

# Los “costes reales” del cambio del sistema energético

*Kathleen Araújo<sup>1</sup>*

## Resumen

Los costes son fundamentales a la hora de tomar decisiones sobre los sistemas energéticos y su cambio. Sin embargo, no existe un enfoque universal acerca de cómo aproximarse a ellos y analizarlos. En este artículo exploramos la idea de unos “costes reales” y repasamos las distintas caracterizaciones del valor en el ámbito de la energía. Así, pretendemos reflejar la importancia de las opciones analíticas en los métodos y las de dimensiones menos obvias. Para ello, ofrecemos también directrices potenciales para el desarrollo práctico y teórico.

Palabras clave: transición energética, cambio de sistema, coste, valor, planificación y toma de decisiones<sup>2</sup>.

## INTRODUCCIÓN

Las transiciones energéticas figuran de manera preponderante en las actuales Agendas públicas, sobre todo en lo que respecta a la seguridad, la administración, el acceso o el liderazgo tecnológico<sup>3</sup>. Estas transiciones, definidas como un

---

1 Assistant Professor, Stony Brook University, Stony Brook, Nueva York (Kathleen.Araujo@stonybrook.edu).

2 Abreviaturas: CO<sub>2</sub>/dióxido de carbono; COP21/Conferencia de las Partes 21; DALY/años de vida potencialmente perdidos; EIA/Administración de Información Energética de Estados Unidos; EPRI/Instituto de Investigación de Energía Eléctrica; PIB/Producto Interior Bruto; GEA/Global Energy Assessment; Agencia Internacional de la Energía/AIE; FMI/Fondo Monetario Internacional; kWh/kilovatios por hora; NRC/Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos; OCDE/Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; ppp/Paridad de poder adquisitivo; REN21/Red de Energías Renovables siglo XXI; TFC/Consumo energético final total; TPES/Suministro energético primario total; PNUMA/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; USAID/Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional; Indicadores del Desarrollo Mundial/IDM.

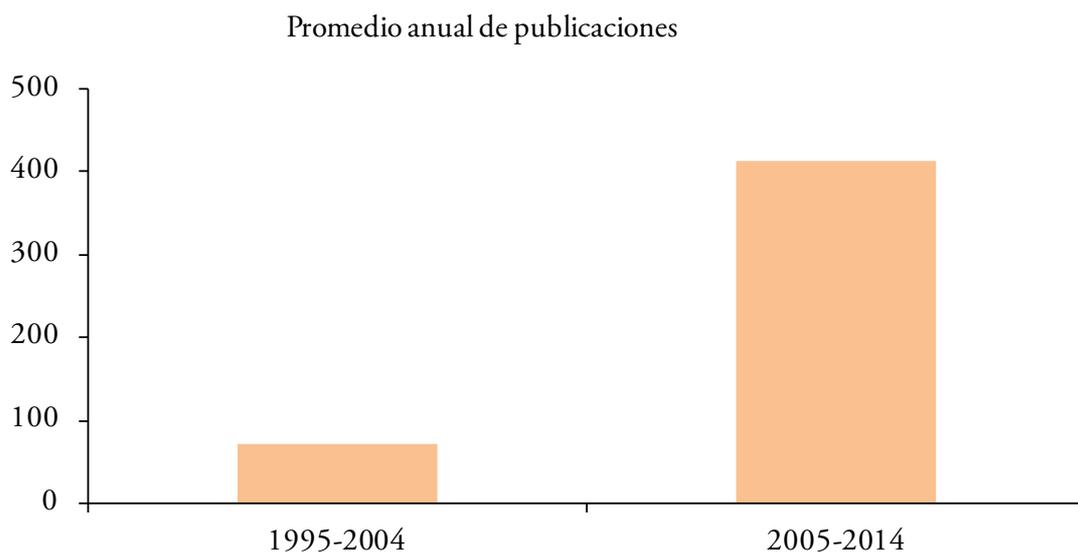
3 Ver por ejemplo WEC (2015), REN21 (2015), AIE (sin fecha).

Los conceptos de “transición energética” y “cambio del sistema energético” se usan indistintamente en el artículo.

cambio en el sistema energético, incluyen modificaciones en el tipo, la calidad o la cantidad de energía que se produce, suministra o utiliza. Comprender el tema desde el punto de vista de las lecciones históricas, o evaluar posibles estrategias futuras, conduce inevitablemente a un enfoque centrado en los costes. Un repaso a distintas publicaciones académicas acerca de los costes y las transiciones energéticas revela un sorprendente incremento de la literatura pertinente durante el transcurso de la última década (gráfico 1). Esto puede ser de especial importancia, ya que las prioridades públicas se ajustan sobre la base de los costes.

Gráfico 1

### Literatura académica sobre el coste y el cambio del sistema energético



Fuente: Scopus, consultado el 22 de noviembre de 2015. Total = 9.228 publicaciones. Las dimensiones de la búsqueda incluyen transición energética o cambio del sistema energético y costes en títulos, resúmenes y palabras clave.

Un análisis más detenido de la literatura actual sobre sistemas energéticos y costes de transición revela una serie de ideas predominantes. En primer lugar, no existe un acuerdo acerca de los métodos que se deben utilizar para evaluar los costes de los sistemas energéticos (AIE, 2015d; EIA, 2015; Wuppertal Institute, 2014). Las diferencias residen en sus limitaciones, definiciones y suposiciones. Además, las evaluaciones pueden centrarse estrictamente en los costes visibles, o, por otro lado, incorporar los costes externos y subyacentes (Hohmeyer, 1992; Consejo de

Investigación Nacional, 2010). El análisis puede ser muy sencillo, partiendo de cálculos aproximados o de modelos más complejos, y comportar evaluaciones graduales y ascendentes o descendientes a partir de números agregados. Con este amplio abanico de opciones, no debería sorprendernos que existan diferencias tan considerables en la manera de comprender cuáles son los “costes reales” de la energía (Butraw *et al.*, 2012; Greenstone y Looney, 2012; Plumer, 2012; Yonk, 2015). Por consiguiente, las evaluaciones sobre las transiciones energéticas también pueden diferir de forma significativa en términos de los costes calculados, sobre todo cuando no se puede monetizar todo su valor.

Teniendo en cuenta los objetivos de esta cuestión en particular y de la investigación llevada a cabo por la autora (Araújo, 2014 y 2015), el presente artículo tiene como objetivo señalar las opciones analíticas relativas a los costes en los sistemas energéticos y en sus transiciones. Para ello, subraya algunos conceptos clave, métodos y complejidades que suelen aparecer al valorar los costes de un cambio del sistema energético. Comienza repasando los indicadores del cambio energético global, explicando más tarde los enfoques más comunes para el análisis de los costes de los sistemas energéticos. A continuación, ofrece un estudio de los costes menos visibles y de otras distorsiones que los profesionales deberían tener en cuenta a la hora de evaluar los costes de las transiciones, y propone una serie de ejemplos para ilustrar los matices técnicos que influyen en su caracterización. Para terminar, el artículo aporta algunas conclusiones acerca del análisis de los costes del cambio energético, abriendo las puertas a investigaciones futuras.

## INDICADORES DEL CAMBIO GLOBAL

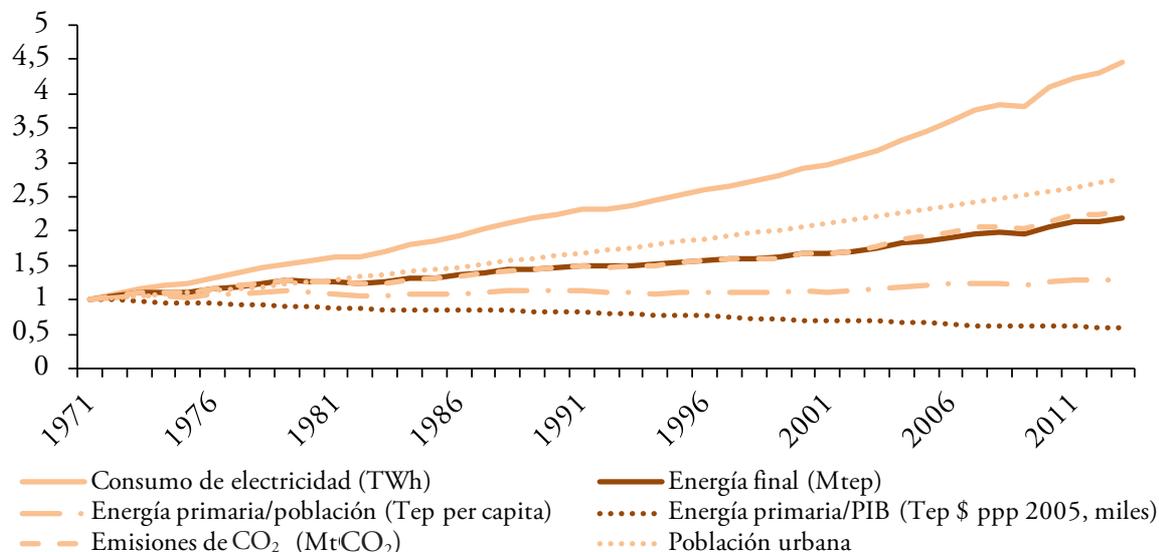
Las tendencias en el consumo, las emisiones, la demografía y la economía suelen ser puntos preliminares de partida para un análisis más extenso acerca de los sistemas energéticos y sus costes (gráfico 2).

