

Un futuro energético duradero

Janet L. Sawin y William R. Moomaw

En 1992 Güssing era una ciudad moribunda, situada cerca de los herumbrosos restos del telón de acero, y capital de una de las comarcas más pobres de Austria. Nueve años después, Güssing se había transformado en una ciudad autosuficiente en energía, produciendo biodiésel a partir de cultivos locales de colza y de aceites usados, así como calor y electricidad solar, y vendiendo a la red nacional la potencia sobrante de una nueva planta de gasificación de biomasa. Esto atrajo a la ciudad nuevas industrias, creando más de 1.000 puestos de trabajo. Hoy en día, la población de Güssing no sólo disfruta de un nivel de vida mucho más alto, sino que ha reducido sus emisiones de carbono en más de un 90%.¹

Y Güssing no es el único caso. La isla danesa de Samsø y varias comunidades han conseguido transformaciones similares utilizando diversas combinaciones de innovaciones. Un creciente número de ciudades pequeñas está acometiendo una rápida transición hacia energías renovables bajas en carbono, y otras más grandes están intentando seguir sus pasos. Pero la mayor parte del mundo sigue apegado a unos combustibles fósiles contaminantes e intensivos en carbono, a pesar de su creciente coste económico y de los riesgos que entrañan para la

¹ William R. Moomaw es director del Center for International Environment and Resource Policy (Centro para la Política Internacional de Medio Ambiente y Recursos) en la Escuela Fletcher de la Universidad de Tufts.

salud humana, la seguridad nacional y el medio ambiente. Hasta hace poco los combustibles fósiles eran baratos y abundantes, lo que ha llevado a un uso ineficiente de los mismos. La multiplicación por diez del precio del petróleo durante la pasada década y las recientes subidas de precio del gas natural y del carbón significan que los combustibles fósiles han dejado de ser baratos. Además, la volatilidad de sus precios ha tenido efectos devastadores para muchas economías. Los combustibles convencionales de fácil obtención escasean cada vez más, pues los descubrimientos de nuevos yacimientos no bastan para cubrir la creciente demanda. Su extracción exige además acceder a recursos cada vez más remotos y aplicar métodos cada vez más drásticos, desde trasladar la cima de una montaña hasta calentar arenas bituminosas. La competencia por los combustibles fósiles está aumentando las tensiones internacionales, una tendencia que probablemente se agudizará con el tiempo. La urgencia de reducir la liberación de dióxido de carbono (CO_2) y de metano para evitar un cambio climático catastrófico ha centrado por fin la atención mundial en la necesidad de una reorientación rápida del suministro de servicios energéticos.²

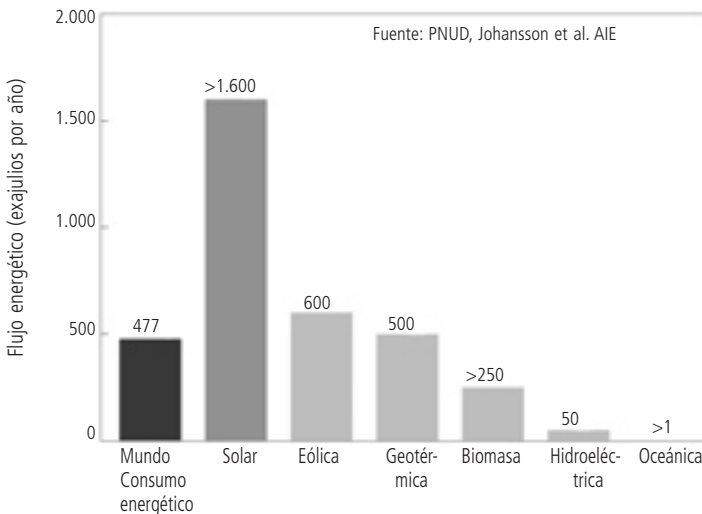
Los pronósticos energéticos ofrecen un rango muy amplio de estimaciones tanto de la medida como de la rapidez con que han de contribuir a ello las fuentes renovables. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) vaticinaba recientemente que la proporción de energía primaria mundial procedente de renovables se mantendría en un 13% entre 2005 y 2030. Pero de aplicarse las políticas nacionales que se están considerando actualmente, este porcentaje se elevaría al 17%, y las renovables podrían generar para entonces el 29% de la electricidad mundial. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) prevé que, con un precio de CO_2 equivalente de hasta 50 dólares por tonelada, las renovables podrían generar un 30-35% de la electricidad para 2030. Nuestro «futuro energético será en definitiva el resultado de las opciones que adoptemos, no del destino», como ha señalado una revisión de los escenarios energéticos globales.³

La transición hacia una menor dependencia de combustibles fósiles implica una doble estrategia: reducir la cantidad de energía consumida mediante mayor eficiencia energética y satisfacer la mayor parte de las necesidades a partir de fuentes renovables. La AIE calcula que será necesario invertir 45 billones de dólares, o una media anual del 1% de la producción económica mundial, desde hoy al 2050, para desenganchar al mundo de la dependencia del petróleo y reducir a la mitad las emisiones de CO_2 . Es imprescindible que la inmensa mayoría de estas inversiones se destinen a mejoras de eficiencia y a energías renovables.⁴

Las energías renovables proporcionan ya una importante proporción de la energía mundial. Las renovables, incluyendo grandes centrales hidroeléctricas, generaban en 2007 más del 18% de la electricidad mundial. Más de 50 millones de hogares utilizan la energía del sol para calentar el agua. Las energías renovables están distribuidas por todo el mundo, y también este tipo de tecnologías. Aunque gran parte de la potencia actual se encuentra en las regiones industrializadas, los países en desarrollo representan alrededor de un 40% de la potencia energética renovable y un 70% del agua caliente solar existente.⁵

Como se describe en este capítulo, actualmente se utiliza ya toda una serie de tecnologías renovables para producir electricidad y para satisfacer las necesidades de calefacción y refrigeración. Dichas tecnologías están disponibles y a punto para su aplicación a gran escala. La mayoría de ellas están experimentando ritmos de crecimiento anual muy elevados, oscilando en algunos casos entre el 20 y el 50%. El combustible para la mayoría de estas tecnologías una vez instaladas está disponible eterna y gratuitamente. El potencial técnico actual de recursos renovables es enorme, muchas veces el consumo energético actual del mundo. (Véase Gráfico 4-1).⁶

Gráfico 4-1. Consumo energético mundial en 2005 y potencial anual de energía renovable con las tecnologías actuales



Algunos analistas insisten en que puede ser necesario utilizar carbón, con métodos de captura y almacenamiento de carbono, o energía atómica para mitigar el cambio climático y satisfacer la creciente demanda energética. Pero ello sólo puede lograrse mediante las energías renovables y con medidas de eficiencia energética, pues las renovables son las únicas tecnologías disponibles actualmente que pueden conseguir las necesarias reducciones de emisiones a corto plazo. Un abastecimiento energético eficiente, aprovechando los flujos energéticos naturales, protegerá el clima, fortalecerá la economía, creará millones de nuevos empleos, ayudará a los países en desarrollo a reducir la pobreza, incrementará la seguridad personal y social en todos los países, reducirá las tensiones internacionales por los recursos y mejorará la salud de las personas y de los ecosistemas. Aunque este capítulo se centra en los países industrializados y en los mercados emergentes en rápido desarrollo, es importante no olvidar las necesidades de la población en las economías más pobres.

Una central eléctrica en cada edificio

En los edificios se utiliza alrededor del 40% de la energía mundial, y generan un porcentaje comparable de las emisiones causantes del calentamiento. Alrededor de la mitad de esta demanda es para necesidades de calefacción y agua caliente, estando asociado el resto con la producción de electricidad para iluminación, refrigeración, aparatos eléctricos y equipos de oficina.⁷

La disponibilidad de energía barata y fácilmente accesible ha permitido que los edificios modernos funcionen contra la naturaleza, en vez de colaborar con ella. Pero en los edificios existentes se puede reducir la demanda aislándolos adecuadamente, controlando las entradas de aire no deseadas y mejorando el funcionamiento de la calefacción y del agua caliente, la iluminación, la ventilación y el aire acondicionado. En los edificios de nueva construcción, un diseño integrado con medidas múltiples de eficiencia energética puede reducir el consumo energético al menos hasta la mitad de los convencionales, habiéndose conseguido mejoras de más de un 80%. La utilización de tecnologías de la información para gestionar funciones múltiples puede contribuir también a optimizar el uso de la energía.⁸

El potencial de ahorro es enorme. El carácter fragmentario de los códigos de edificación e iluminación ha supuesto que en Estados Unidos por ejemplo, se sigan construyendo edificios ineficientes y que no estén

disponibles tecnologías de uso común en Europa y Canadá. La India carece de códigos de eficiencia energética obligatorios para los edificios comerciales, y la mayoría de los contratistas desconocen cómo instalar aislantes. Pero también en la India se está empezando a construir edificios más ecológicos, y cerca de Delhi se está edificando una de las urbanizaciones comerciales verdes más grandes del mundo; se espera que supere las normas internacionales de comportamiento energético.⁹

La unidad energética se abarata a medida que mejora la eficiencia, de modo que los consumidores pueden elegir entre consumir más energía o gastarse el ahorro en otros bienes que también requieren energía. Esto se conoce como efecto «rebote» o efecto «fuga», y se mide por la diferencia entre el ahorro proyectado y el ahorro real resultante del incremento de eficiencia. La evidencia sugiere que en los países en desarrollo el efecto rebote puede ser del 100% o mayor, lo que significa que las mejoras en eficiencia no repercutirían en el mejor de los casos en el consumo energético. Sin embargo, en los mercados más maduros o más ricos, las mejoras de eficiencia de los equipos eléctricos originan un ahorro energético de entre el 60 y el 100% de los niveles proyectados. Algunos estudios en Estados Unidos han llegado a la conclusión de que el ahorro energético en los edificios comerciales —desde escuelas a torres de oficinas— ha sido con frecuencia mayor que los vaticinados. Los más prometedores son quizá los edificios más eficientes, que pueden llegar a un balance energético neto de cero.¹⁰

Un edificio de energía cero y carbono cero produce su propia energía in situ a partir de energías renovables y no emite nada de CO₂. La mayor parte de los edificios necesitarán un suministro energético externo para satisfacer demandas punta a determinadas horas del día, sin embargo, dichos edificios pueden alcanzar un balance energético cero si producen durante el año tanta energía como consumen. Y si importan energía renovable, sin emisiones de carbono, también pueden ser edificios de carbono cero. El Reino Unido ha decretado que todas las nuevas viviendas construidas a partir de 2016 y todos los edificios comerciales construidos a partir de 2019 tengan un balance de emisiones de carbono cero.¹¹

Desde el momento en que los edificios sean lo más eficientes posible, la demanda energética restante puede satisfacerse con energías renovables. La calefacción solar pasiva y el almacenamiento térmico de los edificios puede reducir de forma importante la necesidad de calefacción adicional, y una ubicación acertada de las ventanas y de la sombra del tejado puede reducir las necesidades de refrigeración. En muchos lugares, los colectores solares térmicos pueden suministrar

agua caliente y calefacción con una buena relación coste eficacia. Los módulos fotovoltaicos (FV) pueden ser integrados en los tejados e incluso en las fachadas de los edificios, siendo con frecuencia más baratos incluso que los recubrimientos tradicionales. Los FV ya son competitivos en términos de coste en horas de demanda punta en algunos lugares, pues compiten con el precio de la energía convencional pagado por los consumidores, no con el precio al por mayor de las empresas eléctricas. También son con frecuencia más baratos que tener que ampliar la red eléctrica o que utilizar generadores de gasóleo.¹²

El Instituto Casa Pasiva (Passivhaus Institute) de Alemania ha construido más de 6.000 viviendas que consumen alrededor de la décima parte de la energía utilizada en los hogares normales alemanes. Estos niveles bajos de demanda se consiguen mediante una buena orientación solar pasiva para calefacción e iluminación, unas luces y electrodomésticos eficientes, super-aislamiento y cierres ultra-herméticos en puertas y ventanas, así como ventiladores de recuperación de calor. A medida que disminuyen las demandas punta para iluminación, calefacción, ventilación y refrigeración, se reduce también el tamaño necesario de ventiladores, termos y otros equipamientos, proporcionando mayores ahorros.¹³

Son múltiples los beneficios de la generación local de energía procedente de diversos nodos o centros de producción distribuida. Las nuevas unidades de generación pueden incorporarse a la red de forma que los pequeños incrementos se ajusten oportunamente a la nueva demanda, sin requerir nuevas líneas de transporte y frecuentemente sin tendidos de distribución adicionales. Puesto que la energía se produce y se consume in situ, disminuye el transporte y la distribución de electricidad desde grandes centrales, reduciéndose las pérdidas, de forma que con menos generación se satisface la misma demanda. Los sistemas locales de energía termoeléctrica permiten capturar y utilizar el calor residual además de producir electricidad, proporcionando calor a edificios colindantes y reduciendo por tanto el consumo energético y las emisiones asociadas a su producción; la utilización de fuentes renovables de energía reduce aún más las emisiones.

Un sistema energético con múltiples nodos es más resiliente y más fiable, especialmente cuando la red eléctrica sufre cortes frecuentes por accidentes o por otros fallos. Disponer de unidades de producción de energía más numerosas aunque más pequeñas reduce la vulnerabilidad del sistema a perturbaciones importantes. Un estudio realizado tras un gran apagón que afectó en 2003 al nordeste de EEUU concluyó que, unos cuantos cientos de megavatios (MW) de FV producidos de for-

ma dispersa y situados estratégicamente por toda la región, hubieran reducido drásticamente el riesgo de cortes de luz. Los aerogeneradores podrían desempeñar un papel similar, situados a lo largo de los corredores de transporte, autopistas y vías del tren, como en algunas zonas de Dinamarca.¹⁴

Entre otras opciones de energía distribuida cabe citar las pilas de combustible, así como las centrales termoeléctricas alimentadas con biomasa sólida, biogas o biocombustibles líquidos, o las turbinas convencionales de gas natural; todas ellas producen también calor. El gobierno del Reino Unido prevé que mediante esta generación distribuida podría suministrar electricidad para un 40% de las viviendas británicas en 2050.¹⁵

Para beneficiarse plenamente de las ventajas de los sistemas interconectados sería preciso transformar los anticuados sistemas de transporte y distribución eléctrica actuales, dominados por una generación centralizada basada en grandes centrales. Una red dinámica «híbrida», dependiente de múltiples nodos de producción diversificada, muy parecida a internet, constaría de unidades de generación a partir de fuentes renovables y de unidades locales de ciclo combinado, de algunas centrales eléctricas grandes y de sistemas de almacenamiento de electricidad. El desarrollo de «redes inteligentes», utilizando tecnologías de la información para gestionar la oferta y la demanda, será también crucial para aprovechar plenamente el potencial de las renovables y de múltiples dispositivos distribuidos de almacenamiento (véase Cuadro 4-1).¹⁶

Muchas de las cuestiones técnicas de la interconexión de los sistemas de generación distribuida han sido ya abordadas en Europa, donde viviendas, explotaciones agrícolas y empresas producen una proporción significativa de la electricidad destinada a la red. La mayor parte de los problemas pendientes se deben a la normativa vigente. En muchos lugares las compañías eléctricas ejercen un control monopólico sobre la generación; en otros, los centros de generación distribuida han de abonar la electricidad que compran a la red a precios de minorista, mientras que se les paga a precios de mayorista —y en algunos casos nada— por la que ellos suministran a la red. El acceso a la red eléctrica y al mercado a través de tarifas preferenciales (a los productores locales se les abona un precio establecido por toda la electricidad renovable que producen) o de medición neta (se abona, generalmente a precio de minorista, el excedente de electricidad suministrado a la red) es crucial para la expansión de la energía distribuida y las renovables en general, permitiendo a éstas no sólo aumentar la oferta energética, sino sustituir con el tiempo a las fuentes de energía fósil existentes. Aunque la mayor

Cuadro 4-1. Construir una red inteligente

En la red eléctrica «torpe» actual, la información fluye sólo en una dirección, del consumidor a las compañías eléctricas, que intentan adaptarse a los cambios de demanda aumentando o disminuyendo la producción. Cuando las eléctricas no pueden responder a la demanda, se producen problemas en el sistema, como apagones. Kurt Yeager, antiguo presidente del Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (Electric Power Research Institute) de EEUU ha comparado la red actual, controlada por dispositivos electromecánicos, con «un ferrocarril que tarda 10 días en hacer un cambio de agujas».

