2 EDICIÓN

El nuevo orden verde

Cómo la transición energética cambiará el mundo



ECOE EDICIONES

BARLIN LIBROS
PENSAMIENTO AL MARGEN

Pedro Fresco

Pedro Fresco

El nuevo orden verde

Cómo la transición energética cambiará el mundo

Catalogación en la publicación - Biblioteca Nacional de Colombia

Fresco, Manuel, autor
El nuevo orden verde : cómo la transición energética cambiará el mundo / Manuel Fresco. -- Segunda edición. -- Bogotá : Ecoe Ediciones ; Valencia, España : Barlin Libros, 2024.
281 páginas.

Incluye datos curriculares del autor -- Incluye bibliografía.

ISBN 978-958-503-908-7 (impreso) -- 978-958-503-909-4 (pdf) -- 978-958-503-910-0 (epub)

1. Transición energética - Aspectos socioeconómicos 2. Desarrollo energético - Aspectos socioeconómicos 3. Recursos energéticos renovables 4. Política energética

CDD: 333.7915 ed. 23 CO-BoBN– a1135435

Área: *Tecnología, ingeniería, agricultura, procesos industriales*
Subárea: *Tecnología y fuentes de energía alternativa y renovable*

ECOE EDICIONES

BARLIN LIBROS
PENSAMIENTO AL MARGEN

© Pedro Fresco

© Barlin Libros
editorial@barlinlibros.org
Avda. Baleares 61-20º 46023
Teléfono: (96) 382 27 32
Valencia, España

© Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63 C 32
Teléfono: (+57) 321 226 46 09
Bogotá, Colombia

Primera edición: Bogotá, marzo del 2024

ISBN: 978-958-503-908-7
e-ISBN (PDF): 978-958-503-909-4
e-ISBN (ePUB): 978-958-503-910-0

Coordinadora editorial: Ana María Rueda G.
Coordinadora de producción editorial: Paula Bermúdez Bello
Editora de adquisiciones: Alejandra Cely R.
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz
Impresión: Xpress Estudio Gráfico y Digital
Carrera 69 H # 77 - 40

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados

TABLA

Introducción
11

I. La energía como motor de la historia
25

La Revolución Industrial. Una perspectiva histórica.....28
Los países de la OPEP.....35
Energía nuclear.....37
El fracking.....42
La energía y los cambios sociales: el caso de la revolución feminista.....44

II. La Transición Energética
49

Contexto actual.....52
¿Qué entendemos por eficiencia energética?.....56
Los motores de combustión.....59
La generación de electricidad.....62
La energía solar fotovoltaica.....63
Energía eólica.....68
El transporte.....75
La industria.....80

III. Los retos tecnológicos de la Transición Energética
85

El almacenamiento....87
El almacenamiento en forma de energía mecánica....87
El almacenamiento térmico....91
El almacenamiento químico....93
El almacenamiento electroquímico....97
Gestión de la demanda....101
La inteligencia artificial....102
Vehicle to grid: el coche como soporte de la red eléctrica....106
¿Y qué pasa con la energía nuclear?....110

IV. El Nuevo Orden Geopolítico
119

¿Independencia energética?....121
China: el gran dragón energético....124
Las tierras raras....130
El litio....135
Otras materias primas....139
Países ganadores y países perdedores....142

V. Economía y fiscalidad durante la Transición Energética
149

Los impuestos pigouvianos: quien contamina, paga....150
La evolución de la desigualdad....156
Las tasas al CO2....160
Dividendo de carbono....164

¿Enmienda a la globalización?.....169
El efecto sobre la recaudación: los impuestos especiales.....174
El Green New Deal.....179

VI. El futuro del empleo
185

Las energías renovables y el empleo.....188
El futuro de las zonas mineras.....197
El futuro de la automoción.....204
La economía circular.....212
La economía de coste marginal cero.....218
La vuelta a lo local.....221
¿Trabajaremos cuatro días a la semana?.....225

VII. La nueva sociedad
229

La nueva movilidad.....234
El vehículo compartido.....238
El vehículo autónomo.....242
Las nuevas ciudades.....247
Una nueva ética.....250

Epílogo: La Transición Energética
tras la crisis del Coronavirus
261

Bibliografía
279

INTRODUCCIÓN

Propongo un breve ejercicio de reflexión sobre la importancia de la energía en nuestro actual modo de vida. ¿Qué supondría para nuestras sociedades que dejásemos de poder usar las fuentes de energía? ¿Cómo sería la historia de la humanidad si nunca hubiésemos aprendido a usar los combustibles fósiles, la tecnología nuclear o, yendo aún más atrás en el tiempo, la energía del viento o el mismo fuego? ¿Serían iguales nuestros valores sociales y nuestra forma de relacionarnos, o viviríamos en una sociedad estructurada sobre bases radicalmente distintas?