El consumo energético final total, por ejemplo, es una de las áreas en las que el cambio del sistema y las consecuencias en los costes se encuentran estrechamente vinculadas. A nivel global, el consumo energético final total (CTF) –equivalente a la suma total del consumo de los sectores de uso final– ha aumentado más

Gráfico 2

## El cambio global según indicadores clave, 1971-2013

(Año de referencia: 1971)



Fuentes: Datos sobre la población urbana, WDI, 2015; resto de datos, AIE, 2015a.

del doble desde los años 70, ya que el consumo eléctrico se elevó en un factor superior a cuatro<sup>4</sup>. La diferencia apunta a un crecimiento más rápido en el sector energético en relación con áreas como el transporte, la calefacción o la refrigeración. Si pensamos en términos de transición energética, un gran potencial de crecimiento presenta múltiples oportunidades para modificar las prácticas actuales, entre las que se incluyen ahorro y efectividad junto a nuevas inversiones. En consonancia con todo esto, los análisis pertinentes pueden centrarse en la reducción de los costes energéticos a través del aprendizaje tecnológico, la conservación y las economías de escala, entre otras posibilidades (Grubler, A y Wilson, C., 2013; Allcott y Rogers, 2014; Allcott, 2011).

<sup>4</sup> El consumo energético final total excluye la energía utilizada en los procesos de transformación para el uso propio de las industrias energéticas, así como las devoluciones del sector petroquímico. Sí se incluyen las instalaciones dedicadas a la aviación y al sector marino en términos de transporte (IEA, 2015b).

Es posible establecer una asociación evidente al comparar la tendencia señalada en el gráfico 2 del consumo energético final total con la de emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión fósil. El consumo se explica a raíz de la preponderancia de combustibles fósiles que producen emisiones de CO<sub>2</sub> dentro de la combinación energética<sup>5</sup>. Una minuciosa inspección indica una escisión de las dos tendencias a partir de 2004, que se puede atribuir a una creciente presencia de las energías renovables y nuclear, y a un gas natural con menor contenido de carbono en la combinación<sup>6</sup>. Para aquellos que evalúan los costes en función de estos patrones, las políticas focalizadas (p. ej. mercados e impuestos del carbono), las preferencias cambiantes y las nuevas infraestructuras pueden resultar de especial interés investigativo.

Si nos centramos en la relación existente entre la energía primaria total respecto a la población y a la economía, podemos observar una diferencia evidente. La energía primaria total per cápita ha aumentado en un 0,3, mientras que la energía primaria total por unidad del Producto Interior Bruto (PIB) por paridad de poder adquisitivo (ppp) ha descendido el doble del primero. Esto indica que, de media, los individuos reciben más energía primaria, mientras que cada unidad del PIB se produce con menos energía primaria.

En conjunto con los desarrollos mencionados, la población urbana global aumentó más del doble entre 1971 y 2013 (AIE, 2015a), y la cantidad de personas viviendo en entornos urbanos ascendió del 37% en 1971 al 53% en 2014 (WDI, 2015). Vistas desde la perspectiva de la transición y los costes energéticos, estas tendencias reflejan un visible potencial para modificar la implementación con relación a la eficacia, el desperdicio y la seguridad entre otras posibilidades<sup>7</sup>.

5 A primera vista, esto es más evidente en el ámbito de la energía primaria total (TPES) –energía bruta o no transformada–, donde los combustibles fósiles suponían el 86% de la combinación en 1971, y el 81% en 2013 (AIE, 2015a).

6 Además, el porcentaje de combustibles fósiles y combustibles no fósiles ascendía a 86%:14% en 1971, y a 81%:19% en 2013. La cuota de gas natural también ha crecido del 16% al 21% en la combinación general (*Ibid.*).

7 Para mayor información sobre estas tendencias e influencias, véase Goldemberg y Johansson (2004) y GEA (2012).

## METODOLOGÍA Y VALOR – MÁS DE LO QUE PARECE

### Metodología

A la hora de evaluar los sistemas energéticos, se utilizan una serie de métodos primarios para comparar las distintas opciones de combustibles. Entre ellos se incluyen los costes normalizados, los costes de reposición, los costes evitados y los costes marginales. Cada uno de los métodos se puede usar para realizar un análisis prospectivo o retrospectivo. Sin embargo, criterios como el valor de reposición suelen ser seleccionados para los estudios a largo plazo, ya que facilitan el análisis con datos que tienden a ser complicados de encontrar o estimar.

### *Análisis de los costes normalizados*

El método de los costes normalizados de la electricidad (LCOE) se centra en los costes que supone construir y mantener operativa una central eléctrica más allá de su supuesta vida financiera y de su ciclo de rendimiento. Algunos lo entienden como la rentabilidad que se necesita para la generación de electricidad mediante un proyecto determinado. El cálculo del LCOE incluye los costes de instrumental y equipamiento asociados a la adquisición o al desarrollo de una planta eléctrica, los costes de operaciones y mantenimiento, y los costes de combustibles y financiación, asumiendo una tasa de utilización por encima de la vida del proyecto (EIA, 2015). El LCOE, por lo general representado mediante un formato como dólares por megavatio por hora o céntimos por kilovatio por hora, puede capturar algo de incertidumbre mediante distintos escenarios de precios y de tasas de descuento<sup>8</sup>.

Una ventaja del método LCOE es que refleja las diferencias presentes en las estructuras de los costes relativos de las tecnologías energéticas, y puede demostrar la sensibilidad ante ciertas suposiciones sobre el precio y la tasa de descuento<sup>9</sup>.

---

8 La *tasa de descuento* permite que un valor futuro se traduzca a los términos actuales. La elección de la tasa es de central importancia, ya que puede inclinar el análisis hacia una tecnología por encima de otra, y por lo general define si los aspectos económicos del proyecto son favorables.

9 El análisis LCOE se puede utilizar para identificar “puntos de cruce” de equivalencias en el sistema entre una tecnología tradicional, como el diésel, y otras tecnologías emergentes, como podría ser un sistema híbrido de circuito cerrado que combine la energía eólica y la hidroeléctrica (Hallam y Contreras, 2015).

Aquellos proyectos con costes profundamente expuestos a las inversiones iniciales o a los costes de capital, como las plantas nucleares, eólicas, solares o hidroeléctricas, son especialmente sensibles a la tasa de descuento elegida o a probables retrasos temporales. En cambio, los proyectos con perfiles definidos de forma sustancial por costes *back-end*, y en concreto los de combustibles, son más sensibles a las variaciones en las estimaciones de los precios (recuadro 1).

### **Recuadro 1: Principales fuentes internacionales sobre costes normalizados**

La AIE confecciona periódicamente una serie de contenidos relativos a los costes medios normalizados de la electricidad durante su vida útil, donde evalúa la tecnología energética en el ámbito de las centrales eléctricas (AIE, 2015c). La edición actual se centra en las plantas que serán construidas entre 2015 y 2020; para ello, utiliza tasas de descuento del 3%, del 7% y del 10%, y tiene en cuenta los costes de generación necesarios para más de 180 centrales eléctricas con tecnologías variadas. El informe utiliza en gran medida los datos disponibles de los países de la OCDE, así como los de otros países no miembros como Brasil, China y Sudáfrica. Sin embargo, no incluye a los principales actores del sector energético, como Rusia o India, ni aporta demasiada información acerca de regiones como Oriente Medio, Latinoamérica y África.