Sin embargo, la era digital, que ha incrementado la demanda de electricidad y de sistemas eléctricos altamente fiables, nos permite cambiar actualmente a una red más rápida e inteligente. Será capaz de suministrar potencia de más calidad con un sistema de información de doble sentido, equilibrando la oferta y la demanda en tiempo real, suavizando los picos de demanda y haciendo que los clientes participen activamente en la producción y en el consumo de electricidad. La red inteligente permite un uso más eficiente de la potencia eléctrica existente y de las infraestructuras de transporte, reduciendo las pérdidas en los tendidos mediante una generación más local y distribuida. Una red inteligente puede gestionar mejor las fluctuaciones de potencia a medida que aumenta la proporción de electricidad generada a partir de recursos renovables, que variará cuando amaine el viento o las nubes cubran el sol. También permitirá que los vehículos eléctricos almacenen energía para utilizarla en el transporte o para venderla de nuevo a la red cuando haga falta.

Las tecnologías inteligentes —que incluyen contadores inteligentes, sistemas de control automatizados y sensores digitales— proporcionarán información en tiempo real a los consumidores sobre las tarifas, permitiéndoles ahorrar dinero y electricidad apagando en determinados momentos los aparatos eléctricos y hasta la calefacción o refrigeración de un edificio entero o la producción industrial, cuando los precios superen un nivel determinado o haya una caída en la generación de los grandes parques eólicos. Pueden ayudar a transferir el consumo a períodos de baja demanda, cuando las pérdidas de transporte sean más bajas y no estén funcionando las plantas menos eficientes y más contaminantes. Y permitirán a los controladores de la red prever y responder instantáneamente a posibles problemas. Los programas piloto de redes inteligentes han demostrado importantes ahorros para el consumidor y reducciones en la demanda.

Se prevé que faltan entre 10 y 30 años para el desarrollo pleno de las redes inteligentes, dependiendo de las políticas que se adopten. Pero muchos países y regiones ya han avanzado en esta dirección. La compañía Pacific Gas & Electric de California, por ejemplo, ha empezado a instalar 9 millones de contadores inteligentes para sus clientes. Holanda pretende disponer de un «nivel básico» de medición inteligente y sustituir los contadores de sus 7 millones de hogares para otoño 2012. Las redes inteligentes resultan más baratas que los sistemas convencionales para quienes empiezan de cero, y ya están ayudando a electrificar regiones del África subsahariana. La Agencia Internacional de la Energía prevé más de 16 billones de dólares en inversiones entre 2003 y 2030 para la instalación de redes inteligentes. Kurt Yeager considera que facilitar a los consumidores el acceso a los beneficios de la red inteligente «abrirá la puerta a una innovación empresarial que transformará la eficiencia y la fiabilidad de la electricidad y la calidad de los servicios incluso más allá de lo que hoy día» podamos imaginar.

Fuente: véase nota al final nº 16.

parte de la electricidad generada localmente no empleará tendidos de transporte, sí utilizará los sistemas de distribución locales. Una cuestión pendiente de solucionar es el nivel de pago por utilizar el sistema de distribución para cantidades relativamente pequeñas de electricidad de fuentes locales dispersas.¹⁷

Un modelo más inteligente de electricidad centralizada con fuentes renovables a gran escala

Las grandes centrales eléctricas seguirán siendo un elemento del sistema de suministro para aprovechar un recurso energético, o para satisfacer grandes demandas industriales o urbanas. Según el IPCC, la potencia de generación instalada en el mundo asciende actualmente a unos 2 millones de MW; se estima que el crecimiento de la demanda y la necesidad de reemplazar las centrales existentes exigirá 6 millones de MW adicionales para 2030, con un coste de 5,2 billones de dólares.¹⁸

En la actualidad la generación eléctrica representa el 44% de las emisiones de CO₂ y el 41% del consumo mundial de energía primaria —es decir el consumo total de energía, desde las minas de carbón hasta los electrodomésticos y otros «usos finales». Las centrales termoeléctricas transforman habitualmente sólo la tercera parte de la energía del combustible en electricidad; al menos un 5-10% de la electricidad se pierde además en el transporte, la distribución y los ajustes de voltaje. Los usuarios finales, como ordenadores y electrodomésticos, también son especialmente ineficientes, pudiendo precisarse 320 unidades de energía en una central eléctrica para producir 1 unidad de energía en forma de luz en una lámpara incandescente. La tecnología disponible hoy en día y la que se vislumbra en un futuro próximo puede revolucionar dichos sistemas, reduciendo espectacularmente las ineficiencias y las emisiones de carbono asociadas a ellas.¹⁹

Todos los países poseen grandes recursos en energías renovables. África es el continente que más tiene. Una superficie de menos del 4% del desierto del Sahara, por ejemplo, podría producir una cantidad de electricidad fotovoltaica igual a toda la demanda actual de electricidad en el mundo. Oriente Medio, la India, China, Australia y Estados Unidos también tienen enormes recursos solares. La energía eólica de China podría generar por si sola mucha más electricidad de la consumida en el país actualmente, y en Estados Unidos la energía eólica de unos pocos estados podría satisfacer la demanda total nacional

de electricidad. En todo el mundo existen también inmensos recursos de energía geotérmica, oceánica y de biomasa.²⁰

Actualmente las renovables proporcionan casi el 20% de la electricidad mundial. Aunque en su mayor parte procede de las grandes centrales hidroeléctricas, el porcentaje de otras fuentes renovables va en aumento, alcanzando ritmos de crecimiento que rivalizan con el de la industria de ordenadores y de teléfonos móviles. La energía eólica representó en 2007 el 40% de la nueva potencia instalada en Europa y el 35% en Estados Unidos. Las instalaciones acumuladas de fotovoltaica solar se han multiplicado por más de 5 en los últimos 5 años, si bien partiendo de una proporción pequeña. A medida que mejoran las economías de escala y que aumenta el coste de los combustibles convencionales, las renovables están empezando a resultar competitivas. En muchos mercados la electricidad eólica es más barata que la procedente de gas natural, y puede que compita con el carbón en China para 2015, o antes. La solar térmica compite actualmente en California con las centrales de gas destinadas a cubrir la demanda eléctrica en horas punta de consumo, y le falta poco para ser viable económicamente en China y en la India. Y los expertos prevén que la FV será competitiva sin subvenciones en gran parte del mundo en la próxima década.²¹

Pero a pesar de estos avances sigue existiendo un gran escepticismo: hay quienes afirman que las renovables no tienen suficiente potencia, o que están demasiado alejadas de los centros de demanda, que no pueden garantizar un mínimo abastecimiento o potencia básica —la mínima potencia necesaria para cubrir una demanda básica, que debe estar disponible las 24 horas del día durante todo el año—, que requieren un apoyo adicional del 100%, que no pueden satisfacer más que una pequeña parte de las necesidades energéticas mundiales, o que pasarán muchas décadas antes de que puedan desempeñar un papel importante en el abastecimiento energético. No cabe duda que las renovables se enfrentan a retos importantes para captar una cuota sustancial de mercado en el sistema eléctrico mundial en el plazo necesario, pero todos estos obstáculos son superables.

La generación a gran escala de renovables alejadas de los centros de población requiere nuevas infraestructuras de transporte, pero esto no es nada nuevo, aunque represente un problema. Estados Unidos, Egipto, Brasil, Canadá, China o Rusia transportan energía desde sus centrales hidroeléctricas a ciudades situadas a cientos de kilómetros, y para transportar la electricidad de las grandes instalaciones nucleares o de las centrales térmicas de carbón situadas cerca de las minas también fueron necesarios nuevos tendidos. A medida que aumente la potencia,

serán necesarias nuevas infraestructuras de transporte para todos los tipos de generación, y habrá que sustituir unas redes de suministro vulnerables y aquejadas por múltiples problemas.²²

Los nuevos tendidos eléctricos suscitarán protestas en muchos lugares y minimizar sus impactos sociales y ambientales requerirá indudablemente un análisis cuidadoso. Pero algunas tecnologías innovadoras, como las líneas de corriente continua de alto voltaje, permiten transportar electricidad de forma fiable a distancias enormes con menores pérdidas. Se han construido ya, por ejemplo, extensas redes de corriente continua para compensar la potencia eólica de Alemania y Dinamarca con la hidroeléctrica de Noruega. Varios países europeos están estudiando en la actualidad la posibilidad de establecer una gran red eléctrica para acceder a los enormes recursos de energía solar del Sahara en el Norte de África.²³

Según estudios realizados en Estados Unidos, extender la infraestructura de transporte para llevar energía eólica de las Grandes Praderas a los centros de población supondría grandes ahorros económicos netos para los consumidores, que se beneficiarían a largo plazo de los precios competitivos y estables de la eólica, compensando así el coste de los nuevos tendidos. Y algunos de los mejores recursos renovables no tienen necesidad de viajar lejos, pues por ejemplo, la solar en el sudoeste de EEUU y la eólica y la oceánica en las zonas costeras ofrecen a muchas ciudades la posibilidad de acceder a energías limpias, reduciendo al mismo tiempo la sobrecarga en la red y las pérdidas de transporte y mejorando la fiabilidad del suministro eléctrico.²⁴

Las energías renovables —incluyendo la biomasa, la geotérmica, la térmica oceánica y la hidroeléctrica— pueden proporcionar de hecho potencia básica a gran escala, y muchas de ellas lo están haciendo ya. Las nuevas plantas de concentración de energía solar construidas en España y en construcción en Estados Unidos pueden almacenar el calor en sales derretidas hasta un máximo de 7 horas, lo que les permite suministrar energía cuando hay demanda, maximizando la producción cuando tiene más valor, durante los tórridos mediodías y tardes del verano. El desarrollo de tecnologías energéticas oceánicas permitirá suministrar en las próximas décadas una potencia básica o muy previsible. Se están buscando opciones económicas para almacenar la energía eólica y la FV, permitiendo así generar electricidad muy valiosa incluso cuando no sople el viento ni haga sol.²⁵

Durante más de un siglo, el bombeo de agua y los grandes embalses hidroeléctricos han facilitado el almacenamiento de energía convencional, mejorando la estabilidad de la red y equilibrando la oferta y la

demanda. Y ahora lo hacen también para las renovables: en Alabama (Estados Unidos) y en Huntorf (Alemania) llevan funcionando desde hace años instalaciones que almacenan la energía en forma de aire comprimido en el subsuelo, y se están desarrollando sistemas de este tipo en otros lugares. Se utiliza energía barata para comprimir el aire, que posteriormente incrementa el rendimiento de las turbinas de gas natural durante los picos de demanda. Algunos estudios indican que el almacenamiento de aire comprimido permitiría a la energía eólica garantizar una potencia básica, y cualquier opción de almacenamiento con buena relación coste eficacia podría elevar hasta más de un 80% la participación de dicha energía en el sistema eléctrico. Se están logrando asimismo grandes avances en diversas tecnologías de baterías que ofrecen un gran potencial de almacenamiento, especialmente para vehículos eléctricos, que podrían revolucionar la forma de producir y de utilizar la electricidad en el mundo y permitir a las renovables desplazar al petróleo. La importancia de las tecnologías de almacenamiento va más allá de las renovables, permitiendo una mejor gestión de las demandas punta, asegurando una red más estable y mayor calidad energética, y reduciendo en algunos casos la necesidad de nuevas líneas de transporte.²⁶

Un mejor almacenamiento se considera el «Santo Grial» de las energías renovables. Pero incluso sin almacenamiento, las compañías eléctricas están empezando a reconocer que las fuentes renovables variables, como el sol o el viento, pueden proporcionar individualmente hasta un 20% de la electricidad, y más en algunos casos, sin problemas técnicos graves, a pesar de las variaciones de disponibilidad en cada momento, hora o estación del año. Hasta la fecha no ha sido necesaria una potencia adicional porque los sistemas existentes están diseñados para corregir rutinariamente variaciones en la demanda y apagones de centrales o de las líneas de transporte.²⁷

La incorporación a la red de nuevas instalaciones renovables modifica el grado —pero no el tipo— de variabilidad a la que se enfrentan las eléctricas a la hora de compaginar la oferta y la demanda. La capacidad de absorber cantidades más o menos grandes de electricidad de renovables más que por limitaciones técnicas viene determinada por impedimentos normativos y de mercado. La variabilidad e incertidumbre pueden incrementar los costes de producción, aunque generalmente en cantidades modestas, mientras que las reducciones generales de coste y de riesgos derivadas de la gratuidad del combustible de la mayoría de las renovables pueden ser importantes. Es preciso señalar asimismo que incorporar centrales convencionales a los sistemas existentes también

genera un coste, aunque la falta de estudios hace que sea imposible compararlos.²⁸

Dinamarca generó en 2007 el 21% de su electricidad a partir del viento, y ocasionalmente la potencia eólica abastece más del 100% de la demanda punta en algunas comarcas de Dinamarca occidental. Cuatro estados alemanes producían en 2007 más del 30% de su electricidad con energía eólica. En California las renovables representan más del 30% de la generación de algunas de las grandes compañías de distribución eléctrica. Las empresas han equilibrado la oferta y la demanda, interconectando las redes de abastecimiento de grandes regiones con diversidad de cargas y de recursos, bombeando agua para almacenar temporalmente la energía, dispersando las plantas de energías renovables por grandes zonas geográficas, y pronosticando la intensidad solar y la fuerza del viento varias horas o con un día de antelación. Estas técnicas de «redes eléctricas híbridas» ayudan a las compañías eléctricas a regular la oferta, pero existe algo más que pueden hacer para controlar la demanda: reducirla o desviarla de las horas punta.²⁹

A través de programas de gestión de la demanda, las empresas de distribución ayudan a sus clientes a asumir medidas de ahorro, eficiencia y reorientación del consumo para reducir la demanda o evitar los picos de consumo, desviándolo hacia horas en que la electricidad puede ser generada y transportada más eficientemente, evitando así la necesidad de nuevas centrales. Gracias a un programa que desacopló en 1982 los ingresos por transporte de las eléctricas de las ventas de energía, el consumo medio de electricidad per capita en California se ha mantenido casi constante durante 25 años, y es significativamente inferior al de un americano medio. Las mejoras en eficiencia permiten que las renovables desempeñen más rápidamente un papel más importante.³⁰