Esbozando una ucronía a través de estas preguntas, nos percatamos enseguida de lo esencial del uso de la energía para la civilización humana. Esta mirada retrospectiva resulta especialmente útil en el momento presente, ya que nos enfrentamos a un cambio de paradigma enorme respecto a su uso, tanto en lo que se refiere a las fuentes de las que vamos a obtenerla, como en las formas de consumirla, valorarla y utilizarla. Estas transformaciones no van a ser menores; no vamos a cambiar una fuente de energía por otra manteniendo la estructura del mundo inalterada, sino que vamos a experimentar toda una serie de mutaciones sociales, po-

líticas y económicas derivadas de este cambio energético, que ahora mismo no podemos ni imaginar. Ahí es donde quiere adentrarse este libro: en ese cambio de paradigma energético. Aunque, sobre todo, busca poner el acento sobre las consecuencias sociales que se le derivan, generalmente ignoradas en este tipo de análisis.

En esta última década, la segunda del siglo XXI, han sucedido muchas cosas relevantes. Dos de las principales energías renovables, la eólica y la solar fotovoltaica, han alcanzado su madurez plena y, al final de la década, ya eran más baratas que los combustibles fósiles en la mayoría de las regiones del mundo. El vehículo eléctrico, anecdótico y destinado a cuestiones muy específicas a principios de la década, acabó el año 2019 con más de siete millones y medio de unidades enchufables en circulación por todo el mundo, y las distintas normativas y regulaciones que se han impulsado en muchos países lo sitúan de forma indiscutible como el transporte del futuro. La muy contaminada China declaró la «guerra contra la contaminación» durante esa década, y se ha erigido como el principal fabricante y consumidor de tecnología renovable y electrificada del mundo.

También han sucedido cosas más allá del campo de la tecnología. El Acuerdo de París firmado en 2015 supuso, con todas sus limitaciones, el primer gran acuerdo verdaderamente mundial a favor de la reducción de emisiones, y fijó una base sobre la que edificar un progresivo aumento de la ambición climática. Desde la firma del acuerdo, y a pesar de la postura obstruccionista de muchos gobiernos nacionales, multitud de ciudades, regiones, empresas u organizaciones están liderando esta transición climática, comprometiéndose a la neutralidad de emisiones o al consumo de energía íntegramente renovable a medio plazo. También ha surgido un potente movimiento juvenil frente al cambio climático, la Juventud Por El Clima, que quiere desempeñar el mismo papel que en otras épocas

ejercieron otros movimientos de jóvenes y estudiantes frente a grandes conflictos sociales y políticos.

La actividad en el mundo económico también ha resultado bastante evidente. Los fondos de inversión de países petroleros están invirtiendo masivamente en renovables, muchos bancos de inversión se niegan a financiar proyectos que se basen en el carbón, y existe una creciente desinversión en combustibles fósiles. Las empresas energéticas tradicionales evolucionan rápidamente hacia modelos de negocio basados en la generación renovable, e incluso hay compañías petroleras que se han comprometido a ser neutras en emisiones para el año 2050. Todo esto era impensable hace tan solo una década.

A poco que reflexionemos sobre estas tendencias y avances, concluiremos que la transición energética es un proceso que no tiene vuelta atrás. Las energías renovables, ya competitivas, siguen mejorando y abaratándose año tras año, sin que seamos capaces de vislumbrar el final de este proceso de reducción de costes. Su diferencia de precio respecto a las energías tradicionales se agranda conforme pasan los años y, por tanto, su instalación masiva en todos los países es cuestión de tiempo. En paralelo al abaratamiento, los que están llamados a ser su complemento ideal, los sistemas de almacenamiento en baterías de ion-litio, reducen sus costes de la misma manera, haciendo que la combinación de generación renovable y baterías comience a ser competitiva en algunos mercados. En unos años lo será en casi todos, lo que relegará progresivamente a las energías fósiles.