Cabe señalar una serie de limitaciones del método LCOE. La comparación de análisis basados en LCOE, por ejemplo, es muy dependiente del alcance y los supuestos, sobre todo en lo relativo a los factores de capacidad de las respectivas tecnologías<sup>10</sup>. Además, es complicado estimar los precios de las materias primas y los tipos de interés con décadas de antelación. Las diferencias regionales también presentan una dimensión de complejidad (Channell *et al.*, 2015).

En líneas generales, el LCOE no termina de plasmar la intermitencia de las renovables ni sus costes asociados. Paul Joskow considera que el análisis LCOE, así como otras medidas para medir los costes totales de producción durante la

<sup>10</sup> El *factor de capacidad* expresa la producción real de una planta para un período concreto de tiempo con relación al potencial de la planta, en el supuesto caso de que funcionara al máximo de su capacidad productiva nominal durante ese período.

vida útil de la tecnología, no tiene en cuenta el valor dinámico de la electricidad suministrada durante el curso de un año (2011)<sup>11</sup>. Además, añade que el LCOE tiende a sobrevalorar de manera implícita la generación intermitente, como la solar fotovoltaica o la eólica, por encima de las alternativas despachables, como la generación de electricidad con ciclos combinados, ya sea con gas natural, carbón o energía nuclear (*Ibid.*)<sup>12</sup>.

### *Valor de reposición y costes evitados de la energía*

El valor de reposición de un combustible evitado constituye otra medida para evaluar los costes de los sistemas energéticos. Este método es más simple que el LCOE y se puede aplicar con más facilidad a las transiciones energéticas, ya sean anteriores o futuras, a través de un sencillo cálculo en el que el precio suele representar los costes. Además, resulta un análisis particularmente apropiado cuando un combustible alternativo proporciona los mismos costes y beneficios que el que se está sustituyendo. Con todo ello, la alternativa debería convertirse en la “siguiente opción” más probable, y utilizarse de manera constante sin un efecto de agotamiento. Este enfoque podría usarse, por ejemplo, para el cálculo de las importaciones evitadas de petróleo, en el caso de que se recurra al empleo de combustibles de procedencia nacional.

Teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades de los métodos analíticos del valor de reposición y LCOE, cabe destacar la existencia de otra estrategia híbrida. El coste evitado de la energía (LACE) estima el coste que supone la generación de electricidad que, de otra manera, sería sustituida por un nuevo activo o proyecto de generación (EIA, 2015; Pentland, 2014). Se apoya en que es posible que la electricidad no despachable no evite los costes de capital y de mantenimiento de la energía de respaldo, y para calcularlo es necesario dividir el coste evitado de energía de respaldo entre la producción anual de electricidad no despachable (EIA, 2015). Si observamos el valor del LACE en combinación con el del LCOE para

---

11 Según Joskow, la diferencia existente entre los precios horarios más altos y más bajos durante un año estándar puede abarcar hasta cuatro órdenes distintos de magnitud (Joskow, 2011).

12 La generación de energía despachable es aquella que puede ser fácilmente puesta en marcha o desconectada, es decir, que se despacha en función de la demanda. La producción también se puede ajustar a la demanda.

un proyecto dado, podremos determinar hasta qué punto se ajusta cada valor a los costes previstos.

### *Costes marginales*

De manera similar a los métodos mencionados hasta ahora, los costes marginales permiten comparar distintas opciones energéticas en un sistema. El método del coste marginal se centra en el coste adicional que supone incluir la siguiente unidad de energía. En la actualidad, se utiliza por algunos operadores de red a través del despacho de electricidad por orden de mérito, que clasifica las diferentes opciones disponibles de generación eléctrica en orden ascendente, en base al precio y a la demanda eléctrica<sup>13</sup>.

Al contemplar el uso de cualquiera de los métodos señalados para la evaluación de los costes energéticos de un sistema, uno debería tener siempre en cuenta que los posibles cambios subyacentes, entre ellos los asociados a la infraestructura, el empleo o la calidad del servicio, podrían ser menos visibles.

### *Valorando las dimensiones de los costes*

A la hora de evaluar un cambio del sistema energético, se plantean importantes cuestiones más allá del método empleado para calcular los costes. Por ejemplo, debemos decidir qué incluir y qué no, o cómo monetizar los costes y beneficios menos visibles. Entre las opciones se encontrarán costes hundidos, subvenciones e impuestos, efectos sobre el medio ambiente y la salud, así como factores de resiliencia.

### *Costes de transición y costes hundidos*

Los costes de transición o los costes hundidos son costes irrecuperables asociados a una inversión previa. Un ejemplo sería el de los activos en desuso, por lo gene-

---

<sup>13</sup> Si la utilización es coordinada centralmente e impulsada por el precio y la demanda, la generación elegida será la que menos costes suponga, reduciendo así el total de los costes del sistema. Una razón para modificar el orden de despacho podría incluir ciertas intenciones políticas a la hora de dar ventaja a determinados tipos de energía, de alterar la congestión del sistema, de potenciar la fiabilidad, etcétera.

ral inversiones que “sufren reducciones o devaluaciones de manera prematura e inesperada, o que se convierten en deudas” (Caldecott y McDaniels, 2014). Para calcularlos, debemos obtener la diferencia entre el valor de mercado actual de un activo que está siendo utilizado de forma productiva y el coste histórico del mismo activo cuando se deprecie con el paso del tiempo, utilizando para ello un plan aprobado de amortización contable (Clemson University, sin fecha)<sup>14</sup>. Estos costes pueden ser problemáticos, por ejemplo, cuando se reestructuran los mercados de energía eléctrica, o cuando las centrales se cierran antes de que termine su ciclo de vida planeado debido a cambios en las preferencias sociales. El cierre de varias plantas nucleares antes de llegar al final previsto de su vida útil es uno de los casos que observamos a día de hoy.

El asunto de los costes hundidos empezó a recibir atención durante el período previo a la cumbre de la Conferencia de las Partes 21 en París. Un estudio señala que, si se toman las medidas apropiadas para limitar en 2 °C el ascenso de las temperaturas provocado por el calentamiento global se podrían ahorrar hasta dos billones de dólares en la ejecución de proyectos en materia de petróleo, carbón y gas (Reuters, 2015; CarbonTracker, 2015)<sup>15</sup>. De esta forma, las reservas de energía podrían convertirse en activos hundidos. En respuesta a tales afirmaciones, las compañías energéticas señalan que, entre otros factores, los períodos de amortización de los proyectos tienen lugar en etapas tempranas, con lo que los pagos serían recibidos antes de que entraran en vigor leyes más estrictas (Economist, 2014). Así, las consideraciones temporales y la robustez de una medida política tendrán especial importancia para estos costes con relación a cualquier transición hacia una energía baja en carbono.

### *Subvenciones e impuestos*

Las subvenciones y los impuestos también tienen consecuencias en cuanto a los costes de las transiciones energéticas. Ambos son tipos de apoyo económico pres-

---

<sup>14</sup> Con todo esto, se da por sentado que el capital no tiene un uso alternativo ni un valor de rescate (Clemson University, sin fecha). Para un análisis más exhaustivo, véase Lucas (2016) y Congressional Budget Office (1998).

<sup>15</sup> El estudio también indica que el sector privado está tan expuesto como su homólogo público, basándose en elecciones de producción hasta 2035 y en gastos de capital hasta 2025 (Carbon Tracker, 2015)

tados con el fin de conseguir ciertos objetivos económicos o sociales. Estas medidas políticas pueden resultar bastante problemáticas, dado que vinculan al capital decisiones relativas a la transferencia de patrimonio y a los subsidios internos (por ejemplo, la asignación de fondos acumulados de un área a otra), a un favoritismo tecnológico, a una arraigada dependencia política, y a otras formas de restricción que podrían afectar a los ámbitos de desarrollo más críticos.

