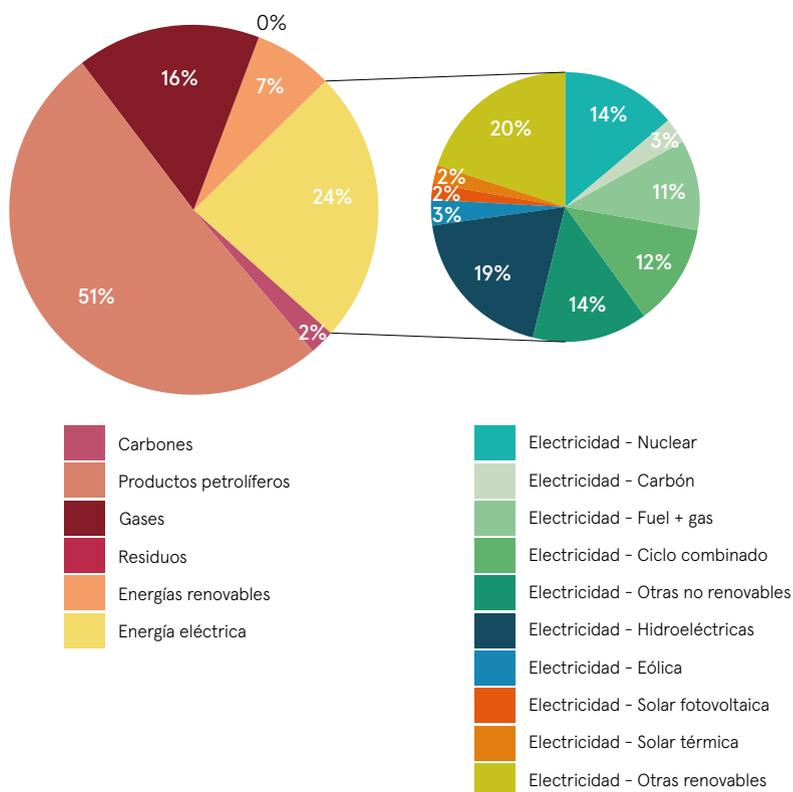
El hecho de haber escogido estos países en particular responde a dos motivos. Por un lado, se trata de países sobre los que existe una homogeneidad en la fuente de datos en el horizonte temporal analizado (de rigor máximo y con rango histórico suficiente). Por otro lado, las características económicas de los países analizados los hacen más comparables a España, algo que no ocurre si en el grupo de países estudiados incluimos a los 27 Estados de la UE. Dichas similitudes se refieren a cuestiones como, por ejemplo, si existe o no interconexión energética, el tipo de matriz energética (explicada más adelante), la calidad de la red o las dinámicas de precios. En cambio, los países que provienen de la órbita de la antigua URSS (Polonia o Rumanía, por ejemplo), por su historia, tienen unas características que los hacen menos comparables. Otro tanto cabe decir de países insulares como Malta o Chipre.

A continuación veremos, por un lado, los resultados del análisis realizado sobre la factura eléctrica, y por otro lado, sobre la del gas. Sin embargo, antes, emplazo a todos los lectores a echarle un vistazo al recuadro «La energía también tiene una matriz y una cadena» (p. siguiente). En un libro de estas características, me ha parecido imprescindible explicar este concepto desde una perspectiva divulgativa. Sin tener este punto claro, entender lo que explicaré en los dos siguientes subcapítulos resulta más complejo.

## La energía también tiene una matriz y una cadena

Como comentábamos al inicio del libro, la energía no se improvisa, sino que los sistemas energéticos se construyen a lo largo de años de análisis. Según una serie de decisiones políticas, económicas, ecológicas y geoestratégicas, se decide instalar unos

GRÁFICO 10.1 Consumo de energía en España en 2018: final (izquierda) y eléctrica (derecha)



Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.



tipos de energía u otra. Todas estas decisiones en su conjunto dan como resultado la «matriz energética» de un país. Una matriz energética es la composición de todas las fuentes primarias de energía que se consume en un país o una región concreta. Como energía primaria entendemos la energía antes de ser convertida o transformada. Por otro lado, la energía secundaria es la que termina consumiendo el usuario final (electricidad, gas, gasolina, etcétera). Es importante no confundir la matriz energética (fuentes de energía, o energías primarias consumidas) con la matriz eléctrica (las diferentes maneras de generar electricidad), ya que la electricidad no es una energía primaria.

Hablando de energía secundaria, en España, durante el año 2018,<sup>\*</sup> más de la mitad de la energía consumida final provenía de productos petrolíferos. La siguiente energía consumida en volumen fue la electricidad, con un 24% (véase el gráfico 10.1).

Sobre el 24% de la gráfica circular de la izquierda (gráfico 10.1) podemos construir la matriz eléctrica, que se basa en la energía eléctrica generada sobre una capacidad instalada teórica superior, porque las centrales de generación eléctrica no están las 24 horas del día funcionando a plena capacidad. Con datos de 2019, según Red Eléctrica de España (REE),\*\* la matriz eléctrica de nuestro país es como se expone en la tabla 10.1 (p. siguiente).

Es importante destacar que cada país dispone de una matriz distinta con notables diferencias entre ellas. Por ejemplo, en Francia, desde la década de 1980, la energía nuclear proporciona en torno al 70% de la energía, y en Dinamarca más del 50% proviene de la eólica en la actualidad.

Por motivos históricos y políticos, un Estado puede haber decidido otorgar mayor peso a un cierto tipo de energía durante años. Esto ha permitido que, por medio del marco legislativo del momento (incluyendo subvenciones), se haya fomentado la instalación de cierto tipo de fuentes de energía.



TABLA 10.1 Matriz eléctrica de España en 2019

Energías no renovables	Potencia instalada	Energía generada
Nuclear	6,4%	21,4%
Carbón	8,8%	4,9%
Fuel + gas	2,2%	2,2%
Ciclo combinado	23,8%	21,2%
Otras no renovables	8,5%	12,9%
<b>Energías renovables</b>		
Hidroeléctrica	15,5%	9,5%
Eólica	23,4%	20,8%
Solar fotovoltaica	8,1%	3,5%
Solar térmica	2,1%	2,0%
Otras renovables	1,1%	1,7%

Fuente: Red Eléctrica de España (REE), informe «El sistema eléctrico español 2019», publicado en 2020.

Por ejemplo, Francia ha apostado desde la década de 1980 por la energía nuclear; y España, entre los años 2004 y 2011, le dio un fuerte impulso a las renovables, que hasta ese momento prácticamente se reducían sólo a la hidroeléctrica.

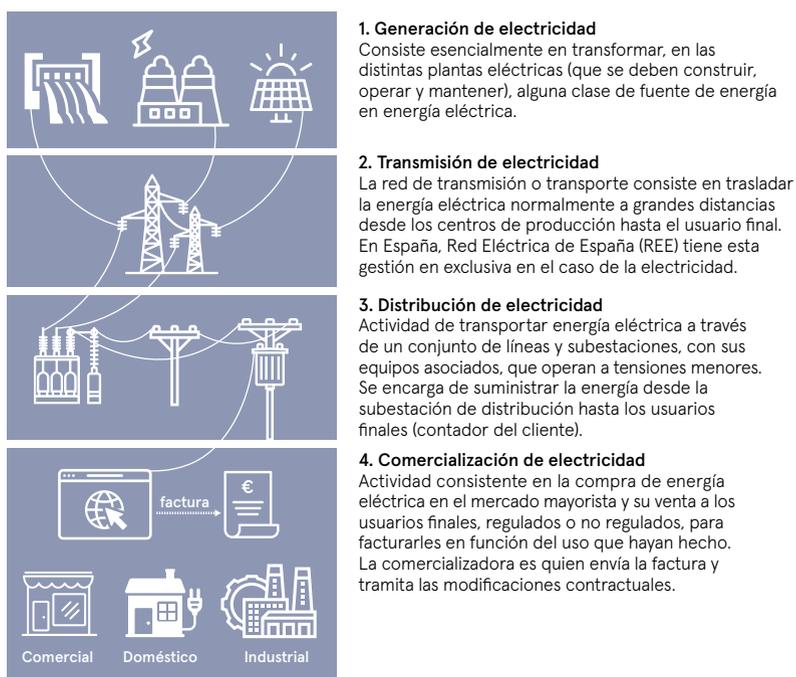
Si bien esto puede incrementar la potencia instalada de un tipo u otro de energía, después pueden darse otros condicionantes que determinan qué tipo de energía se usa y cuál no. Por ejemplo, como ya se ha explicado antes, en España (con dos horizontes temporales distintos) se ha tomado la decisión de apagar definitivamente, por un lado, las plantas más contaminantes en CO<sub>2</sub> (las de carbón y fueloil) y, por otro lado, las nucleares, y por distintos motivos. Con ello se evidencia que la matriz energética evoluciona con el paso del tiempo. De hecho, a diario se puede decidir activar o no cualquier tipo de fuente de energía (entre otros criterios, en función de si se dan



las condiciones climatológicas favorables para utilizar un tipo de energía u otra, como por ejemplo, las renovables).

La matriz va indisolublemente unida a lo que se conoce como la «cadena de valor energética», que básicamente tiene que ver con las diferentes piezas que conforman de manera secuencial el sistema energético. La cadena permite entender qué sucede desde que cae una gota de agua del cielo, por ejemplo, hasta que encendemos la tostadora de la cocina. Si tuviéramos que representarlo gráficamente, en el caso eléctrico sería como se ve en la figura 10.1.

FIGURA 10.1 Cadena de valor energética



Fuente: Elaboración propia.



En el caso del gas natural, los pasos son los mismos, con la diferencia de que, en España, la transmisión del gas depende de Enagás, y no de Red Eléctrica de España (REE). En el caso del gas, la cadena de valor es la siguiente:

- Extracción y tratamiento del gas almacenado.
- Sólo para el caso de gas natural licuado (GNL): licuefacción y transporte en forma de gas natural licuado.
- Posterior regasificación (sólo el GNL) y/o transporte como gas a través de gasoductos.
- Almacenamiento.
- Distribución hasta los puntos de consumo.

\* Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

\*\* Fuente: Red Eléctrica de España (REE), 2018.

## **Factura eléctrica: 6% menos al mes, lo que significa que España no es el país más caro**

Basándonos en los informes comparativos de precios y en las facturas de la electricidad para el año 2019, el resultado que arroja el análisis demuestra que el recibo medio doméstico de la luz en España es de 66 euros al mes. Como desarrollaremos más adelante, esto supone 4 euros menos cada mes que la media de la muestra de los países europeos analizados, incluyendo impuestos. Es decir, el recibo de la luz en España es un 6% más barato que en la media de países objeto del análisis. Así que, retomando el título del capítulo, el tamaño importa, pero en este caso importa porque es menor.

Conviene destacar que en nuestra factura de la luz encontramos los siguientes conceptos: peajes de acceso y cargos, coste de la energía del mercado mayorista, alquiler de contadores e impuestos. La

agencia reguladora europea ACER, con cuyos datos hemos podido construir el gráfico 10.2 (p. siguiente), ha desglosado estos conceptos de manera sistemática para los distintos países tenidos en cuenta en nuestro análisis. En la parte derecha del gráfico se puede apreciar dónde va cada euro de lo que pagamos, a saber:

- Precio base de la electricidad (coste de producción de energía).
- Impuestos.
- Apoyo a las renovables.
- Componentes de red.

El gráfico 10.2 recoge los datos esquematizados del coste del recibo de la luz mensual en once países de la UE y en el Reino Unido, así como el desglose en distintos conceptos. Para el estudio se ha tomado como referencia un recibo doméstico de la luz con un consumo medio de 3.500 kWh al año (que es un poco más alto que el de una vivienda tipo).

Voy a detenerme por un momento en cada uno de los conceptos del recibo de la luz (y dejaré el comentario sobre el concepto de apoyo a las renovables para el final). El primero es el coste de producir la electricidad. En este punto, España, con datos de 2019, es más cara que la media de los países analizados (para más información, véase el recuadro «¿Cómo se decide el precio de la luz?», p. 207). En lo relativo a impuestos, España, de acuerdo con los datos de ACER, dispone en conjunto (IVA más impuestos eléctricos) de una menor presión que el resto de países analizados.

El concepto llamado «componentes de la red» se refiere a las actividades reguladas de distribución y transporte (para tener más información sobre el mercado regulado y el liberalizado, véase el recuadro «Actividades liberalizadas y actividades reguladas», en la p. 211). En este concepto, España está por debajo del resto de países analizados en cuanto a precios. Se trata de algo meritorio, porque la

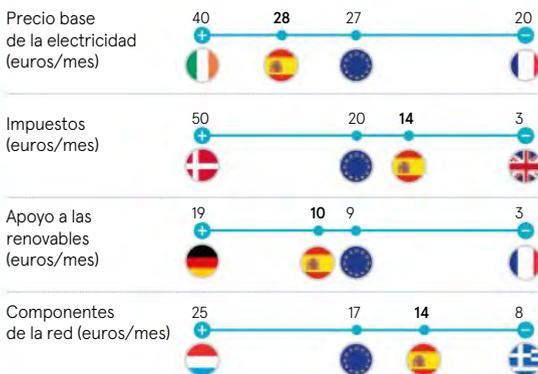
## GRÁFICO 10.2 Desglose del recibo doméstico de la luz en 2019 en países seleccionados<sup>1</sup>

Recibo doméstico de la luz<sup>2</sup>, 2019 (euros/mes)

Para un consumo medio anual de 3.500 kWh/año



Componentes del recibo de la luz



<sup>1</sup> Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal y Reino Unido.

<sup>2</sup> Cálculos de ACER basados en datos de herramientas de comparación de precios, incluyendo impuestos, a partir de sitios web de proveedores establecidos recopilados a través de ACER; a los efectos de este análisis, el precio medio de la electricidad para los consumidores domésticos en la UE se basa en las ofertas establecidas para un consumo medio anual de 3.500 kWh, ponderado por el consumo total de los hogares proporcionado por el CEER (Council of European Energy Regulators).

Fuente: Eurostat; Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía (ACER), detalles de la metodología de cálculo incluidos en el anexo D; Instituto Nacional de Estadística (INE) y Organización de Consumidores y Usuarios (OCU).

densidad de población de nuestro país es baja, además de dispersa, y eso haría pensar que debería ser un componente más caro de la factura. ¿Por qué? Porque se ha de construir una red que haga llegar la electricidad a puntos remotos de la geografía para una pequeña fracción de la población (la España vaciada), lo que a su vez hace que la utilización de esa infraestructura sea baja comparada con su coste (que es fijo). Tiene mérito, ya que, como es lógico, las redes de distribución cambian en cada país en función de la densidad y la orografía del mismo. Así que, comparados con otros países de nuestro entorno (como Alemania o Países Bajos, con mayor densidad y utilización de la infraestructura), en España tendría sentido que se cobrara más por este concepto, pero es exactamente lo contrario.

## ¿Cómo se decide el precio de la luz?

El precio que pagamos en la factura de la luz incluye varios componentes, entre ellos, los impuestos, un coste por la potencia contratada, el precio del alquiler de equipos instalados y el coste de la energía consumida.

Todos estos conceptos deben compensar los costes totales del sistema (energía, redes de transporte y distribución, apoyo a las renovables, deuda acumulada, costes de suministro a territorios extrapeninsulares, etcétera). La energía consumida puede ir modificando su precio continuamente, y viene determinada por lo que se llama el «precio en el mercado mayorista», o, como se conoce coloquialmente en el sector, «precio del *pool*» (el término inglés *pool* significa «piscina»).