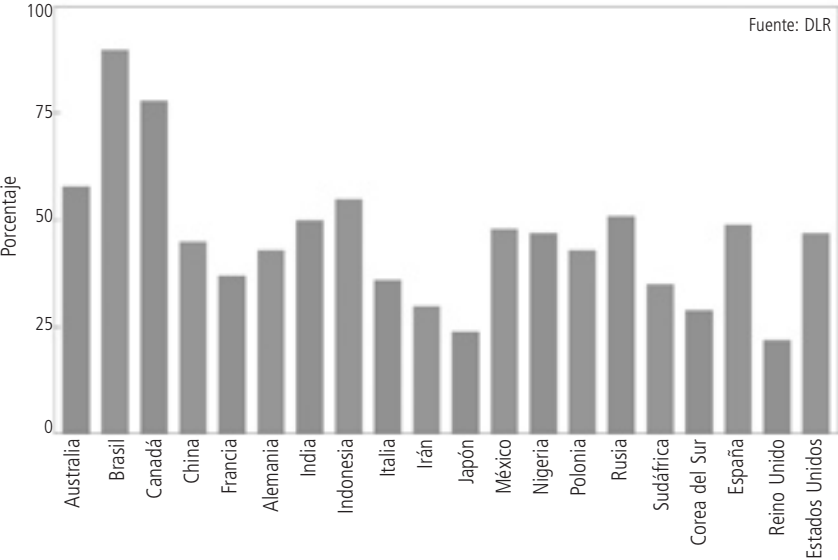
Liberar todo el potencial asociado a la eficiencia y a las renovables requerirá una red de distribución inteligente, moderna y más fiable, en la que líneas de baja tensión transporten la energía a (y cada vez más también desde) las viviendas, las oficinas y otras instalaciones. Las tecnologías de redes inteligentes que actualmente se están instalando en África, Asia, Europa, Estados Unidos y Nueva Zelanda, integrarán sin contratiempos las grandes centrales de todo tipo con las renovables, la generación distribuida, los vehículos eléctricos y las instalaciones de almacenamiento eléctrico, al tiempo que mejorarán la fiabilidad de la red. Mediante el control electrónico de la corriente eléctrica en tiempo real, las tecnologías inteligentes maximizan la capacidad de la infraestructura de distribución existente y minimizan la necesidad de almacenamiento y

de generación de apoyo, permitiendo a las redes absorber una potencia renovable ilimitada.³¹

La puesta en marcha de redes inteligentes híbridas exigirá rediseñar el funcionamiento de la industria eléctrica en gran parte del mundo, pero esta transformación es necesaria en cualquier caso para afrontar el cambio climático. En algunas eléctricas esta transición ya se está produciendo. La compañía eléctrica danesa DONG está reformando las centrales eléctricas convencionales, haciéndolas más flexibles, de forma que puedan reducir la producción o incluso apagarse cuando sopla suficiente viento. «En tiempos, la energía eólica no pasaba de ser un extra que añadíamos a nuestra producción normal». explica su Director Ejecutivo, Anders Eldrup. «En el futuro, el viento proporcionará buena parte de nuestra producción eléctrica base».³²

Un informe del Centro Aeroespacial Alemán (DLR) vaticina que para 2030 las renovables podrían generar por lo menos el 40% de la electricidad nacional en 13 de las 20 mayores economías (véase Gráfico 4-2). Es probable que la hidroeléctrica, la eólica y la biomasa consigan las mayores cuotas de mercado a corto y medio plazo, desempeñando

Gráfico 4-2. Porcentaje del suministro eléctrico que podría cubrirse con renovables en 2030 en las 20 mayores economías nacionales



la geotérmica, y especialmente la solar, un papel más importante a largo plazo. Para 2050 las renovables podrían aportar al menos el 50% de la potencia eléctrica nacional en las economías mayores del mundo, y hasta un 90% en algunos países. Algunas proyecciones van todavía más allá: según un estudio estadounidense, la energía solar podría proporcionar por sí sola el 69% de la electricidad del país para 2050, además de potencia suficiente para 344 millones de vehículos híbridos eléctricos.³³

Aprovechando el potencial de todas las energías renovables, el mundo puede prescindir de los combustibles fósiles en las próximas décadas, no sólo reduciendo la amenaza del cambio climático sino creando un sistema eléctrico más seguro y mucho menos contaminante. La Red de Generación Combinado (Kombikraftwerk), un proyecto que interconecta 36 instalaciones hidroeléctricas, eólicas, solares y de biomasa en todo Alemania, ha demostrado que la combinación de fuentes renovables y un control más eficaz pueden compensar las fluctuaciones de corta duración y suministrar electricidad de forma fiable a partir de fuentes 100% renovables. En una entrevista reciente sobre el futuro de la industria eléctrica, un veterano de 50 años de la industria eléctrica estadounidense, S. David Freeman, afirmaba «todavía tardaremos 25 o 30 años en cerrar progresivamente las centrales de carbón existentes y vivir en un mundo de renovables. Pero, como ejecutivo que ha dirigido algunas de las principales eléctricas, puedo deciros que no hay ninguna razón para que la industria eléctrica no sea totalmente renovable».³⁴

Calefacción y refrigeración con renovables

La calefacción y la refrigeración con renovables constituyen con demasiada frecuencia el dúo olvidado de las políticas energéticas y de cambio climático, a pesar de que representan un 40-50% de la demanda energética global. Un porcentaje importante de la energía proviene en este caso de los combustibles fósiles, proporcionada de forma ineficiente por electricidad o por combustión directa.³⁵

En épocas tan lejanas como la Edad del Bronce, la madera se utilizaba para transformar arena en cristal, extraer metales de las rocas y alimentar hornos para hacer bronce y cerámica. Se ha comprobado que en la antigua Pompeya se utilizaban aguas geotérmicas de alta temperatura para calentar los edificios, mientras que los griegos y los romanos capturaban el calor del sol para desempeñar esta misma función. Hoy día existen energías renovables y opciones de eficiencia que pueden satisfacer una amplia gama de las necesidades de agua caliente, calefacción y refrigeración, desde los sistemas de barrio o de viviendas

a los industriales de refrigeración y de aprovechamiento de calor a altas temperaturas (véase Tabla 4-1).³⁶

La calefacción solar ocupa el segundo puesto entre las renovables en términos de capacidad para satisfacer la demanda mundial, precedida por la energía eólica. China lidera el mundo en producción y utilización de sistemas térmicos solares, estimándose que el 10% de los hogares aprovecha el sol para calentar agua; Chipre, Israel y Austria ocupan los primeros puestos mundiales en términos de utilización individual. El agua caliente con energía solar es habitual en Israel gracias a una ley de 1980, que exigía su utilización en las nuevas viviendas. Existen actualmente sistemas solares híbridos térmico/fotovoltaicos que permiten capturar una gran cantidad del calor absorbido por las FV, refrigerando las placas y aumentando su eficiencia y calentando simultáneamente el agua de una vivienda. Uno de los primeros sistemas utilizados está ubicado en el tejado de un céntrico edificio de la Aldea Olímpica de Pekín.³⁷

La mayoría de los sistemas solares térmicos usuales se utilizan para calefacción y agua caliente en viviendas, aunque es enorme el potencial de algunos sistemas solares para satisfacer la demanda industrial de calor, particularmente a temperaturas bajas y medias (hasta 250° C), incluyendo sistemas similares a los calentadores solares de los edificios residenciales y los colectores de concentración de energía solar. A finales de 2007, unas 90 plantas solares térmicas proporcionaban calor para los procesos de fabricación de una gama muy amplia de industrias, desde químicas a desaladoras, así como del ramo textil y de alimentación. Las plantas de este tipo existentes en todo el mundo representan un porcentaje mínimo del potencial de calor industrial disponible sólo en Europa.³⁸

En toda Europa, en Estados Unidos y en otras regiones la gente está empezando a utilizar estufas de briquetas muy eficientes, y en algunos casos calderas alimentadas con biocombustibles líquidos, para satisfacer sus necesidades de calor. En Suecia los impuestos sobre energía y CO₂ impulsaron entre 1980 y 2005 una importante sustitución de los combustibles fósiles por biomasa para las calefacciones de barrio, reduciendo a menos de la tercera parte de su nivel en 1980 las emisiones de este sector. Austria y Dinamarca también dependen en gran medida de la biomasa para calentar las viviendas rurales y urbanas, así como para el sistema de calefacción de barrio. Polonia está sustituyendo el carbón por biomasa para cubrir sus necesidades de electricidad y calefacción. La biomasa puede sustituir directamente a los combustibles fósiles, y las modernas estufas de leña pueden convertir biomasa en calor con unos niveles de eficiencia de hasta el 90%.³⁹

Tabla 4-1. Alternativas a los combustibles fósiles para calefacción y refrigeración

Tecnología	Descripción	Dónde está disponible o es posible
Refrigeración por absorción	Utiliza una fuente de calor (como el sol o el calor residual en instalaciones de cogeneración) para refrigerar el aire mediante un proceso de evaporación; de pequeño tamaño o de grandes dimensiones	En cualquier parte
Calor de biomasa	El calor proviene de la combustión de biomasa, como madera o briquetas, para viviendas hasta centrales de grandes dimensiones	En cualquier lugar próximo a recursos de leña o biomasa sostenibles
Cogeneración (combinando producción eléctrica y de calor)	Centrales que producen electricidad y calor, para viviendas hasta centrales de grandes dimensiones	En cualquier parte
Concentración de energía solar térmica	Utiliza dispositivos ópticos que siguen el desplazamiento del sol, concentrando su calor en un punto para generar calor y vapor de agua a alta temperatura para procesos industriales y para producción de electricidad solar térmica	Necesita cielos despejados como en España, Norte de África, parte de China y la India, o el sudoeste de Estados Unidos
Calefacción (o refrigeración) de barrio	Distribución de calefacción y refrigeración desde una central de generación a través de una red de tuberías, para cubrir las necesidades residenciales y comerciales locales	Posible en cualquier ubicación urbana o recinto universitario con múltiples edificios
Energía geotérmica de alta temperatura	Vapor o agua caliente de origen geotérmico utilizado para agua caliente y calefacción de barrio, para calentar invernaderos, en acuicultura, spas y piscinas, y para usos industriales (y producción de electricidad térmica)	Regiones con volcanes activos o jóvenes en términos geológicos, incluyendo Islandia, el oeste de América del Norte y del Sur, Filipinas, Japón y África oriental
Bomba de calor del subsuelo poco profundo	Bomba que aprovecha el calor solar almacenado en el suelo o en las aguas subterráneas para proporcionar agua caliente, calefacción y refrigeración, para viviendas, hasta centrales de grandes dimensiones	En cualquier parte
Calefacción solar pasiva	Captura del calor solar mediante una adecuada orientación de los edificios y ubicación de las ventanas	En cualquier lugar donde se necesite calefacción
Refrigeración pasiva	Evita una absorción excesiva de calor diseñando edificios que reducen el calentamiento solar pasivo, por ejemplo evitando las superficies acristaladas y empleando ventilación pasiva	Regiones cálidas, especialmente las áridas
Refrigeración por agua de mar o de lagos	Aprovecha el frío permanente de las aguas profundas para proporcionar refrigeración (y agua fría) a los edificios a través de una red de tuberías	Requiere proximidad a recursos de agua fría (ríos profundos, lagos o costas)
Calefacción solar térmica	Utiliza el calor solar para proporcionar calefacción y agua caliente a edificios, así como calor y agua caliente a baja temperatura para procesos industriales	En cualquier parte

Le energía geotérmica tiene múltiples usos, desde calefacción y refrigeración hasta calentar invernaderos y fundir la nieve en carreteras y puentes. La energía geotérmica se utiliza para generación de electricidad, calefacción de barrio y procesos industriales como la producción de pasta de papel y papel en Estados Unidos, Filipinas, Francia, Islandia, Nueva Zelanda, Turquía y otros países con recursos de alta temperatura. Las bombas de calor, que aprovechan la energía solar almacenada en el suelo o en el agua como sumidero de calor en verano y como fuente de calor en invierno, pueden ser utilizadas prácticamente en cualquier emplazamiento. El mayor mercado de bombas de calor del mundo es Estados Unidos, con unos 60.000 sistemas instalados cada año.⁴⁰

Los edificios requieren generalmente calor y electricidad, por lo que se pueden diseñar unidades de cogeneración para producir ambos tipos de energía. Las plantas de cogeneración producen electricidad y capturan la energía calorífica residual para su utilización en industrias, ciudades o edificios independientes. Transforman entre el 75 y el 80% del combustible en energía útil, con eficiencias de más del 90% en las instalaciones más avanzadas. En consecuencia, incluso los sistemas de cogeneración tradicionales alimentados con combustibles fósiles pueden reducir las emisiones de carbono al menos en un 45%. En este tipo de sistemas se pueden utilizar también refrigeradores de absorción para refrescar los espacios, rebajando así más aún la demanda de electricidad. Las unidades de cogeneración a escala residencial se consiguen con facilidad desde hace años en Japón y en Europa, y han sido introducidas recientemente en Estados Unidos.⁴¹

Se han desarrollado también sistemas de refrigeración de barrio mediante agua de mar y lacustre para diversos climas, desde Kona en Hawai y Estocolmo en Suecia, pudiendo ahorrar más del 85% de la energía consumida por el aire acondicionado convencional. Las aguas frías del Lago Ontario proporcionan refrigeración de barrio a Toronto, en Canadá, enfriando más de 3,2 millones de metros cuadrados de edificios, evitando la emisión de 79.000 toneladas anuales de CO₂. Muchas de las grandes ciudades del mundo están situadas cerca de grandes masas de agua, que podrían ser aprovechadas para refrigeración. Y aunque pueda parecer paradójico, la energía solar también puede proporcionar refrigeración a través de la tecnología más antigua de aire acondicionado —refrigeración por absorción— con los mismos aparatos que proporcionan calor el invierno. Aunque estos sistemas todavía son relativamente caros, ya existen varios en funcionamiento incluyendo un sistema solar de refrigeración en Phitsanulok, Tailandia.⁴²

El almacenamiento barato de calor para un amplio rango de temperaturas y de períodos de tiempo puede incrementar de forma importante el potencial de los sistemas renovables. Existen ya varias opciones de almacenamiento con una buena relación coste/eficacia, particularmente en combinación con sistemas de barrio a gran escala. El excedente de calor del verano puede ser transferido a un dispositivo de almacenamiento subterráneo, por ejemplo, proporcionando calefacción y agua caliente durante el invierno.⁴³

Según la AIE «el agua caliente solar, la biomasa para calefacción industrial y de viviendas y las bombas de calor geotérmico tanto superficial como a gran profundidad, son algunas de las opciones más baratas para reducir las emisiones de CO₂ y la dependencia en combustibles fósiles. En muchos casos estas tecnologías suponen ahorros netos comparadas con los sistemas convencionales de calefacción en términos de costes de ciclo de vida». Sin embargo, estas tecnologías y fuentes renovables cubren actualmente tan sólo el 2-3% del total de la demanda.⁴⁴

A medida que sube el precio de los combustibles y los países reconocen el enorme potencial de las renovables, las actitudes han empezado a cambiar. Hasta la fecha, los países con más éxito han combinado diversas políticas para abordar las trabas a que se enfrentan las tecnologías renovables para calefacción y refrigeración. Entre ellos cabe citar la falta de conciencia pública, la necesidad de formar trabajadores y de educar a arquitectos y urbanistas sobre cómo integrar las renovables, unos costes iniciales elevados, el dilema «arrendatario-propietario» (cuando el propietario del edificio y quien lo habita no son la misma persona, y no se beneficia de la inversión el que la paga), y la necesidad de escala.⁴⁵