Disponer de electricidad cada vez más barata, sin coste marginal y sin prácticamente impacto ambiental, desplazará a medio plazo al resto de fuentes de energía y electrificará la demanda. Un motor eléctrico es tres veces más eficiente que uno térmico. Es, por tanto, una máquina muy superior en prestaciones y, por eso, está ampliamente extendida en

la industria. A nivel de automoción no había penetrado por problemas con su fuente de energía, ya que las baterías eran pesadas, caras y ofrecían muy baja autonomía. Además, su otra alternativa, el hidrógeno, resultaba muy costoso. Con el descubrimiento y mejora de las baterías de ion-litio, que ya ofrecen autonomías plenamente satisfactorias para casi todos los trayectos, la eliminación progresiva de los motores térmicos es cuestión de tiempo. Bien por estos vehículos con batería, bien por los vehículos de pila de combustible, cuyo coste también ha comenzado a declinar, entre otras razones, por la electricidad tan barata de origen renovable.

Paralelamente a la revolución tecnológica que perfecciona cada vez más las tecnologías renovables y electrificadas, veremos un aumento de costes de los hasta ahora económicos combustibles fósiles. Su mayor precio no vendrá por carestía u agotamiento, sino por una nueva política que impute en su costo las externalidades negativas que producen. La contaminación atmosférica produce millones de muertes prematuras al año. Cerca de 5 millones de estos fallecimientos anuales están directamente causados por la contaminación generada por el ser humano, y serían evitables según un estudio publicado en la revista científica *Cardiovascular Research* en marzo de 2020. Además, producen toda una serie adicional de problemas de salud. Según el mismo estudio, nuestra esperanza de vida a nivel global es 1,7 años menor, a causa de los contaminantes emitidos a la atmósfera.

Este enorme problema de salud pública es solo una parte de la externalidad negativa que producen los combustibles fósiles. Adicionalmente a ello, las cantidades de CO_2 que estamos emitiendo a la atmósfera van a alterar el clima de la tierra y, con ello, alterarán la base misma de la civilización. Problemas como la subida de la temperatura y del nivel del mar, el aumento de los fenómenos climatológicos extremos, la expansión de enfermedades fuera de sus áreas actuales o las dificultades para poder mantener a la población en algu-

nas zonas del planeta se van a hacer recurrentes. Estas dificultades aumentarán exponencialmente cuanto más suba la temperatura del planeta y, en escenarios graves, podrían ser causa de enormes migraciones climáticas e incluso guerras. La gravedad de estas circunstancias en lo social puede ser enorme y, adicionalmente, podría generar un impacto económico muy negativo y prácticamente incuantificable.

Esta divergencia creciente de costes e impactos entre los combustibles fósiles y las tecnologías limpias va a hacer inevitable la sustitución de los primeros por las segundas. No va a ser un proceso rápido, porque llevamos dos siglos basando nuestra economía en aquellos combustibles. No se pueden cambiar las estructuras económicas de una civilización en pocos años. Sin embargo, la tendencia es, sin duda alguna, imparable.

Debemos interiorizar que la transición energética es un proceso que no tiene vuelta atrás, aunque creo importante matizar un poco esta afirmación. A pesar de ser inevitable, hay dos grandes cuestiones abiertas, que es el «cómo» y el «cuándo» va a realizarse. Ambas muy relevantes, y que convierten esta insoslayable transición energética en un proceso lleno de incertidumbres.

Cómo se va a realizar esta transición energética es, quizá, la pregunta clave y lo que definirá la sociedad del futuro. La transición energética representa un cambio de paradigma; un cambio económico y social histórico que va a alumbrar una nueva sociedad. Por tanto, va a redefinir las relaciones económicas existentes, la estructura geopolítica del planeta, la naturaleza del empleo y las relaciones laborales, e incluso la ética social que impere en el mundo en el que vivirán las próximas generaciones. Como sucede ante todos los cambios históricos, los primeros que saben verlos son quienes mejor se adaptan a ellos y quienes se colocan en una posición ventajosa para que esta redefinición del funcionamiento del mundo les beneficie.

Cuando vemos que muchos sectores económicos se están adaptando al nuevo paradigma sostenible tenemos que entender que lo hacen esencialmente para poder mantener su posición en este nuevo escenario. Si no lo hiciesen, si la iniciativa privada no fuese capaz de ofrecer al mundo el cambio de paradigma que este necesita, probablemente acabaría siendo víctima de una nueva estructura económica que garantizase ese cambio. Más allá de cuestiones éticas, es pura inteligencia: quieren ganar el futuro. Obviamente no todas las empresas están haciendo esto. Siempre hay quienes actúan en fase de negación y pretenden paralizar las transformaciones que les perjudican. Sin embargo, cada vez son más las que se ajustan a la situación y menos las que se resisten al cambio.