Un subsidio se define por lo general como una acción gubernamental dirigida en particular al sector energético, que: (1) reduce el coste de la producción de energía, (2) eleva el precio obtenido por los productores de energía, o (3) reduce el precio pagado por los consumidores de energía (EIA, 2015). La AIE calcula que, en 2014, los subsidios globales para los combustibles fósiles ascendieron a 490 mil millones de dólares, en comparación con los 135 mil millones de dólares dedicados a las renovables (AIE, 2015d)<sup>16</sup>. Señala, además, que los combustibles fósiles habrían recibido subvenciones por valor de 610 mil millones de dólares si no se hubieran realizado las reformas que comenzaron en 2009. Para elaborar estos cálculos, la AIE emplea la *metodología del diferencial de precios (price-gap methodology)*, que compara los precios medios finales pagados por los consumidores en mercados locales con los precios de los mercados internacionales (AIE, sin fecha)<sup>17</sup>.

**Subsidio = (Precio de referencia - Precio de venta al usuario final) x Unidades consumidas**

16 Respecto a las renovables, el cálculo de la AIE incluye biomasa, energía geotérmica, eólica, hidroeléctrica, solar fotovoltaica, solar térmica y marina para la generación y / o la producción de biocombustibles. No incluye, sin embargo, los grandes proyectos de energía hidroeléctrica y de biomasa con captura y almacenamiento de carbono (AIE, 2012b).

17 Para aquellos países exportadores de energía que utilizan combustibles más baratos a nivel doméstico, los subsidios pueden estar implícitos y no tener un impacto directo sobre el presupuesto fiscal, siempre y cuando el precio englobe el coste de producción. En esos casos, el subsidio constituye la cantidad que se podría obtener (coste de oportunidad) si los usuarios finales pagaran a precios internacionales. Según el análisis de la AIE, este enfoque tiene en cuenta las posibles diferencias en las variables, como los costes de transporte (AIE, sin fecha; AIE, 2012a).

En el caso de los países importadores netos, los subsidios pueden ser explícitos y reflejar el gasto en las ventas domésticas de energía importada mediante precios subvencionados, aunque también pueden ser implícitos (*Ibid.*). Indonesia, por ejemplo, produce combustibles domésticos y, a la vez, realiza importaciones. En este ejemplo, los cálculos de los subsidios reflejan los gastos directos y los costes de oportunidad (*Ibid.*). Para más información, véase AIE (sin fecha y 2012a).

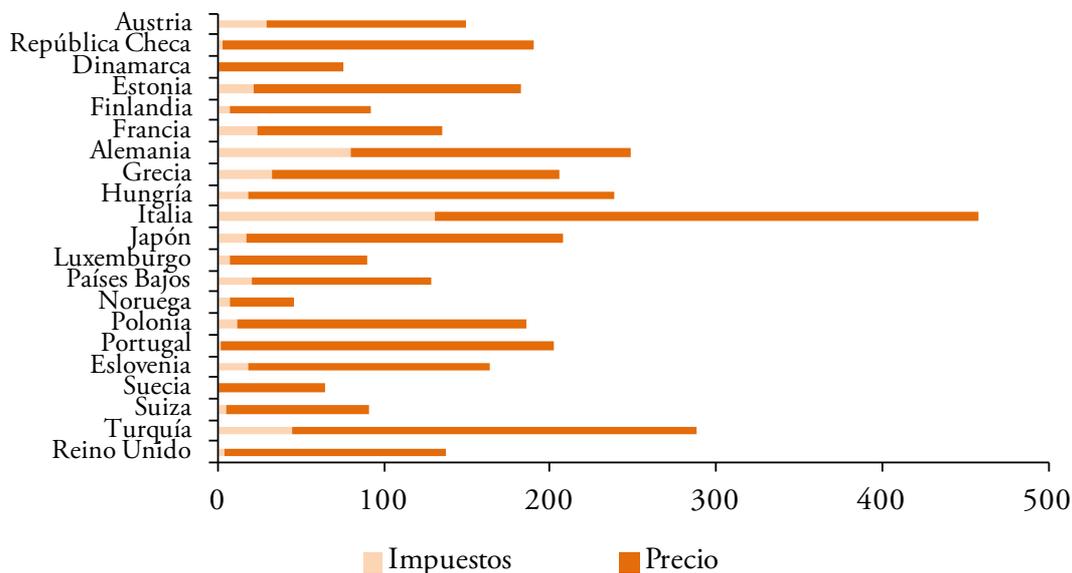
No es necesario decir que se requieren enormes cantidades de datos para realizar cálculos como las estimaciones de los subsidios globales. Además, la recopilación de datos se ve afectada por numerosas diferencias en los informes gubernamentales (definición, transparencia, etc.), que se podrían corregir mediante una armonización de los objetivos. Por otro lado, los cálculos son sensibles a los precios de referencia. En el análisis de la AIE no se incluyen la investigación y el desarrollo de los subsidios, o las modalidades de apoyo asociadas, como las relativas a la producción de combustibles fósiles (*Ibid.*). Tampoco se recoge el impacto generado sobre la eficiencia económica y el comercio. Con todo esto, dicho enfoque ha sido criticado también por no contar con las diferencias de los mercados locales (Levi, 2010).

Como sucede con los subsidios, los impuestos distorsionan el coste de producción o utilización de la energía<sup>18</sup>. El gráfico 3 ilustra cómo los impuestos sobre la electricidad industrial pueden alterar significativamente un perfil de costes. Solo

Gráfico 3

### Precios e impuestos sobre la electricidad en la industria

(2014, \$/unidad, utilizando ppp)



Fuente: AIE, 2015a.

18 En el momento de ofrecer información acerca de esta materia, los impuestos y los subsidios suelen entrelazarse y confundirse, en especial cuando se presta una subvención explícita a un contribuyente.

es necesario comparar Italia con Suecia para observar una variación sustancial. Aquí, las distinciones en cuanto a la definición de “impuestos” demandan una mayor atención, ya que los subsidios y los costes hundidos se tratan de maneras distintas en los dos países.

A diferencia de los impuestos directos, las desgravaciones fiscales o los ingresos fiscales no percibidos resultan menos obvios en los sistemas energéticos, pero pueden influir en la adopción de ciertas medidas. En 2011, por ejemplo, se gastaron 30 mil millones de dólares en desgravaciones fiscales para el sector energético en Estados Unidos – 24 mil millones para las energías renovables y 6 mil millones para los combustibles fósiles (Biebl, 2012). Esto refleja un profundo cambio en comparación con etapas anteriores, como el período comprendido entre 1968 y 2010, durante el cual las desgravaciones para petróleo y gas equivalían a 193,4 mil millones de dólares (en valores de 2010) por encima de los 24,6 mil millones dedicados a las energías renovables (*Ibid.*)<sup>19</sup>.

### *Efectos sobre la salud*

Los efectos sobre la salud constituyen un área especialmente particular dentro del ámbito de los costes energéticos que puede alterar de manera sustantiva las evaluaciones sobre los costes de los sistemas energéticos y su cambio asociado.

A nivel global, un estudio del *Global Energy Assessment* estimó que los sistemas energéticos provocan hasta 5 millones de muertes prematuras al año, así como un 5% de las enfermedades, calculado en base a los años de vida perdidos (Smith *et al.*, 2012). Afirmó, además, que la contaminación del aire de interiores y la

<sup>19</sup> Las concesiones tributarias para las renovables comenzaron en 1979 (Sherlock, 2011).

En el caso de los combustibles fósiles, incluían disposiciones relativas a la recuperación del coste de capital para favorecer la inversión en la exploración y producción de gas y petróleo, permitiendo la tasación y el gasto de costes intangibles de perforación y de pozo seco. Las deducciones impositivas de los costes de perforación empezaban a realizarse en el año de inicio del proyecto, en vez de capitalizarse y depreciarse a lo largo del tiempo (Sherlock, 2011). Otro tipo de concesión tributaria para gas y petróleo incorporaba la desvalorización porcentual, que tenía en cuenta la deducción de un porcentaje fijo de ingresos brutos en vez de basarse en el valor real del recurso extraído (*Ibid.*). Inicialmente, la tasa de desvalorización porcentual se elevaba al 27,5% para petróleo y gas, y en la actualidad sigue siendo vigente bajo determinadas condiciones al 15% para petróleo y gas, y al 10% para carbón (*Ibid.*).

exposición exterior a la combustión parcial de combustibles fósiles y de biomasa eran los principales responsables del impacto negativo de los sistemas energéticos sobre la salud global. La ceniza, el azufre y el mercurio también se presentaban como contaminantes relevantes.