Pese a un clima nublado, Alemania es uno de los mayores mercados del mundo en energía solar térmica, gracias a una elevada conciencia pública sobre la tecnología y a las subvenciones gubernamentales a largo plazo a la inversión. El estado alemán de Baden Württemberg exige que todos los proyectos de construcción de nuevas viviendas incorporen sistemas renovables para cubrir al menos el 20% de sus necesidades de agua caliente y de calefacción, y el gobierno federal establece que a partir del 1 de enero 2009 todos los edificios nuevos cubran con energías renovables al menos el 15% de sus necesidades de calefacción. En España es obligatoria desde 2006 la instalación de sistemas solares para todos los edificios nuevos o rehabilitados, y Hawai exigirá calentadores solares de agua en todas las nuevas viviendas a partir de 2010.⁴⁶

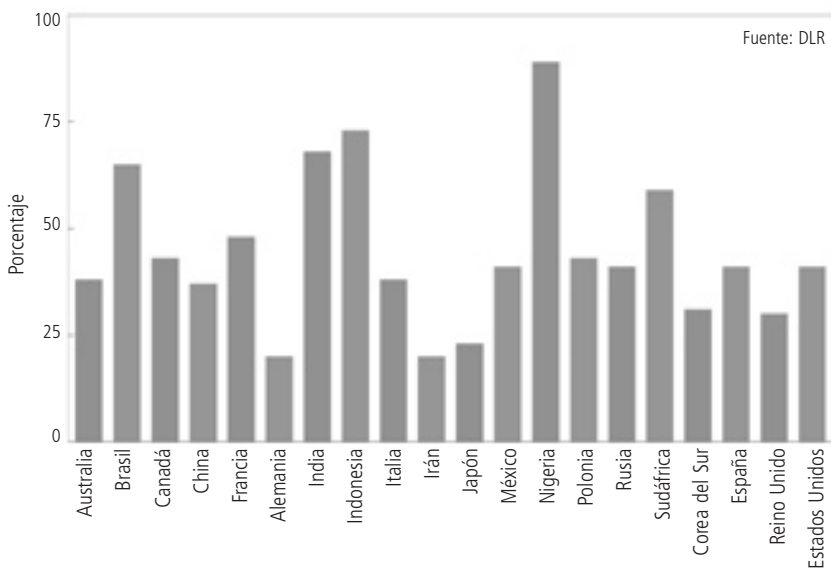
El Centro Aeroespacial Alemán (DLR) prevé que 12 de las economías mayores del mundo podrían cubrir con renovables al menos el 40% de sus necesidades de calefacción para 2030, lo que representa

un incremento importante de los porcentajes actuales de casi todos los países (véase Gráfico 4-3). Según estimaciones de DLR y de REN21, el porcentaje de renovables en la mayoría de estos países podría superar el 60%, suministrando al menos el 70% de la calefacción en algunos países.⁴⁷

Ni despilfarro, ni carencia

En la naturaleza los residuos de un proceso proporcionan nutrientes para otro. Nada se desaprovecha. La Humanidad funciona, sin embargo, de manera muy diferente. Por ejemplo, la mayoría de las centrales eléctricas del mundo convierten calor en energía mecánica y en electricidad; en este proceso, alrededor de dos tercios de la energía primaria que alimenta las plantas se libera al entorno en forma de calor. En Europa las pérdidas de la generación eléctrica son tan grandes que su captura y reconducción podría cubrir toda la demanda regional de calor mediante sistemas de calefacción de barrio. El calor es sólo una de las formas de

Gráfico 4-3. Porcentaje de calefacción que podría cubrirse con renovables en 2030 en las 20 mayores economías nacionales



derroche que podría aprovecharse para aumentar espectacularmente la energía útil sin quemar más combustibles fósiles.⁴⁸

Un estudio de 2005 del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, de Estados Unidos examinaba 19 tecnologías para recuperar energía a distinta escala del calor residual, del estiércol, de los desechos de la industria alimentaria, de las emisiones gaseosas de los vertederos, de las aguas residuales, de los diferenciales de presión en las conducciones de gas y de vapor, de las fugas de las conducciones de combustible, de las antorchas gaseosas industriales y de numerosas fuentes adicionales. Sólo en Estados Unidos representan un potencial técnico de generación rentable de casi 100.000 MW de potencia eléctrica, además de vapor y calor útil, suficiente para suministrar alrededor del 19% de la electricidad consumida por el país en 2002.⁴⁹

Algunos de estos «desechos» ya están siendo aprovechados en todo el mundo. Por ejemplo, en el norte de Europa se utiliza mucho la cogeneración de calor y de electricidad, liderando Dinamarca, Finlandia y Rusia la producción nacional. Finlandia cubre alrededor de la mitad de sus necesidades con sistemas de calefacción de barrio, alimentados principalmente con plantas de cogeneración. En la ciudad estadounidense de Saint Paul (Minnesota), District Energy suministra electricidad, calor y refrigeración a sus clientes, cubriendo un 70% de sus necesidades de combustible con residuos locales de madera.⁵⁰

La industria petroquímica, de vidrio, de metal y otras industrias pesadas de todo el mundo tienen un enorme potencial de aprovechamiento del calor residual a través de la cogeneración y mediante la captura y reutilización «en cascada» del calor para usos que requieren temperaturas más bajas. Mittal Steel, en la orilla sur del lago Michigan en Estados Unidos, captura el calor liberado a elevadas temperaturas por sus 250 convertidores de producción de coque para sus altos hornos; esta energía calorífica, que antes se perdía, produce actualmente 93 MW de electricidad además de vapor útil. Esta operación le permite a Mittal ahorrar 23 millones de dólares y evitar la emisión de 5 millones anuales de toneladas de CO₂.⁵¹

En China las industrias intensivas en energía representan casi la mitad de su consumo energético. Casi el 30% de los grandes hornos para fabricación de acero y la mayoría de las fábricas de cemento de este país no capturan o reutilizan el calor residual, por lo que el potencial de ahorro es enorme. China ha sido denominada por ello «la Arabia Saudita del calor residual». Un alto horno de Baosteel genera 192.000 kilowatios-hora de electricidad al día, suficiente para cubrir las necesidades medias de consumo de más de 43.000 chinos a partir del

calor residual. Y en China oriental, las calderas y hornos convencionales están siendo sustituidos gradualmente por plantas de cogeneración, suministrando calor a parques industriales e instalaciones residenciales agrupados en torno a las fábricas.⁵²

Los digestores anaeróbicos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno para producir biogás para cocinar, para el transporte o para generar electricidad, además de producir un compost de alta calidad utilizado como fertilizante. Los biodigestores alimentados principalmente con estiércol animal están muy extendidos en toda la India, Nepal, China y Vietnam, suministrando un combustible barato además de reducir la contaminación y las enfermedades ocasionadas por los residuos no tratados. A mayor escala, docenas de municipios de Suecia transforman las aguas negras en biogás para el transporte; el biogás también se utiliza como combustible del transporte en Austria, Francia, Alemania y Suiza.⁵³

Las grasas y los aceites usados pueden transformarse en gasóleo renovable y en combustible para aviones, pudiendo distribuirse a través de las conducciones existentes. Cualquier material que contenga carbono, oxígeno e hidrógeno —incluyendo residuos de construcción, papel, plástico, madera y restos de jardinería—, puede transformarse hoy en día en algún tipo de combustible para motores, con el beneficio adicional de prolongar la vida de los vertederos. Para muchas de estas tecnologías el desafío consiste en obtener suficiente capital para ampliar y producir a escala comercial.⁵⁴

Las algas pueden transformar en biomasa hasta un 80% del CO₂ liberado por las centrales de carbón y de gas natural, aunque esta tecnología se encuentra todavía en las primeras etapas de su desarrollo. Las algas pueden ser utilizadas como combustible en las centrales eléctricas, o transformarse en bioetanol, biodiésel o biogás, proporcionando piensos con un alto valor proteico para el ganado o la acuicultura. Pueden cultivarse en aguas contaminadas o salinas, en tierras yermas o en instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Las algas requieren mucha menos agua que la mayoría de los cultivos para biocombustibles, su producción por hectárea es varias veces mayor, y pueden ser muy productivas incluso en regiones desérticas. Cosechar y procesar las algas es un proceso intensivo en energía, pero permite «quemar dos veces el carbono», proporcionando energía adicional por cada unidad de CO₂ emitida, y es una alternativa al almacenamiento físico a largo plazo del dióxido de carbono.⁵⁵

Utilizar la energía más eficientemente puede reducir aún más las emisiones. La iluminación representa, por ejemplo, el 19% del consumo

de electricidad del mundo. Sin embargo, las tecnologías disponibles hoy día, como las lámparas compactas fluorescentes y los diodos emisores de luz, podrían reducir a la mitad el consumo eléctrico para iluminación. Siendo realistas, es factible suprimir la tercera parte al menos del consumo mundial de electricidad para iluminación simplemente cambiando las bombillas, lo que ahorraría dinero y evitaría unos 450 millones de toneladas de emisiones de CO₂. Reducir el despilfarro en la producción y en el uso de la energía permite suministrar más servicios energéticos con menores emisiones de dióxido de carbono.⁵⁶

Ampliar la escala de las renovables

Algunos expertos opinan que sólo las grandes instalaciones, como las centrales nucleares, las hidroeléctricas a gran escala y las grandes térmicas de carbón con captura y almacenamiento de carbono pueden satisfacer unas necesidades mundiales de energía en rápido crecimiento. Se argumenta que la producción de energías renovables tiene una escala demasiado pequeña y está demasiado dispersa, no pudiendo contribuir al abastecimiento energético más que de forma muy modesta. Pero la experiencia de las renovables en Alemania y en otros lugares demuestra todo lo contrario, como se describe en este capítulo.

Además, los grandes proyectos no pueden producir energía hasta después de haber concluido su construcción, lo cual puede llevar mucho tiempo. Conviene recordar, por ejemplo, que una instalación de generación de 1.000 megavatios tarda aproximadamente 10 años en construirse. Si todo va bien y funciona a pleno rendimiento en el undécimo año producirá casi 8,8 millones de megavatios-hora de electricidad ese año. Consideremos el hipotético caso de que al mismo tiempo se comience a construir una unidad modular capaz de producir la décima parte de electricidad anual que dicha gran instalación, pero que empezará a producir electricidad a finales del primer año. Este proceso se repetiría todos los años hasta la construcción de 10 unidades modulares que entrarían en producción sucesivamente a lo largo de los 10 años. Si cada una de ellas funciona a pleno rendimiento, a finales del undécimo año las unidades modulares habrán producido casi 5 veces la energía generada por la gran instalación en su primer año de operación, generando la misma cantidad anualmente a partir de entonces.

Las ventajas de los módulos pequeños para aumentar la escala productiva, incluso en el caso de los combustibles fósiles, están más que demostradas. Casi toda la potencia termoeléctrica introducida durante

los últimos 10 años en Norte América proviene de turbinas de gas natural por varias razones: son sumamente eficientes, su coste por unidad es bajo debido a las economías de escala, y puede producirse con rapidez en módulos de 50-100 MW e instalarse en menos de un año. Una instalación rápida significa que un coste financiero bajo y una producción adecuada e inmediata de electricidad. Los incentivos creados en el proceso de liberalización también han fomentado la instalación de este tipo de unidades.⁵⁷

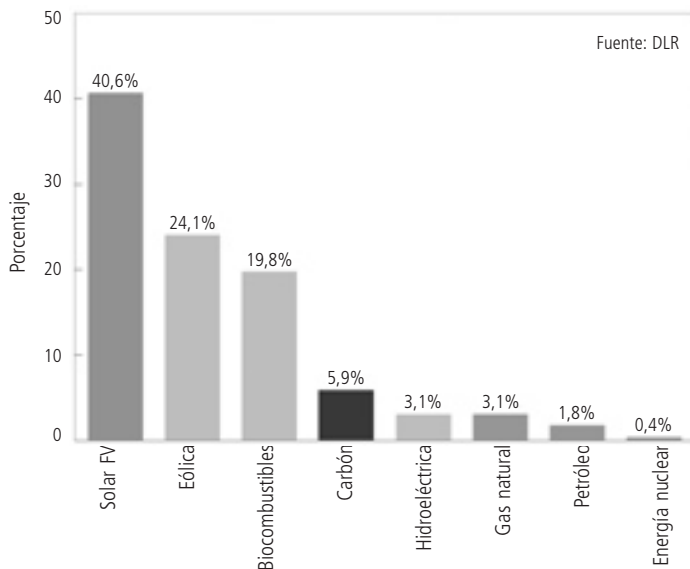
La magnitud de la evolución requerida es inmensa, pero alcanzable. En 2007 la energía eólica era la mayor fuente de nueva potencia en Europa y la segunda, precedida sólo por el gas natural, en Estados Unidos. A nivel mundial, la nueva potencia solar fotovoltaica superó incluso la potencia nuclear de nueva instalación ese año. Y las renovables siguen avanzando: por ejemplo, una nueva tecnología FV introducida en 2007 evita tener que utilizar silicio como materia prima y podría reducir los costes un 75%, permitiendo aumentar el ritmo de producción.⁵⁸

Cada vez más países se están sumando al proceso de transición hacia las renovables, prometiendo imprimir un ritmo de crecimiento incluso mayor a la fabricación y la demanda de este tipo de instalaciones. Los fabricantes indios de aerogeneradores están comprando a los proveedores europeos y norteamericanos y desembarcando en sus mercados, y se encuentran en la actualidad entre los primeros productores e instaladores mundiales de turbinas eólicas. En 2004 China apenas estaba presente en el mercado de la eólica, pero en 2007 se situaba en el tercer lugar, después de Estados Unidos y España, en nuevas instalaciones. De forma similar, en 2003 China fabricaba 9 MW de células FV, el 1% del total mundial, mientras que según algunas estimaciones en 2007 las compañías chinas superaban ya a las japonesas y europeas y habían pasado a liderar el mundo en producción solar FV. En 2010 China podría representar las dos terceras partes de la producción mundial.⁵⁹

Los actuales ritmos de crecimiento indican que las instalaciones eólicas, solares y de biomasa pueden ser fabricadas a ritmos comparables a los de los proyectos de grandes centrales eléctricas convencionales (véase Gráfico 4-4). Entre 2002 y 2007 la fotovoltaica creció a una media anual de más del 40% y el crecimiento medio de la eólica superó el 24%. Los ritmos de crecimiento anual de la FV y de la eólica se han acelerado en los últimos años. De continuar este ritmo de crecimiento, aprovechar el viento generará más electricidad que todas las centrales nucleares para 2020.⁶⁰

Grandes empresas de este tipo han tenido éxito en el pasado. Los proyectos estadounidenses de obras públicas tras la Gran Depresión,

Gráfico 4-4. Ritmo de crecimiento medio anual de los recursos energéticos en el mundo, 2002-07



el gran número de aviones y buques construidos para las dos guerras mundiales, y el enorme número de automóviles fabricados anualmente confirman que es posible aumentar a buen ritmo la escala de las renovables. Es cuestión de determinar las prioridades y que exista voluntad política para establecer políticas eficaces y a largo plazo que respalden una nueva economía energética. Los recursos y potencialidades están ahí. Según un cálculo, si las dos terceras partes de la producción de camiones en EEUU se reorientara a la producción de aerogeneradores, sólo en este país se podrían fabricar anualmente unos 100.000 MW de potencia eólica, el total acumulado instalado en el mundo a principios de 2008.⁶¹

Por supuesto, para abandonar los combustibles fósiles será necesario disponer de energía. Esta es una de las razones para aprovechar el final de la vida útil de plantas obsoletas para reemplazarlas por tecnologías renovables (véase Cuadro 4-2). Al sustituir las infraestructuras existentes, debería recuperarse la mayor cantidad posible de la energía contenida en el hormigón y el acero, reciclando los materiales.⁶²

Cuadro 4-2. Sustituyendo las centrales térmicas obsoletas

Casi todas las tecnologías que consumen y generan energía tienen ciclos naturales de renovación del capital inmovilizado, que oscilan desde 3-4 años para los ordenadores a 10-20 años para los vehículos y 50-150 años para los edificios. Las centrales térmicas se benefician en cambio de ampliaciones de su vida útil. Sus componentes se degradan a ritmos diferentes, por lo que van sustituyéndose cuando sea necesario a no ser que exista una normativa que limite su vida útil. Algunos de los componentes de una central pueden tener 40 años y otros tan sólo 2, por lo que las empresas se vuelven reacias a «jubilar» las plantas.

