

BOAZ MOSELLE, JORGE PADILLA
Y RICHARD SCHMALENSEE

Editores

ELECTRICIDAD VERDE: ENERGÍAS RENOVABLES Y SISTEMA ELÉCTRICO

Marcial Pons

MADRID | BARCELONA | BUENOS AIRES

2010

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	11
PRÓLOGO	13
ABREVIATURAS	17
CAPÍTULO 1. ELECTRICIDAD, ¿HACIA UN FUTURO BAJO EN CARBONO?	23
<i>Boaz Moselle, Jorge Padilla y Richard Schmalensee</i>	

SECCIÓN I. TECNOLOGÍA

CAPITULO 2. TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	31
<i>Godfrey Boyle</i>	

SECCIÓN II. RENOVABLES, CAMBIO CLIMÁTICO Y POLÍTICA ENERGÉTICA

CAPITULO 3. PREDICCIONES SOBRE RENOVABLES EN UN MUNDO CON BAJOS NIVELES DE CARBONO: UN BREVE REPASO...	71
<i>Erin T. Mansur</i>	
CAPITULO 4. GENERACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SEGURIDAD DE SUMINISTRO	97
<i>Boaz Moselle</i>	

	Pág.
CAPÍTULO 5. FALLOS DE MERCADO Y LA ESTRUCTURA DE LAS EXTERNALIDADES.....	127
<i>Kenneth Gillingham y James Sweeney</i>	
CAPÍTULO 6. ENERGÍAS RENOVABLES, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN	167
<i>José Goldemberg</i>	
SECCIÓN III. GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE Y MERCADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
CAPITULO 7. EL DISEÑO DE LOS MERCADOS MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD PARA UN FUTURO CON BAJAS EMISIONES....	195
<i>William W. Hogan</i>	
CAPÍTULO 8. REGULACIÓN ENERGÉTICA EN UN MUNDO BAJO EN CARBONO	237
<i>Richard Green</i>	
CAPÍTULO 9. FUNDAMENTOS: INVERSIÓN EN TECNOLOGÍAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES.....	273
<i>James Bushnell</i>	
CAPÍTULO 10. DESARROLLO DE UNA SÚPER RED: CONCEPTOS Y CASOS DE ESTUDIO	309
<i>Christian von Hirschhausen</i>	
SECCIÓN IV. EXPERIENCIAS NACIONALES	
CAPITULO 11. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD RENOVABLE EN EEUU	353
<i>Richard Schmalensee</i>	
CAPÍTULO 12. POLÍTICAS DE LA UNIÓN EUROPEA PARA EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	391
<i>Christopher Jones</i>	
CAPÍTULO 13. LA POLÍTICA EN MATERIA DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL REINO UNIDO DESDE SU PRIVATIZACIÓN	425
<i>Michael G. Pollit</i>	

	Pág.
CAPÍTULO 14. ENERGÍAS RENOVABLES EN ALEMANIA	475
<i>Hannes Weight y Florian Leuthold</i>	
CAPÍTULO 15. PROMOCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES: LA EXPERIENCIA DE ESPAÑA	517
<i>Luis Agosti y Jorge Padilla</i>	
CONCLUSIONES: ¿HACIA DÓNDE VA LA GENERACIÓN DE ENER- GÍA RENOVABLE?	543
<i>Boaz Moselle, Jorge Padilla y Richard Scmalensee</i>	
LOS AUTORES.....	555

PRÓLOGO

La energía es la base de la prosperidad, la seguridad y la paz. Sin embargo, la dependencia económica de los combustibles fósiles, importados en su mayoría, expone a la Unión Europea a amenazas que surgen del cambio climático, la geopolítica global y la competencia por las fuentes de recursos con las economías en desarrollo. Estos riesgos pueden amenazar nuestro modelo industrial y social y, en última instancia, la estabilidad misma de Europa.

Respondiendo a estos retos, en 2007 los 27 países miembros de la Unión Europea unánimemente acordaron objetivos vinculantes para cambiar la base de la oferta energética en Europa. Para 2020, la UE debe reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% —una vez las condiciones sean las adecuadas, debe hacerlo en un 30%— y alcanzar una participación del 20% de la energía renovable en la demanda energética. Por su parte, la eficiencia energética debe mejorar en un 20%. Estas metas están en el centro de la estrategia económica general de la Comisión para 2020, Europa 2020.

Estas metas no sólo son esenciales para enfrentar el reto del cambio climático. Gracias a la disociación entre el uso de los recursos y el crecimiento económico, y a la creación de 1,5 millones de trabajos extra, se mejorará notoriamente la seguridad del suministro energético. Adicionalmente, la UE se fortalecerá con el ahorro de, por lo menos, sesenta billones de euros en menores importaciones de crudo y gas que podrán ser invertidos en la economía doméstica.