En este *pool* se negocia la mayoría de la producción eléctrica, aunque no toda. También se dan acuerdos bilaterales entre productores y comercializadores o consumidores. Esto es habitual, por ejemplo, en la gran industria, debido a su enorme demanda (si tienes una fábrica de coches, por ejemplo, puedes llegar a acuerdos directamente para que fabriquen la energía que consumirás).

Explicado de forma sencilla y a grandes rasgos (porque en realidad es mucho más complicado de lo que parece), se puede decir que el precio de este *pool* lo marca una subasta, o, más concretamente, 24 subastas cada día, una para cada hora. Así, en estas pujas, las empresas que generan electricidad ofrecen una cantidad de energía determinada (aquella que pueden ofertar), y proponen un precio por ella. Por otro lado, las comercializadoras realizan contraofertas de la cantidad de energía que creen que van a necesitar (porque la van a vender a sus clientes), y a su vez proponen el precio que están dispuestas a pagar por ella.

Como hay varios tipos de centrales energéticas, que tienen costes diferentes, se ofrecen volúmenes de energías a precios diferentes (unas más caras que otras). Al mismo tiempo, una comercializadora puede necesitar de forma urgente un cierto volumen de energía, y estar dispuesta a pagar más, y otra comercializadora que tenga menos urgencia (porque necesita un volumen menor) podrá, por tanto, proponer un precio más bajo.

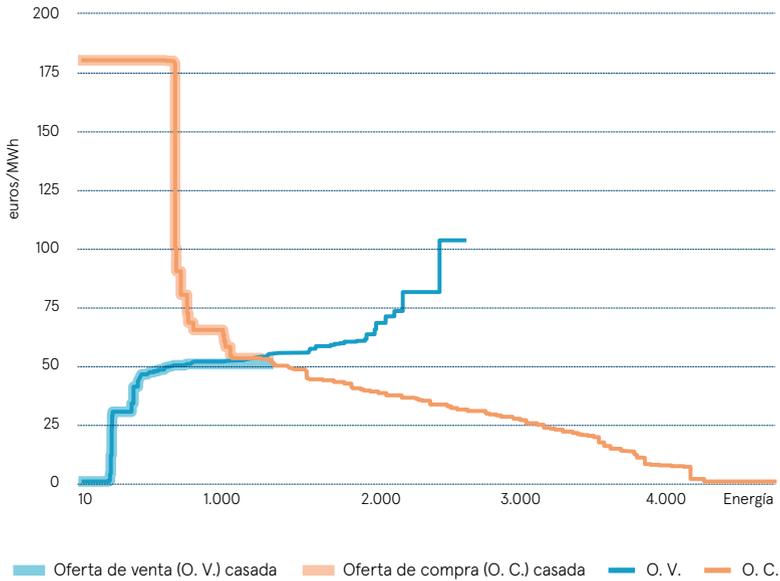
Todos estos precios y cantidades entran en un *pool* —que, en definitiva, es un algoritmo—, y se dibujan en unas curvas como las del gráfico 10.3. El punto en el que se cruzan las curvas de oferta de venta y oferta de compra marca el precio que tendrá toda la energía que se compre y venda durante esa hora, independientemente de los precios y cantidades ofertados por cada proveedor.

El *pool* eléctrico es un mercado transparente, y lo gestiona un operador independiente, llamado Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE), que cada día realiza 24 subastas (una para cada hora del día). Cada empresa productora de energía presenta su oferta de venta, con dos parámetros: volumen y precio (existe un mínimo de 0 euros/MWh y un máximo de 180,3 euros/MWh). Este precio y este volumen dependerán del tipo de energía que produzca cada empresa (hay energías mucho más baratas que otras, y las empresas pueden emitir más energía o menos en diferentes momentos del día). Por su parte, cada empresa comercializadora presentará las ofertas de cantidad y precio de energía que quiere pagar.

El OMIE casa todas las propuestas y compone un gráfico de dos ejes, que se publica de forma diaria (véase el gráfico 10.3).

Este tipo de mercado de subastas es de «precios marginalistas», es decir, una vez se decide el precio final, es el que queda marcado para todos los compradores y vendedores.

GRÁFICO 10.3 Ejemplo de casación del precio del *pool* eléctrico el 2 de septiembre de 2020 (curvas agregadas de oferta y demanda, sesión con horas en el día D-1. Hora 21 - España - 02/09/2020)



Fuente: OMI, Polo Español S. A. (OMIE).

En este *pool* entran todos los tipos de energía disponibles, según sus particularidades: por ejemplo, la nuclear, debido a sus características (lentos tiempos de encendido y apagado), siempre tiene que estar activa.

Finalmente, es importante señalar que en España existe una tarifa regulada (precio voluntario para el pequeño consumidor, PVPC), la cual tienen contratada casi once millones de los aproximadamente treinta millones de usuarios de electricidad en España; el precio de esta tarifa cambia cada día y cada hora en función de la estación del año o de lo que marca



este *pool*. En este caso, la tarifa se compone del precio de la energía (resultante del *pool*), los peajes y cargos regulados y una cantidad fijada por la administración como coste de comercialización, además de los impuestos.

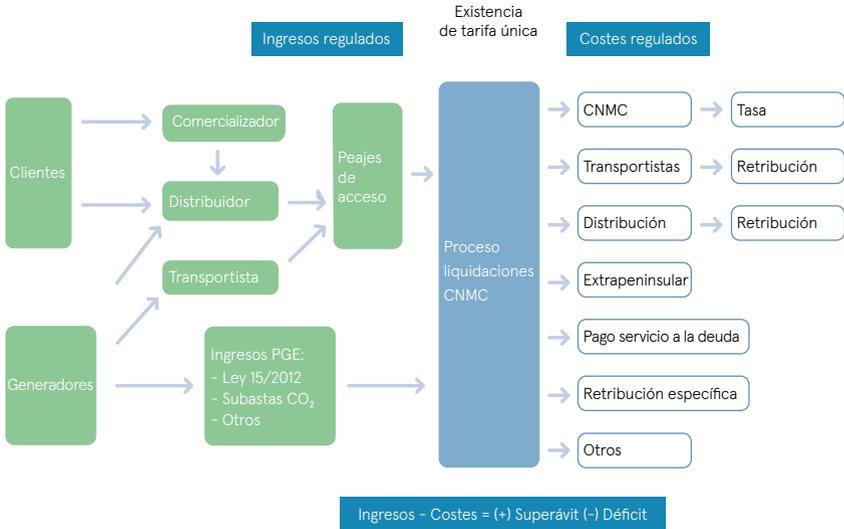
En ocasiones, la percepción del alto precio de la energía en España se construye a partir de comparar el precio del *pool* en un instante concreto en el tiempo. El precio que pagan los consumidores es, sin embargo, el agregado, y es inferior al que se paga en otros países europeos.

Y, finalmente, veamos el concepto de las aportaciones para el apoyo a las renovables, aspecto en el cual se puede comprobar que en nuestro país se aporta más que la media en la factura de la luz. Se trata de un tema extraordinariamente polémico. Tal y como se explica en el recuadro «¿Cómo se decide el precio de la luz?» (p. 207), el sistema eléctrico español, en su parte regulada, está concebido para que los costes del sistema regulado queden compensados por los ingresos.<sup>71</sup>

Sin embargo, en un período reciente de la historia de nuestro país se comenzó a generar lo que se llamó el déficit tarifario, que básicamente es la diferencia entre los ingresos del sistema, por medio de los que generan los usuarios de las empresas eléctricas que operan en España, y los costes reconocidos por la administración pública que deberían cobrar las compañías eléctricas y otros agentes, como los transportistas, la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) y los distribuidores. Así, todos los años, la CNMC realiza una liquidación de los gastos del sistema eléctrico, y establece los costes reales finales de cada bloque (transporte, subvenciones a renovables, etcétera), y se paga a las

<sup>71</sup> Véase el recuadro «Actividades liberalizadas y actividades reguladas» (p. siguiente), donde se explica la diferencia entre las dos, lo cual es de capital importancia para entender cómo funciona el sistema eléctrico.

GRÁFICO 10.4 Liquidación de ingresos de las actividades reguladas (recaudación de ingresos y pago a los agentes)



Fuente: Elaboración propia.

empresas si es preciso, o se genera un déficit (o excedente) regulatorio. En el gráfico 10.4 encontramos una descripción detallada del sistema de liquidación español.

### Actividades liberalizadas y actividades reguladas

Vale la pena mencionar que el sistema eléctrico tiene una serie de actividades liberalizadas y otras reguladas que también condicionan el precio final que pagamos por la electricidad:

- Las liberalizadas (referidas a la generación eléctrica y la comercialización de la misma) son aquellas en las que se



permite la libre competencia (con algunos matices) entre aquellas empresas que lo deseen. Por lo tanto, dichas actividades están regidas por la ley de la oferta y la demanda.

- Las reguladas se refieren a la explotación de las redes de transporte y distribución. El transporte es a gran escala, y se hace con redes de alta tensión (las famosas grandes torres que solemos ver cuando viajamos en coche); y la distribución consiste en llevar la electricidad a los puntos de consumo (los hogares, las oficinas y las fábricas, por ejemplo). Estas actividades están sujetas a significativas economías de escala, lo cual hace que tengan el carácter de monopolio natural, haciendo ineficiente la introducción de competencia en estas actividades (todo ello siguiendo la directiva europea 2003/54/CE traspuesta a la normativa española con ley 17/2007 de 4 de julio). En las actividades reguladas, se supone que los ingresos globales del sistema deberían cubrir sus costes, para que no haya déficit.

Entendiendo que la electricidad es un bien de primera necesidad, existe lo que antiguamente se llamaba la tarifa de último recurso (TUR) eléctrica. Actualmente su nombre es «precio voluntario para el pequeño consumidor» (PVPC). Se trata de una tarifa regulada cuyos requisitos fija el Ministerio de Industria y que sirve de «refugio» para quienes no quieren contratar ninguna de las tarifas que ofrecen las comercializadoras en el mercado libre. Al tratarse de una tarifa regulada, la ofrecen únicamente aquellas empresas designadas por el gobierno como comercializadora de referencia. Se trata de una tarifa aplicable a clientes con potencia contratada inferior o igual a 10 kW. Según los últimos datos oficiales de la CNMC, el número total de consumidores en España es de



unos 28,3 millones, de los cuales unos 26,7 millones tienen derecho a acogerse al PVPC por las características de su suministro, lo que supone el 94,2% del total. Al cierre de 2019, unos 10,8 millones de clientes estaban adscritos a la tarifa regulada (el 40,5% de los que tienen derecho a estarlo).

Adicionalmente al PVPC, existe otra tarifa regulada, que se conoce como «bono social». Esta tarifa está pensada como medida de protección para los consumidores más vulnerables, y pueden solicitarla las personas que cumplan al menos uno de estos requisitos:

- Percibir una renta inferior a los umbrales establecidos en función del número de miembros de la unidad familiar, que se incrementa si se dan circunstancias especiales (discapacidad, víctimas de violencia de género o del terrorismo, familias monoparentales y quienes tengan miembros con niveles de dependencia II y III).
- Familias numerosas.
- Pensionistas con pensión mínima, y sin ingresos adicionales superiores a 500 euros anuales.

El bono social consiste en un descuento sobre el PVPC de un 25% para los consumidores vulnerables, y de un 40% para los vulnerables severos (aunque puede llegar hasta el 100% de descuento en los casos de usuarios más necesitados). Para acceder al bono social de la luz hay que tener contratada la tarifa PVPC. Cuando la TUR pasó a llamarse PVPC, en julio de 2009, todos los usuarios que contaban con una potencia contratada de 10 kW o menos fueron traspasados al PVPC, salvo quienes manifestaran expresamente que deseaban pasar al mercado libre. El número de clientes que en la actualidad están acogidos al bono social es de 1.271.352 (en abril de 2020).

Esencialmente, decisiones tomadas por gobiernos estatales de diferente color, junto con un muy complicado panorama económico mundial, llevaron a nuestro país a generar un déficit (diferencia entre costes del sistema e ingresos del sistema) de miles de millones de euros, el cual había que pagar. El sistema diseñado por el gobierno (que incluía una ley que impedía subir el recibo de la luz por encima del IPC) resultó una medida favorable para el conjunto de la sociedad, sin generar un problema a las grandes empresas energéticas hasta aproximadamente el año 2005. A partir de ese momento, se produjo un desajuste, que con los años se hizo enorme, entre el coste real del sistema y los ingresos, lo que empezó a generar el déficit tarifario. Una de las causas la constituyeron las primas que se ofrecieron a la generación con energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica y térmica, pero también la eólica, la hidráulica y la de biomasa, primas que fueron muy elevadas.

Todo ello provocó una controversia entre los gobiernos de España y las grandes compañías eléctricas, puesto que el déficit que se iba generando era cada vez más grande. Sólo a partir de 2013 se comenzaron a tomar medidas correctoras. Para entonces, la diferencia entre los ingresos y los gastos sumaba más de 40.000 millones de euros de déficit (según datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, el organismo regulador).

En el gráfico 10.5 se muestra cómo fue evolucionando tal diferencia entre ingresos y gastos, así como el volumen acumulado del déficit a lo largo de los años y los datos acumulados de las primas a renovables y otros pagos que se fueron realizando a diversas tecnologías durante las distintas anualidades (denominadas en el gráfico «Retribución específica»). Es importante destacar que una parte del déficit acumulado sí se pagaba cada año. El problema era que el ritmo de devolución era más lento de lo necesario para equilibrar la cantidad de déficit que se había generado en el pasado, y, además, cada año se hacía más grande, con lo cual la deuda era

GRÁFICO 10.5 Déficit/superávit tarifario anual y acumulado desde el año 2000 en millones de euros



Fuente: Elaboración propia con datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC).

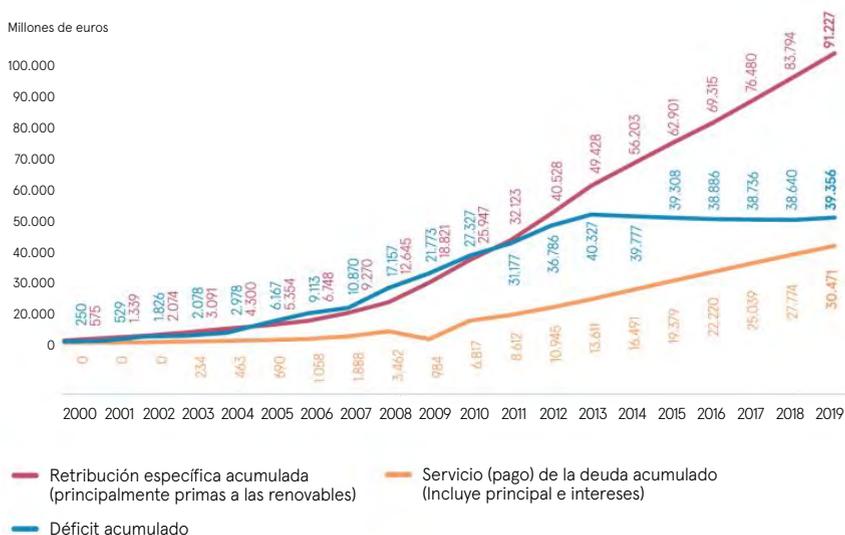
más cuantiosa año tras año. Al final se llegó a un punto en el que, siendo una deuda reconocida por los gobiernos, ahí se quedaba, sin una propuesta concreta de cómo pagarla.

En 2013 se cambió la ley, y se empezó a compensar la diferencia de forma importante, de manera que el déficit acumulado no creció, aunque, hasta 2019, apenas disminuyó (era en ese año de 39.356 millones de euros).