Las térmicas que fueron construidas en Estados Unidos con anterioridad a un año determinado no tienen que cumplir las normas de calidad del aire de no ser que hayan sido «renovadas considerablemente». Por tanto, las eléctricas se aferran a sus centrales viejas e ineficientes, realizando las mejoras mínimas necesarias para mantenerlas en funcionamiento durante el máximo tiempo posible. En consecuencia, la eficiencia media de las térmicas de carbón estadounidenses es sólo del 33% y su promedio de edad es superior a los 40 años. La situación es parecida en los países que son grandes productores y grandes consumidores de carbón, como China, la India, Indonesia, Australia y Rusia.

A las economías que logren reducir su consumo eléctrico les resultará relativamente fácil cerrar las plantas más viejas, menos eficientes y con mayores emisiones a medida que baje la demanda. Las que tienen una demanda estable deberán decidir qué plantas cierran cuando éstas envejezcan o se queden obsoletas, y qué tecnologías las reemplazarán. Es posible que las economías en rápida expansión y con mucha potencia de reciente construcción no sustituyan este tipo de plantas durante algún tiempo, pero tendrán que adoptar una decisión sobre futuras demandas adicionales. A medida que necesiten más potencia, deberían construir nuevas centrales bajas en carbono —de generación de renovables distribuida o centralizada—, evitando incrementar su dependencia de los combustibles intensivos en carbono. Para acelerar la clausura de las centrales más viejas en todo el mundo es preciso que los gobiernos fijen fechas límite y que proporcionen incentivos para su cierre progresivo.

Fuente: véase nota al final nº 62.

Construir un elevado número de nuevas instalaciones eólicas, solares, geotérmicas y de biomasa y otros sistemas renovables requerirá también grandes cantidades de energía. Pero los períodos de retorno energético de las renovables disminuyen a medida que aumenta su eficiencia. Ya son relativamente cortos, entre 3 y 8 meses para un aerogenerador (dependiendo del viento) y de 1 a 5 años para los actuales paneles FV (dependiendo del tipo de célula y de su ubicación), con una vida útil de unos 30 años. Una vez instaladas, la mayoría de las tecnologías renovables funcionan sin necesitar más energía para extraer y transportar combustible.⁶³

Por último, las mejoras de eficiencia energética espectaculares y el equilibrio entre oferta y demanda que son necesarios y posibles hoy día, significan que en los próximos años debería acelerarse la sustitución de los generadores eléctricos existentes por unidades más pequeñas, capaces de suministrar servicios energéticos similares con menos energía.

Perder las malas costumbres

El cambio a un sistema energético sostenible basado en la eficiencia y en las energías renovables, requiere sustituir por completo un sistema complejo. ¿Será posible realizar a tiempo esta transformación para evitar las peores consecuencias del cambio climático? La experiencia de varias comunidades y países es esperanzadora. Algunos de los procesos de transición más rápidos han tenido lugar en el ámbito local, como el ocurrido en Güssing. Muchas ciudades están desarrollando medidas innovadoras para financiar las renovables y ampliar sus mercados. Y varios países están demostrando también que la transformación puede realizarse rápidamente y a escala nacional.

Alemania no tenía prácticamente industria de energías renovables a principios de la década de 1990, y parecía improbable que pasase algún día a ocupar un lugar de vanguardia en estas tecnologías. Sin embargo, en una década este país se ha convertido en el líder mundial del sector, a pesar de que sus recursos renovables son una pequeña parte de los disponibles en otras regiones. En el año 2000 la electricidad de fuentes renovables representaba en Alemania poco más del 6,3% del consumo total. Seis años más tarde, esta potencia industrial —el mayor exportador del mundo— generaba más del 14% de su electricidad a partir de renovables, situándose muy por delante de los objetivos oficiales para 2010. El rápido ritmo de crecimiento y los beneficios asociados —desde nuevos empleos e industrias a mejoras ambientales— llevaron al gobierno a establecer objetivos más ambiciosos en 2007. Actualmente, la meta de Alemania es generar con renovables el 30% de la electricidad del país para 2020 y el 45% para 2030, lo que significa que éstas serían la fuente más importante de potencia en las próximas décadas.⁶⁴

La experiencia de Alemania demuestra que es posible realizar un cambio rápido, con una orientación clara y políticas eficaces. Y Alemania no es el único ejemplo. En Dinamarca el ahorro energético ha crecido un 75% desde 1980, mientras que su producción de renovables había aumentado del 3 al 17% a mediados de 2008. El objetivo danés es obtener el 20% de la energía total de fuentes renovables para 2011 y el

30% para 2030. Costa Rica, Islandia, Noruega, Nueva Zelanda y Suecia aspiran a ser neutras en carbono en cuestión de décadas, apostando por la eficiencia y las energías renovables.⁶⁵

¿Cómo sería un futuro energético sin emisiones o bajo en carbono? Y ¿cómo podrían hacer la transición países con una población mucho más elevada que Nueva Zelanda o Islandia y que consumen mucha más energía que Alemania? Estados Unidos, por ejemplo, tiene mil veces más habitantes que Islandia y consume más de la quinta parte de la energía mundial.⁶⁶

Imaginemos que estamos en 2030 y que todos los edificios de Estados Unidos tienen unas emisiones de carbono cero, el objetivo actual del American Institute of Architects. Una proporción elevada de los edificios habrían sido reformados, dotándoles de mejores aislantes, puertas y ventanas. Y todos los edificios utilizarían la iluminación y los aparatos eléctricos más eficientes disponibles. Como prevé el Passivhaus Institute y han demostrado ya otros edificios muy eficientes, el modesto remanente de suministro energético necesario para muchos edificios puede ser producido in situ con renovables o con sistemas altamente eficientes. Además, las industrias pueden reducir espectacularmente su consumo energético evitando el despilfarro y reutilizando el calor en cascada de un proceso a otro, generando más energía útil a partir de la misma cantidad de combustible. El ahorro energético y económico resultante en 2030 sería enorme, creando miles de nuevos empleos locales.⁶⁷

La mayoría de los edificios y de las fábricas seguirían estando conectados a la red eléctrica, pero una red inteligente moderna y fiable permitiría a las compañías eléctricas equilibrar el flujo de la oferta y la demanda en tiempo real. La combinación de una red inteligente, generación distribuida y almacenamiento de energía —incluyendo vehículos eléctricos que se cargan cuando sale el sol en viviendas y aparcamientos recubiertos de paneles FV, o de noche cuando sopla el viento— permitirían que incluso las renovables más variables generasen un porcentaje muy alto de la electricidad de EEUU.

Según un informe de 2008 del Departamento de Energía de EEUU, para 2030 el viento podría suministrar el 20% de la electricidad en EEUU (suponiendo que la demanda eléctrica estadounidense aumente un 39% para esa fecha). Como resultado, las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero serían significativamente menores. Se crearían decenas de miles de nuevos empleos y las economías rurales prosperarían, a medida que los parques eólicos generasen nuevas rentabilidades para los propietarios de terrenos e ingresos fiscales para las comunidades locales. Suponiendo que los precios de los combustibles

fósiles permanecen estables durante este período (una presunción improbable), una generación eólica del 20% costaría en 2030 menos de 0,06 céntimos por kilovatio-hora, es decir unos 50 céntimos de dólar mensuales para un hogar medio.⁶⁸

Todavía no se han realizado estudios rigurosos para otras tecnologías renovables, pero existe un enorme potencial de incremento mediante un sistema híbrido de generación eléctrica que incluya energía eólica, solar, geotérmica, biomasa, hidroeléctrica a pequeña y a gran escala y finalmente energía oceánica. Según un estudio de 2007, las mejoras de eficiencia combinadas con energías renovables podrían reducir las emisiones de carbono de EEUU para 2030 entre un 33 y un 44% por debajo de los niveles actuales. Una mayor eficiencia podría lograr un 57% de las reducciones necesarias; las renovables aportarían el resto, generando aproximadamente la mitad de la electricidad de los EEUU. Y este estudio no consideraba la posibilidad de almacenar energía, o líneas altamente eficientes para transportar electricidad a largas distancias, ni se incluía la energía oceánica ni la calefacción de renovables.⁶⁹

Estados Unidos es muy rico en recursos renovables, pero muchos otros países también lo son, y cada país de la Tierra cuenta con una gran diversidad de fuentes de energía renovable a las que puede recurrir. Algunas de las economías con crecimiento más rápido tienen importantes recursos: China, la India y Brasil tienen, por ejemplo, un inmenso potencial solar, eólico, de biomasa y de otros recursos renovables.⁷⁰

Es preciso acelerar el proceso de transición en marcha para que el mundo pueda evitar un cambio climático catastrófico y un futuro económico incierto. Las experiencias positivas han de ampliar su escala, y será preciso compartir estrategias entre los diferentes países, sin que las fronteras nacionales supongan sean un obstáculo. Es importante comprender que los países se encuentran en etapas distintas de desarrollo, y que deben adecuar sus políticas a los recursos disponibles, adaptando las tecnologías a sus necesidades específicas. Pero al mismo tiempo, existen varios cambios claves a nivel normativo y de políticas que de aplicarse en todo el mundo, podrían reorientar el rumbo de la humanidad, evitando con ello los peores impactos del cambio climático.

Poner un precio al carbono y aumentarlo progresivamente sería un primer paso crucial. Para incentivar un proceso de transición eficaz, la mayor parte de los ingresos generados a corto plazo puede redirigirse a ayudar a particulares o a empresas para que puedan adaptarse a unos precios más altos, mientras incorporan y mejoran las tecnologías que sea preciso. En la década de 1990 Dinamarca empezó a cobrar impuestos por las emisiones de carbono de la industria, subvencionando innova-

ciones ambientales con los ingresos recaudados. Al mismo tiempo, el gobierno realizó importantes inversiones en energías renovables. El impuesto motivó a la industria a dejar de utilizar combustibles intensivos en carbono, mientras que los avances en renovables proporcionaban una alternativa viable. Las emisiones de CO₂ per capita habían descendido en Dinamarca en 2005 casi un 15% con respecto a los niveles de 1990. Pero el precio mundial por tonelada de carbono tendrá que aumentar considerablemente antes que se hagan realidad en todo el mundo los cambios e inversiones necesarios, y será preciso superar los obstáculos normativos con políticas que estimulen la revolución necesaria.⁷¹

Serán cruciales para reducir el crecimiento de la demanda unas políticas que empiecen por atajar el despilfarro energético e incrementar la eficiencia. Será necesaria una combinación de incentivos financieros, como préstamos a bajo interés y desgravaciones fiscales para comprar tecnologías renovables y de ahorro energético, además de unas normas de eficiencia cada vez más estrictas sobre iluminación y aparatos eléctricos. Es preciso también eliminar los obstáculos a la generación distribuida y a la cogeneración, establecer normas para mejorar el comportamiento energético de los edificios y favorecer que la iluminación, calefacción y refrigeración de los espacios sea de fuentes renovables. Establecer para los edificios en venta un sistema de calificación energética, como han hecho algunos países europeos, alentaría una mejora constante de las estructuras existentes. Formar a los arquitectos, al sector de la construcción y a los inspectores es fundamental también para un diseño y construcción de edificios más eficientes. Las mejoras en eficiencia reducirán el consumo de energía, proporcionando asimismo ahorros económicos durante todo el ciclo de vida.⁷²

Las normativas deben fomentar la innovación y motivar a los grandes intereses para que aceleren la transición en vez de luchar por el mantenimiento del *status quo*. Es preciso que los gobiernos hagan más rentable la inversión de las eléctricas en renovables y en eficiencia que en la construcción de nuevas centrales de combustibles fósiles, o incluso en el mantenimiento de las centrales obsoletas. Durante la próxima década se agotará técnicamente la vida útil de muchas centrales de los países industrializados, y será crucial asegurarse que son sustituidas por alternativas renovables. Algunos países están empezando a eliminar gradualmente las subvenciones al carbón o incluso su consumo —la provincia de Notario (Canadá) por ejemplo, tiene previsto dejar de quemar carbón para 2014—, pero otros tienen en cambio grandes proyectos de construcción de nuevas centrales de carbón. Será crucial minimizar su número y aprobar políticas que animen a los países industrializados y a los que

están experimentando un rápido crecimiento, a apostar por nuevas vías de desarrollo. Los gobiernos también deben colaborar con las empresas de servicios públicos para mejorar la red eléctrica de forma que pueda distribuir energía procedente de diversas tecnologías de generación, tanto distribuida como centralizada, aprovechando las posibilidades que ofrecen las tecnologías de la información para la gestión de la demanda. De lo contrario no sería posible aprovechar todo el potencial de las energías renovables ni muchas medidas de eficiencia energética.⁷³

Como demuestra la experiencia alemana, las políticas de creación de mercados de energías renovables pueden impulsar un cambio espectacular y rápido. Las tarifas alemanas para fomentar las renovables, que confieren acceso preferencial a la red y aseguran un mercado y precios mínimos garantizados a largo plazo para las energías renovables, han reducido los riesgos de las inversiones logrando hacer rentable la inversión en tecnologías renovables y facilitando la obtención de financiación. Esta política ha generado casi 300.000 empleos, un apoyo público sólido y amplio a las energías renovables, nuevas y vigorosas industrias y reducciones importantes de las emisiones de CO₂, todo ello con un coste equivalente a una hogaza de pan mensual para el hogar medio alemán. Se calcula que el comercio de emisiones redujo en 2007 las emisiones del país en 9 millones de toneladas; la normativa de tarifas de introducción de renovables a la red evitó aproximadamente 79 millones de toneladas de emisiones de CO₂ y está considerada la principal política de protección del clima de Alemania. Varios estudios han determinado que este tipo de normativa es la opción más eficaz y eficiente económicamente para fomentar la generación de electricidad renovable. Siguiendo el ejemplo de Alemania, más de 40 países, estados y provincias han aprobado variantes de esta normativa.⁷⁴

Aunque la legislación de tarifas de introducción de renovables a la red y otras políticas que incentivan la inversión privada en investigación y desarrollo (I+D) pueden desempeñar un papel fundamental en el avance de la tecnología, también es importante el I+D público. Según la Agencia Internacional de la Energía, la financiación en I+D destinada a tecnologías bajas en emisiones, entre otras la eficiencia energética y las renovables, disminuyó un 50% entre 1980 y 2004. Y este tipo de tecnologías sigue recibiendo un porcentaje relativamente bajo de los fondos para I+D. En Estados Unidos, por ejemplo, los gastos de I+D en tecnologías energéticas ascendieron a un total de 11.500 millones de dólares entre 2002 y 2007, pero de ellos sólo el 12% fue asignado a las renovables. La inmensa mayor parte se destinó a la energía atómica y a los combustibles fósiles.⁷⁵