Esta «inteligencia adaptativa» que se observa en el mundo empresarial se puede extender a otros ámbitos, pero no en todos ellos se está siendo tan ágil, lo que puede llevar a que los rezagados lo acaben pagando. Algunos países han entendido la inevitabilidad de este cambio y quieren liderarlo y aprovecharlo, mientras otros se sitúan en posiciones negacionistas, tratando de paralizarlo, o al menos ralentizarlo. A nivel social ocurre algo parecido, con fuerzas políticas y sociales expectantes ante *lo nuevo*, muchas veces desde la pasividad y la resistencia, lo cual constituye un malísimo planteamiento. El cambio va a acabar llegando, por lo que la postura inteligente es tratar de aprovechar las transformaciones, alinearse con ellas, y hacer que la nueva sociedad que nazca sea lo más parecida posible a la sociedad a la que se aspira.

Hace un tiempo tuve un encuentro casual con Pepe Álvarez, secretario general de la Unión General de Trabajadores (UGT), y nos pusimos a hablar sobre los vehículos eléctricos. Pepe y yo teníamos cierta conexión en este tema, porque habíamos participado en los mismos programas de

televisión cuando, allá por noviembre de 2018, el gobierno español anunció que se prohibirían las ventas de vehículos de combustión a partir de 2040. En aquellos programas defendíamos posiciones diferentes. Él sostenía que el anuncio ponía en entredicho la industria de automoción en España y, por tanto, ponía en riesgo los empleos. Además, creía que no debía ser España quien liderase el cambio al vehículo eléctrico. Yo defendía lo contrario: que ante una transformación inevitable, nuestro país debía ponerse a la vanguardia, precisamente para poder liderar en el futuro la fabricación de dichos vehículos.

En esa conversación tampoco nos pusimos de acuerdo. Pepe miraba a corto plazo, por los trabajadores y sus empleos en los próximos años, y yo lo enfocaba a largo plazo, tratando de ganar ese futuro a la vuelta de un par de décadas. Ambas visiones son importantes y estoy convencido de que pueden ser complementarias, aunque creo que es esencial que el enfoque no sea a la defensiva sino proactivo, viendo venir el cambio, aceptándolo y, finalmente, aprovechándolo para fortalecer las posiciones.

Lo mismo sucede en el terreno de la política. Este cambio de paradigma abre multitud de oportunidades para las fuerzas políticas a la hora de estructurar estrategias públicas que acompañen a la transición energética. En concreto, la necesidad de modificaciones impositivas, la conveniencia de una mayor igualdad de renta, el papel del estado en la economía o incluso la estructura de la propiedad de las nuevas fuentes energéticas o desarrollos tecnológicos. Cómo vaya a realizarse este cambio es un terreno totalmente abierto a muchas posibilidades: ¿lo liderará la inversión pública o privada? ¿Llevará a más o menos desigualdad? ¿Lo capitaneará Asia u Occidente? Las posibilidades son enormes, y la forma en la que va a suceder no está escrita en tablas de piedra: dependerá de lo que hagamos y de que seamos capaces de situarnos en la cresta de la ola del cambio. Quien la

niegue; quien trate de detenerla con un débil dique, acabará siendo embestido por un tsunami que le arrastrará a una posición subalterna que probablemente no desee.

El cómo está íntimamente relacionado con la otra gran pregunta, el cuándo. Porque dependiedo del momento en que hagamos esta transición energética, las consecuencias sociales de la misma serán unas u otras. Dentro de las fuerzas sociales que intentan paralizar el cambio están los negacionistas climáticos, quiénes pretenden detener cualquier política climática en base a un supuesto escepticismo sobre la evidencia científica del cambio climático. Estos negacionistas realmente no tienen ni una tesis ni un argumento concretos: van seleccionando distintas «hipótesis» en función de cómo sirvan a su objetivo. A veces niegan que el planeta se esté calentando; otras veces no lo rechazan, pero aducen que se debe a causas naturales. En ocasiones aceptan el calentamiento antropogénico, pero dicen que no tiene por qué ser malo, y si hace falta aceptan el consenso. Eso sí: diciendo que ya es tarde para hacer nada. No hay lógica ni coherencia en sus argumentos. En el fondo, todo responde a una indisimulada oposición a las políticas climáticas por cuestiones meramente ideológicas.