El gráfico 10.6 (p. siguiente) muestra las curvas acumuladas del déficit, de la retribución a renovables y de otros:

- La línea de color rojo muestra el total de pagos de primas.
- La línea azul es el déficit que se fue acumulando año tras año. Nótese que los primeros años crecía poco, pero a partir de 2006-2007 empezó a despegar con fuerza. El año 2014

GRÁFICO 10.6 Evolución del déficit, las primas y los pagos de la deuda desde el año 2000



Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC).

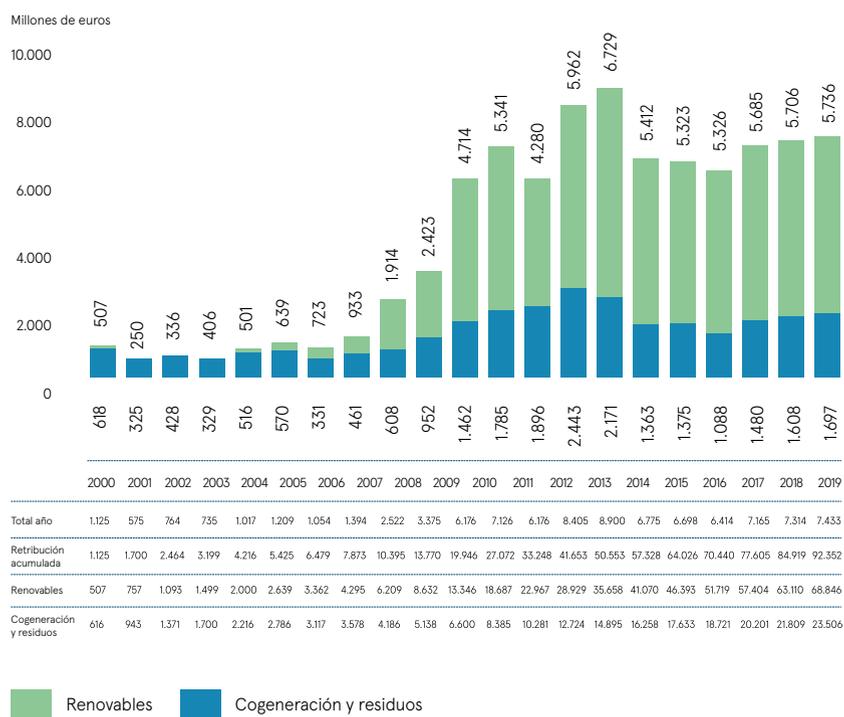
fue el primero en el que el déficit empezó a reducirse, si bien a una velocidad muy lenta.

- Finalmente, en la línea naranja podemos observar el pago acumulado que se ha ido realizando para hacer frente a la deuda, que incluye también los intereses.

La conclusión de todo ello es que, sin juzgar políticamente la buena o mala fe (se presupone que buena) de los diferentes gobiernos que tuvieron que lidiar con la situación, la deuda que se generó fue monumental. Un monumento económico que, a día de hoy (quince años después al inicio del problema), a los particulares nos obliga a pagar en el recibo de la luz una fiesta que ha salido muy cara y que se ha debido a una más que cuestionable política energética (algunos han dado en llamarlo la «fiesta de las renovables»,

puesto que la mayor parte del déficit se generó a partir de las ayudas para incentivar las energías renovables). Hay que mencionar que el volumen total acumulado de primas pagadas hasta 2019 (unos 92.000 millones de euros) corresponde en un 75% aproximadamente a las pagadas a las energías renovables (69.000 millones), y el otro 25% (23.000 millones) corresponde a cogeneración y residuos (estos dos incluyen varios ámbitos, como plantas que queman gas para generar electricidad y calor o plantas donde se aprovechan las basuras para generar gas), como se muestra en el gráfico 10.7.

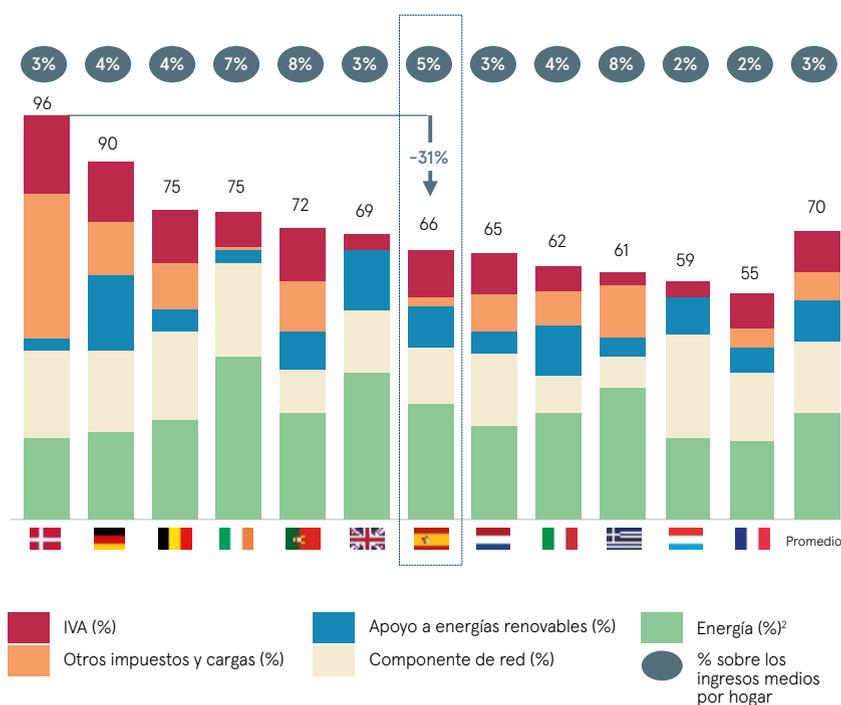
GRÁFICO 10.7 Retribución específica anual y acumulada a origen



Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).

Centrándonos en la factura de la electricidad, de acuerdo con ACER (datos de 2019) y desglosando la información por país, resulta interesante comprobar lo siguiente: el recibo de la luz de los consumidores españoles no es el más alto de Europa, sino que se encuentra un 6% por debajo del promedio. De hecho, tal y como se puede ver en el gráfico 10.8, con doce países analizados, la posición

GRÁFICO 10.8 Comparativa de la factura eléctrica doméstica en doce países europeos<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Cálculos de ACER en 2019 basados en datos de herramientas de comparación de precios, sitios web de proveedores establecidos recopilados a través de ACER; a los efectos de este análisis, el precio medio de la electricidad para los consumidores domésticos en la UE se basa en las ofertas establecidas para un consumo medio anual de 3.500 kWh, ponderado por el consumo total de los hogares proporcionado por el CEER (Council of European Energy Regulators).

<sup>2</sup> Incluye el coste de compra de electricidad en el mercado mayorista, los costes operativos de los proveedores para administrar el negocio, incluidas las ventas y la facturación, y el margen de beneficio.

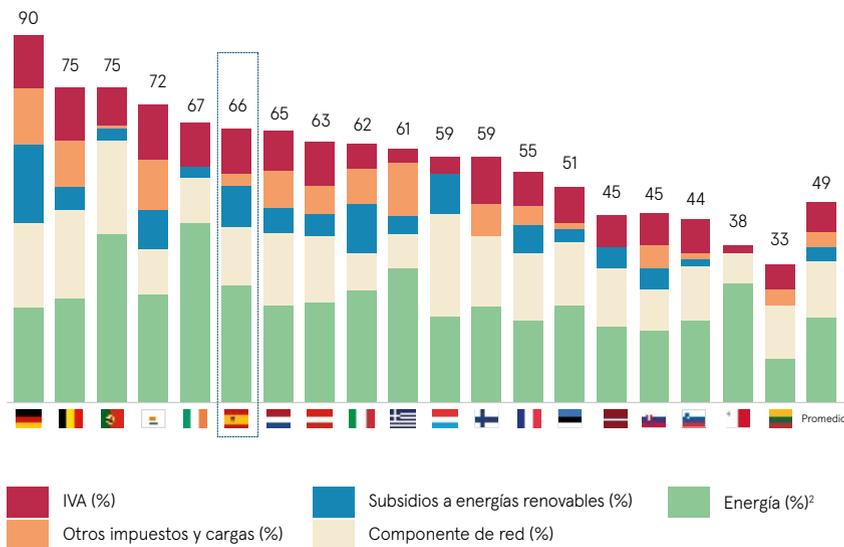
de España en cuanto al precio de la factura eléctrica doméstica presenta estos datos:

- Es la quinta en precio relativo de la energía, con un 43% de la factura.
- Es la novena en precio relativo de la conexión de la red, con un 21% de la factura.
- Es la quinta en magnitud de los apoyos a las energías renovables, con un 15% de la factura.
- Es la novena en magnitud de impuestos y cargas (excepto IVA), con un 4% de la factura.
- Es la tercera en magnitud del IVA, con un 17% de la factura.

Y ¿qué sucede si extendemos el mismo análisis tomando en consideración, por ejemplo, los 19 países de la zona del euro? El gráfico 10.9 (p. siguiente) muestra el resultado que arroja dicho análisis ampliado. En dicho gráfico, se observa que la factura eléctrica en España es más cara que en el promedio de estos 19 países, pero más barata que en cinco de ellos. Sin embargo, si analizamos qué porcentaje se puede atribuir a la energía propiamente dicha respecto del total del precio de la factura, España tiene seis países que están por encima. En cuanto al dinero destinado a subsidios a renovables, nuestro país triplica la media del resto de países analizados (proporcionalmente hablando), y está entre los países de cabeza en cuanto a contribución absoluta a las renovables (algo curioso si atendemos a lo que explico en el siguiente párrafo y a lo que se muestra en el gráfico 10.10, p. 221).

Continuando con el análisis de la factura eléctrica de los particulares, si tenemos en cuenta lo que significa para un hogar español hacer frente al pago de la luz (el esfuerzo que debe hacer de acuerdo con sus ingresos medios), España se encuentra por encima de la media de los doce países analizados en el gráfico 10.8 previo. Esto, que no es un dato alentador, se explica porque los ingresos medios

### GRÁFICO 10.9 Comparativa de la factura eléctrica doméstica en 19 países europeos<sup>1</sup> (zona del euro)



<sup>1</sup> Cálculos de ACER en 2019 basados en datos de herramientas de comparación de precios, sitios web de proveedores establecidos recopilados a través de ACER; a los efectos de este análisis, el precio medio de la electricidad para los consumidores domésticos en la UE se basa en las ofertas establecidas para un consumo medio anual de 3.500 kWh, ponderado por el consumo total de los hogares proporcionado por CEER (Council of European Energy Regulators).

<sup>2</sup> Incluye el coste de compra de electricidad en el mercado mayorista, los costes operativos de los proveedores para administrar el negocio, incluidas las ventas y la facturación, y el margen de beneficio.

Fuente: Agencia para la Cooperación de los Reguladores de Energía (ACER).

por hogar en España se encuentran en la banda baja de los países analizados (véase el gráfico 10.10).

¿Qué sucede si analizamos el coste de la factura eléctrica en el sector industrial? Se trata de una cuestión determinante para la competitividad de nuestro país. Aquí, de nuevo, encontramos buenas noticias. El coste de la electricidad en España en el sector comercial/industrial es entre un 30 y un 55% más económico que los máximos europeos. De hecho, el precio de la electricidad (en los sectores comercial e industrial) en España se encuentra en todas las tarifas por detrás del de países como Italia y Alemania (véase el gráfico 10.11).

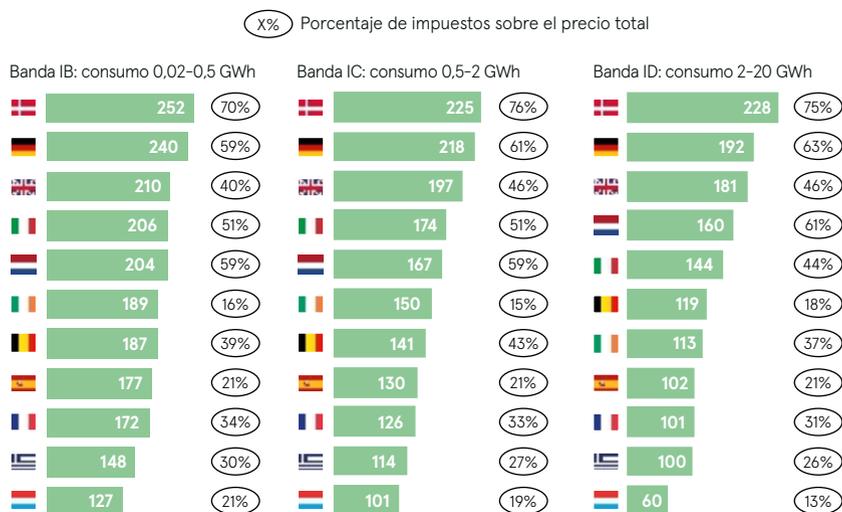
## GRÁFICO 10.10 Ingresos medios por hogar (en %) y su peso relativo<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Cálculos de ACER en 2019 basados en datos de herramientas de comparación de precios, sitios web de proveedores establecidos recopilados a través de ACER; a los efectos de este análisis, el precio medio de la electricidad para los consumidores domésticos en la UE se basa en las ofertas establecidas para un consumo medio anual de 3.500 kWh, ponderado por el consumo total de los hogares proporcionado por el CEER (Council of European Energy Regulators).

Fuente: Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía (ACER), considerando los 19 países que conforman la zona del euro de la UE.

## GRÁFICO 10.11 Desglose de los precios de la electricidad<sup>1</sup> en el sector comercial/industrial en junio de 2020 (euros/MWh)



<sup>1</sup> Los datos de los precios de la electricidad son reportados por los institutos nacionales de estadística, los ministerios y las agencias de energía de los países, o bien, en el caso de los monopolios, por compañías eléctricas individuales. Los precios incluyen el precio básico de la electricidad, la transmisión, los servicios del sistema, la distribución, los impuestos y los subsidios.

Fuente: Eurostat (once países seleccionados en la muestra; Eurostat no incluye datos completos de Portugal).

Disponer de un precio competitivo en la tarifa eléctrica comercial e industrial para un país como España es decisivo, puesto que una de las piedras angulares de nuestro modelo productivo reside en unos costes lo más bajos posibles (frente a otras economías con una fuerte apuesta por el valor añadido vinculado a la investigación y el desarrollo). Abaratando costes industriales, España tiene más oportunidades de mantener su actividad industrial (ya de por sí baja en relación con su PIB, si lo comparamos con otros países de nuestro entorno).

Así que, a modo de conclusión, y en términos absolutos, España no es el país más caro de la Unión Europea; en términos relativos, atendiendo a la renta media, nuestro país está por encima de la media analizada, es decir, se destina más parte de los ingresos a costear la factura de electricidad.

Llegados a este punto, cabría preguntarse: ¿por qué España tiene las tarifas eléctricas que tiene? Se pueden apuntar múltiples razones, pero destacaría las dos siguientes: 1) por la interconexión; y 2) por la utilización de plantas para el respaldo energético. Veámoslas en detalle a continuación.

### *Interconexión*

En primer lugar, hemos de tener en cuenta que nuestro país tiene una baja interconexión con Europa. La interconexión se mide como porcentaje de capacidad de evacuación sobre la potencia total de generación instalada en cada país. Voy a ilustrar la idea de la interconexión con información extraída del sitio web de Red Eléctrica de España (REE).<sup>72</sup>

Para aquellos que no conozcan esta empresa, la misión de REE, como operador del sistema, es asegurar el correcto funcio-

<sup>72</sup> Red Eléctrica de España (REE), Red 21, Refuerzo de las interconexiones.

namiento del sistema de suministro eléctrico y garantizar en todo momento la continuidad y seguridad del suministro de energía eléctrica. REE gestiona toda la red de transporte de energía eléctrica (alta tensión), pero no realiza distribución de energía eléctrica (baja tensión).