Uno de los pasos más importantes que pueden dar los gobiernos para mejorar los mercados de la energía y abordar el cambio climático es eliminar las subvenciones a las tecnologías y combustibles convencionales. Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, las subvenciones mundiales a la energía se acercan actualmente a 400.000 millones de dólares anuales, destinándose la inmensa mayoría a los combustibles fósiles. Se calcula que eliminar estas subvenciones a los combustibles fósiles podría reducir las emisiones mundiales de CO₂ al menos un 6% entre el 2000 y 2010, dando un pequeño impulso a la economía global. Algunos análisis recientes demuestran que el 96% del aumento anual de consumo energético tiene lugar en países en desarrollo, que subvencionan la energía a precios muy por debajo de los del mercado mundial.⁷⁶

De igual manera que la transición hacia las renovables y una utilización más eficiente de la energía ha transformado Güssing y otras ciudades, reformar la economía energética global generará importantes cambios en las economías nacionales y en la sociedad. Las renovables y las mejoras en eficiencia proporcionan energía con poca o ninguna contaminación, asegurando que el aire y el agua estén más limpios, los ecosistemas mejor conservados y las generaciones futuras más sanas. Generan empleos, pues según estimaciones prudentes, unos 2,3 millones de personas en todo el mundo trabajan hoy en día directamente en las tecnologías renovables, o indirectamente en la industria de proveedores. Y algunos de los recursos renovables más importantes están en las regiones más pobres del mundo. En una importante conferencia sobre energías renovables celebrada en Bonn, Alemania, en junio 2004, los delegados de varios países africanos afirmaron que sus países no podrían desarrollarse sin energías renovables. Los recursos renovables están ampliamente distribuidos, son fiables y seguros, y nunca se librarán guerras por el acceso al viento o al sol. Mientras los precios de los combustibles fósiles siguen aumentando, los de las energías renovables bajarán a medida que sigan avanzando las tecnologías y que aumenten las economías de escala.⁷⁷

Los espectaculares y rápidos cambios que son necesarios para crear esta nueva economía pueden parecer desalentadores, pero no hay que olvidar que el mundo experimentó hace un siglo una revolución energética de dimensiones comparables. Poco después de que Thomas Edison mejorase la bombilla eléctrica, algunos escépticos le criticaban con comentarios como el siguiente, del presidente del Stevens Institute: «Cualquiera que esté familiarizado con el tema reconocerá que es un fracaso manifiesto». Sólo el 8% de los hogares estadounidenses

tenía electricidad en 1907. Henry Ford había producido unos 3.000 vehículos en su fábrica en sólo cuatro años, no introduciendo hasta 1908 el Modelo T, producido en serie. Muy pocos de quienes suministraban a las ciudades gas para iluminación o que abastecían al amplio mercado de carricoches de caballos, se sintieron entonces amenazados por el inminente cambio. ¿Quién hubiera imaginado que a mediados del siglo xx prácticamente todos los hogares americanos —y millones más en todo el mundo— tendrían electricidad e iluminación, que el automóvil redefiniría el estilo americano de vida, y que la economía se transformaría radicalmente como resultado?⁷⁸

Cambiamos rápidamente de escena, pasando a 2009. Sin considerar la energía hidroeléctrica, las renovables generan menos del 4% de la electricidad mundial, y sólo un pequeño porcentaje de la utilizada en calefacción y refrigeración. Estamos empezando a construir edificios con emisiones de carbono cero, y los vehículos híbridos enchufables y los coches eléctricos de alto rendimiento están siendo presentados en sociedad. Sin embargo, ¿quién puede imaginarse cómo transformará la economía de mediados del siglo XXI la utilización más eficiente de la energía y unas fuentes de energía renovable eficaces en términos de costes, y en qué medida limitarán la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera? Estamos ante la oportunidad del siglo para llevar a cabo una transformación desde una economía insostenible, alimentada por combustibles fósiles muy mal repartidos, hacia una economía duradera y segura que funciona con energías renovables y puede durar eternamente.⁷⁹

2. Robert Pollin et al., *Green Recovery: A Program to Create Good Jobs and Start Building a Low-Carbon Economy* (Washington, DC, y Amherst, MA: Center for American Progress y Political Economy Research Institute, septiembre de 2008).

3. Lester Brown, *Time for Plan B: Cutting Carbon Emissions 80 Percent by 2020* (Washington, DC: Earth Policy Institute, 2008); Clayton B. Cornell, «The World's Most Fuel Efficient Car: 285 MPG, Not a Hybrid», *Gas 2.0*, 12 de marzo de 2008.

4. McKinsey Global Institute, *Productivity of Growing Global Energy Demand: A Microeconomic Perspective* (noviembre de 2006); Joshua Zimbrun, «The Most Energy-Efficient Countries», *Forbes.com*, 7 de julio de 2008.

5. Nick Hodge, «Renewable Energy in Africa: Some Like It Hot», *Energy & Capital*, 13 de agosto de 2007; «Solar Thermal Electric Power Plants Throughout MENA» (blog), *After Gutenberg*, 28 de septiembre de 2007.

6. Hank Green, «China's Wind Power Set to Hit 100 Gigawatts», *EcoGeek*, 18 de julio de 2008; Global Wind Energy Council, «U.S, China and Spain Lead Global Wind Markets in 2007», nota de prensa (Bruselas: 6 de febrero de 2008); E. B. Boyd, «Tomorrowland: An Eco-smart Urban Design Competition Turns 'What Ifs' into 'What Is'», *Utne Reader*, septiembre-octubre de 2008; Jeffery Greenblatt, «Clean Energy 2030», *Google.com*, 1 de octubre de 2008.

7. U.N. Environment Programme (UNEP), «The Billion Tree Campaign Enters a Second Wave», en www.unep.org/billiontreecampaign; UNEP, «Communities, Corporations and Countries Deliver on Planting of One Billion Trees», nota de prensa (Nairobi: 28 de noviembre de 2007); «Planting a Billion Trees Campaign Is Launched by United Nations Environment Programme», página Web de Horizon Solutions, 9 de noviembre de 2006.

8. Paul Hawken, *Blessed Unrest* (Nueva York: Viking Press, 2008).

Capítulo 4. Un futuro energético duradero

1. Austrian Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology, «Model Region Güssing», *Forschungsforum 1/2007* (Viena: 2007); Jonathan Tirone, «'Dead-end' Austrian Town Blossoms with Green Energy», *Bloomberg News*, 28 de agosto de 2007; Elizabeth Kolbert, «The Island in the Wind: A Danish Community's Victory Over Carbon Emissions», *The New Yorker*, 7 de julio de 2008.

2. Ciudades más grandes, de –por ejemplo– Janet L. Sawin y Kristen Hughes, «Emerging Cities», en Worldwatch Institute, *State of the World 2007* (Nueva York: W.W. Norton & Company, 2007), pp. 90–107; multiplicación por diez del precio del petróleo, de U.S. Energy Information Administration (EIA), «Petroleum Navigator», en tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/hist/rwtcM.htm, visitada el 27 de septiembre de 2008.

3. International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2007* (París: 2007); «Summary for Policy Makers», en Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change* (Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2007), p. 13; Jan Hamrin, Holmes Hummel, y Rachel Canapa, *Review of Renewable Energy in Global Scenarios*, realizado para la IEA (San Francisco: Center for Resource Solutions, 2007), p. i.

4. IEA, *Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Strategies to 2050* (París: 2008), p. 39.

5. REN21, *Renewables 2007 Global Status Report* (París y Washington, DC: REN21 Secretariat y Worldwatch Institute, 2008), p. 6.

6. Índices de crecimiento, de *ibíd.*, p. 7. Gráfica 4–1 de los siguientes: energías renovables, basadas en U.N. Development Programme (UNDP), *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability* (Nueva York: 2000), y en T. B. Johansson et al., «The Potentials of Renewable Energy: Thematic Background Paper», International Conference for Renewable Energies, Bonn, Alemania, 2004; el consumo mundial de energía es un dato de 2005, de la IEA, op. cit. en nota 3, p. 4.

7. U.N. Environment Programme (UNEP), International Environmental Technology Centre, *Energy and Cities: Sustainable Building and Construction* (Osaka, Japón: 2003), p. 1.

8. La mitad o menos, de U.S. Department of Energy (DOE), Energy Efficiency and Renewable Energy, «Technology Fact Sheet: Resources for Whole Building Design», GHG Management Workshop, 25–26 de febrero de 2003, p. 11; 80%, de James Read, director adjunto de Arup Communications, en «Deeper Shades of Green», *Design E2*, U.S. Public Broadcasting System, verano 2006; tecnología de la información, de Kurt Yeager, director ejecutivo de Galvin Electricity Initiative, e-mail a Janet Sawin, 2 de septiembre de 2008.

9. Movimiento verde de Delhi, de William Moomaw y Charles Bralber, *Scaling Alternative Energy: The Role of Emerging Markets, Dialogue Synthesis Report* (Medford, MA: The Fletcher School, Tufts University, 2008).

10. Países en vías de desarrollo, de Chris Goodall, «The Rebound Effect», *Carbon Commentary*, 11 de noviembre de 2007, en www.carboncommentary.com/2007/11/11/51, y de Steve Sorrell, «The Rebound Effect: Overview of Existing Research», UK Energy Research Centre, University of Strathclyde, Glasgow, presentación powerpoint, 28 de febrero de 2008; mercados más ricos, de Frank Gottron, *Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?* (Washington, DC: Congressional Research Service, 30 de julio de 2001); estudios de caso en EEUU, de Jonah Bea-Taylor, «Beating the Energy Efficiency Paradox» (blog), Rocky Mountain Institute, mayo de 2008, en www.rmi.org.

11. Department for Environment, Food, and Rural Affairs, *UK Climate Change Programme: Annual Report to Parliament* (Londres: julio de 2008), p. 11.

12. Más barato para la construcción de las fachadas, de Steven Strong, «Solar Electric Buildings: PV as a Distributed Resource», *Renewable Energy World*, julio-agosto de 2002, p. 171; horas punta de demanda, de IEA, *Renewables for Power Generation: Status and Prospects* (París: 2003), p. 19; más barato que el diésel, de Satish Kumar, U.S. Agency for International Development, ECO-III Project in India, presentación en el Energy Efficiency Global Forum, Washington, DC, 14 de noviembre de 2007.

13. «Information on Passive Houses», en www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passivehouse.html, visitada el 30 de julio de 2008.

14. Richard Perez et al., «Solution to the Summer Blackouts? How Dispersed Solar Power-Generating Systems Can Help Prevent the Next Major Outage», *Solar Today*, julio/agosto de 2005; Richard Perez, Atmospheric Sciences Research

Center, State University of New York at Albany, e-mail a Janet Sawin, 3 de octubre de 2006; Dinamarca, de la experiencia personal de Janet Sawin, diciembre de 2000.

15. Gobierno del Reino Unido, de Fiona MacDonald, «Turning Our Homes into Power Stations», *Sunday Metro*, 4 de agosto de 2008.

16. Cuadro 4-1 de los siguientes: Kurt Yeager, executive director, Galvin Electricity Initiative, e-mails a Janet Sawin, 3 de agosto de 2006, 2 de septiembre de 2008, y 12 de septiembre de 2008, y conversación con Janet Sawin, 25 de mayo de 2007; John Carey, «A Smarter Electrical Grid», *Business Week*, 11 de enero de 2008; Mark MacCracken, presidente de CALMAC Manufacturing Corporation, presentación en el Energy Efficiency Global Forum & Exposition 2007, 11-14 de noviembre de 2007; Energy Future Coalition, «What Is a Smart Grid, and Why Is It Important?» en www.energyfuturecoalition.org/preview.cfm?catID=57, visitada el 29 de julio de 2008; «A Wise Grid», *EnergyBiz Insider*, 11 de mayo de 2007; Pacific Gas and Electric, de Marc Gunther, «Making the Dumb Grid Smarter», *RenewableEnergyWorld.com*, 29 de octubre de 2007; Países Bajos, de James Griffin, «Smart Metering: Slowly, but Surely», *UtiliPoint International*, 4 de abril de 2007; Michael Setters, «Focus on European Smart Grids», *RenewableEnergyWorld.com*, 9 de abril de 2008.

17. Aspectos técnicos tratados en Europa, de Xavier Lemaire, «Regulation and Distributed Generation», Sustainable Energy Regulation Network/Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership, presentación para el ERRR Integration Workshop, Budapest, 6 de julio de 2007, en www.rec.org/REEEP/workshops/distributed_generation/lemaire_regulation_and_distributed_generation.pdf; pago de la electricidad, de «Combined Heat and Power Petition», The Construction Centre, agosto de 2008, en www.theconstructioncentre.co.uk/news/latest-news/combined-heat-and-power-petition.html.

18. B. Metz et al., «Energy Supply», en IPCC, op. cit. en nota 3.

19. Porcentajes de consumo de electricidad y emisiones, de ibíd.; conversión de un tercio, de EIA, DOE, «How Electricity is Generated», noviembre de 2007, en www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/sources/electricity.html#Generation; pérdidas, de World Bank, *World Development Report 1997* (Nueva York: Oxford University Press, 1997), y de Seth Dunn, *Micropower The Next Electrical Era*, Worldwatch Paper 151 (Washington, DC: Worldwatch Institute, 2000), p. 46; bombillas incandescentes, de D. Cleland, *Sustainable Energy Use and Management, Proceedings of the Conference, People and Energy, How Do We Use It?* (Christchurch: Royal Society of New Zealand, 2005), pp. 91-102.

20. Vijaya Ramachandran, «Power and Roads for Africa», (Washington, DC: Center for Global Development, marzo de 2008), p. 9; Sáhara, de Schott Solarthermie GmbH, citado en Ryan O'Keefe, vicepresidente de Solar Development, FPL Energy, LLC, Texas Solar Forum, Austin, 24 de abril de 2008; Oriente Medio y otros lugares, de Fred Morse, Asesor de U.S. Operations, Abengoa Solar, para la retransmisión por internet de «Concentrating Solar Power: What Can Solar Thermal Electricity Deliver, and at What Price?», 26 de junio de 2008; la eólica en China es un cálculo de Worldwatch basado en un potencial de 3.200 gigavatios, según la China Meteorological Administration, citada en Zijun Li, «China's Wind Energy Potential Appears Vast», *Eye on Earth* (Worldwatch Institute), 2 de

noviembre de 2005, y en «Installed Electric Capacity Reaches 713m Kilowatts», *ChinaDaily.com*, 14 de enero de 2008; eólica en EEUU, de Janet L. Sawin et al., *American Energy: The Renewable Path to Energy Security* (Washington, DC: Worldwatch Institute y Center for American Progress, 2006), p. 26; enormes recursos, de UNDP, op. cit. en nota 6, y Johansson et al., op. cit. en nota 6.

21. REN21, op. cit. en nota 5, p. 6; European Wind Energy Association (EWEA), «Wind Energy Leads EU Power Installations in 2007, But National Growth Is Inconsistent», nota de prensa (Bruselas: 4 de febrero de 2008); Ryan Wiser y Mark Bolinger, «Annual Report on U.S. Wind Power Installation, Cost, and Performance Trends: 2007», realizado para DOE, mayo de 2008, p. 4; el cálculo de la fotovoltaica es de Worldwatch, basado en datos de Paul Maycock y Prometheus Institute, *PV News*, varios números, y de Travis Bradford, Prometheus Institute, conversación con Janet Sawin, 29 de abril de 2008; Michael Kanellos, «Can Wind Energy be Cheaper than Regular Power?» *CNET.com*, 14 de agosto de 2007; Stephanie Busari, «U.S., China Lead Way in Tapping Wind Power», *CNN.com*, 29 de julio de 2008; solar térmica en California, de Rainer Aringhoff, presidente de Solar Millennium LLC, para la retransmisión en internet de «Concentrating Solar Power: What Can Solar Thermal Electricity Deliver, and at What Price?», 26 de junio de 2008; China y la India, de David R. Mills y Robert G. Morgan, «A Solar-Powered Economy: How Solar Thermal Can Replace Coal, Gas and Oil», *Renewable Energy World*, 3 de julio de 2008; el DOE espera que la fotovoltaica sea competitiva con la potencia base en Estados Unidos para el 2015, según David Rodgers, Subsecretario Adjunto de Eficiencia Energética, DOE, presentación en la comisión «New Approaches to Environmentally Conscious Building Envelope Design and Technologies», en el Energy Efficiency Global Forum & Exposition 2007, 11-14 de noviembre de 2007; precio de la fotovoltaica en Europa y otros lugares, de Ashley Seager, «Solar Future Brightens as Oil Soars», (Londres) *The Guardian*, 16 de junio de 2008.