Quienes defienden esas posiciones suelen abrazar una ideología ultraliberal en lo económico, y un rechazo visceral al papel del estado como regulador. Y eso es lo que les lleva a negar la ciencia y las políticas climáticas, ya que constituye una amenaza para su ideología. Además de este grupo, mediáticamente relevante pero políticamente inane, están los partidos de extrema derecha o derecha populista, que generalmente suelen coquetear con el negacionismo. Muchos de ellos, en realidad, porque también abrazan esta ideología ultraliberal en lo económico —aunque autoritaria en lo político—; pero otros por rechazo al «globalismo», a lo que consideran imposiciones del exterior, o por pura cultura

tradicionalista anclada en el pasado. No obstante, algunos partidos de derecha populista están comenzando a aceptar la crisis climática y la aprovechan para intentar fortalecer sus mensajes sobre la patria, la independencia nacional o el proteccionismo económico. Incluso muchos en el populismo de derechas entienden la inevitabilidad de este cambio y lo intentan aprovechar a favor de sus tesis.

En todo caso, estas derechas populistas suponen, probablemente, el principal peligro político para una transición energética rápida y útil para frenar los peores escenarios de cambio climático. Muchos gobernantes de esta familia política —o con el apoyo de estos movimientos—, han llegado al poder, y su política climática ha sido claramente obstruccionista en muchos casos, con una visión nacionalista, conspiranoica y egoísta en lo que respecta a los intereses de la humanidad. Su naturaleza de fuerzas reaccionarias que rechazan los cambios y que idealizan un supuesto pasado de orden y sin incertidumbre, les hace abrazar las energías tradicionales como el carbón y el gas en aquellos casos donde estos recursos son «nacionales», y sienten un desprecio a las normativas medioambientales, pues consideran que les resta competitividad frente a otros países.

Bajo la lógica política de este populismo de extrema derecha, la necesaria cooperación internacional para una transición energética rápida se haría trizas, las autolimitaciones para no generar externalidades negativas desaparecerían, los cambios estructurales y culturales se verían arrinconados, y la consecuencia de todo ello sería ralentizar o paralizar la transición energética *sine die*, lo que haría inviable cumplir los compromisos de París y nos abocaría a una situación de cambio climático catastrófico en pocas décadas. No se puede parar lo inevitable, pero siempre se puede retrasar. Esta política nos dejaría un mundo conflictivo, posiblemente lleno de países pobres afectados por lo que hicieron en el pasado otros países, con centenares de millones de migrantes

climáticos en medio de una época edificada bajo la lógica de la defensa frente al extranjero.

Cuando los efectos del cambio climático fuesen ya absolutamente evidentes, una nueva generación tomaría las riendas del poder y se vería obligada a enfrentarla. Una cosa buena que tiene el problema del cambio climático es que siempre se puede evitar un escenario peor, así que incluso perdidos los objetivos del Acuerdo de París, siempre sería conveniente hacer algo para minimizar problemas todavía mayores. La naturaleza no negocia y, al final, lo acabaríamos entendiendo. Y en ese momento se tomarían medidas, que ya no serían suaves —no se enfocarían como una transición—, sino que posiblemente serían draconianas, pasando por encima de cualquier resistencia.

No quiero abusar de imágenes distópicas que vayan más allá de una proyección de tendencias observadas, adentrándose en el campo de la imaginación. Pero creo que debemos entender el riesgo de que una transición energética abortada pueda implicar, para las siguientes generaciones, una reestructuración energética y económica inmisericorde. En algún momento habrá que afrontar el problema, y las urgencias serán inversamente proporcionales a las consideraciones sociales de las medidas que se implanten. En ese hipotético escenario, ni la igualdad, ni los daños sociales, serían ya motivo suficiente para modular nada. Solo importaría la emergencia, lo que podría llevar incluso a medidas de naturaleza maltusiana. Siendo claro: el control estricto del aumento de la población a nivel mundial, con el evidente riesgo de que los esfuerzos para parar o revertir el aumento demográfico recayeran siempre en «los demás» —siendo «los demás» los habitantes de países subalternos, o determinados sectores sociales dentro de los propios países—.

Pero al final del camino llegaremos al mismo punto: un mundo que no se podrá basar en energías fósiles, por su impacto, su agotamiento, su encarecimiento debido a la esca-

sez, su inherente ineficiencia, sus dependencias geopolíticas y muchas otras razones que hacen este cambio inevitable. Sea cual sea el camino, arribaremos al mismo mundo basado en energías renovables —¿quizá con energía nuclear?—; un mundo inevitablemente descarbonizado. ¿No vale la pena hacerlo bien? ¿No es absolutamente evidente que debemos organizar este proceso, y no dejar que nos alcance desde el caos? La moral del rey Luis XV de Francia, eso de «después de mí, el diluvio», es de una megalomanía destructiva que condena a quienes le sobreviven. La derecha populista y negacionista es el Luis XV de nuestra época.