Al evaluar los costes y efectos sanitarios de la energía con relación a los sistemas, el análisis de ciclo de vida proporciona una comparativa completa de las diferentes tecnologías y su posible impacto. Con relación a los contaminantes aéreos y similares, este impacto se mide como la relación temporal-espacial entre las concentraciones de contaminantes y las personas afectadas. Así, la *fracción de inhalación* constituye el cálculo de la cantidad inhalada de un contaminante primario (en lugar de derivados) por un grupo determinado dividida entre la cantidad que es emitida (*Ibid.*, citando a Bennett *et al.*, 2002). Las condiciones climatológicas y la ubicación influirán considerablemente, dado que la ventilación y la dispersión del aire pueden tener efectos significativos.

A nivel doméstico, las fuentes energéticas que más daños provocan sobre la salud son las cocinas y los calefactores internos cuya combustión es incompleta. Los datos recogidos en 2005 indicaban que 2,2 millones de muertes prematuras, o 41,6 millones de años de vida ajustados por discapacidad (DALY), podían asociarse a la utilización de combustibles sólidos para cocinar (Smith *et al.*, 2012, citando a Riahi *et al.*, 2012). Un DALY o año perdido de vida sana se calcula como:

$$\text{Años de vida ajustados por discapacidad} = \text{YLL} + \text{YLD}$$

o la suma de años de vida perdidos por muerte prematura (YLL) y de años perdidos de manera prematura por discapacidad (YLD) para una población determinada (OMS, 2015). El riesgo de enfermedad asociado al uso de combustibles sólidos para cocinar se calcula mediante el desarrollo de estimaciones acerca de la cantidad de personas que utilizan combustibles sólidos, en conjunto con otras estimaciones acerca del nivel atribuible a la exposición. Después, este número se multiplica por los DALY que equivalen al número total de muertes y por los DALY que derivan del uso de combustibles sólidos (Smith *et al.*, 2012, citando a Riahi *et al.*, 2012)<sup>20</sup>.

20 Para un comentario más exhaustivo sobre los detalles analíticos, véase [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/metrics\\_daly/en/](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/)

## Costes ecológicos

Los recursos naturales constituyen la materia prima de los sistemas energéticos. Con ello, no debería sorprendernos que los costes ecológicos influyan en los costes energéticos, y viceversa. Algunos parámetros para calcular estos costes incluyen: disrupción (Goldemberg y Johansson, 2004), huellas ecológicas (Moscovici *et al.*, 2015) y necesidades hídricas (Gerdes y Nichols, 2009; Mielke *et al.*, 2010). Cabe destacar que estos indicadores, como en el caso mencionado de los efectos sobre la salud, no son monetizables.

Otra manera de calibrar los efectos de los sistemas energéticos sobre el medio ambiente consiste en evaluar los *servicios de los ecosistemas*. Este término hace referencia al beneficio de bienestar del capital natural (Costanza *et al.*, 2014), o a las contribuciones directas e indirectas realizadas por los ecosistemas (Barbier, 2011)<sup>21</sup>. Por lo general, tales servicios no suelen ser comercializados, y cuantificarlos o medirlos supone un reto con relación a su estructura, su función y los flujos hacia la sociedad (*Ibid.*). En 2011, el valor global de los servicios de los ecosistemas se situó entre los 125 y 145 billones de dólares por año (en valores de 2007) (Costanza *et al.*, 2014). Estos servicios cuentan con funciones que van más allá de la energía. No obstante, se cruzan con consideraciones relevantes para los sistemas energéticos en materia de costes y valor. Los flujos de las presas hidroeléctricas, por ejemplo, pueden provenir del derretimiento del hielo y la nieve. En lo que concierne a los sistemas energéticos, el hielo y la nieve ofrecen un servicio de almacenamiento de energía (Moomaw, 2015). Las evaluaciones sobre los costes energéticos no suelen recoger estas dimensiones valorativas, que, sin embargo, representan un área interesante para futuras investigaciones<sup>22</sup>.

21 Con relación a las contribuciones y los beneficios, algunos analistas se centran únicamente en las repercusiones humanas, mientras que otros incluyen efectos antrópicos más repercusiones sobre el sistema natural.

22 Los efectos estimados para proyectos energéticos futuros a través del cálculo del impacto medioambiental y de las evaluaciones estratégicas relativas al medioambiente constituyen otro campo de estudio relacionado. Para obtener una idea completa, véase por ejemplo el *Environmental Impact Assessment Review*.

## Accidentes

Los accidentes también juegan un papel importante en la valoración de los costes energéticos y su cambio asociado. Dichos costes suelen abarcar aspectos relativos a entornos ecológicos, sanitarios y construidos, y se monetizan a través de tasas de seguro y sanciones legales. Sin embargo, por lo general no representan la totalidad de los daños.

Sovacool *et al.*, (2015) elaboraron uno de los análisis más exhaustivos hasta la fecha acerca de esta materia sobre 11 modalidades de tecnología energética. Repasando accidentes que habían tenido lugar entre 1874 y 2014, descubrieron que alrededor de 1.100 percances habían provocado más de 210.000 muertes y hasta 350 mil millones en daños a la propiedad (*Ibid.*)<sup>23</sup>. Según los datos estudiados, la energía hidroeléctrica se presentaba como la más letal, provocando el 85% de los accidentes. Con un tercio del total, la tecnología eólica comportaba los accidentes más frecuentes<sup>24</sup>, y los sucesos nucleares se planteaban como los más costosos al suponer hasta un 70% de los daños totales (*Ibid.*).

Entre los accidentes más recientes relativos a los sistemas energéticos destacan dos casos particulares. Se estima que el derrame de petróleo del Deep Water Horizon en 2010 ha costado 53 mil millones de dólares hasta la fecha (Bawden, 2015). Por otro lado, un cálculo aproximado anticipa que el coste del desastre de Fukushima en 2011 se situaría entre los 325 y 406 mil millones de dólares (*Economist*, 2015). Aunque estas valoraciones no sean del todo comparables, ya

---

23 Los accidentes se definieron como incidentes o acontecimientos no intencionados en una instalación energética que daban lugar a una o más muertes, o a un mínimo de 50.000 dólares en daños a la propiedad. Este análisis amplía la investigación previa de Sovacool (2008).

Aquí, los sistemas energéticos eran los principales responsables de la conversión, distribución y uso de la energía comercial. Los casos procedían de fuentes inglesas publicadas.

El coste de la pérdida económica total incluía daños a la propiedad, respuestas de emergencia, recuperación medioambiental, evacuación, productos perdidos, sanciones, reclamaciones judiciales y de seguros, pero no tenía en cuenta los daños, como las lesiones no fatales. Cuando faltaban datos relevantes, los cálculos se realizaban a través de datos aproximados (Sovacool *et al.*, 2015).

24 La naturaleza modular de la tecnología eólica podría ser la culpable de esta frecuencia.

que sus respectivos métodos de evaluación son distintos, resultan útiles a la hora de establecer ciertos puntos de referencia. Ante casos como estos, los responsables políticos podrían identificar algunos umbrales que la sociedad no está dispuesta a sobrepasar en el momento de aceptar futuros riesgos energéticos.

### *Resiliencia, robo y modernización<sup>25</sup>*

La disponibilidad y la calidad de un sistema energético constituyen también características adicionales que condicionan determinadas consideraciones de los costes energéticos. Todas estas dimensiones representan prioridades visibles en las actuales agendas públicas, ya que los gobiernos evalúan las necesidades vinculadas a la modernización de la infraestructura y a la resiliencia en función de condiciones climatológicas extremas, robos, terrorismo y ciberataques.

Un estudio reciente señala que los efectos de los fenómenos climatológicos extremos provocan daños de entre 18 y 33 mil millones de dólares anuales en el sistema eléctrico de Estados Unidos, que incluyen la pérdida de salarios y producción, el deterioro del inventario, el retraso de la producción y el daño eléctrico asociado (Council of Economic Advisers, 2013). Si uno está decidiéndose entre reforzar un sistema energético existente u optar por una reparación más sustancial, estas estimaciones de los daños potenciales ofrecen un punto de partida para visibilizar a fondo los riesgos.