¿Se imaginan un país como Francia o cualquier otro país europeo que sólo tuviera una carretera para exportar sus mercancías o recibir a millones de turistas al año? Parecería una contradicción que países con grandes infraestructuras tuvieran limitadas sus posibilidades de desarrollo económico, ¿verdad? Una contradicción similar le sucede a España en lo que a suministro eléctrico se refiere. REE señala lo siguiente en cuanto a la interconexión:

Las interconexiones internacionales son el conjunto de líneas y subestaciones que permiten el intercambio de energía entre países vecinos y generan una serie de ventajas en los países conectados. Las interconexiones son protagonistas de la transición energética. Su papel es clave para lograr una mayor integración de energías renovables y avanzar en la descarbonización, por lo que el fortalecimiento de las interconexiones es una prioridad para los próximos años en el desarrollo de la red de transporte.

El desarrollo de nuevas interconexiones resulta indispensable para alcanzar el objetivo vinculante de energías renovables del 32% para 2030 fijado por la Unión Europea en junio de 2018, ya que una mayor interconectividad entre países miembros permite una mayor integración de la generación renovable en otros sistemas. [...]

La Unión Europea recomendó en 2002 que todos los Estados miembros deberían alcanzar en 2020 un mínimo de un 10% de ratio de interconexión, siendo éste la suma de las capacidades de importación frente a la potencia de generación instalada, con el fin de eliminar sistemas aislados, facilitar el apoyo mutuo

y promover el mercado único [europeo] de la electricidad. Posteriormente, se fijó un nuevo mínimo del 15% para 2030. La península Ibérica tiene un grado de interconexión con el sistema europeo muy inferior al del resto de los países de la Unión [Europea], lo que le impide acceder en igualdad de condiciones a los beneficios de las interconexiones eléctricas.

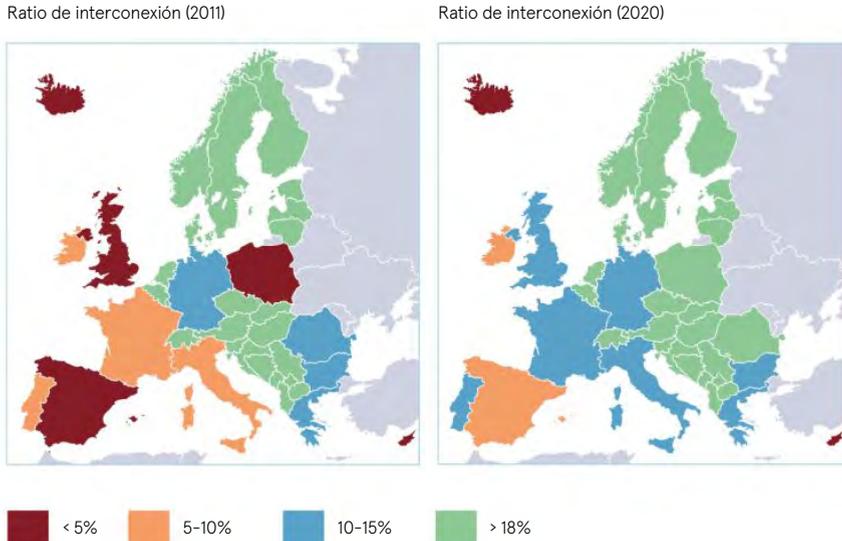
Actualmente, el ratio de interconexión de España, por debajo del 5%, está aún lejos del objetivo recomendado. Si se considera que el apoyo real a la península Ibérica puede venir tan sólo desde Centroeuropa a través de la frontera con Francia, el ratio de interconexión de la península Ibérica es del 2,8% con la nueva interconexión entre España y Francia por los Pirineos orientales. Aun así, España puede seguir considerándose prácticamente una isla eléctrica.

Ya lo han leído. Pese a disponer de un sistema eléctrico nacional muy solvente, el objetivo de interconexión con Europa del 10% no se cumple en absoluto, estando a la mitad o incluso casi cuatro veces por debajo si tenemos en cuenta que la verdadera interconexión sólo puede llegar desde Francia. Estamos energéticamente aislados respecto a Europa. Somos lo que se llama una «isla eléctrica». En el gráfico 10.12 se muestran dos mapas de interconexión de Europa (de 2011 y 2020) extraídos del sitio web de REE,<sup>73</sup> los cuales ilustran perfectamente la situación que vivimos.

En estos momentos no podemos beneficiarnos de las ventajas del sistema eléctrico europeo, que es más grande y más robusto que el nuestro. Este tema no es baladí, pues para avanzar en el camino de la transición energética europea es imprescindible disponer de buenas interconexiones. Por ejemplo, la energía producida por medio de tecnologías eólicas o solares que no se consuman en el país productor puede ser enviada a otro cuya demanda lo

<sup>73</sup> Red Eléctrica de España (REE), Red 21, Refuerzo de las interconexiones.

## GRÁFICO 10.12 Evolución de los ratios de interconexión



Fuente: Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad (European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENTSO-E).

requiera, contribuyendo así de manera sustancial a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, en línea con los compromisos adquiridos por la Unión Europea.

Las interconexiones también son fundamentales porque contribuyen a la continuidad y seguridad del suministro eléctrico, así como porque aumentan la competitividad y la eficiencia permitiendo que la energía fluya desde donde es más barata producirla a donde es más cara, lo cual reduce el precio. Y es que la Unión Europea ambiciona crear un mercado interior europeo de la electricidad.

Como ya se ha expuesto en otras partes del libro, Francia dispone de un enorme caudal de energía nuclear. Aproximadamente un 71% de su energía para el año 2018 provino de esa fuente,<sup>74</sup>

<sup>74</sup> Datos de Eurostat.

que es muy muy barata. De hecho, Francia, por medio de sus centrales nucleares, es una «fábrica de electricidad» notable para varios países europeos con los que sí tiene buenas interconexiones, generando así una suerte de subsidio energético que aquí no disfrutamos. Si a esto le sumamos nuestra limitada capacidad de generación nuclear (ostensiblemente inferior a la francesa, en el entorno del 25% del total) estamos en una situación competitiva desfavorable.

Si bien se está trabajando en el desarrollo de nuevos proyectos para aumentar la interconexión eléctrica con el país galo (aunque ninguna de gas, que yo sepa), no parece que se vayan a cumplir próximamente los objetivos establecidos por la Unión Europea (llegar tarde implicará que seamos menos competitivos). Obviamente, a nadie se le escapa que, si bien los proyectos para mejorar las interconexiones son caros de acometer, existe un trasfondo de interés geopolítico, porque esto hará más competitiva a España frente a otras economías europeas.

### *Utilización de plantas para el respaldo energético*

Otra aspecto relevante es el hecho de que ciertas tecnologías, especialmente algunas plantas de gas, funcionan muy pocos días al año, pero deben estar siempre a punto como tecnologías de respaldo. El día que se ponen en marcha salen muy caras, porque, en el tiempo que están en funcionamiento, se está construyendo un precio de la energía que incluye el coste variable (el combustible utilizado, gas) junto con la amortización del coste de la instalación. Estas centrales son activos que, a medida que se instalan renovables, resultan necesarios para dar seguridad al sistema, pero que a su vez pierden su valor porque funcionan muy pocos días (y, cuando lo hacen, su producción puede resultar muy cara, ya que

en poco tiempo de funcionamiento deben amortizar sus costes fijos). Es una suerte de contradicción del sistema relacionado con la instalación de renovables. En gran parte, esto se debe a la forma de confeccionar el precio del *pool* energético. En su día se hizo pensando en las energías convencionales existentes a finales del siglo xx, pero no en que las renovables podrían llegar a ser mayoritarias. Su variabilidad, a causa de las condiciones climatológicas y las subvenciones que tuvieron, cambiaron el sistema. En España, el gobierno no prevé aún el cierre definitivo de las plantas eléctricas a gas, porque son sistemas de respaldo para asegurar el suministro (cuestión que hemos abordado anteriormente).

Al respecto de todo este tema, y para concluir, debemos tener en cuenta lo siguiente: si se analiza el precio de la energía eléctrica en un momento dado y se compara con el precio en otro país de la Unión Europea en el que el precio se ha construido a partir de la electricidad producida con renovables, es muy probable que la diferencia sea notable (mucho más barata la de renovables). Por eso, en ocasiones, aparecen llamativos titulares en prensa donde se denuncia que la energía en España es la más cara de Europa. Se compara una «foto fija» (la de un día, con un precio de la energía generada a partir de fuentes más caras) con todos los fotogramas que componen una película, que permiten formarse una imagen más clara. Si miramos la película, veremos que los precios son muy distintos. Además, resulta más realista comparar el coste real que pagamos en la factura de la luz incluyendo todos los conceptos que incluyendo sólo uno de ellos (por ejemplo, el kWh).

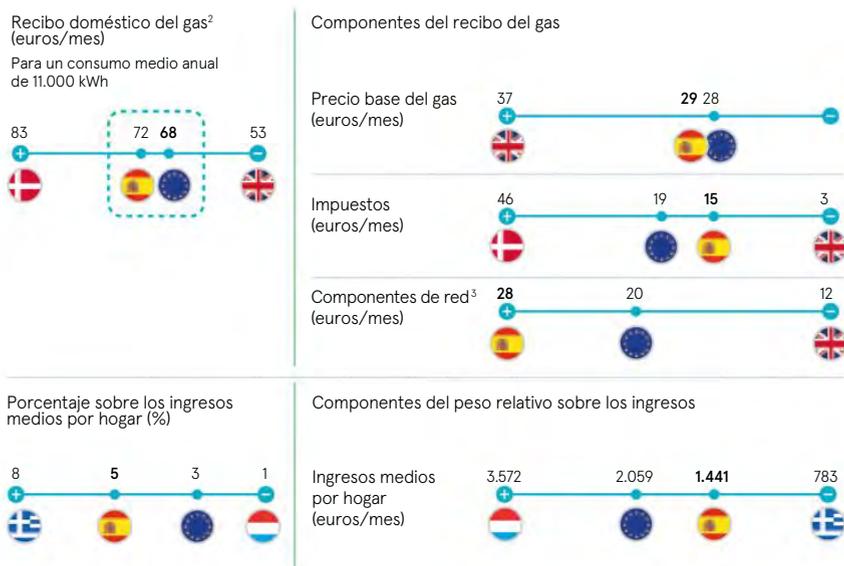
Retomando el inicio de esta tercera parte del libro, y a modo de conclusión parcial de este capítulo, vemos que, basándonos en información de contrastada solvencia de las fuentes comentadas, España tiene un precio del recibo de la luz que se encuentra por debajo del de otros países de la Unión Europea.

Veamos ahora qué sucede con el gas.

## La factura del gas en España no es la más cara

Tomando como base los mismos doce países de la Unión Europea que hemos tomado como muestra para analizar el caso del recibo de la luz, y utilizando las mismas fuentes de información (Eurostat y ACER, principalmente, además del INE y la OCU) este es el resultado que obtenemos: el recibo doméstico del gas en España es de 72 euros/mes de promedio, lo que supone 4 euros

GRÁFICO 10.13 Precios de los recibos del gas en diferentes países europeos<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Países analizados (12): Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal y Reino Unido.

<sup>2</sup> Cálculos de ACER en 2019 basados en datos de herramientas de comparación de precios, sitios web de proveedores establecidos recopilados a través de ACER; a los efectos de este análisis, el precio medio del gas para los consumidores domésticos en la UE se basa en las ofertas establecidas para un consumo medio anual de 11.000 kWh, ponderado por el consumo total de los hogares proporcionado por el CEER (Council of European Energy Regulators).

<sup>3</sup> Cobros por regasificación, almacenamiento, transmisión, distribución por gasoducto, incluyendo pérdidas, opex (excluidos cargos por desequilibrio) y mediación y alquiler de medidores.

más que la media de los doce países europeos de la muestra, como podemos ver en el gráfico 10.13. (Para un mayor detalle de cómo se construye el precio del gas natural recomiendo también consultar el recuadro «¿Cómo se decide el precio del gas?», abajo.)

De nuevo se observa que el porcentaje de los ingresos por hogar que se destinan a pagar la factura está por encima de la media (y, de nuevo también, al igual que en la electricidad, esto es debido a unos ingresos medios por hogar en la banda baja de la muestra).

### ¿Cómo se decide el precio del gas?

La formación del precio del gas sigue un proceso similar a la del precio de la luz, pero de forma simplificada.

Del mismo modo que ocurre en la tarifa de la electricidad, hay también una parte fija y otra variable (según el consumo), además del coste de alquiler del contador, los impuestos diversos, etcétera.

Para regular la compraventa del gas, en 2015 se puso en marcha en España el Mercado Organizado de Gas (operado por Mercado Ibérico del Gas, MIBGAS), que sigue un sistema similar al *pool* eléctrico. Anteriormente, todas las operaciones de compraventa se realizaban en mercados bilaterales no regulados. A pesar de que el MIBGAS está ganando protagonismo, según datos de 2019, este mercado sólo cubre por ahora un 15% de la demanda de gas natural, si bien el porcentaje se incrementa cada año. En la actualidad, en España, cada vez hay más empresas que participan en este *pool*, pero la mayor parte de la compraventa de gas se sigue produciendo todavía mediante contratos bilaterales. En este mercado se realizan varias subastas:



- Una intradía, para precios del mismo día.
- Una *day-ahead*, para precios del día después.
- Resto del mes.
- Siguiendo mes.

De forma similar a la energía eléctrica, las empresas comercializadoras proponen precios de compra, y las empresas que venden el gas (productoras, extractoras, etc.) realizan su oferta por determinado volumen y precio.

Al igual que en el mercado eléctrico, muchos usuarios forman parte de la tarifa regulada, por la que no les afecta directamente si el precio del *pool* sube o baja diariamente. En España, de los aproximadamente ocho millones de puntos de consumo de gas, un millón y medio disfrutaban de una tarifa de último recurso regulada.

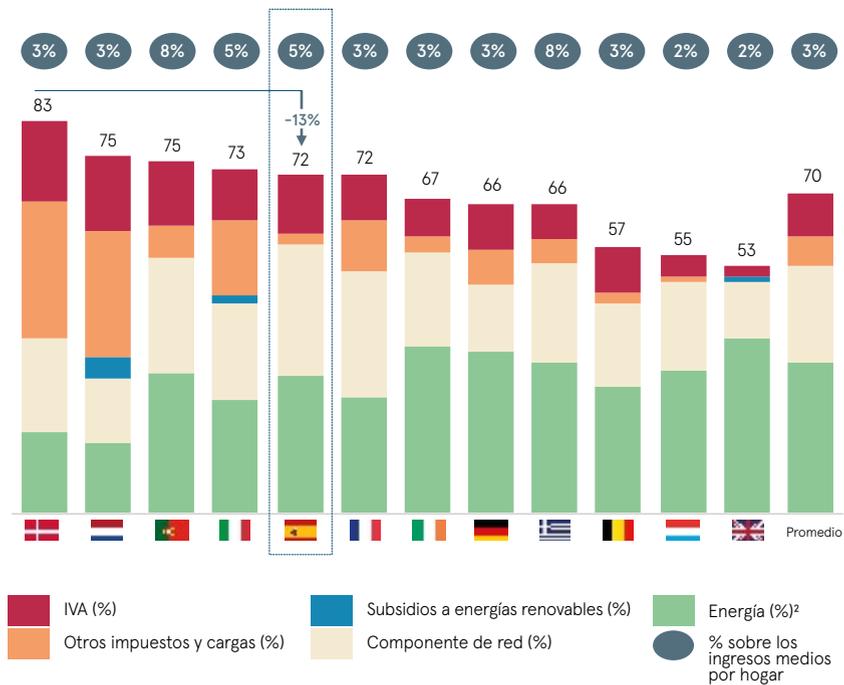
La factura doméstica del gas en España es aproximadamente un 13% menor que el máximo europeo, y está un 5% por encima del promedio, como se puede apreciar en el gráfico 10.14.