A pesar de todos estos riesgos e incertidumbres, creo que hay sobradas razones para ser parcialmente optimista. Por primera vez el desarrollo tecnológico, el compromiso político y la sensibilidad social están alineados en la misma dirección. Esto es garantía de cambio, aunque lamentablemente no sabemos si con la intensidad necesaria. Si estuviésemos a principios de los años 90 con estas tecnologías y este compromiso político, yo sería indudablemente optimista respecto al hecho de poder frenar el cambio climático en los términos anhelados en el Acuerdo de París. Tres décadas después, el objetivo más ambicioso del acuerdo requiere de un cambio a una velocidad que no tiene precedentes, y que será muy difícil de alcanzar, aunque el objetivo mínimo —2ºC respecto a la temperatura preindustrial— sí parece más viable. *Viable* no significa *fácil*: sigue requiriendo un compromiso serio y esfuerzos adicionales. Pero lo podemos alcanzar.

En todo caso, esta transición energética más o menos rápida catalizará una serie de cambios a nivel económico, laboral, social y geopolítico, que alumbrarán un mundo distinto del que conocemos. La transición energética no es un simple cambio de tecnologías fósiles por tecnologías renovables; es un proceso histórico de transformación colectiva que ven-

drá auspiciado por esa transformación tecnológica, pero que, sin duda, afectará desde a los valores sociales de nuestras sociedades, hasta la estructura geopolítica del mundo, con nuevas hegemonías políticas y económicas.

Como con todo proceso histórico, esta metamorfosis no va a ser neutra, quedando unos sectores beneficiados y otros perjudicados. Habrá empleos y sectores económicos enteros que desaparecerán, y otros que nacerán o crecerán con fuerza. Habrá naciones que perderán poder e influencia y otras que lo ganarán. Veremos cambios en nuestras economías, en los impuestos que pagamos y en la estructura de nuestra fiscalidad, que forzosamente tendrá que adaptarse a una economía y un mundo en transformación. Y todo ello convivirá con unas nuevas estructuras y valores sociales, con un modo de vida distinto al actual, y unas formas de trabajar y movernos que no serán los que conocemos.

Este libro pretende sumergirse en todas estas cuestiones, y ahondar en esta visión de la transición energética como un acontecimiento histórico que transformará nuestro mundo. En definitiva: hacer prospectiva más allá de lo que es estrictamente el campo de la energía. Obviamente esto es algo muy complicado, sometido a infinitas incertidumbres, por lo que me he centrado en las cuestiones más probables si los acontecimientos siguen el curso esperado. Aunque estos nunca transiten un itinerario fijo —por eso nunca nadie ha conseguido predecir el futuro—. Y mi caso no será excepcional. Algunas de las cosas que comento en este libro sucederán, otras no, y otras tendrán lugar, aunque quizá de manera muy distinta a como las haya podido plantear.

He intentado en todo momento evidenciar esta inherente incertidumbre de la prospectiva, plasmando no solo lo que me parece que puede suceder, sino también las posibles alternativas, tratando de ser especialmente cuidadoso en aquellos aspectos que generan más dudas, y siendo algo

más categórico en los terrenos en los que tengo mayores certezas. Por ejemplo: decir que la energía solar fotovoltaica va a ser fundamental en el futuro me parece que es apostar sobre seguro, pero tratar de vislumbrar el sistema fiscal que habrá a mitad de siglo XXI es altamente especulativo. Cuando se desarrollan ambas proyecciones en capítulos distintos, se puede observar que la redacción y la contundencia de las aseveraciones son muy distintas.

Deseo que este libro sirva al lector general para dejar de ver la energía como una cuestión técnica, propia de ingenieros o investigadores. La energía es un campo con una deriva eminentemente social, ya que es la fuerza motriz de nuestro sistema productivo, de nuestras fábricas, de nuestros medios de transporte o de nuestras casas. La energía ha moldeado la historia y ha hecho de nuestra sociedad lo que es, pues nuestra civilización se eleva sobre su uso y control. Y, en consecuencia, los cambios en su producción y su manejo cambiarán la civilización humana y el tiempo histórico.