Las evaluaciones convencionales de los costes energéticos tienden a excluir las consideraciones que tienen que ver con el robo. En el caso de la electricidad, el robo no solo influye en los gastos totales que deben ser recuperados, sino en los costes secundarios ligados a los riesgos de seguridad y a los daños por robo. Un cálculo reciente de las pérdidas provocadas a nivel global por el robo de energía alude a costes por valor de 25 mil millones de dólares al año (Jiang *et al.*, 2014). En vista de tales retos, la mejora de los sistemas inteligentes puede ofrecer una

---

<sup>25</sup> Otros costes que también merecen nuestra atención son los relativos a la seguridad, la industria/ el empleo y los efectos políticos. Para un análisis de la curva de aprendizaje, véase Grubler y Wilson, 2013, y Araújo, 2014.

solución que incluya una línea de detección y de protección<sup>26</sup>. No obstante, algunos señalan que la tecnología “inteligente”, como la que se da en las infraestructuras de los contadores energéticos avanzados, abre las puertas a nuevos tipos de ciber-vulnerabilidades (McLaughlin *et al.*, sin fecha).

## EVALUACIÓN DE LOS COSTES DE LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS GLOBALES

Las siguientes valoraciones relativas a determinadas transiciones energéticas reflejan distintas suposiciones, limitaciones y, hasta cierto punto, distintos datos y métodos. Aunque no son absolutamente comparables, revelan múltiples dimensiones de los costes.

### Bajo carbono

La transición hacia una economía baja en carbono constituye uno de los objetivos más reconocidos en la actualidad. Con dos tercios de las emisiones globales de gases de efecto invernadero provocados por el sector energético, la transición hacia el bajo carbono se considera una prioridad esencial de muchas agendas (AIE, 2015c y 2015d). Un cambio estructural de este tipo puede ir en consonancia con otros intereses, como reducir el impacto medioambiental, fomentar una huella ecológica más local, favorecer el empleo en el ámbito de la tecnología o fortalecer la seguridad. Las sinergias existentes entre estas aspiraciones hacen que el análisis integrado cobre importancia en el momento de evaluar los costes.

---

26 Un estudio realizado por el Electric Power and Research Institute considera que, en Estados Unidos, la implantación de la tecnología de red inteligente en los hogares de los consumidores por parte de los centros de control y de las redes eléctricas generará costes de entre 338 y 476 mil millones de dólares durante los próximos veinte años. Sin embargo, sugiere que los beneficios que se obtendrán en el mismo período se situarán entre 1,3 y 2 billones de dólares. Supuestamente, los beneficios incluirán una mayor fiabilidad de la red eléctrica, la integración de techos solares y vehículos eléctricos, reducciones en la demanda de electricidad y una mayor ciberseguridad (EPRI, 2011).

## Informe Stern - 2006

Uno de los métodos más conocidos y sistemáticos para calcular los costes globales de la transición hacia un bajo carbono es el propuesto en el *Informe Stern* en 2006. Centrándose en el papel que juegan la energía y otros factores en el cambio climático, el informe demostró que los costes de transición para evitar los peores efectos del CO<sub>2</sub> global (por encima de un rango de 500-550 ppm) podían limitarse a un escaso 1% del PIB por año si las medidas adecuadas se tomaban a tiempo (Stern, 2006). De hecho, indicó que una transición global hacia una energía baja en carbono podría aportar hasta 2,5 billones de dólares de beneficios al año. Estos resultados contrastaban con unos costes globales de entre el 5 y el 20% del PIB por año en el caso de que se mantuviera la trayectoria actual y el nivel de CO<sub>2</sub> mundial superara el rango de 500-550 ppm. En comparación con informes anteriores, este estudio incluía daños futuros mayores y costes de reducción menores (Baker *et al.*, 2008). Además, la elección de la tasa de descuento, el tratamiento del riesgo, la incertidumbre y el capital, y el cálculo y la comparación de costes y beneficios fueron objetos de crítica (Nordhaus, 2007; Dasgupta, 2006; Arrow, 2007)<sup>27</sup>. En 2008, Stern modificó su cálculo y lo elevó al 2% del PIB para conseguir una estabilización con niveles de 500-550 ppm y tener en cuenta los rápidos cambios (Jowitt y Wintour, 2008). Recientemente, además, señaló que las estimaciones del riesgo podrían haber ido más allá todavía (Stewart y Elliott, 2013).

## Citigroup - 2015

Citigroup elaboró recientemente otro estudio acerca de la transición global hacia un sistema bajo en carbono, en el que comparaba los costes de adoptar un cambio de este tipo en comparación con los que supondría mantener la misma situa-

<sup>27</sup> Mediante un análisis económico tradicional, Stern adoptó una tasa del 0,1% anual para descontar el tiempo, tratando a todas las generaciones de manera similar y con un riesgo limitado de extinción, y una tasa del 1,3% anual para el crecimiento del consumo per cápita.

Mientras que los estudios previos reflejaban aumentos de hasta 2 °C y 3 °C, Stern recurrió a la ciencia contemporánea para demostrar los potenciales riesgos de un aumento de la temperatura por encima de 5 °C durante el primer período del próximo siglo (Baker *et al.*, 2008). Para comparar las respuestas principales, véase Ackerman (2007).

ción o no modificar nada. En *Energy Darwinism II: Why a Low Carbon Future Doesn't Have to Cost the Earth*, Citigroup tuvo en cuenta los gastos de combustible y de capital en combinación con los daños potenciales del cambio climático (Channell *et al.*, 2015). Durante el siguiente cuarto de siglo, los gastos en energía se estimaban en 200 billones de dólares, con diferencias marginales entre la energía baja en carbono y la tradicional hasta 2040. Se calculaba que la opción de bajo carbono costaría 190,2 billones de dólares, mientras que la tradicional se situaría en 192 billones. En el caso de no actuar ni modificar nada, el PIB “perdido” ascendería a 44 billones de dólares en 2060 sin proceder al descuento. Visto desde la perspectiva de la rentabilidad, el gasto extra que se requeriría para “actuar” en la transición energética (sin contar el ahorro) con relación al PIB global equivaldría anualmente a un 0,1%-1% del PIB. En este estudio se destacaba que la inversión “activa” favorecería el crecimiento (*Ibid.*).

### **AIE - 2015**

Un tercer estudio de la transición hacia una energía global baja en carbono fue confeccionado por la AIE en el mismo año en que se elaboró el estudio de Citigroup (2015d). Según sus cálculos, en 2014 se habían gastado 270 mil millones de dólares en la generación de electricidad mediante energías renovables<sup>28</sup>. De cara al futuro, anticipa que la inversión anual en tecnologías renovables con las nuevas políticas ascenderá a un total acumulado de 7,4 billones de dólares entre 2015 y 2040, alrededor de un 15% de la inversión total del suministro global de energía<sup>29</sup>. Aquí cabe destacar que, según algunos expertos, la contribución de las renovables se ha subestimado de manera sistemática (Roselund, 2015).

---

28 En comparación, la inversión anual media en energías renovables para el período comprendido entre los años 2000 y 2014 alcanzó los 165 mil millones de dólares. La inversión total acumulada en renovables se situó en 2,5 billones de dólares en este período, lo que equivaldría a 1000 gigavatios de nueva capacidad (AIE, 2015d).

29 Aquí se incluyen 7 billones de dólares dedicados a la generación eléctrica mediante renovables, y 360 mil millones destinados a la transmisión y distribución (AIE, 2015). Si se utilizan biocombustibles para el sector del transporte, se añaden otros 390 mil millones de dólares (*Ibid.*).

Las nuevas políticas y medidas que afectan a los mercados energéticos en la actualidad fueron adoptadas a mediados de 2015, e incluyen compromisos climáticos relativos a la energía propuestos por la Conferencia de las Partes (COP) 21 el 1 de octubre de 2015, así como otras aspiraciones políticas, independientemente de que las mecánicas de implantación hayan sido o no adoptadas (AIE, 2015d).

Con respecto al cambio climático, la senda planeada pretende frenar el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la energía, aunque la AIE no considera que esta medida sea suficiente para limitar el ascenso a medio y largo plazo de la temperatura media global en 2 °C<sup>30</sup>. Para no sobrepasar los límites, la AIE recomienda medidas adicionales como potenciar la inversión en renovables dentro del sector energético desde 270 mil millones de dólares en 2014 hasta 400 mil millones en 2030; aumentar la eficiencia en los edificios, los medios de transporte y la industria; reducir de manera progresiva las plantas eléctricas de carbón menos eficientes, y prohibir la construcción de centrales nuevas; eliminar gradualmente los subsidios sobre los combustibles fósiles y reducir las emisiones de metano en la producción de gas y petróleo (AIE, 2015).