De los doce países objeto de este estudio, en una escala de mayor a menor precio, España se encuentra en octava posición en cuanto al coste relativo a la energía (el propio gas natural). En cambio, es el primero de todos en precios relativos de conexión a la red, con el 39% de la factura. Este factor se explica a partir de dos hechos:

- Un consumo moderado (somos un país más cálido que los vecinos del norte de Europa, países donde el gas es esencial para disfrutar de confort en el hogar durante un mayor número de meses).
- Tenemos la necesidad de amortizar las elevadas inversiones que exige la infraestructura entre un número limitado de usuarios.

Ambos hechos explican los elevados peajes de acceso (componentes de la red) en España. Dicho de otro modo, el menor consumo en España hace que el coste de las infraestructuras tenga un mayor impacto en los costes unitarios. Algo parecido a lo que sucede cuando instalas una caldera de gas para la calefacción del hogar y, como sólo hace frío un mes al año, la usas plenamente sólo ese

GRÁFICO 10.14 Comparativa de la factura doméstica del gas en doce países europeos<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Cálculos de ACER en 2019 basados en datos de herramientas de comparación de precios, sitios web de proveedores establecidos recopilados a través de ACER; a los efectos de este análisis, el precio medio del gas para los consumidores domésticos en la UE se basa en las ofertas establecidas para un consumo medio anual de 11.000 kWh, ponderado por el consumo total de los hogares proporcionado por el CEER (Council of European Energy Regulators).

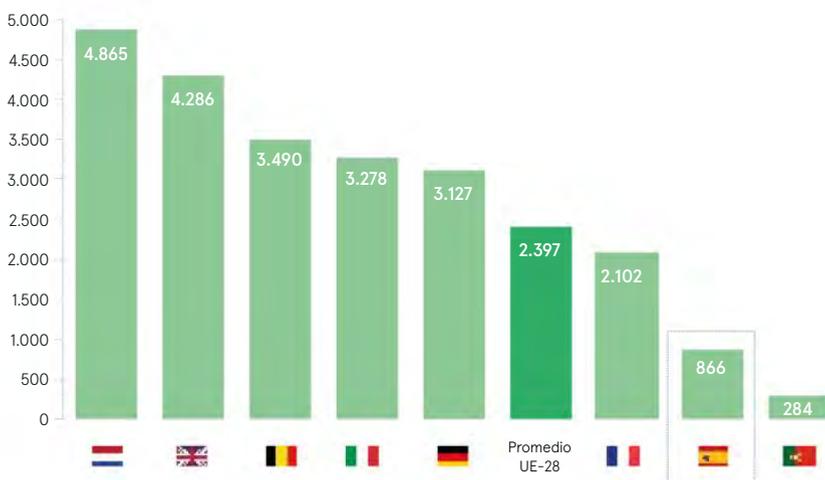
<sup>2</sup> Incluye el coste de compra de gas en el mercado, los costes operativos de los proveedores para administrar el negocio, incluidas las ventas y la facturación, y el margen de beneficio.

Fuente: Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía (ACER), considerando los doce países miembros de la antigua Comunidad Económica Europea (CEE); el desglose de Alemania se refiere al promedio nacional, en lugar de a la oferta estándar establecida por el ente regulador alemán.

mes. En ese caso, el coste por hora de calefacción es más alto que si tuvieras encendida la calefacción cinco meses al año, porque el coste de la instalación (la caldera) es fijo, tanto si la enciendes un mes como un año entero. Pasa lo mismo con todos los componentes de red (las canalizaciones que llevan el gas a cada punto de consumo). Hemos de tener en cuenta que, en España, el número de viviendas conectadas a la red de gas es relativamente bajo si se compara con otros países de Europa, y, además, consumimos menos cantidad de gas por vivienda, en general. En el gráfico 10.15 se puede observar el consumo de gas natural por habitante en el sector residencial en ocho países europeos.

En España, la factura de gas natural, a diferencia del recibo eléctrico, en general no cuenta con ninguna carga asociada a subsidios a renovables, aunque sí otras de distinta naturaleza. En cuanto

GRÁFICO 10.15 Consumo de gas natural por habitante en el sector residencial en varios países de la UE, incluida España (consumo anual por habitante en kWh)

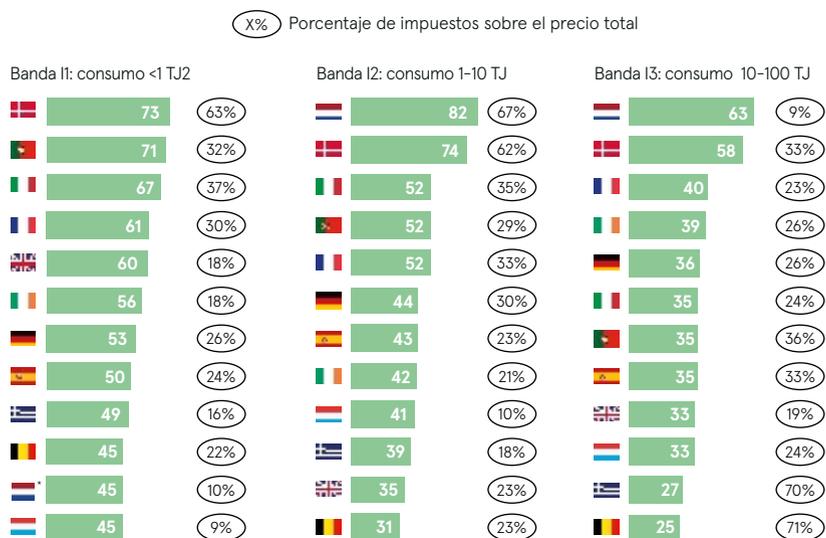


Fuente: Datos de Eurostat, Energy Balance Sheets 2016, extraídos del Informe Anual 2018 de Sedigas (Asociación Española del Gas).

a la parte impositiva, tenemos una de cal y otra de arena: por un lado, somos el décimo país en lo que a impuestos se refiere (esto es una buena noticia); pero, por otro lado, somos los terceros con más carga impositiva si tenemos en cuenta el IVA (esto ya no es tan positivo, ¿verdad?).

Al igual que ocurre con la electricidad, el precio del gas en el sector industrial es más competitivo que el de la media europea. En eso somos más baratos que muchos países, y ocupamos una posición intermedia en la tabla. Así, el precio del gas comercial e industrial en España es entre un 31 y un 48% más bajo por unidad que los máximos europeos. Véase en el gráfico 10.16 el resultado de un análisis con tres bandas de consumo.

GRÁFICO 10.16 Desglose de los precios del gas<sup>1</sup> en el sector comercial/industrial, en junio de 2020 (euros/MWh)



<sup>1</sup> Los datos de los precios del gas son reportados por los institutos nacionales de estadística, ministerios y agencias de energía de los países, o bien, en el caso de los monopolios, por compañías de gas individuales. Los precios incluyen el precio básico del gas, transmisión, servicios del sistema, distribución, impuestos y subsidios.

\* El dato de los Países Bajos para la banda I1 es de 2017, el último año en el que han aportado datos en esa serie numérica.

TABLA 10.2 Densidad de población en doce países europeos

País	Densidad de población (2018) en hab/km <sup>2</sup>
Países Bajos	504
Bélgica	375,3
Reino Unido	273,8
Luxemburgo	235,1
Alemania	234,7
Italia	202,9
Dinamarca	138
Portugal	113
Francia	105,6
España	93,1
Grecia	82,5
Irlanda	70,9

Fuente: Eurostat.

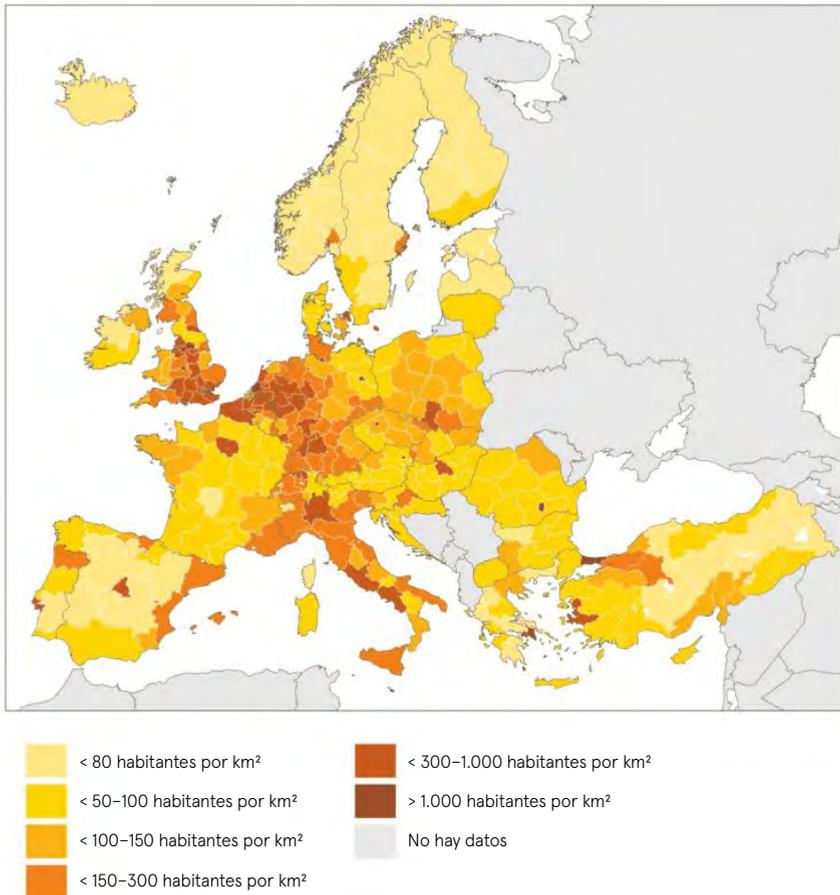
Con ello, y en contra de una opinión muy extendida, vemos que la factura de gas natural española no es la más cara de Europa. Esto es así incluso en un contexto en el que se dan dos circunstancias:

- Nos vemos obligados a importar una parte considerable de gas en forma de gas natural licuado (a pesar de que España dispone de dos grandes gaseoductos, más del 57% del volumen total llegó por esta vía en 2019), con un coste extra asociado a transformarlo de líquido a gas (la información que he encontrado al respecto habla de un rango de entre el 6 y el 11% de gasto adicional).<sup>75</sup>
- La dispersión de población exige llevar el gas hasta determinados municipios pequeños, lo cual conlleva una fuerte

<sup>75</sup> España tiene seis plantas de regasificación, que reciben los buques metaneros, regasifican e inyectan el gas en la red (más otra hibernando, y una más en Portugal).

inversión comparada con la escasa utilización que tendrán esas redes posteriormente (porque, además, la densidad poblacional en España es baja, un tercer elemento que hace que la inversión en la infraestructura del gas natural sea elevada respecto a nuestros colegas europeos). Nuestro país es el tercero de los analizados con menor densidad, como se refleja en la tabla 10.2.

FIGURA 10.2 Densidad de población en Europa



Fuente: Eurostat.

El mapa de la figura 10.2 (p. anterior) aporta algo más de granularidad a los datos de la densidad de población para cada país de la UE (incluido el Reino Unido y otros países candidatos a la adhesión); en él se observa que España, en función de su tamaño, tiene muchas áreas de muy baja densidad.

Para terminar este capítulo, un último dato interesante para nuestra economía: si utilizamos una fuente tan solvente como el comparador de ofertas de la energía de la CNMC,<sup>76</sup> vemos que en España, en la actualidad, para nuestra vivienda, a igualdad de suministro energético, la oferta combinada de luz y gas es un 33% más económica que la que sólo abastece de electricidad (teniendo en cuenta que es un dato en movimiento, porque la información se actualiza continuamente). Parece que en la variedad está el gusto. (Véanse los gráficos 10.17 y 10.18.)

GRÁFICO 10.17 Comparación de ofertas de suministro en función del mix<sup>1</sup> (euros/mes)



<sup>1</sup> Comparación realizada a partir de precios de comercialización en Madrid en diciembre de 2020 para una potencia de 10 kW, sin considerar servicios adicionales y considerando la misma eficiencia energética de los equipos instalados.

Fuente: OCU; CNMC, comparador de ofertas de la energía.

<sup>76</sup> Comparador de precios de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), aplicando datos de los promedios de consumo publicados por la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU).

GRÁFICO 10.18 Muestra de las tres ofertas más caras y más baratas de luz, y de luz y gas, a 21 de diciembre de 2020



Tipo de suministro: electricidad / Código postal: 08001  
 Consumo anual de electricidad: 10.000 kWh  
 Discriminación horaria: general / Potencia: 10.00 kW  
 Permanencia: No / Servicios adicionales: No

Tipo de suministro: conjuntas / Código postal: 08001  
 Consumo anual de electricidad: 3.000 kWh  
 Discriminación horaria: general / Potencia: 10.00 kW  
 Consumo anual de gas: 7.000 kWh  
 Permanencia: No / Servicios adicionales: No

Comercializadora	Oferta	Importe Anual 1.º año	Importe Anual 2.º año	Comercializadora	Oferta	Importe Anual 1.º año	Importe Anual 2.º año
	Tarifa Milenial	1.869,68	1.869,68 €		Energy Wallet 2 años y Plan Gas Hogar (T2)	1.294,76	1.332,91 €
	One Luz	1.877,64	2.048,33 €		Cepsa Hogar Fija Dual + 15% de ahorro en carburante	1.472,31	1.472,31 €
	2.0A ENERGY 24H	1.882,84	1.882,84 €		A TU AIRE GAS + LUZ	1.472,60	1.478,03 €
	UN PRECIO para el Hogar Clásico	2.384,29	2.384,29 €		REPSOL PLAN MIXTO + desc hasta 9 cént./l en carburante / 02	1.594,77	1.594,77 €
	Ecovatios 2.0 A Pagas Según Consumes	2.391,66	2.391,66 €		Tempo 24 horas y Gas Endesa	1.602,31	1.720,42 €
	Oferta a precio fijo del comercializador de referencia	2.432,83	2.432,83 €		Dual Electricidad (FIJO) - Gas (FLEX)	1.625,69	1.625,69 €

Fuente: OCU; CNMC, comparador de ofertas de la energía.

### Hablando de la culpa...

- ¿Qué factores inciden en los precios que pagamos por el gas y la electricidad?
- ¿El recibo de la luz en España es el más caro de Europa?
- ¿El recibo del gas en España es el más caro de Europa?