22. DOE, Energy Efficiency and Renewable Energy, *20% Wind Energy by 2030: Increasing Wind Energy's Contribution to U.S. Electricity Supply* (Washington, DC: 2008), p. 93; EWEA, *Large-Scale Integration of Wind Energy into the European Power Supply: Analysis, Issues and Recommendations* (Bruselas: diciembre de 2005), p. 6.

23. Tecnologías innovadoras, de IEA, *Variability of Wind Power and Other Renewables: Management Options and Strategies* (París: junio de 2005), p. 41; sobre la corriente continua véase, por ejemplo, New Energy, «Grid Connection of Offshore Windparks», en www.newenergy.org.cn/english/guide/offshore-1.htm; Robin McKie, «How Africa's Desert Sun Could Bring Europe Power», (Londres) *Observer*, 2 de diciembre de 2007.

24. Grandes Praderas, de un estudio del Midwest Independent Service Operator, citado en Ken Silverstein, «Cleaning the Transmission Process», *Renewable EnergyWorld.com*, 14 de julio de 2008, y de Electric Reliability Council of Texas, citado en Michael Goggin, «Texas Study: Benefits of Wind Transmission Outweigh Costs», *Renewable EnergyWorld.com*, 11 de abril de 2008; energía solar en el Sudoeste de EEUU, de Aringhoff, op. cit. en nota 21; recursos oceánicos, de OCS Alternative Energy and Alternate Use Programmatic EIS Information Center, U.S. Department of the Interior, «Offshore Wind Energy», en ocsenergy.anl.gov/guide/wind/index.cfm.

25. Ken Zweibel, James Mason, y Vasilis Fthenakis, «A Solar Grand Plan: By 2050 Solar Power Could End U.S. Dependence on Foreign Oil and Slash Greenhouse Gas Emissions», *Scientific American*, enero de 2008, p. 69; energía oceánica, de Sawin et al., op. cit. en nota 20, p. 33.

26. Richard Baxter, «A Call for Back-Up: How Energy Storage Could Make a Valuable Contribution to Renewables», *Renewable Energy World*, septiembre de 2007; «Cities to Store Wind Power for Later Use: Iowa Project Would Compress Air in Underground Caverns», *Associated Press*, 4 de enero de 2006; Electricity Storage Association, «Technologies & Applications: CAES», en www.electricitystorage.org/tech/technologies_technologies_caes.htm; David Marcus, «Moving Wind to the Mainstream: Leveraging Compressed Air Energy Storage», *RenewableEnergyWorld.com*, 1 de octubre de 2007; aire comprimido y eólica, de Roger Peters con Linda O'Malley, *Storing Renewable Power* (Calgary, Canadá: Pembina Institute, 2008), pp. 11–12; José Etcheverry, *Developing Renewable Energy to their Full Potential Through Smart Grids and Storage Options* (Vancouver, Canadá: David Suzuki Foundation, sin fecha).

27. DOE, op. cit. en nota 22, p. 77; Edgar A. DeMeo et al., «Wind Plant Integration: Advances in Insights and Methods» (borrador 5), 7 de julio de 2007; IEA, op. cit. en nota 23, p. 42; Edgar A. DeMeo et al., «Accommodating Wind's Natural Behavior: Advances in Insights and Methods for Wind Plant Integration», *IEEE Power & Energy Magazine*, noviembre/diciembre de 2007, p. 60.

28. EWEA, op. cit. en nota 22, p. 18; DeMeo et al., «Accommodating Wind's Natural Behavior», op. cit. en nota 27; Hannele Holttinen et al., «State-of-the-Art Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power, Summary of IEA Wind Collaboration», presentado en la European Wind Energy Conference 2007, Milán, Italia, 7–10 de mayo de 2007, p. 10.

29. EWEA, «Strategic Overview of the Wind Energy Sector», 2008, en www.ewea.org/index.php?id=195; James Kanter, «Denmark Leads the Way in Green Energy—To a Point», *International Herald Tribune*, 21 de marzo de 2007; German Wind Energy Institute, «Windenergie in Deutschland—Aufstellungszahlen für das Jahr 2007», en www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/31.12.07/presseanhang_2007%20.pdf; Pacific Gas and Electric, «2008 Renewables», en www.pge.com/renewableRFO; DeMeo et al., «Accommodating Wind's Natural Behavior», op. cit. en nota 27, p. 67; J. Charles Smith y Brian Parsons, «What Does 20% Look Like? Developments in Wind Technology and Systems», *IEEE Power & Energy Magazine*, noviembre/diciembre de 2007, p. 24.

30. Sheryl Carter, Devra Wang, y Audrey Chang, «The Rosenfeld Effect in California: The Art of Energy Efficiency», Natural Resources Defense Council, 2006, en www.energy.ca.gov/commissioners/rosenfeld_docs/rosenfeld_effect/presentations/NRDC.pdf.

31. «BPL Global Enters Joint Venture with BPL Africa to Expand Smart Grid Footprint», nota de prensa (Pittsburgh, PA: 29 de mayo de 2008); la India, de Phillip Bane, «Major Smart Grid Projects Announced», *SmartGridNews.com*, 17 de junio de 2008; Europa, de James Griffin, «Smart Metering: Slowly, but Surely», UtiliPoint International, 4 de abril de 2007; Arc Innovations, «Arc Innovations Begins Christchurch Network Rollout», nota de prensa (Christchurch, Nueva Ce-

landa: 28 de junio de 2007); «Xcel Energy Announces Smart Grid Plan for City of Boulder», *Clean Edge News*, 13 de marzo de 2008; integración sin contratiempos, de Kurt Yeager, director ejecutivo de Galvin Electricity Initiative, «Facilitating the Transition to a Smart Electric Grid», declaración en el House Subcommittee on Energy and Air Quality, 3 de mayo de 2007; control de la corriente, de Yeager, op. cit. en nota 8.

32. Leila Abboud, «Thar She Blows: DONG's Wind Woes» (blog), *Wall Street Journal*, 11 de marzo de 2008.

33. Gráfica 4-2 de Wolfram Krewitt et al., *Renewable Energy Deployment Potentials in Large Economies*, realizado para REN21 (Stuttgart, Alemania: Institute of Technical Thermodynamics, German Aerospace Center (DLR), 2008), pp. 8, 18-37; REN21, *Renewable Energy Potentials, Summary Report* (París: 2008), pp. 14-15; Zweibel, Mason, y Fthenakis, op. cit. en nota 25, pp. 64-73.

34. Enercon GmbH, SolarWorld AG y Schmack Biogas AG, «The Combined Power Plant—The First Stage in Providing 100% Power de Renewable Energy», nota de prensa (Berlín: 9 de octubre de 2007); «Background Paper: The Combined Power Plant» (sin fecha), en www.kombikraftwerk.de/fileadmin/downloads/Background_Information_Combined_power_plant.pdf; Dave Gilson, «Power Q&A: S. David Freeman», *Mother Jones*, 21 de abril de 2008, en www.motherjones.com/interview/2008/05/interview-s-david-freeman.html.

35. O. Langniss et al., *Renewables for Heating and Cooling: Untapped Potential* (París: Renewable Energy Technology Deployment, IEA, 2007), p. 15.

36. John Perlin, *A Forest Journey: The Role of Wood in the Development of Civilization* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1991); Pompeya, de Geothermal Education Office, «Geothermal Energy», powerpoint, financiado por el Departamento de Energía de EEUU, sin fecha; John Perlin, «Solar Evolution: The History of Solar Energy», California Solar Center, 2005, en www.californiasolarcenter.org/history_passive.html.

37. Puesto de la calefacción solar, de REN21, op. cit. en nota 5, p. 6; China y primeros puestos mundiales, de Werner Weiss, Irene Bergmann, y Gerhard Fanning, *Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2005*, realizado para el Solar Heating and Cooling Programme (París: IEA, 2007), p. 17; Israel, de European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), *Solar Thermal Action Plan for Europe: Heating & Cooling from the Sun* (Bruselas: 2007), p. 20; «First of Its Kind: Hybrid SolarWall PV/T System in Olympic Village», *SolarWall News*, 24 de julio de 2008.

38. Demanda industrial de calor, de Werner Weiss, «Untapped Potential: Solar Heat for Industrial Applications», *Renewable Energy World*, enero-febrero de 2006, pp. 68-74, de Langniss et al., op. cit. en nota 35, p. 29, y de ESTIF, op. cit. en nota 37, pp. 6-7; Claudia Vannoni, Riccardo Battisti, y Serena Drigo, «Potential for Solar Heat in Industrial Processes», desarrollado en el marco de la Tarea 33 «Solar Heat for Industrial Processes» del Programa del IEA Solar Heating and Cooling y la Tarea IV del Programa del IEA SolarPACES (Madrid: CIEMAT, 2008), pp. 1-3, 12.

39. Estufas de briquetas, de Christian Rakos, «Time for Stability: An Update on International Wood Pellet Markets», *Renewable Energy World*, de enero/febrero de 2008; biocombustibles, de «Germany Starts Testing Bio Oil for Heat», *RenewableEn*

ergyWorld.com, 26 de noviembre de 2007; Lena Sommestad, directora de la Swedish District Heating Association, «Swedish District Energy—Innovation for Sustainable Development», mayo de 2008, en cdea.ca/events/de-presentations/1_Sommestad_L.pdf, visitada el 23 de julio de 2008; Austria, de Jane Burgermeister, «Biomass Heat and Electricity Plants on the Rise in Europe», *RenewableEnergyWorld.com*, 6 de mayo de 2008; Svend Brandstrup Hansen, «Bioenergy in Denmark», en *Nordic Bioenergy 2007: Invitation and Programme*, Estocolmo, 11–13 de junio de 2007, p. 3; «Poland Country Profile», European Bank for Reconstruction and Development, en www.ebrdrenewables.com/sites/renew/countries/Poland/profile.aspx; eficiencia, de Heinz Kopetz, «Biomass—A Burning Issue», *Renewable Energy Focus*, marzo/abril de 2007, pp. 52–58.

40. Usos de la geotérmica y países, de Langniss et al., op. cit. en nota 35, p. 51; Wilson Rickerson et al., «An Overview of Renewable Heating in the United States: Policy and Market Trends», en Heinrich Böll Foundation, *The Missing Piece in Climate Policy: Renewable Heating and Cooling in Germany and the U.S.* (Washington, DC: 2008), p. 19.

41. Eficiencias, de IEA, *Combined Heat and Power: Evaluating the Benefits of Greater Global Investment* (París: 2008), p. 10; sistemas tradicionales con combustibles fósiles, de «Cogeneration: More Energy, Less Pollution From Fossil Fuels», *eJournalUSA*, 9 de mayo de 2008; unidades a escala residencial, de Mark Clayton, «It Heats. It Powers. Is it the Future of Home Energy?» *Christian Science Monitor*, 14 de noviembre de 2006.

42. Christopher M. Looney y Stephen K. Oney, «Seawater District Cooling and Lake Source District Cooling», *Energy Engineering*, vol. 104, n° 5 (2007), pp. 34–45; «Deep Lake Water Cooling: Chilled Water for Cooling Toronto's Buildings», en www.enwave.com/dlwc.php, visitada el 16 de agosto de 2008; A. Pongtornkulpanich et al., «Experience with a Fully Operational Solar-Driven 10-ton LiBr/H₂O Single-Effect Absorption Cooling System in Thailand», *Renewable Energy*, mayo de 2008, pp. 943–49.

43. Wolfram Krewitt, «Integration of Renewable Energy into Future Energy Systems», trabajo presentado en el IPCC Scoping Meeting Special Report on Renewable Energy and Climate Change, Lübeck, Alemania, 21–25 de enero de 2008, p. 132; European Geothermal Energy Council, *Geothermal Heating & Cooling Action Plan for Europe* (Bruselas: 2007), p. 5.

44. IEA, de Langniss et al., op. cit. en nota 35, p. 16; Kristin Seyboth et al., «Recognising the Potential for Renewable Energy Heating and Cooling», *Energy Policy*, julio de 2008, pp. 2460–63.

45. Trabas, de Li Hua, «China's Solar Thermal Industry: Threat or Opportunity for European Companies?» *Renewable Energy World*, julio-agosto de 2002, p. 107, y de ESTIF, op. cit. en nota 37, pp. 6–7.

46. Mercado alemán, de Werner Weiss, Irene Bergmann, y Gerhard Faninger, «Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2006», IEA Solar Heating and Cooling Programme, Gleisdorf, Austria, mayo de 2008; ayudas, de Friedrich Ebert Stiftung, *Solar Energy in Germany* (Londres: marzo de 2006); Baden Württemberg, de «First Heating Law for Renewable Energy in Germany», *Energy Server* (boletín informativo para Renewable Energy and Energy Efficiency), 2 de agosto de 2007; normativa federal, de Arne Jungjohann, Heinrich

Böll Foundation, e-mail a Janet Sawin, 25 de julio de 2008; España, de REN21, *Renewables Global Status Report 2006 Update* (París y Washington, DC: REN21 Secretariat y Worldwatch Institute, 2006), p. 2; «Hawaii Solar Mandate First in the Nation: Bill's Introducer Senator Gary L. Hooser Considers Groundbreaking Action 'Vital,» por Hawaii State Senate Majority, 30 de junio de 2008, en www.hawaiiireporter.com/story.aspx?a6d06dbe-0f6b-461f-89b0-2d26d6be30b9.

47. Gráfica 4-3 de Krewitt et al., op. cit. en nota 33, pp. 8, 10, 18-37; previsión para el 2050 de ibíd. y de REN21, op. cit. en nota 33, pp. 15-16.

48. Dos terceras partes liberadas en forma de calor, de IEA, op. cit. en nota 41, p. 5; pérdidas en Europa, de Sommestad, op. cit. en nota 39.

49. Owen Bailey y Ernst Worrell, *Clean Energy Technologies: A Preliminary Inventory of the Potential for Electricity Generation* (Berkeley, CA: Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005), p. 2.

50. Europa del Norte, de IEA, op. cit. en nota 41, p. 8; en 2001 el 75% de los sistemas de calefacción de barrio de Finlandia provenía de plantas de cogeneración, de ibíd., p. 16; District Energy St. Paul, *Annual Report: Mapping a Course Toward Saint Paul's Energy Independence* (Saint Paul, MN: 2006).

51. Thomas R. Casten y Richard Munson, «Recycled Energy Can Power Industry», *Energy Management*, septiembre de 2007, p. 20.