En los tres estudios, los datos relativos a la oferta y a la demanda energética se obtuvieron mediante técnicas de prospectiva y retrospectiva<sup>31</sup>.

## Acceso universal

Otra transición a tener en cuenta en las discusiones relativas a los costes es el progreso hacia un acceso universal. En la actualidad, alrededor de 1.200 millones de personas carecen de acceso a la electricidad (17% de la población), y otros 2.700 millones (28% de la población) recurren a la biomasa tradicional para cocinar

30 El punto crítico de los dos grados se plantea como un límite estricto para evitar las peores consecuencias del cambio climático.

31 La *prospectiva* pronostica lo que puede suceder en función de ciertas suposiciones y metodologías. Este método suele presuponer la existencia de una relación estable entre las tendencias dominantes, y es poco probable que produzca opciones en las que se contemplen discontinuidades (Robinson, 1982 y 1988).

La *retrospectiva* puede resultar más efectiva para aquellas situaciones en las que los responsables políticos aspiran a alterar la senda energética de manera estratégica. Aquí, el método comienza con un final deseado, y se trabaja hacia atrás para determinar cómo conseguir ese objetivo. A través de este análisis, se puede observar una amplia cantidad de opciones que se perderían a través de la prospectiva tradicional. Entre los objetivos se incluyen la autosuficiencia, unos costes sociales (y de otra índole) mínimos, un acceso universal y cantidades específicas en las combinaciones energéticas. Ambos modelos se pueden desglosar en función de sus aspiraciones a corto, medio y largo plazo. La metodología refleja las posibilidades, la viabilidad, el grado de libertad política y las implicaciones de modificar los sistemas energéticos (Robinson, 1982, 1988).

(AIE, 2014)<sup>32</sup>. En 2013, la AIE estimó que 13.100 millones de dólares se habían destinado a la inversión de capital para mejorar el acceso a la electricidad.

De cara al futuro, se estima que los costes para alcanzar el acceso universal alcancen los 979.000 millones de dólares, o 49.000 millones por año, durante el período comprendido entre 2011 y 2030 (AIE, 2014). Esta cantidad supone aproximadamente un 3% de la inversión global en infraestructuras energéticas (AIE, 2012c). Como punto de referencia, el análisis de la inversión necesaria para lograr el acceso universal reveló que hasta 9 mil millones de dólares se habían gastado en 2010 (Banco Mundial y AIE, 2015). Si este patrón continúa, el objetivo marcado para 2030 no se podrá cumplir<sup>33</sup>.

Teniendo en cuenta que los datos a los que es posible acceder no están completos, se realiza una recolección periódica de actualizaciones para satisfacer las necesidades informativas más específicas. Así, esta información se armoniza y se extrapola para cubrir lagunas adicionales. A la fase de desarrollo de datos le sucede el diseño de un modelo econométrico para la estimación de las tasas de electrificación y de la dependencia de la biomasa en función de variables regionales. Los resultados del modelo tienden a asociar el acceso universal con variables como “renta per

---

32 Los servicios energéticos modernos constituyen un elemento fundamental de la calidad del bienestar humano y del desarrollo económico. Con el fin de conseguir un acceso universal para el año 2030, Naciones Unidas puso en marcha la iniciativa Sustainable Energy for All en 2011, a la que siguió la declaración de un Objetivo de Desarrollo Sostenible post 2015.

Los datos indican que alrededor de un 97% de las personas que no tienen acceso a la electricidad vive en África subsahariana y en países asiáticos en desarrollo (AIE, 2015d).

En línea con las inquietudes existentes relacionadas con la seguridad y las emisiones de carbono, se espera que la transición hacia un acceso universal eleve la demanda global de energía en un 1% y las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 0,6% para 2030 (AIE, 2012c).

33 Para definir un posible rumbo hacia el acceso universal en 2030, la AIE define el acceso a la energía moderna como “un hogar cualquiera que cuenta con instalaciones higiénicas para cocinar, con un acceso asequible y seguro, una conexión eléctrica y un nivel creciente de consumo eléctrico en el tiempo” (AIE, 2012c). Si nos centramos en el nivel doméstico, no se incluyen otras categorías y necesidades energéticas, como las de los recintos públicos (escuelas y hospitales) y las empresas (*Ibid.*).

En el caso de las instalaciones higiénicas para cocinar, la AIE caracteriza el acceso como “la disposición de instalaciones para cocinar que pueden ser utilizadas sin dañar la salud de los que las usan, y que son más sostenibles para el medioambiente y más eficientes en términos energéticos que la tradicional cocina de biomasa, empleada actualmente en los países en desarrollo”. Esta definición incluye principalmente los sistemas de biogás, los fogones de gas de petróleo licuefactado (LPG) y otras cocinas de biomasa (*Ibid.*).

cápita, crecimiento de la población, urbanización, precios de los combustibles, nivel de subsidios, avances tecnológicos, consumo energético y programas de acceso energético” (AIE, 2012c).

Esta iniciativa supone un ejemplo único debido a su escala, a la robustez de sus objetivos y a la cantidad de datos e información que, en la práctica, no existía o no se había recopilado de manera sistemática con anticipación. Los enfoques metodológicos para calibrar y valorar el acceso universal requieren un mayor perfeccionamiento, según reconocen el Banco Mundial y la AIE, dado que es necesario conocer más acerca del fenómeno estudiado. Por ejemplo, la representación binaria de la conectividad a la red no tiene en cuenta los apagones imprevisibles, ni la rentabilidad (Banco Mundial y AIE, 2015). Puesto que a la iniciativa le quedan unos 14 años de vida, es de esperar que los métodos de análisis sigan resultando provechosos para un aprendizaje continuo.

### *Consideraciones adicionales*

La naturaleza global de las evaluaciones relativas al acceso universal y a la transición energética hacia sistemas bajos en carbono plantea algunas cuestiones relativas a los retos que pueden surgir a la hora de valorar los costes de un cambio energético. Por ejemplo, definiendo el alcance, los análisis pueden caracterizarse por capas de decisión en cascada. Por ejemplo, si la estimación analítica del acceso universal tuviera que incluir escuelas y hospitales como parámetros, se necesitarían datos y valoraciones adicionales. Además, también podrían resultar necesarias algunas caracterizaciones para diferenciar tipos de consumidores y evitar un doble recuento (AIE, 2012c).

## **CONCEPTOS RELACIONADOS EN LA VALORACIÓN DE SISTEMAS ENERGÉTICOS<sup>34</sup>**

### **Racionalidad acotada en la toma de decisiones y en el análisis**

En el momento de llevar a cabo el análisis de los costes de un cambio energético, uno se podría preguntar qué es lo que inicialmente guía el proceso de selección

<sup>34</sup> Para un análisis más profundo acerca de ideas relativas al bloqueo de alternativas energéticas, a la urgencia, a las ventajas y desventajas y a la innovación, véase Araújo (2014).

de las distintas opciones. Los profesionales del ámbito energético suelen apuntar al tiempo, a los recursos y a la viabilidad en la fase preliminar de decisión. No obstante, durante el proceso de preselección se pueden desechar algunas oportunidades potencialmente viables.

La racionalidad acotada aporta una explicación teórica para estas limitaciones (Simon, 1972, 1982). A primera vista, este concepto, definido como la manera en que el pensamiento de un individuo está limitado por la información disponible, los límites cognitivos y el carácter finito del tiempo a la hora de tomar decisiones, puede parecer tangencial para el análisis de los costes energéticos. Sin embargo, supone un aspecto esencial, ya que ofrece una evaluación del comportamiento desde una perspectiva histórica, así como una determinación prospectiva que puede moldear el horizonte y las decisiones respectivas a la elección de una tecnología. En el proceso definitorio, por ejemplo, la racionalidad acotada influye de manera negativa en las distintas opciones analíticas cuando uno se adhiere únicamente a informes y convenciones tradicionales, puesto que pierde numerosas oportunidades al no considerar la presencia de nuevas tecnologías, prácticas, regímenes políticos u oportunidades integradas en su análisis. Encontramos un ejemplo en aquellos pronósticos energéticos que se apoyan sobre convenciones que prevén un crecimiento de la demanda en un 2-5%. En comparación con un análisis integrado, más amplio e innovador, el enfoque convencional, en vez de alterar el panorama de manera positiva, puede traer consigo más complicaciones y dificultades (Davis y Socolow, 2014).