Para lograr esto, dentro de sólo unos pocos años, más de un tercio de nuestra energía eléctrica deberá estar generada a partir de fuentes renovables. No es suficiente recortar sólo en los márgenes. Gran parte de nuestros medios de transporte y calefacción deben estar basados en combustibles renovables.

Necesitamos enormes iniciativas prácticas y concretas que hagan partícipe a toda la sociedad. También es necesario convencer a nuestros socios internacionales para que sigan el mismo camino.

Es fácil ver los beneficios: menores importaciones, trabajos nuevos, aire más limpio, mercados energéticos y precios de la energía más estables, facturas de la electricidad más bajas y mayor participación y autonomía de parte del consumidor. La energía renovable ofrece soluciones a muchos de nuestros problemas de seguridad, economía y medio ambiente. El cambio hacia una economía con una mayor participación de fuentes renovables y menores emisiones de CO₂ es la única forma de asegurar un crecimiento económico sostenible que traiga beneficios para todos los sectores de la sociedad.

Nunca antes las empresas y los consumidores debieron enfrentar un reto tan desafiante. Las nuevas fuentes de energía requieren de nuevas redes para su transporte hasta los consumidores. La generación intermitente exige nuevas formas de equilibrar la demanda y la oferta. Las nuevas tecnologías, así como las renovables, deben volverse mucho más eficientes y atractivas a nivel comercial. Y, a la vez, debemos hacer frente a la incertidumbre económica y la creciente competitividad a nivel global.

No existe precedente alguno, ni siquiera en una economía boyante, de que los mercados por sí solos generen el tipo de inversiones y proyectos que requiere nuestro sistema. Por otra parte, muchos inversores encuentran difícil realizar un análisis de coste-beneficio para los proyectos de energía renovable. Adicionalmente, el actual racionamiento del crédito pone en peligro muchos avances logrados por la industria en años recientes. También habrá que hacer frente al impacto negativo que podría originarse a partir de los débiles acuerdos climáticos alcanzados en Copenhague sobre la inversión y la planificación de la inversión en renovables.

Realizar la transición hacia una economía con bajos niveles de carbono implica inversiones de billones de euros. No obstante, los riesgos climáticos y de seguridad en la provisión también implican un coste, uno que podría ser mucho mayor al anterior. Existe consenso creciente sobre el hecho de que las inversiones realizadas hoy estarán más que cubiertas en el futuro, superando en más de una vez su coste inicial gracias a una energía más barata, mayor seguridad energética, nuevos negocios y mercados, un medio ambiente más limpio y la mitigación del cambio climático. Igualmente, podemos darnos el lujo de dejar de lado la seguridad geopolítica y las enormes oportunidades de empleo y tecnología que la energía renovable trae consigo.

Las metas de 2020 son un paso inicial hacia la visión de la UE con una oferta de energía y un sector de transporte sin carbono para 2050. No olvidemos que el sistema actual es en casi su totalidad el resultado de tecnologías y decisiones que datan de cuarenta años atrás (o incluso más). En este contexto,

fijar el objetivo en 2050 no es tan ambicioso como suena, esto simplemente refleja la naturaleza del desarrollo de los sistemas energéticos.

Para llegar a ello la Comisión persigue una serie de prioridades interrelacionadas: implementar, en su totalidad y de manera eficiente, un mercado de energía en Europa; hacer cumplir los objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero y de renovables y fortalecer el marco legislativo para reducir la incertidumbre en las inversiones; crear un marco sólido para las nuevas inversiones en infraestructuras; promover la colaboración y cohesión en la investigación, incluyendo las iniciativas lideradas por la industria; impulsar la eficiencia energética, sobre todo en edificaciones, aparatos electrodomésticos y transporte; y promover la colaboración con otros países, tanto con los productores, como con otras naciones consumidoras.

Es vital informar, involucrar, educar y motivar a la mayor parte posible de la población. Todos y cada uno de los ciudadanos pueden ser parte de la revolución por un mundo con bajos niveles de carbono.

En consecuencia, este libro es oportuno e importante. También es muy educativo. Nos puede ayudar a entender mejor las oportunidades y retos propios de las energías renovables y a aprender de la experiencia de otros. De esta forma todos estaremos mejor equipados, ya sea desde la política, los negocios, las instituciones educativas, o en casa, para tomar con confianza las decisiones vitales que conducirán al sistema de energía que perseguimos para el futuro; un sistema que es simultáneamente seguro, sostenible, y económicamente sólido.