## CAPÍTULO 11

### EN LA ENERGÍA, NO ES ORO TODO LO QUE RELUCE

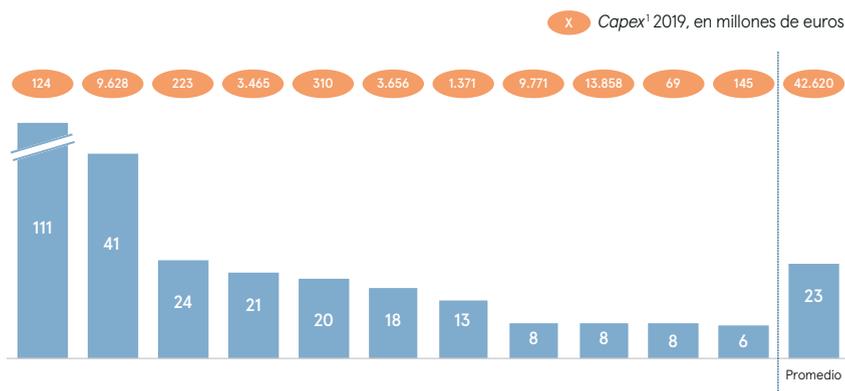
Les propongo una sencilla pregunta para iniciar el último capítulo del libro. Vamos a imaginar que usted ha ahorrado cien euros y quiere invertirlos. Como tantas otras personas, usted desea hacer su inversión en la bolsa, porque, como muchos millones de personas, usted cree que es una manera sencilla de extraer un rendimiento que le aportará liquidez inmediata. Habla con su banquero de confianza y le pregunta qué debe hacer. Su asesor financiero le muestra un gráfico como el que mostramos a continuación (véase el gráfico 11.1, p. siguiente), en el que he omitido, de momento, el nombre de los sectores de cada columna. En él se recoge cuál ha sido el retorno que han obtenido las empresas cotizadas (las del índice IBEX 35, es decir, las de mayor capitalización bursátil en España) en 2019, ordenadas por sector de actividad.

Cuanto más a la izquierda se sitúa cada una de las columnas que construyen el gráfico, mayor ha sido la rentabilidad obtenida del dinero invertido por las diferentes empresas que conforman los distintos sectores de actividad (ya veremos luego qué sector corresponde a cada columna). Es decir, por cada cien euros que han invertido las empresas de una determinada categoría (banca,

telecomunicaciones, energía, construcción, etcétera), el retorno ha sido el que indica la columna (111, 41, 24, etcétera). ¿En qué sector querría invertir? ¿Cuál le parece más atractivo? ¿La columna que se encuentra más a la izquierda o la que está más a la derecha?

Para una mejor comprensión del gráfico, su asesor le explica que la rentabilidad media de todas estas grandes corporaciones es 23, y le aclara que rentabilidades pasadas no garantizan rentabilidades futuras. Usted, que anhela obtener el mejor rendimiento de su dinero, mira el gráfico. Cada euro de ahorro le ha costado horas de esfuerzo. Sigue mirando y mirando el gráfico, y duda. ¿Quizá la primera de la izquierda? ¿Tal vez la segunda? Una ha obtenido más de cuatro veces el promedio, y la segunda lo ha doblado. Las dos siguientes están más o menos en la media, y a partir del quinto sector (la quinta columna) se puede apreciar que están claramente por debajo de ese 23. «En las pastillas ovaladas que se encuentran encima de cada columna —añade su banquero—, puede usted ver las inversiones de capital que han realizado cada uno de estos

GRÁFICO 11.1 Indicador ROIC (retorno sobre capital invertido) de empresas españolas por sector en 2019 (en %)



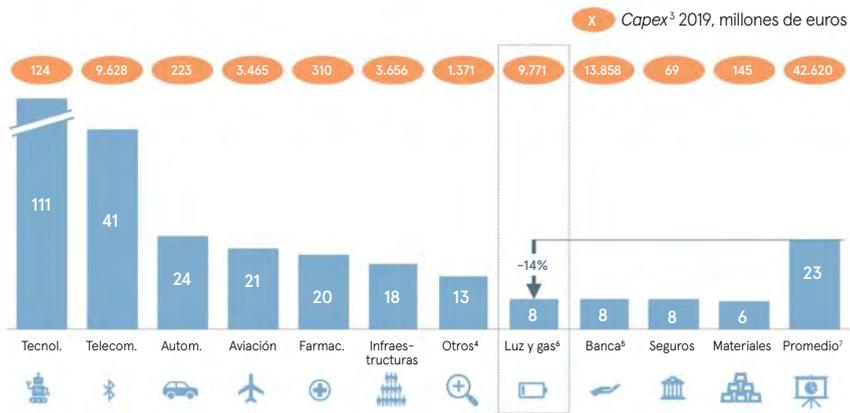
<sup>1</sup> Valor capex 2019 se refiere a total, no promedio.

Fuente: Capital IQ; resultados consolidados de empresas.

sectores». Rápidamente, usted se apercibe de que dos categorías de las once reflejadas (las de la derecha) son las que han realizado un gasto o inversión de capital (*capex*) que representa, en conjunto, más de la mitad del total de todos los sectores. Su cerebro exclama: «¡Más de 20.000 millones! Menuda cantidad de pasta han tenido que invertir estos sectores; es normal que su rentabilidad sea tan baja». No se sienta culpable. Es normal, todos queremos obtener el máximo rendimiento de nuestros ahorros. Si su criterio es estrictamente económico, es decir, cuánto me devuelve cada euro que invierto, seamos sinceros, resulta evidente que su dinero se desplazará hacia las columnas de la izquierda.

Déjenme ahora mostrarles la misma tabla incluyendo los sectores de actividad, como se ve en el gráfico 11.2.

GRÁFICO 11.2 Indicador ROIC<sup>1</sup> (retorno sobre capital invertido) de empresas españolas<sup>2</sup> por sector en 2019 (en %)



<sup>1</sup> Salvo seguros y banca, para los que se muestra Return on Equity (ROE).

<sup>2</sup> Muestra de 32 empresas IBEX35 y Redexis, no incluye datos de ArcelorMittal, Colonial ni Merlin; considera resultados financieros consolidados de las empresas por falta de segmentación geográfica/de negocio.

<sup>3</sup> Valor *capex* 2019 se refiere a total, no promedio.

<sup>4</sup> «Otros» incluye sectores como textil, hotelería, *packaging*, celulosa y pulpa.

<sup>5</sup> Banco Santander responsable por 10.720 millones de euros en *capex* (93% del total de «Banca»).

<sup>6</sup> Endesa, Enagás, REE, Naturgy, Iberdrola y Redexis.

<sup>7</sup> *Capex* a nivel España.

Fuente: Capital IQ, resultados consolidados de empresas.

¿Es más fácil ahora? ¿Ha cambiado la decisión que estaba tomando hace un momento? Si el promedio es 23, se observa que algunos sectores, como el de tecnología o el de telecomunicaciones, logran rentabilidades muy superiores; mientras que, por el contrario, en otros sectores, como los seguros, la banca y las energéticas (luz y gas) son muy inferiores. De hecho, la banca y las energéticas son las que obtienen menor rentabilidad (15 puntos porcentuales por debajo del promedio). Esos sectores ganan poco comparados con todos los demás. Esto es así por dos motivos: primero, por las altas inversiones que acometen; y, segundo, por la limitada rentabilidad derivada del precio al que pueden vender sus servicios (el precio lo pone el mercado, y en este caso se paga poco en función de la inversión realizada).

Esto provoca que el gasto de capital (*capex*) para estas empresas —es decir, lo que se paga por acometer un proyecto de inversión— respecto al retorno (o rentabilidad) esperado no es de lo más favorable que se encuentra en bolsa precisamente. Eso quiere decir que, para estas empresas, en ocasiones, acometer un proyecto determinado —por ejemplo, para una compañía energética, construir una red de distribución de electricidad de 50 km— puede no resultar tan interesante como invertir el mismo dinero en otro proyecto, incluso, de forma paradójica, fuera de su propio sector de actividad (atendiendo, insisto, al criterio del cálculo de rentabilidad sobre el capital invertido). Estos datos de las empresas energéticas contrastan con los de empresas tecnológicas exitosas (como Google, Facebook o Amazon), cuyo coste de capital es bajísimo (es cero). Todo el mundo quiere prestarles capital gracias a sus elevadísimas rentabilidades (y, además, disfrutan de cómodas posiciones de caja).

Es indudable que las cifras que maneja el sector energético son de vértigo, tanto en inversión como en resultados absolutos (dando lugar a escandalosos titulares en prensa anunciando miles de millones de beneficios o de inversión en proyectos diversos). Lo

importante, sin embargo, es entender cuánto gano sobre la base de la inversión que he realizado. Si lo miramos así, la rentabilidad del sector de las grandes corporaciones energéticas (por euro invertido) es tan sólo algo superior a la que nos daría a usted y a mí, por ejemplo, la compra de un piso en una ciudad grande (sin tener en cuenta el valor residual del inmueble). Además, contrariamente a lo que cabría esperar, los beneficios de los grandes grupos de luz y gas no se producen necesariamente gracias a sus actividades en España ni necesariamente en el sector eléctrico o gasista.<sup>77</sup>

Esta es una de claves para entender la rentabilidad de las grandes compañías energéticas. Deben reinvertir ingentes cantidades de dinero en el mantenimiento y la renovación de las infraestructuras, es decir, los beneficios no se destinan sólo a pagar dividendos. Con ello, la rentabilidad resultante es muy baja, como se puede observar en el análisis reflejado en el gráfico 11.3 (p. siguiente). Según este análisis, el sector de la luz y del gas invirtió, en promedio, el 20% de sus ingresos, el segundo valor más alto de la muestra de sectores analizados, sólo superado por las telecomunicaciones.

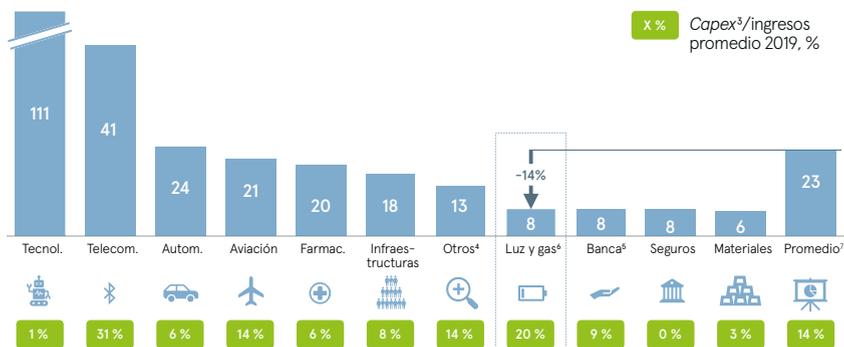
Además, en 2019, el sector de la luz y del gas fue el segundo sector que más invirtió en cifras absolutas de entre los del IBEX 35 analizados, con casi 9.800 millones de euros (solo por detrás del sector de la banca, como se observa en la tabla 11.1, p. siguiente); y esta segunda posición en inversión de capital (*capex*) absoluta ya se había producido en 2017 (9.234 millones de euros) y 2018 (9.271 millones de euros).

De hecho, según publica Deloitte en su informe sobre empresas del sector eléctrico en el período 2017-2019,<sup>78</sup> la distribución y la

<sup>77</sup> Información extraída de los informes anuales de las empresas energéticas y del informe «Situación económico-financiera de las principales empresas del sector eléctrico en España 2017-2019», realizado por Deloitte.

<sup>78</sup> «Situación económico-financiera de las principales empresas del sector eléctrico en España 2017-2019», informe realizado por Deloitte.

### GRÁFICO 11.3 Indicador ROIC<sup>1</sup> (retorno sobre capital invertido) de empresas españolas<sup>2</sup> por sector en 2019 (en %)



<sup>1</sup> Salvo seguros y banca, para los que se muestra Return on Equity (ROE).

<sup>2</sup> Muestra de 32 empresas IBEX35 y Redexis, no incluye datos de ArcelorMittal, Colonial ni Merlin; considera resultados financieros consolidados de las empresas por falta de segmentación geográfica/de negocio.

<sup>3</sup> Valor *capex* 2019 se refiere a total, no promedio.

<sup>4</sup> «Otros» incluye sectores como textil, hotelería, *packaging*, celulosa y pulpa.

<sup>5</sup> Banco Santander responsable por 10.720 millones de euros en *capex* (93% del total de «Banca»).

<sup>6</sup> Endesa, Enagás, REE, Naturgy, Iberdrola y Redexis.

<sup>7</sup> *Capex* a nivel España.

Fuente: Capital IQ, resultados consolidados de empresas.

### TABLA 11.1 Inversión anual por sectores (en millones de euros)

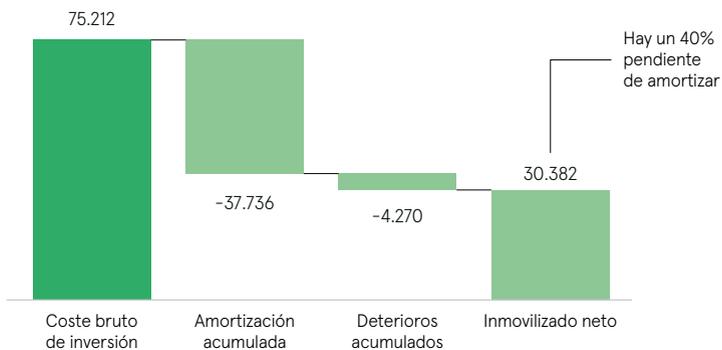
Sector	Capex 2017	Capex 2018	Capex 2019
Telecomunicaciones	9.322	8.936	9.628
Energía	9.234	9.271	9.771
Banca	8.144	11.499	13.858
Infraestructuras	2.700	2.635	3.656
Otros	1.861	1.978	1.371
Aviación	1.184	2.228	3.465
Automotriz	282	207	223
Farmacéutica	252	232	310
Materiales	185	145	145
Tecnología	130	133	124
Seguros	121	66	69
Total	33.415	37.330	42.260

Fuente: Capital IQ; resultados consolidados de empresas.

generación de energía eléctrica se caracterizan por ser actividades intensivas en activos, con una baja rotación de los mismos y con largos períodos de maduración. Según este informe (véase el gráfico 11.4), en 2019, en el sector de generación existen activos en uso por un valor de 30.382 millones de euros que no han alcanzado contablemente el final de su vida útil.

La vida útil de los activos puede verse modificada por distintas razones, como, por ejemplo, un cambio legislativo (que exija el cierre de determinadas centrales), un cambio en las preferencias de consumo (clientes que demandan un tipo u otro de energía) o un reenfoque empresarial (empresas que decidan desinvertir en una tecnología determinada). Si se produce alguna de estas u otras situaciones, ello puede suponer importantes cambios en la rentabilidad de la empresa (y del sector), con importantes correcciones en su valor. De hecho, la rentabilidad de las empresas que están presentes en toda la cadena de valor del sector energético

GRÁFICO 11.4 Actividad de generación del sector eléctrico<sup>1</sup> en España en 2019 (en millones de euros)



<sup>1</sup> Los análisis efectuados se han basado, fundamentalmente, en la información pública disponible, procedente, básicamente, de las cuentas anuales auditadas, de los principales grupos diversificados del sector eléctrico español (Endesa, Naturgy, Iberdrola, Viesgo y EDP).

(generación, comercialización eléctrica y distribución) ha caído de forma drástica en los últimos años (véase el gráfico 11.5), especialmente durante los años 2018 y 2019, en los que se han asumido fuertes depreciaciones de los activos de generación de forma voluntaria por alguno de los principales operadores.

En la comparación de sectores expuesta en los gráficos 11.2 (p. 241) y 11.3 (p. 244), vale la pena destacar que el de telecomunicaciones, que es el segundo en rentabilidad en el *ranking*, es peculiar en el ratio entre inversión y rentabilidad. En este sector se debe renovar la tecnología utilizada cada cierto tiempo (por ejemplo, pasar de tecnología GSM a tecnología GPRS, y de ahí al 3G, 4G y 5G), y eso exige acometer fuertes inversiones que impactan en su rentabilidad. Lo interesante viene ahora: en el año 2019, a pesar

GRÁFICO 11.5 Resultado del ejercicio de las empresas<sup>1</sup> del sector eléctrico de España (en millones de euros)



<sup>1</sup> Los análisis efectuados se han basado, fundamentalmente, en la información pública disponible, procedente, básicamente, de las cuentas anuales auditadas de los principales grupos diversificados del sector eléctrico español (Endesa, Naturgy, Iberdrola, Viesgo y EDP).