Y, sobre todo, deseo que el libro ofrezca respuestas a los grandes cambios y retos que vamos a enfrenar durante las próximas décadas. Un mundo nuevo está creciendo bajo nuestros pies sin que los individuos, ocupados con nuestro quehaceres del día a día, seamos totalmente conscientes de ello. La transición energética está en marcha, se está haciendo —nos la están haciendo—, y hay que tomar conciencia de ello para poder tomar las decisiones adecuadas que nos permitan moldear este nuevo mundo.

I

LA ENERGÍA COMO MOTOR DE LA HISTORIA

Es probable que si nos preguntásemos qué ha llevado al ser humano a dominar la tierra, la respuesta más intuitiva y básica por parte de muchos fuese «su inteligencia». No sin razón, otros tantos replicarían que fue debido a un acontecimiento evolutivo excepcional, como fue el desarrollo del pulgar oponible de la mano, lo que le permitió manejar objetos y, en base a esa capacidad, construir herramientas y cultivar y crear asentamientos. Podría aducirse también, desde otro prisma, que no fue más que el puro azar, combinado en una serie de condiciones climáticas, naturales y de ausencia de competencia con otras especies, las que crearon las condiciones favorables para la expansión de una especie como la nuestra. Si bien es cierto que podemos considerar todas estas respuestas como correctas, me gustaría proponerle al lector una respuesta adicional: lo que ha llevado al ser humano a ser la especie dominante en este planeta ha sido su capacidad de utilizar la energía de la naturaleza.

La energía es una magnitud física que podríamos definir como la capacidad para generar un trabajo o, tal y como

la definían los antiguos griegos, «la capacidad para generar movimiento». Los seres humanos estamos limitados físicamente en la cantidad de movimiento que podemos realizar. Este viene acotado por nuestros músculos, nuestro metabolismo, que también está limitado por la cantidad de calor que puede generar y que, al fin y al cabo, también es producto del movimiento de partículas. Con esta limitación física el ser humano puede sobrevivir en la tierra, pero difícilmente hubiese podido erigir una civilización, y mucho menos ser la especie dominante de la tierra hasta el punto de condicionar la propia evolución del planeta. Para ello es necesario poder usar la energía que ofrece la naturaleza.

No fue el Homo Sapiens la primera especie en usar la energía sino uno de sus antecesores, el Homo Erectus. Normalmente se suele decir que esta especie descubrió el fuego hace más de un millón de años. Pero el fuego realmente no es una energía, sino una consecuencia de la combustión de una fuente de energía: la materia orgánica. Lo que descubrió aquel primer Homo Erectus fue cómo usar la energía química contenida en la materia orgánica. Es decir: descubrió cómo emplear la biomasa. Este hallazgo representó un enorme cambio, pues gracias a esa reacción química que producía luz y calor; a ese fuego, estos homínidos podían iluminarse de noche, podían ahuyentar depredadores, calentarse y, sobre todo, pudieron cocinar la carne cruda, lo que les permitió hacerla más digestiva, reducir enfermedades, aumentar el aporte calórico y, en definitiva, aumentar la esperanza de vida de la especie y, probablemente, también facilitar el desarrollo del cerebro. Ese mismo fuego permitiría tiempo después fabricar armas que harían mucho más efectiva la caza, utensilios de labranza y distintos artefactos usados en las sociedades prehistóricas.

En una época mucho más reciente —a partir del 8.000 a.C. aproximadamente, con el proceso de neolitización—, el ser humano comenzó a usar otra fuente de energía esencial

para el desarrollo de su civilización, que podríamos llamar la «energía del músculo animal». Gracias a la domesticación los humanos pudieron hacer mucho menos trabajo físico y superar las limitaciones que impone su propia biología. Los animales empleados en la agricultura, como los bueyes, las mulas o los caballos, ayudaron a la producción agrícola y a la creación de sociedades sedentarias previas a la civilización. También permitieron el transporte de mercancías y de personas, convirtiéndose en el medio de transporte terrestre principal hasta la llegada de la motorización.

Si hablamos de medios de transporte, no podemos olvidar otro fundamental que ha definido la historia humana: el barco. Se tiene constancia de su existencia ya en el antiguo Egipto, desde hace al menos 5.000 años. Eran embarcaciones a vela y, por tanto, usaban la más simple y rudimentaria forma de energía eólica, que era lo que permitía su movimiento. Gracias a saber utilizar esta energía, las civilizaciones se expandieron, comerciaron, se descubrieron entre sí y se invadieron unas a otras. Resulta casi imposible imaginar cómo sería el mundo hoy si el ser humano no hubiese sabido emplear la energía eólica para mover las embarcaciones, pero probablemente viviríamos todavía en un mundo parecido al de hace varios miles de años, con sociedades aisladas las unas de las otras o, en el mejor de los casos, con un escaso comercio que hubiese limitado el desarrollo de nuestra civilización.