Günther OETTINGER
Comisario Europeo de Energía

CAPÍTULO 1

ELECTRICIDAD, ¿HACIA UN FUTURO BAJO EN CARBONO?

Boaz Moselle
Jorge Padilla
Richard Schmalensee

Existe un amplio acuerdo acerca de la necesidad de una transformación sustancial en el sistema energético para poder afrontar el problema del cambio climático. En particular, el sistema eléctrico necesita eliminar su actual dependencia de los combustibles de alto contenido en CO₂, donde la mayoría de la electricidad es generada utilizando gas y carbón, para alcanzar un futuro con baja intensidad de carbono, donde la electricidad sea producida utilizando fuentes renovables, —ya sea hidroeléctrica, eólica, biomasa, mareomotriz o energía solar—, la energía nuclear, y/o utilizando tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ (CAC) que permitan continuar utilizando combustibles fósiles, almacenando bajo tierra el dióxido de carbono emitido por la combustión en lugar de dejarlo escapar a la atmósfera. Es necesario un cambio radical porque en la actualidad la generación de electricidad produce la mayor parte de las emisiones antropogénicas (o causadas por el hombre) de dióxido de carbono en el mundo, lo que refleja su dependencia de los combustibles fósiles, y además, porque es probable que la «de-carbonización» requiera incrementos en la electrificación de otros sectores de la economía —en particular, un cambio a vehículos eléctricos y/o híbridos.

Entre las opciones para generar electricidad sin que se produzcan emisiones de gases de efecto invernadero significativas, las tecnologías de generación

renovable como la hidroeléctrica, la energía eólica, energía solar o la biomasa en general, son más atractivas para los políticos y reguladores que la energía nuclear, que lleva consigo las complicaciones acerca de la seguridad del almacenamiento de los residuos, además de los difíciles desafíos políticos, o la captura de CO₂, una nueva tecnología aún no probada. Las energías renovables también tienen otros atractivos importantes: el aumento de la producción nacional de energía primaria, contribuyendo a la seguridad de suministro, los objetivos de política industrial para los países, que se ven a sí mismos como líderes en el desarrollo de nuevas tecnologías «verdes», y la creación de empleo doméstico.

Este libro por tanto trata una serie de cuestiones clave relativas al papel de la generación de electricidad renovable en la lucha contra el cambio climático; cuestiones que son centrales a las preocupaciones actuales de los políticos y reguladores, de la industria eléctrica, y de los economistas que estudian los problemas energéticos y medioambientales. Estos temas incluyen los siguientes puntos:

- Al más alto nivel, ¿es correcto centrarse en las energías renovables como el instrumento esencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero? Mientras políticos y ecologistas son partidarios de las energías renovables, muchos economistas cuestionan si se debe subvencionar la producción de renovables, en lugar de fomentar la reducción de las emisiones de CO₂ (por ejemplo, a través de impuestos sobre las emisiones de CO₂).

- Si la energía renovable requiere de ayudas específicas, ¿qué forma deberían adoptar? ¿Cuál es el equilibrio adecuado entre las ayudas a la investigación y la promoción de la producción de energías renovables? ¿Deben todas las tecnologías renovables recibir el mismo apoyo? Si no es así, ¿cómo se puede saber qué tecnologías subvencionar con mayor intensidad? ¿Qué mecanismos son los adecuados para apoyar la generación de energía renovable: pagos lineales, incentivos fiscales, garantías de niveles de precios lo suficientemente altos como para apoyar la inversión, o un mercado basado en el comercio de «certificados verdes»?

- En un nivel más técnico, pero de gran importancia: ¿qué implicaciones tiene para los mercados de generación la integración a gran escala de las tecnologías renovables? ¿Es esta tendencia compatible con el cambio (o pretensión de cambio) hacia mercados liberalizados y competitivos como los de la UE y la mayor parte de los EEUU? ¿Qué implicaciones tiene para la fiabilidad del sistema la utilización de recursos intermitentes (viento, sol) por una gran parte de la capacidad de generación? ¿Proporcionan los mercados la suficiente fiabilidad en términos de energía de respaldo al sistema, o es necesaria la intervención regulatoria?