<sup>2</sup> Capacidad que tienen los activos de una empresa de generar beneficios, sin tener en cuenta cómo éstos han sido financiados.

de que el sector de las telecomunicaciones invirtió de manera muy intensa (es el tercero de la lista), su rentabilidad fue muy elevada. ¿Por qué? Porque es una industria de puro margen (disfrutan de unos retornos muy altos por cada euro de inversión). Dicho de otro modo, a pesar de que invierten intensamente, pueden vender los servicios ofrecidos con márgenes elevados, cosa que no pasa en otras muchas industrias.

En cualquier caso, aquello que supone un problema para las grandes empresas energéticas en términos de inversión y rentabilidad es, al mismo tiempo, su gran atractivo. Hablo de su estabilidad. En general, su rentabilidad es relativamente constante. Ni sube mucho cuando la economía está en franca expansión ni baja de forma dramática cuando el ciclo económico está en fase de contracción. El sector de las grandes energéticas se encuentra muy regulado, y ofrece rentabilidades modestas, aunque estables. En el lado opuesto se encontraría, por ejemplo, el sector de la aviación, una industria que conozco bien, ya que trabajé en ella durante años. La evolución de su rentabilidad se encuentra muy ligada a la evolución de la economía en general.

En sí misma, esta diferencia de rentabilidades entre sectores no es buena ni mala. Para el inversor, de hecho, resulta de utilidad cuando se componen, por ejemplo, las llamadas carteras de inversión. En ellas puedes combinar inversiones muy arriesgadas, como en el caso de la tecnología, cuya rentabilidad es muy alta si se innova acertando con la demanda del mercado, o muy baja (e incluso negativa) si la empresa en cuestión no acierta (hay cientos de ejemplos de ganadores versus perdedores, como Apple versus Motorola, Samsung versus Nokia o Netflix versus Blockbuster), junto con otras más comedidas en lo que a su rentabilidad se refiere, pero que, por otro lado, son más estables (como las grandes compañías energéticas). Una con otra se pueden complementar. Así que, si usted tiene un perfil inversor alérgico al riesgo y no desea sobresaltos, es decir, si quiere inversiones relativamente seguras

en un sector muy regulado, el sector de las grandes corporaciones energéticas es el suyo (no es el único, existen otros entre los que escoger, por supuesto). Si, por el contrario, le va la marcha y desea arriesgar como inversor, entonces puede apostar, por ejemplo, por la tecnología (sector todavía no muy regulado). Y si lo que desea es subirse a una montaña rusa de emociones con fuertes oscilaciones en la rentabilidad, un sector ideal para ello es el aéreo.

### **Hablando, para terminar, de la culpa otra vez...**

- ¿El beneficio y la rentabilidad de las empresas energéticas españolas es muy elevado comparado con otras compañías del IBEX 35?
- ¿Lo es con base en el volumen de inversión?
- ¿El mercado energético en España no está liberalizado y las empresas dificultan el cambio de compañía?

## EPÍLOGO

Escribir un libro como *Fact Energy* exige un trabajo muy laborioso. Es evidente que, para ello, hacen falta múltiples ingredientes, como, entre otros, incontables horas de investigación, una documentación lo más rigurosa posible, preparación del enfoque, redacción del texto y comprobación y validación de todo aquello que se explica. Obviamente todo eso es labor del que escribe, necesaria si quiere que el resultado sea merecedor del respeto de quien lo lea. Nada nuevo bajo el sol, pues cualquier industria sometida a fuertes presiones de transformación exige un proceso de ese tipo.

Sin embargo, reconozco que esta es una obra diferente a las demás que he escrito. Y lo es porque, al margen de esa preparación, documentación y validación a la que hago referencia, incluye también emoción. Escribir un libro siempre es emocionante. Hasta cierto punto es adentrarse en lo desconocido: escoger un tema, pensar si interesará al público al que vas a dirigir tu trabajo, gozar de la inspiración necesaria o encontrar el ángulo para contar cada uno de los temas que abor das. Todo ello es complejo. Pero crear *Fact Energy* incluye saber que trabajas sobre algo verdaderamente trascendente y que es importante no banalizar, porque

en él abordo cuestiones que afectan al futuro del planeta. Eso no pasa todos los días. Sé que, obviamente, a pesar de haber intentado dotar del máximo rigor a la obra, en estas páginas aportó una mirada que tiene no solo sesgos, los míos, sino que incluso puede contener errores. Ahora que lo has leído, si has encontrado fallos pido disculpas por los que haya podido cometer.

Sin embargo, aunque el libro pueda contener algunas inexactitudes (espero que las menos posibles), me quiero reafirmar en el espíritu que he tratado de recoger no solo en el título, sino también en el subtítulo del libro: *La sostenibilidad que viene*.

En la actualidad se habla mucho de sostenibilidad. Siendo un concepto de moda (junto con el de transformación digital), es también relativamente nuevo en nuestro vocabulario, y por eso existe una enorme confusión y genera a su alrededor muchas ideas equivocadas que conviene combatir. Queda mucho por hacer, y *Fact Energy* trabaja en el sentido de divulgar conocimientos sobre ese concepto. Porque todos deseamos un planeta sostenible. Sin embargo, como hemos visto, nuestros sesgos cognitivos nos juegan malas pasadas.

Hemos definido el objetivo que queremos alcanzar hacia el año 2050: una economía con emisiones neutras de CO<sub>2</sub>. El tema es que, para lograr esa meta, el camino no será rápido ni fácil, y sobre todo no será de golpe, sino muy muy progresivo, en ocasiones con tecnologías de transición, con buenas soluciones y con otras que, sin serlo tanto, resulten prácticas. Todo ello en un complejo equilibrio entre múltiples factores (costes, emisiones, utilidades, tecnologías, etcétera), con dificultades y con enormes incógnitas que deben aún despejarse. Ese destino ideal debemos alcanzarlo en una situación crítica para todo el planeta, porque, precisamente al escribir estas líneas, nos encontramos en uno de los momentos de mayor incertidumbre de la historia reciente. Los contagiados por un nuevo coronavirus superan los 120 millones, y los muertos se cuentan también por millones (casi 2,7 millones

a mediados de marzo de 2021). En este contexto tan inestable y confuso, además de doloroso, debemos poner más que nunca el foco en lo que de verdad importa. Y lo que importa es saber que, para llegar al final, lo que no debemos es engañarnos a nosotros mismos pensando que hay soluciones sencillas y rápidas para problemas complejos. La simplificación es peligrosa. La realidad es complicada, y difícilmente se puede resumir en un titular o un tuit. Por eso, cuando hablo de la «sostenibilidad que viene» trato de referirme a aquella que parece ahora mismo más plausible con la información de la que disponemos, extraída de destacadas fuentes sobre la materia.

Sin embargo, que nadie se equivoque. No hay alternativa. Entre todos hemos de lograrlo. Porque no hacerlo traerá consecuencias inimaginables, pero en ningún caso buenas para nuestra especie y para la vida en la Tierra tal y como la conocemos.



## ANEXOS

### ANEXO A. CONOCE MEJOR ALGUNAS DE LAS FUENTES ENERGÉTICAS

TABLA A.1

Tecnología de generación eléctrica	Cómo funciona	Ventajas	Inconvenientes	¿Qué fuente o combustible usa?
Nuclear	Se produce una reacción de fisión nuclear: al dividir átomos de uranio se genera muchísima energía, que calienta agua, y ésta se usa para mover turbinas, que generan electricidad.	Son las más eficientes en términos de energía generada. Fiables.	Generan residuos que permanecen radiactivos durante miles de años. En el pasado ha habido accidentes de consecuencias graves (Chernobyl, Fukushima). Son muy lentas de parar y de arrancar.	Uranio enriquecido
Carbón (central térmica)	Se quema carbón, lo que calienta agua, y ésta se usa para mover turbinas, que generan electricidad.	Son muy rápidas de parar y arrancar en caso de necesidad. Fiables.	Generan mucho CO <sub>2</sub> y otros residuos. Requieren de una materia prima no renovable.	Carbón
Petróleo (central térmica)	Se quema fueloil (un derivado del petróleo), lo que calienta agua, y ésta se usa para mover turbinas, que generan electricidad.	Son muy rápidas de parar y arrancar en caso de necesidad. Fiables.	Generan CO <sub>2</sub> (y otros gases contaminantes). Requieren de una materia prima no renovable (y que, además, debemos importar).	Petróleo
Gas – ciclo combinado	Se quema gas, lo que calienta agua, y ésta se usa para mover turbinas, que generan electricidad. El ciclo combinado significa que se usan turbinas dos veces: primero gracias a los gases de combustión, y segundo por el vapor generado.	Son muy rápidas de parar y arrancar en caso de necesidad. Fiables.	Generan CO <sub>2</sub> . Requieren de una materia prima no renovable (y que, además, debemos importar).	Gas natural (básicamente metano)

Tecnología de generación eléctrica	Cómo funciona	Ventajas	Inconvenientes	¿Qué fuente o combustible usa?
Solar fotovoltaica	Unas placas de silicio especiales son capaces de generar electricidad a partir de la luz solar.	Es limpia, y se puede instalar en los tejados de cualquier edificio.	Si no hay sol no genera nada (solo produce una cantidad importante de energía aproximadamente un 25% del tiempo). Para ser eficiente requiere de grandes instalaciones, que ocupan extensas superficies y puede dañar el terreno. En instalaciones pequeñas es menos eficiente.	Sol
Solar térmica	Placas/espejos redirigen la luz del sol a un receptor que contiene unas sales y aceites, que convierten agua en un vapor que mueve turbinas, las cuales generan electricidad.	Generan energía gracias al sol, y, por su diseño, pueden seguir generando durante unas horas aunque ya no haya sol	Las centrales construidas así han demostrado ser caras y poco eficientes. Además, requieren de enormes superficies de terreno.	Sol
Solar térmica para agua caliente	Unas placas con tubos por los que circula un líquido (puede ser agua, aceite u otras sustancias) reciben calor de la luz solar, que calienta el líquido. Si es agua caliente, se puede usar como agua caliente sanitaria o como calefacción en hogares u otros edificios. Puede haber también grandes plantas que generan calor para calentar agua y usarla.	Sencilla, barata y con poco mantenimiento. Permite abaratar los costes y emisiones, al calentar agua gracias al sol.	Requiere de instalaciones en cada edificio o vivienda. En días de lluvia o de noche, no sirve; y en días de mucho sol y calor, quizá no sea necesaria.	Sol
Eólica	Molinos (aerogeneradores) que se mueven gracias al viento. Este movimiento rotacional mueve unos generadores, que son los que crean la electricidad. Los aerogeneradores se pueden instalar en tierra o en el mar ( <i>offshore</i> ), con diferentes ventajas e inconvenientes para cada sistema.	Tiene unos costes de mantenimiento muy bajos, y no emite gases ni residuos. Los aerogeneradores <i>offshore</i> no «ocupan espacio» de terreno, y pueden instalarse en zonas de fuertes vientos.	Dependen de un fenómeno meteorológico poco predecible (aunque cada vez se puede predecir un poco mejor). Es intermitente, y no siempre actúa en las horas en que se necesita. Es más eficiente cuanto mayor es el aerogenerador, lo que genera un impacto visual importante (además de afectaciones a pájaros y ruidos). Los molinos <i>offshore</i> no se pueden instalar en todos los lugares (en España, por ejemplo, hay poca plataforma continental para construirlos).	Viento
Hidráulica	Se construyen presas que contienen el agua de los ríos. Al permitir la salida del agua a presión por unos conductos, ésta mueve unas turbinas, que generan electricidad.	No genera residuos. Es muy rápida de activar y desactivar. Se puede usar parcialmente en momentos de excedente de generación para almacenar energía.	Requiere de enormes construcciones, que afectan gravemente enormes áreas. Tiene afectación sobre la fauna de los ríos. Dependemos de que haya suficientes lluvias, un recurso que algunos años es escaso.	Agua
Termonuclear (en desarrollo)	Se produce una reacción de fusión nuclear: se calientan isótopos de hidrógeno hasta llegar a generar plasma (un estado que no es ni sólido ni líquido ni gaseoso). Se unen dos átomos de hidrógeno, generando uno de helio liberando con ello una cantidad enorme de energía.	Podría generar una energía limpia y muy barata.	No se ha probado aún que sea viable desde el punto de vista técnico. Se están realizando pruebas desde hace décadas y no se prevé que pueda funcionar antes de 15-20 años (si es que llega a hacerlo alguna vez).	Hidrógeno

Tecnología de generación eléctrica	Cómo funciona	Ventajas	Inconvenientes	¿Qué fuente o combustible usa?
Biomasa	Quema de la parte biodegradable de productos, deshechos o residuos procedentes de agricultura, limpieza de bosques, industria y ciudades. Se puede usar a nivel doméstico, industrial o para generar combustibles. Hay también plantaciones de cultivos energéticos (cereales, maíz, remolacha) dedicadas a este propósito.	A veces (no siempre) se aprovechan residuos que, de todos modos, al descomponerse generarían gases (incluso más contaminantes). Se considera que las emisiones de CO <sub>2</sub> son cero, al formar parte de un ciclo que dura solo unos años.	Se genera CO <sub>2</sub> y otros residuos. En teoría es neutra en CO <sub>2</sub> porque se considera que son ciclos cortos, pero se critica a veces que no siempre es del todo neutra (por ejemplo, si se emite CO <sub>2</sub> en la manufactura y transporte de biomasa). A veces se cultivan productos comestibles (por ejemplo, maíz) para este uso, lo que ha llevado al aumento de precios de productos básicos, lo cual genera escasez de estos productos para consumo humano (estamos quemando comida mientras hay gente que pasa hambre).	Materia orgánica (restos de plantas, maíz, deshechos, etcétera).
Gases de vertedero y depuración (biogases)	Los vertederos y depuradoras de agua emiten gases. Estos gases se pueden canalizar para ser usados, bien para generar energía en las propias plantas o ser depurados y usados como gas natural.	Se aprovechan residuos que, de todos modos, al descomponerse generarían gases (incluso más contaminantes).	Se genera CO <sub>2</sub> y otros residuos.	Residuos orgánicos (de vertederos y depuradoras de agua) para generar gas, que es el combustible que se usa.