Hay muchos más ejemplos de la importancia del uso de la energía de la naturaleza por parte de las sociedades preindustriales. Pensemos en los molinos de viento y de agua y su utilidad para moler grano, o en cómo se conseguía canalizar las aguas para generar amplias zonas de regadío que alimentaban a ciudades enteras. O en la cerámica y los metales, cuya fabricación depende de altas temperaturas que solo podían ser alcanzadas quemando combustibles como el carbón vegetal. Los seres humanos no tendríamos nada de esto,

cosas esenciales para el desarrollo de nuestra civilización. Pensemos por un momento qué hubiese supuesto carecer de todo esto en términos históricos, y entendamos cómo el uso de la energía que nos da la naturaleza es esencial para ser lo que somos en la actualidad.

La revolución industrial. Una perspectiva histórica

Si bien todo lo comentado hasta ahora representa un uso de la energía que nos ofrece la naturaleza, por defecto siempre que pensamos en energía lo hacemos en combustibles fósiles o en formas de energía final, como puedan ser los derivados de estos o la electricidad. Es totalmente lógico: estamos acostumbrados a razonar en términos de progreso tecnológico, y cuando hablamos de animales o de madera nos parece que es algo inherente a la naturaleza, algo del pasado o algo que no cuenta en las estadísticas. Y quizá sí debería contar, porque según muchas estimaciones la biomasa que no se comercializa y que las personas obtienen directamente de la naturaleza puede suponer todavía más del 10% de la energía primaria que consumimos mundialmente, sobre todo en los países menos desarrollados. Aun así, la biomasa no comercializada no se suele tener en cuenta en las estadísticas energéticas al no poder contabilizarse su uso, como tampoco tenemos en cuenta la energía que obtenemos del trabajo animal —sería muy difícil calcular la energía consumida en un trayecto a caballo, por ejemplo—. No obstante, creo que es importante entender que ese consumo está ahí, y que de no tener estas fuentes de energía «primitivas» tendríamos que usar otras que sí contabilizaríamos.

En todo caso, el verdadero inicio del uso masivo de la energía por parte de las sociedades humanas se produce con la quema de combustibles fósiles y con la revolución indus-

trial. Los combustibles fósiles eran conocidos realmente muchos siglos antes de la revolución industrial, y hay referencias de su uso esporádico ya varios siglos antes de Cristo. En la antigua China se usaba el petróleo y el gas natural, que brotaba naturalmente para quemarlo en las salinas y así obtener salmuera. También en la Europa de la edad antigua se usaba petróleo ocasionalmente para alumbrar, empleándolo en pequeñas lámparas. Lo mismo pasaba con el carbón mineral —carbón de piedra, que se llamaba entonces, para diferenciarlo del carbón vegetal—, que se obtenía en minas a cielo abierto en Inglaterra desde la época de los romanos, e incluso se llegó a exportar al continente europeo varios siglos antes de la revolución industrial.

El caso de Inglaterra es verdaderamente revelador, y nos muestra cómo el uso de la energía y los recursos naturales han cambiado radicalmente el devenir histórico de las naciones. Inglaterra era un territorio especialmente rico en carbón, a causa de los grandes bosques que se extendían por aquellas tierras durante el periodo carbonífero, cuando se situaba en el ecuador del planeta. Era relativamente frecuente encontrar este bien en minas de superficie, por lo que se empleaba en la artesanía y para calentar hogares. De hecho, llegó a ser prohibido alguna vez por edicto real, debido a la gran contaminación que provocaba en Londres. En una de esas ocasiones, su prohibición llevó a la necesidad de sustituirlo por madera, dando pie a su sobreexplotación. Debido a ello, pocos años más tarde acabó escaseando en los alrededores de la ciudad, conduciendo a una paradójica vuelta al carbón.

Con el tiempo, y ante el aumento de la demanda, se tuvieron que perforar más minas y cada vez más profundas, lo que provocaba que se llenasen de agua con frecuencia. Para seguir con las explotaciones, el agua se intentaba bombear fuera por los medios disponibles en la época, que tenían poca potencia y no eran efectivos en absoluto. Se generó una gran necesidad nacional que solucionase ese problema,