Los capítulos de este libro ofrecen un análisis objetivo de estas cuestiones, basándose en la teoría económica y la evidencia, incluyendo las experiencias

de los Estados Unidos y de los Estados miembros de la Unión Europea que en la última década han dedicado considerables recursos a la promoción de la generación de energías renovables. La atención se centra en la aplicación de un riguroso análisis económico que concluye en ideas que tienen implicaciones prácticas para el diseño de las políticas regulatorias en este ámbito. El libro es el resultado de un esfuerzo cooperativo de un grupo de autores que incluye académicos y reguladores con una amplia gama de especialidades que cubren las tecnologías renovables, la economía medioambiental y de recursos naturales, la economía de la energía y la organización industrial, y con conocimiento específico del sector energético, los mercados de energía eléctrica y las políticas regulatorias de energías renovables en Europa, los EEUU y el mundo en general.

Si bien actualmente hay muchos libros sobre temas relacionados con el cambio climático, la mayoría de ellos tratan cuestiones diferentes a la nuestra. Muchos se centran en cuestiones científicas acerca del cambio climático global y sus implicaciones en ámbitos tales como la agricultura, la migración o la salud pública¹. Otros se centran en las respuestas políticas al cambio climático, frecuentemente desde una perspectiva de ciencia política o de relaciones internacionales². Aunque sin duda hay una serie de textos importantes sobre los aspectos económicos del clima mundial³, sólo unos pocos abordan el papel de las energías renovables como parte de la mitigación del cambio climático y los retos que plantea la generación de renovables para los mercados eléctricos⁴.

Este libro se diferencia de otros libros sobre energías renovables en su amplitud y profundidad. Trata cuestiones de tecnología, temas políticos de manera amplia (tales como el impacto que tiene el apoyo a las renovables sobre el cambio climático y la seguridad de suministro como objetivos de la mayoría de los gobiernos), y cuestiones de aplicación práctica (por ejemplo, las implicaciones para el diseño del sistema eléctrico, el funcionamiento del mercado y el diseño de políticas de desarrollo masivo de energías renovables). También se describen las políticas de energías renovables de EEUU, la Unión Europea, Reino Unido, Alemania y España, y las experiencias que pueden ser extraídas de estos casos.

¹ Ver, por ejemplo, Jefferson W. Tester *et al.*, *Sustainable Energy: Choosing Among Options*, MIT Press, 2005; y Paul Kruger, *Alternative Energy Resources: The Quest for Sustainable Energy*, Wiley-Blackwell, 2006.

² Ver, por ejemplo, Jan H. Kalicki y David L. Goldwyn (eds.), *Energy & Security*, Johns Hopkins University Press, 2005; Anthony Giddens, *The Politics of Climate Change*, 2009; Felix Dodds, *et al.*, *Climate Change and Energy Insecurity*, Earthscan, 2009; Nick Stern, *A Blueprint for a Safer Planet*, 2009; y Catherine Mitchell, *The Political Economy of Sustainable Energy*, Palgrave Macmillan, 2010.

³ Dieter Helm y Cameron Hepburn (eds.), *The Economics and Politics of Climate Change*, Oxford University Press, 2009.

⁴ Jamash Grubb y Michael Pollitt (eds.), *Delivering a Low Carbon Electricity System*, Cambridge University Press, 2008.

El libro está organizado en cuatro partes. En la **Parte I (Tecnología)**, Godfrey Boyle (Capítulo 2) revisa cada una de las tecnologías incluidas en el libro desde una perspectiva económica, así como desde el punto de vista de su ingeniería; también considera el impacto de cada tecnología en la operación del sistema y su contribución a la sostenibilidad y a la eficiencia económica.

La **Parte II (Energías Renovables, Cambio Climático y Política Energética)** se centra en las cuestiones de política energética al más alto nivel, base de la regulación de las energías renovables. Erin Mansur (Capítulo 3) explica cómo los problemas ampliamente conocidos del cambio climático y las preferencias de reguladores y votantes afectarán al desarrollo del uso de la energía renovable. Boaz Moselle (Capítulo 4) estudia el otro impulsor principal de la política de renovables, el deseo de desarrollar fuentes autóctonas de energía para cumplir con los objetivos seguridad de suministro. Analiza los principales elementos sobre seguridad de suministro que dirigen actualmente el debate en Europa, y en particular, el problema de la dependencia de las importaciones de gas ruso. Kenneth Gillingham y James Sweeney (Capítulo 5) profundizan en la motivación económica de las políticas de energía renovable, subrayando los tipos de fallos de mercado relevantes para las mismas. Los instrumentos clave de las políticas sobre renovables son evaluados en el contexto de diferentes estructuras de mercado con el objetivo de proporcionar un marco de referencia a las futuras políticas regulatorias en materia de renovables. Por último, José Goldenberg (Capítulo 6) realiza un amplio análisis económico sobre la relación entre cuatro importantes instrumentos de política en materia de renovables y que se han generalizado dentro de este ámbito —subvenciones a las energías renovables, comercio de emisiones, promoción de la eficiencia energética y el Mecanismo de Desarrollo Limpio desarrollado en el marco del Protocolo de Kioto.