52. Porcentaje de la industria, de China Council for International Cooperation on Environment and Development, «2006 Policy Recommendations by the China Council for International Cooperation on Environment and Development», en www.cciced.org/2008-02/19/content_10192515_3.htm; acero y cemento, de «Current Situation and Challenges for Waste Heat Utilization», Shanghai Energy Saving Information Portal, 4 de enero de 2007, en www.365jn.cn/html/2007/0104/4181.htm; cita sobre Arabia Saudita, de Roger Ballentine, en Michael Kanellos, «Waste Heat: The Next Frontier for Clean-Tech Companies», *CNetNews.com*, 21 de abril de 2008; generación de Baosteel, de «Shaangu TRT: Assisting Energy Saving and Emission Reduction of China's Steel Industry», *China Industry News*, 12 de marzo de 2008; la media china ha sido calculada por Worldwatch basándose en un consumo de 1.600 kilovatios por hora anuales por persona, según Quirin Schiermeier et al., «Electricity without Carbon», *Nature*, 13 de agosto de 2008, p. 817; China Oriental, de Zhang Yange, «Combined Heat and Power: Survival of An Energy Conservation Industry», *Economic Observer*, 2 de julio de 2006.

53. Appropriate Infrastructure Development Group, «Biodigesters», en www.aidg.org/biodigesters.htm; James Kanter, «Sweden Turning Sewage into a Gasoline Substitute», *International Herald Tribune*, 27 de mayo de 2008.

54. Marty Weil, «Animal Planet: Another Avenue to Renewable Fuels», *RenewableEnergyWorld.com*, 17 de junio de 2008; Matthew L. Wald, «Gassing Up with Garbage», *New York Times*, 24 de julio de 2008; Stephen Lacey, «Part 1: What to Do with All This Waste?» *RenewableEnergyWorld.com*, 26 de noviembre de 2007.

55. Martin Bensmann, «Slime from Neptune's Garden», *New Energy*, abril de 2008, p. 73; Graham Jesmer, «WMU Researchers Create Biofuels from Waste Oil & Algae», *RenewableEnergyWorld.com*, 15 de abril de 2008.

56. Martin Goetzeler, Osram, «Towards a New Culture of Lighting», presenta-

ción para el Efficient Lighting Symposium, de Worldwatch Institute, Washington, DC, 28 de mayo de 2008.

57. Potencia en Norte América, de EIA, DOE, *Electric Power Annual 2007: Overview*, en www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epa/epa_sum.html; Jun Ishii, *Technology Adoption and Regulatory Regimes: Gas Turbine Electricity Generators from 1980 to 2001* (Berkeley, CA: Center for the Study of Energy Markets, University of California Energy Institute, 2004).

58. EWEA, «Wind Energy Leads EU Power Installations in 2007, But National Growth is Inconsistent», nota de prensa (Bruselas: 4 de febrero de 2008); Prometheus Institute and Greentech Media, *PV News*, abril de 2008, p. 6; International Atomic Energy Agency (IAEA), *Power Reactor Information System*, en www.iaea.org/programmes/a2; Jessica Hunt, «Nanosolar's Breakthrough—Solar Now Cheaper than Coal», sin fecha, en www.celsias.com/article/nanosolars-breakthrough-technology-solar-now-cheap.

59. Compras de los fabricantes hindúes, de Gokul Subramaniam, «Suzlon Energy Posts 97 Percent Jump in Net Profit in Q1 FY09 Despite Forex Loss», *International Business Times*, 31 de julio de 2008; Global Wind Energy Council (GWEC), «Top 10 Total Installed Capacity» y «Top 10 New Capacity», en www.gwec.net, visitada el 4 de abril de 2008; GWEC, «US, China & Spain Lead World Wind Power Market in 2007», nota de prensa (Bruselas: 15 de febrero de 2008); Travis Bradford, Prometheus Institute, «World PV Market Update and Photovoltaic Markets, Technology, Performance, and Cost to 2015», presentación, marzo de 2008; previsiones para China, de Junfeng Li, China Renewable Energy Industries Association, conversación con Yingling Liu, Worldwatch Institute.

60. Situación de la fotovoltaica basado en las ventas anuales (y acumulativas), de Paul Maycock y Prometheus Institute, *PV News*, varios números, y en Travis Bradford, Prometheus Institute, conversación con Janet Sawin, 29 de abril de 2008; situación de la eólica y previsiones basadas en los datos históricos de instalaciones anuales y acumulativas, de BTM Consult, EWEA, y American Wind Energy Association (AWEA), en GWEC, «Global Wind Energy Markets Continue to Boom—2006 Another Record Year», nota de prensa (Bruselas: 2 de febrero de 2007), y en GWEC, «Global Installed Wind Power Capacity (MW)—Regional Distribution», en www.gwec.net, visitada el 4 de abril de 2008; previsiones de energía nuclear basados en cifras de la base de datos de Worldwatch Institute y de IAEA, op. cit. en nota 58. Gráfica 4-4 de los siguientes: cálculos de Worldwatch basados en datos de combustibles fósiles de BP, *BP Statistical Review of World Energy* (Londres: 2008); sobre energía nuclear, de la base de datos de Worldwatch Institute compilados de las estadísticas de IAEA, op. cit. en nota 58; en Janet L. Sawin, «Another Sunny Year for Solar Power», *Vital Signs Online* (Washington, DC: Worldwatch Institute, 2008); en Janet L. Sawin, «Wind Power Continues Rapid Rise», *Vital Signs Online* (Washington, DC: Worldwatch Institute, 2008); y en Joe Monfort, «Despite Obstacles, Biofuels Continue Surge», *Vital Signs Online* (Washington, DC: Worldwatch Institute, 2008).

61. Camiones en EEUU, de Paul Gipe, «Can the U.S. Reach 100 Percent Renewable Electricity in 10 Years?» *RenewableEnergyWorld.com*, 17 de julio de 2008.

62. Cuadro 4-2 de los siguientes: «IT Services Recommendations on When to

Replace Aging Computers», Information Technology Services, Stanford University, en www.stanford.edu/services/ess/adminapps/recommended.html, modificado el 15 de julio de 2008; D. V. Spitzley et al., *Automotive Life Cycle Economics and Replacement Intervals* (Ann Arbor, MI: Center for Sustainable Systems, University of Michigan, 2004); California Air Resources Board, «Estimation of Average Vehicle Lifetime Miles Traveled», Sacramento, CA, 2004; eficiencia y edad de las centrales eléctricas estadounidenses, de EIA, *Annual Energy Review 2007* (Washington, DC: DOE, 2007), y de «Existing U.S. Coal Plants», *Sourcewatch* (Center for Media and Democracy), en www.sourcewatch.org/index.php?title=Existing_U.S._Coal_Plants; situación similar en otros lugares, de IEA, *Key World Energy Statistics 2006* (París: 2006).

63. Retorno energético de la eólica, de AWEA, «The Most Frequently Asked Questions About Wind Energy», 2002, p. 11, en www.awea.org/pubs/documents/FAQ2002%20-%20web.PDF; retorno energético de la solar, de Energy Efficiency and Renewable Energy, DOE, «Solar FAQs—Photovoltaics—Financial Considerations», actualizado el 8 de febrero de 2007, y de National Renewable Energy Laboratory, «PV FAQs—What is the Energy Payback for PV?» diciembre de 2004.

64. Manfred Fischeidick, Wuppertal Institute, «The German Renewable Energy Act: Success and Ongoing Challenges», ICORE 2004 Conference for Renewable Energies, Bangalore, enero de 2004; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU, Ministerio de Medio Ambiente, Conservación de la naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania Federal), «Big Boost for Renewable Energies: Share in Electricity Supply Has Gone up to 14 Per Cent», Berlín, 22 de enero de 2008; revisión de los objetivos alemanes, de «German Parliament Adopts Climate Package to Reduce CO₂ Emissions by 2020», *Thomson Financial News Limited*, 6 de junio de 2008.

65. Cita sobre la economía danesa, de EWEA, «With Increased Research, Renewable Energy Can Supply More than 20% of Europe's Energy Demand», nota de prensa (Bruselas: 3 de abril de 2008); porcentaje de renovables en 1980, de Ministry of Foreign Affairs of Denmark, «The Danish Example—Towards an Energy Efficient and Climate Friendly Economy; COP 15 United Nations Climate Change Conference, Copenhagen, 2009», en www.cop15.dk/en/menu/About-Denmark/The-Danish-Example; porcentaje de 2008 y objetivos de 2011 y 2020, de Karl Larsen, «Denmark Continues its Renewable Tradition», *Renewable Energy Focus*, julio/agosto de 2008, p. 66; Geoffrey Lean y Bryan Kay, «Four Nations in Race to be First to Go Carbon Neutral», (Londres) *The Independent*, 30 de marzo de 2008; John Vidal, «Sweden Plans to be World's First Oil-free Economy», *The Guardian*, 8 de febrero de 2006.

66. Cálculo de Worldwatch con datos de 2005 de EIA, *International Energy Outlook 2008* (Washington, DC: DOE, junio de 2008), p. 1, y de EIA, «Table 1.3 Primary Energy Consumption by Source, 1949–2007», en www.eia.doe.gov/emeu/aer/txt/ptb0103.html, visitada el 12 de septiembre de 2008.

67. American Institute of Architects y beneficios económicos para el 2030, Inc./Architecture 2030, *The 2030 Blueprint: Solving Climate Change Saves Billions* (Santa Fe, NM: 2008), pp. 2, 4.

68. DOE, op. cit. en nota 22, pp. 1–19.

69. Charles F. Kutscher, ed., *Tackling Climate Change in the U.S.: Potential*

Carbon Emissions Reductions from Energy Efficiency and Renewable Energy by 2030 (Washington, DC: American Solar Energy Society, 2007), pp. 3, 10, 34–35.

60. Chinese Renewable Energy Industries Association, «Sector Review of Renewable Energy in China and Its Potential for CDM Projects», sin fecha, en cdm.ccchina.gov.cn/english/UpFile/File161.DOC; Peter Meisen y Eléonore Quéneudec, *Overview of Renewable Energy Potential in India* (San Diego, CA: Global Energy Network Institute, 2006); Brasil, de Fernando R. Martins et al., «Solar and Wind Resources Database to Support Energy Policy and Investments in South America», en E. Ortega y S. Ulgiati, eds., *Proceedings of IV Biennial International Workshop, Advances in Energy Studies*, Unicamp, Campinas, Brasil, 16–19 de junio de 2004, pp. 419–27.

61. Experiencia danesa, de Monica Prasad, «On Carbon, Tax and Don't Spend» (editorial), *New York Times*, 25 de marzo de 2008.

62. J. L. Míguiz et al., «Review of the Energy Rating of Dwellings in the European Union as a Mechanism for Sustainable Energy», *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, febrero de 2006, pp. 24–45.

63. Final técnico de la vida útil, de Alexander Ochs, *AICGS Policy Report: Overcoming the Lethargy: Climate Change, Energy Security, and the Case for a Third Industrial Revolution* (Washington, DC: American Institute for Contemporary German Studies, Johns Hopkins University, 2008); Ontario Ministry of Energy and Infrastructure, «Moving Forward on Coal Replacement», nota de prensa (Toronto, Canadá: 16 de mayo de 2008).

64. Puestos de trabajo, de Mariah Blake, «Germany's Key to Green Energy», *Christian Science Monitor*, 20 de agosto de 2008; nuevas industrias y 79 millones de toneladas, de BMU, *Electricity de Renewable Energy Sources: What Does it Cost Us?* (Berlín: 2008); costes, de ibíd. y de Daniel Argyropoulos, BMU, «Renewable Energy Source Act in Germany: Current Status and Perspectives», presentación en el Strategy Workshop on Feed-in Tariffs and Their Application in the United States, Washington, DC, 2 de marzo de 2008; reducción de 9 millones de toneladas, de Alex Dunning, «Emissions Trading Won't Fix Climate Change: Expert», *Financial Standard*, 23 de mayo de 2008; opción más eficaz y eficiente, de Nicholas Stern, *Stern Review: The Economics of Climate Change* (Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2006), p. 366; leyes de otros países, de REN21, op. cit. en nota 5, p. 7.

65. Agencia Nacional de la Energía, de UNEP, «Breaking Down the Barriers to a Green Economy: UNEP Launches Year Book 2008», nota de prensa (Mónaco: 20 de febrero de 2008); Carl Levesque, «In Energy Sector, Renewables Get Less Federal Support», *RenewableEnergyWorld.com*, 19 de noviembre de 2007.

66. «Revealing the High Cost of Energy Subsidies: An Interview with Trevor Morgan», *Subsidy Watch* (Global Subsidies Initiative), septiembre de 2008; UNEP, Division of Technology, Industry and Economics, *Reforming Energy Subsidies: Opportunities to Contribute to the Climate Change Agenda* (Ginebra: 2008); 96%, de Keith Bradsher, «Fuel Subsidies Overseas Take a Toll on U.S.», *New York Times*, 28 de julio de 2008.

67. Worldwatch Institute, con asistencia técnica de Global Labor Institute, Cornell University, *Green Jobs: Towards Decent Work in a Sustainable, Low-Carbon World* (Nairobi: 2008), encargado por el UNEP como parte de su Iniciativa Conjunta Empleos Verdes, con la Organización Internacional del Trabajo, la Confedera-

ción Sindical Internacional y la Organización Internacional de Empleadores; Bonn, de la participación de Janet Sawin en la International Conference for Renewable Energies, Bonn, Alemania, 1–4 de junio de 2004.

68. Comentarios escépticos, de *Famous Authoritative Pronouncements*, en www.av8n.com/physics/ex-cathedra.htm; el 8% de las viviendas en EEUU, de «Remarkable Progress in Electrical Development: Notable Features in the Increase of the Use of Electricity in Small Plants and Households», *New York Times*, 8 de enero de 1905, y de Edison Electric Institute, «Historical Statistics of the Electric Utility Industry Through 1970», en www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/page/electric_kid/append_a.html; 3.000 vehículos, de la página web de Ritz, «Early Ford Models», en www.ritzsite.net/FORD_1/02_eford.htm.

69. Renovables excepto hidroeléctrica, de REN21, op. cit. en nota 5.

Capítulo 5. Generar resiliencia

1. Cita de S. Vermeulen et al., *Springing Back: Climate Resilience at Africa's Grassroots*, Sustainable Development Opinion (Londres: International Institute for Environment and Development (IIED), 2008).

2. J. M. Scheuren et al., *Annual Disaster Statistical Review: The Numbers and Trends 2007*. (Bélgica: Center for Research on the Epidemiology of Disasters, Université Catholique de Louvain, 2008); mayor impacto, de S. Huq y J. Ayers, *Critical List: The 100 Nations Most Vulnerable to Climate Change*, Sustainable Development Opinion (Londres: IIED, 2007).

3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2007), p. 883.

4. S. H. Schneider et al., «Assessing Key Vulnerabilities and the Risk from Climate Change», en IPCC, op. cit. en nota 3, p. 781.

5. Tabla 5–1 adaptada de IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Ginebra: 2007); Ciudad de Cavite, de D. Satterthwaite et al., *Adapting to Climate Change in Urban Areas: The Possibilities and Constraints in Low- and Middle-Income Nations*, Human Settlements Discussion Paper Series, Climate Change and Cities 1 (Londres: IIED, 2007).

6. IPCC, op. cit. en nota 3, p. 880.

7. Niveles de pobreza y malaria, de U.N. Development Programme, *Human Development Report 2007/2008* (Nueva York: Palgrave Macmillan, 2007); agua y saneamiento, de D. Satterthwaite y G. McGranahan, «Providing Clean Water and Sanitation», en Worldwatch Institute, *State of the World 2007* (Nueva York: W. W. Norton & Company, 2007), p. 27.

8. P. Blaikie et al., *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters* (Londres: Routledge, 1994).

9. B. H. Pandit y S. Barsila, *Impact Evaluation of Practical Action Implemented Program on «Increasing the Resilience of Poor Communities to Cope with the Impacts of Climate Change»* (Katmandú, Nepal: Practical Action, 2007).