TABLA A.2

Tecnología de generación eléctrica	¿Emite CO <sub>2</sub> ?	¿Genera otros residuos?	¿Contamina al construirse?	¿Es renovable? (definición legal)
Nuclear	No	Sí, residuos nucleares.	Sí, por el gran volumen de cemento y metales, además de todo el proceso de tratamiento y almacenamiento de residuos. La huella de carbono del ciclo completo es importante.	No
Carbón (central térmica)	Sí	Sí (cenizas, otros gases, pequeños restos radiactivos). Legalmente, estos residuos están cada vez más limitados.	Sí, por el gran volumen de cemento y metales.	No
Petróleo (central térmica)	Sí	Puede emitir otros residuos, como óxido nítrico o azufre.	Sí, por el gran volumen de cemento y metales.	No
Gas - ciclo combinado	Sí	No	Sí, por el gran volumen de cemento y metales.	No
Solar fotovoltaica	No	No	Sí, por la creación de placas solares y estructuras.	Sí
Solar térmica	No	Aceites	Sí, por la fabricación de espejos y estructuras	Sí

256 ANEXOS

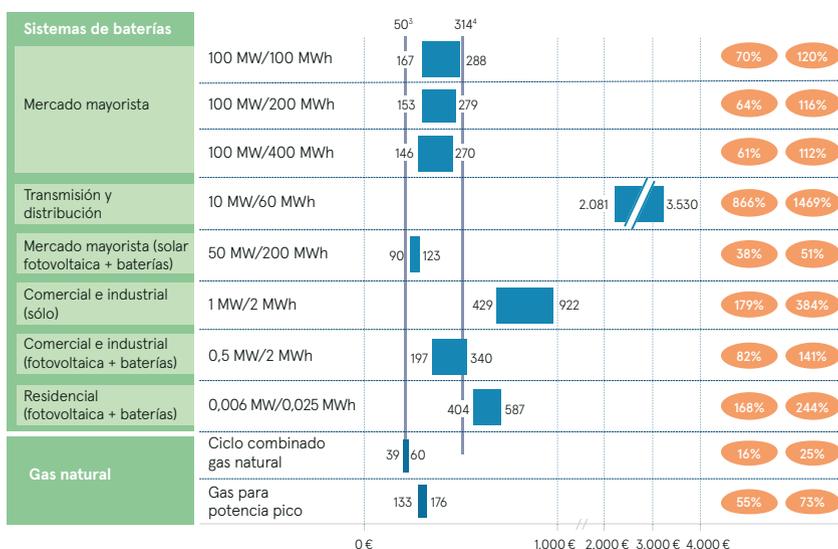
Tecnología de generación eléctrica	¿Emite CO <sub>2</sub> ?	¿Genera otros residuos?	¿Contamina al construirse?	¿Es renovable? (definición legal)
Solar térmica para agua caliente	No	No	Poco	Sí
Eólica	No	No	Sí, por la creación de los aerogeneradores especialmente, como el metal del mástil y las palas, el hormigón de las bases, la construcción de pistas de accesos, etcétera. Además, genera una gran contaminación visual.	Sí
Hidráulica	No	No	Sí, por la enorme necesidad de cemento, además del impacto de anegar enormes extensiones de terreno.	Sí
Termonuclear (en desarrollo)	No	Helio, un gas inerte (y segundo elemento más abundante del universo).	Muchísimo. Por ahora solo está en investigación, con enormes inversiones.	No contemplado aún
Biomasa	Sí	Sí, puede generar otras sustancias y partículas tóxicas y tener residuo sólido. La biomasa puede ser muy peligrosa para la calidad del aire de la zona donde se usa, aunque no para el calentamiento global.	Poco	Sí
Gases de vertedero y depuración (biogases)	Sí	Sí, los restos orgánicos se convierten en restos (aunque pueden usarse como abono). Se generan también otros gases contaminantes, pero en menor medida.	Sí, por las instalaciones que hay que añadir a las centrales como vertederos y depuradoras.	Sí

## ANEXO B. COSTES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA (BATERÍAS Y GAS NATURAL)

GRÁFICO B.1

Coste nivelado de almacenamiento LCOS y LCOE<sup>1</sup>  
(euros/MWh)

X% Porcentaje referido al precio actual de la electricidad (rango mínimo a máximo)<sup>2</sup>



<sup>1</sup> LCOS: *levelized cost of storage* (coste nivelado de almacenamiento); LCOE: *levelized cost of energy* (coste nivelado de la energía).

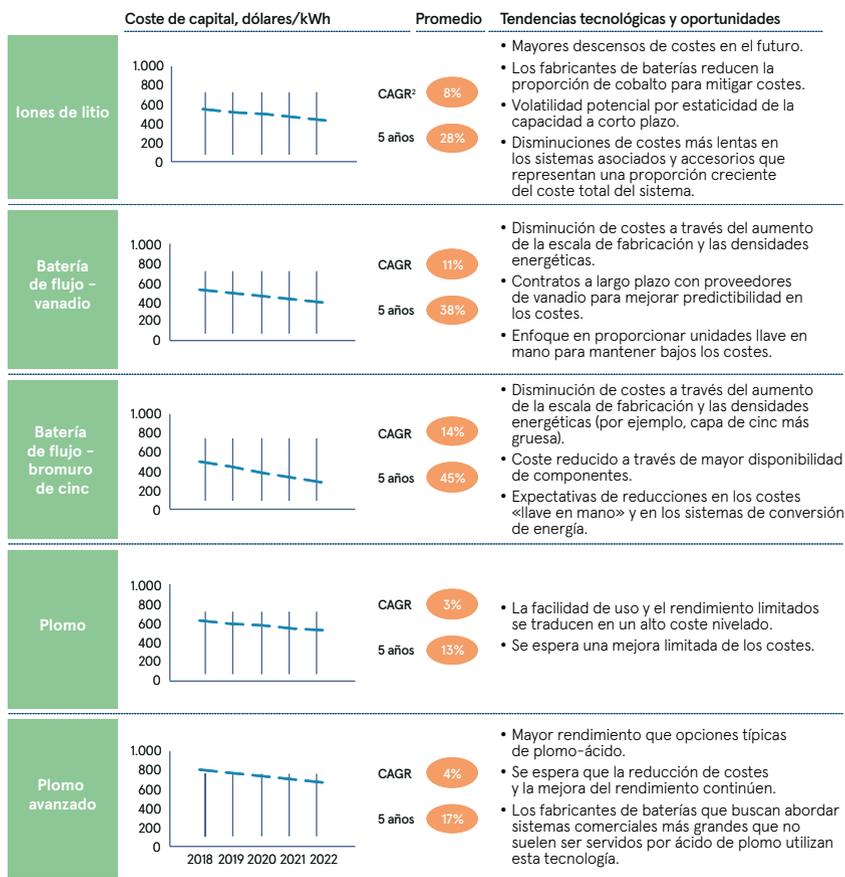
<sup>2</sup> Consumo doméstico en España, franja 2,5-5 MWh.

<sup>3</sup> Promedio ciclo combinado.

<sup>4</sup> Promedio sistemas de almacenamiento (excluye transporte y distribución).

## GRÁFICO B.2

X% Porcentaje referido al precio electricidad real<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Consumo doméstico en España, franja 2.5-5 MWh.

<sup>2</sup> CAGR (compound annual growth rate) = tasa de crecimiento anual compuesto.

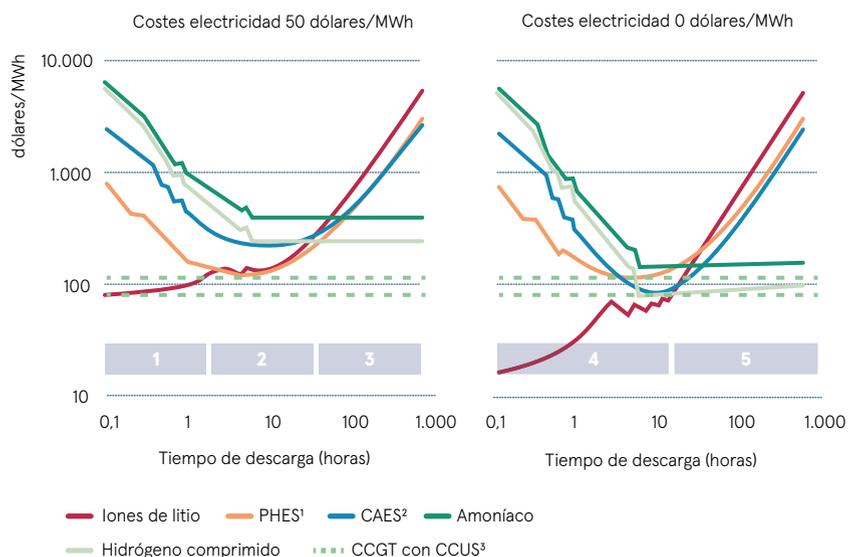
## ANEXO C. ¿CUÁNDO ES MÁS BARATO USAR ENERGÍA ALMACENADA EN DIFERENTES FORMAS?

Lo que cuesta la energía almacenada en relación con otras maneras de generar la misma cantidad de energía es una cuestión muy muy importante. Vale la pena detenerse un momento en este aspecto, porque el tema tiene su gracia. Fíjense en el gráfico C.1 (p. siguiente), de la Agencia Internacional de la Energía (AIE); sus dos gráficas expresan a partir de qué momento compensa utilizar energía almacenada en diferentes tipos de baterías (iones de litio, hidrógeno comprimido, amoníaco, etcétera) frente a utilizar el consumo directo de la energía (sin almacenar) producido por una planta de ciclo combinado de gas. De nuevo estamos comparando una misma unidad de medición (en este caso MWh) para poder entender a partir de qué momento compensa utilizar una tecnología u otra.

La verdad es que estas gráficas son infernales hasta que las entiendes. A ver si logro explicar lo que expresan. Para intentar conseguir tal proeza, permítanme dar dos pinceladas de contexto antes de interpretarlas a continuación.

La gráfica de la izquierda presupone que la energía tiene un coste de producción para poder ser almacenada; la de la derecha, no.

## GRÁFICO C.1



<sup>1</sup> PHES (*pumped hydroelectric energy storage*) = almacenamiento de energía hidráulica por bombeo.

<sup>2</sup> CAES (*compressed air energy storage*) = almacenamiento por aire comprimido.

<sup>3</sup> CCGT con CCUS (*combined cycle gas turbine con carbon capture, utilization and storage*) = ciclo combinado de gas con captura, uso y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

Nota: dependiendo de los costes de la electricidad almacenada, el hidrógeno comprimido es la opción de almacenamiento más económica para tiempos de descarga mayores de 20-45 horas.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE), informe World Energy Outlook (2019) e informe The Future of Hydrogen (2019).

En el primer supuesto se trata de 50 dólares/MWh, que es el precio aproximado, por ejemplo, de generarla por medio de una planta de ciclo combinado de gas (tomémoslo como punto de referencia).<sup>79</sup> El segundo supuesto es un caso ideal: parte de la premisa de que el coste de la electricidad es «cero» porque proviene del excedente

<sup>79</sup> El coste de generación de un ciclo combinado de gas depende del precio del gas, de los derechos de emisión y de otros factores, todos los cuales varían en el tiempo al estar sujetos a la evolución de los mercados. Por tanto, resulta importante tener claro que los 50 dólares/MWh son solo un ejemplo, pero no una cifra inamovible que caracterice el coste de generación de la tecnología de ciclo combinado de gas en cualquier momento.

de la red. Esta situación se produce cuando se genera más energía de la que se puede consumir y, entonces, se almacena. Aunque estas situaciones pueden darse, hasta la fecha son muy muy poco frecuentes. Obviamente, cuanta más potencia renovable haya, más posibilidades habrá de que puedan producirse estas situaciones.

Entrando en lo que representan las gráficas, para entenderlas mejor, las he dividido en cinco tramos consecutivos (la de la izquierda, del 1 al 3, y la de la derecha, del 4 al 5). De nuevo, el factor relevante es el horizonte temporal en el que queramos usar la energía almacenada en diferentes tipos de baterías frente a la generada en una planta de ciclo combinado de gas para ser consumida en el momento.

Si partimos de «generación normal» (gráfica de la izquierda), en el tramo 1 podemos observar que las baterías son indiscutiblemente la forma más barata de almacenar la energía que necesitaremos consumir entre unos minutos y hasta 2 o 3 horas después de haber sido almacenada. Si el coste de la generación de energía es inferior a los 50 dólares comentados, se extendería el plazo. En el tramo 2 de la misma gráfica, la energía que gastemos entre las 2 y las 45 horas aproximadamente siguientes a su generación tendrá un coste aproximadamente igual a almacenarla en embalses de bombeo (el embalse es la batería alternativa a las de iones de litio, suponiendo que haya agua suficiente, claro).

Esencialmente, el tramo 4 («generación ideal», gráfica de la derecha) es similar al 1 y 2 (gráfica de la izquierda), con la diferencia de que aquí el origen es energía sobrante. Esto permite que el plazo se extienda hasta las 20 horas, porque el coste de la energía es «cero». En estas circunstancias, y hasta ese número de horas, las baterías son la opción más barata.

Si queremos almacenar más allá de las 20 horas, para el caso de la energía sobrante, o de las 2-3 horas, en el caso de «generación normal», entonces, según el organismo que ha realizado este análisis, parece que el hidrógeno es una tecnología más barata que las

otras formas de almacenamiento. Aquí es donde encontramos un almacenamiento estacional sin problemas (tecnología energética que permite trasladar el uso de la energía de una estación a otra). El hidrógeno no sufre alteraciones si lo tienes guardado dos horas, dos días, dos semanas o dos meses. El amoníaco es otra opción para almacenar energía, pero su fabricación resulta más cara que la del hidrógeno.

No puedo resistir compartir una curiosidad citada por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) en relación con el amoníaco: un único depósito de los que ya se usan comúnmente en la industria de fertilizantes (50 metros de diámetro por 30 metros de alto) puede almacenar la misma energía (150 GWh, similar a lo que consume una ciudad de unos 100.000 habitantes durante un año) que 800 veces la mayor planta de baterías que hay en el mundo, la Reserva de Energía Hornsdale, en Australia, con 193,5 MWh. Por cierto, esta planta (ya mencionada en el capítulo 6) es propiedad de Tesla, y sirve de apoyo a una central eólica. (Les animo a buscar fotos e información sobre dicha instalación de superbaterías en Google.)

# ANEXO D. METODOLOGÍA Y FUENTES PARA EL CÁLCULO DE LOS PRECIOS Y LAS FACTURAS DE LA LUZ

GRÁFICO D.1

	Factura media de la luz	Precio unitario de la luz
<p>Fuente</p> 	 <p>Agencia para la Cooperación de los Reguladores de Energía (ACER)</p>	
<p>Publicación</p> 	<p>Market Monitoring Report 2018 – Electricity and Gas Retail Markets Volume.</p>	<p>Electricity prices for households consumers.</p>
<p>Metodología</p> 	<p>Desglose de <b>precios basados en una oferta estándar única</b> propuesta por el proveedor establecido <b>para consumidores domésticos</b> con un <b>consumo anual de 3.500 kWh</b> para electricidad en cada ciudad capital.</p>	<p>Agregación de los <b>precios nacionales disponibles para el sector doméstico e industrial.</b></p>
<p>Fuentes de Información</p> 	<p>Sitios web de comparación de precios disponibles públicamente.</p>	<p>Institutos Nacionales de Estadística, Ministerios, Agencias de Energía, o, en el caso de monopolios, compañías eléctricas individuales.</p>

## **FACT ENERGY ABORDA DE FORMA VIBRANTE Y CON RIGOR LA SOSTENIBILIDAD QUE VIENE Y EL PLANETA NECESITA.**

Pablo Foncillas lleva años estudiando cómo cambian industrias enteras. El fenómeno de cómo se transforman los sectores empresariales le apasiona, y el energético no es una excepción: se encuentra en una encrucijada y no es la que se cree. Por medio de datos y con el máximo rigor posible, en este libro se intentan rebatir de forma asequible y divulgativa algunas ideas estereotipadas en torno a la energía construidas por medio de diversos sesgos. Porque el mundo es complicado, y entender la energía también lo es.

Aquí no se habla de la energía en general. Esto no es un tratado sobre la materia y mucho menos un libro blanco de la energía. Tampoco pretende ser un trabajo en contra de nadie ni a favor de nada. *Fact Energy* pretende algo mucho más modesto: hablar, por un lado, de un concepto que está en boca de todos, la sostenibilidad, y por otro, de los mitos existentes en torno a la energía. Respecto a lo primero, lo hace con una mirada sobre aquello que será posible según fuentes de contrastada solvencia, y en cuanto a lo segundo, trata de replicarlos con datos y ejemplos actuales. En cualquier caso, que nadie lo dude: debemos caminar, y hacerlo tan rápido como sea posible, hacia la transición energética que nos lleve a un mundo mejor. Pero no podemos pensar que esto será inmediato ni sencillo.

Porque la energía, como todo el mundo sabe, ni se crea ni se destruye, tan sólo se transforma. Veamos cómo lo hace.

### **BASADO EN DATOS REALES**

---