La **Parte III (Generación de Energía Renovable y Mercados de Energía Eléctrica)** se centra en un nivel inferior, haciendo énfasis en las implicaciones de las energías renovables en los mercados de generación de electricidad. William Hogan (Capítulo 7) estudia las dificultades asociadas con el desarrollo a gran escala de la electricidad renovable en los mercados mayoristas de electricidad. Tiene en cuenta cuestiones tales como el diseño del sistema de transporte y distribución, y el desarrollo de redes inteligentes. Hace especial hincapié en los problemas de la integración de la energía eólica en el diseño del mercado mayorista. Richard Green (Capítulo 8) analiza los problemas regulatorios que aparecerán con el deseo de integrar el desarrollo de la energía renovable a gran escala en los mercados eléctricos existentes y estudia cómo estas cuestiones pueden ser solucionadas. James B. Bushnell (Capítulo 9) estudia la intersección de dos importantes tendencias: la reestructuración de los mercados eléctricos, y el crecimiento de la regulación medioambiental. Proporciona un estudio empírico, que aclara cómo la creciente penetración de

la generación renovable intermitente alterará la economía de la inversión en la generación térmica convencional. Por último, Christian von Hirschhausen (Capítulo 10) habla del desarrollo de una «Súper Red» que se está debatiendo actualmente en el contexto del aprovechamiento de las energías renovables. Utilizando uno de los conceptos más avanzados de «Súper Red» en la región África-Norte de Europa, el debate pone de relieve los obstáculos en el camino hacia el desarrollo de esta última.

Por último, la **Parte IV (Experiencias Nacionales)** ofrece una visión de las experiencias nacionales hasta la fecha, con capítulos individuales sobre EEUU, la Unión Europea, el Reino Unido, Alemania y España. El objetivo es captar las lecciones tanto de las diferentes políticas e instrumentos regulatorios que se han aplicado, como de las diferencias en las preocupaciones políticas y debates en diversos países. Richard Schmalensee (Capítulo 11) analiza el desarrollo y la implementación de las políticas de energías renovables en Estados Unidos. El autor compara y contrasta el crecimiento en la expansión de la electricidad renovable en Texas y California, destacando la capacidad de las políticas diseñadas a medida para avanzar en el desarrollo del uso de la energía renovable; también habla de las dificultades de integración de la energía eólica en el marco del mercado actual. Christopher Jones (Capítulo 12) proporciona un análisis exhaustivo acerca de la aparición de las políticas sobre renovables en la Unión Europea, en un contexto de gran preocupación por el cambio climático y la seguridad de suministro. Describe los instrumentos regulatorios que se han adoptado y analiza algunas de las cuestiones clave que están surgiendo, como la relación de estos instrumentos con el Sistema de Comercio de Emisiones de la UE en el marco de la promoción de las energías renovables.

Los demás casos de estudio se refieren a tres países miembros de la UE. Michael Pollit (Capítulo 13) examina la política de energías renovables del Reino Unido en el contexto de su descarbonización total y su política energética. Explora el origen preciso del fracaso de la política sobre energías renovables en el Reino Unido y sugiere los cambios que mejor se pueden ajustar a su dotación de recursos y marco institucional. Hannes Weigt (Capítulo 14) habla sobre el desarrollo de la política de energía renovable y la implementación de la misma en Alemania. Examina las implicaciones de la política actual para el diseño del mercado y su desarrollo futuro, con una particular visión sobre la aportación creciente de la energía eólica. Finalmente, Luis Agosti y Jorge Padilla analizan el esquema regulatorio y la estructura de mercado que han hecho posible el rápido crecimiento del sector español de energías renovables en los últimos años y las consecuencias de este crecimiento para los mercados españoles de gas y electricidad. En particular se centran en el impacto que tiene el desarrollo a gran escala de la generación eólica sobre el funcionamiento y equilibrio del sistema, los precios mayoristas, la competencia y los incentivos a la inversión.

En la actualidad es ampliamente aceptado que una disminución mundial de las emisiones de CO₂ es técnicamente viable, y que las energías renovables tendrán un papel significativo a largo plazo a la hora de desarrollar el futuro del sistema energético. Hoy la pregunta relevante no es si las energías renovables deben ser apoyadas, sino más bien cómo aprovechar estas tecnologías para que puedan contribuir de manera efectiva y eficiente a los objetivos finales dirigidos a evitar un cambio climático grave.