La racionalidad acotada no se aplica únicamente al pensamiento de analistas y responsables políticos, sino también al de ciudadanos, consumidores y productores involucrados en una transición energética<sup>35</sup>.

Los ciudadanos de una región pueden recibir unas condiciones definidas por la orientación (racionalidad acotada) de sus responsables políticos o de sus analistas asociados. A la vez, aquellos responsables de tomar las decisiones políticas que estén a favor del mercado y de la regularización podrían rechazar los enfoques políticos o las dinámicas de costes que no se encuentren en su círculo cercano.

---

35 Estas categorías tienden a solaparse. Un consumidor de energía suele ser, aunque no necesariamente, un contribuyente tributario.

Así, las estructuras alteradas o distribuidas de costes vinculadas a las sociedades y a la coproducción (Ostrom, 1990 y 2014; Ackerman, 2004; Nevens *et al.*, 2013), así como las medidas adoptadas desde abajo, por la sociedad civil, que no supongan un incentivo para el mercado, no se incluirían. Tales aspectos fundamentales de un sistema energético no solo afectan a sus costes y a su potencial de cambio, sino que pueden estar incrustados dentro de sus estructuras sectoriales (Arthur, 1994; Garud y Karnoe, 2012).

## Nuevos métodos de financiación

Los instrumentos financieros y los mercados reflejan otra dimensión crítica, que puede inferir o facilitar el cambio energético al afectar a los costes en función de la disponibilidad de fondos.

Un mecanismo de financiación relativamente nuevo es el asociado a la financiación en masa o *crowdfunding* (Vasileiadou *et al.*, 2014; Douw & Korin, 2015). Este fenómeno surgió después de la crisis económica de 2008, y hace uso de ideas unidas a las microfinanzas (Banco Mundial, 2013, citando a Murdoch, 1999) y a las colaboraciones abiertas (Banco Mundial, 2013, citando a Poetz y Schreier, 2012). Incluye la recaudación de fondos basada en la venta de acciones y deuda, y se beneficia de las redes sociales, de los perfiles sociales y de la naturaleza viral de las comunicaciones web. Por un lado, puede funcionar como una alternativa a la financiación convencional, catalizando esfuerzos y cubriendo las lagunas que, de otra manera, seguirían existiendo. Además, posee un inmenso potencial, en particular para individuos y regiones que pretenden dejar atrás las estructuras de mercado, los regímenes y las tecnologías tradicionales. No obstante, el reconocimiento supone una pega de este enfoque naciente, ya que una renta alta o un gran patrimonio neto de fondos comunes no tienen que estar necesariamente relacionados con una comprensión avanzada de los mercados de capitales (Luzar, 2013).

Podría contar con un papel en el cambio energético al cubrir ciclos iniciales de financiación que precedan a las fases principales. El Banco Mundial calcula que, en 2012, se consiguieron hasta 2,7 mil millones de dólares en todo el mundo a través de estos modelos y plataformas de negocios (2013). Aunque todavía se

encuentra en sus comienzos, la financiación en masa o *crowdfunding* tiene un potencial significativo que dependerá de las condiciones vigentes y de la cultura del emprendimiento, así como de la presencia de una política favorable (o, por lo menos, neutral).

## UN BALANCE CON ALGUNAS DIRECTRICES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Tras haber repasado un amplio rango de consideraciones relativas a los costes de los sistemas energéticos y sus transiciones, se nos presentan varias conclusiones críticas.

- La noción de “costes reales” puede ser confusa, ya que definiciones, suposiciones, límites, metodologías y datos producen resultados significativamente variables. Aquellos elementos que distorsionan los costes, así como los efectos menos visibles (incluso los costes hundidos), no se incluyen en los cálculos, pero pueden tener un impacto muy considerable en los datos finales y en el ritmo y robustez de una transición energética. Por lo tanto, estas dimensiones deberían tenerse en cuenta y recibir una mayor atención.
- La “distancia” organizativa entre los responsables de tomar decisiones políticas y los analistas suele situar a los últimos en posiciones poco habituales, desde las que “concretan” de manera provisional resoluciones iniciales acerca de qué y cómo se va evaluar, ignorando así las contingencias reales. El peligro de estos enfoques reside en que la complejidad de sus modelos oculta el resto de opciones, y la legitimidad o la inclinación del proceso pueden estar sujetas a las decisiones personales de los analistas.
- Los responsables políticos suelen recurrir a análisis cuantitativos para determinar sus decisiones. Así, algunos de los valores y datos cualitativos que no forman parte de estas evaluaciones y guardan cierta importancia pueden pasar inadvertidos durante el proceso y quedar totalmente al margen.
- En términos prácticos, las decisiones deberían tratarse por separado en un análisis; no obstante, en la realidad se entrelazan o superponen con problemas adi-

cionales y / o dependencias interregionales. En línea con esta idea, los efectos netos y acumulativos de los costes (y beneficios), así como su impacto distributivo, presentan nuevas ramas de investigación para las herramientas actuales de la toma de decisiones, y suponen una oportunidad central de mejorar las técnicas de evaluación.

A fin de cuentas, las evaluaciones de costes suelen reflejar una “instantánea” limitada de una transición energética o de un sistema asociado. Es posible que no tengan en cuenta todas las características relativas a los costes (o a los beneficios). De hecho, es probable que muchas personas ni siquiera quisieran embarcarse en una transición si supieran lo que les depara el futuro. En este sentido, una apreciación de las ventajas y de los límites a la hora de valorar los costes, con referencias cruzadas a otros tipos de análisis y de acumulación de conocimientos, nos permitirá comprender más a fondo el valor real de una transición energética.

## REFERENCIAS

ACCENTURE (2015), *Low Carbon Energy Transition Can Create up to €380 Billion in New Annual Value for Utilities*, Finds Accenture and CDP Report, 5 de noviembre.

ACKERMAN, F. (2007), *Debating Climate Economics*, Report to Friends of the Earth England, Wales and Northern Ireland, Global Development and Environment Institute, Tufts University, Medford M, julio.

ACKERMAN, J. (2004), “Co-Governance for Accountability: Beyond ‘Exit’ or ‘Voice’”, *World Development*, 32: 3, 447-463.

AIE (2012), *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press: Cambridge, Inglaterra y Nueva York, NY, EE.UU. e International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

ALLCOTT, H. (2011), “Social Norms and Energy Conservation”, *Journal of Public Economics*, 95: 9, 1082-1095.

ALLCOTT, H. y ROGERS, T. (2014), “The Short-run and Long-run Effects of Behavioral Interventions: Experimental Evidence from Energy Conservation”, *American Economic Review*, 104(10): 3003-3037.

ARAÚJO, K. (2014), “The Emerging Field of Energy Transitions: Progress, Challenges, and Opportunities”, *Energy Research & Social Science*.

— (2015), “Japan’s Nuclear Energy Choices”, *The Japan Times*, October 29, 2015, <http://www.japantimes.co.jp/opinion/2015/10/29/commentary/japan-commentary/japans-nuclear-energy-choices/#.Vji5dysvzT8>, reimpresso de *The Diplomat*, 22 de octubre.

ARROW, K. (2007), “Global Climate Change: A Challenge to Policy”, *Economist’s Voice*, 4: 3.

ARTHUR, B. (1994), *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*, University of Michigan Press: Ann Arbor, MI.

BACANI, B.; MCDANIELS, J. y ROBINS, N. (2015), Insurance 2030: Harnessing Insurance for Sustainable Development, *Working Paper*, 15/01, junio.

BAKER, R.; BARKER, A.; JOHNSTON, A. y KOHLHAAS, M. (2008), The Stern Review, *Staff Working Paper*, Commonwealth of Australia, enero.

BARBIER, E. (2011), “Pricing Nature”, *Annual Review of Resource Economics*, 3: 337-353.

BAWDEN, T. (2015), *Gulf of Mexico Oil Spill*, *Independent*, 2 de julio.

BIEBL, H. (2012), “Energy Subsidies, Market Distortion, and a Free market Alternative”, University of Michigan, *Journal of Law Reform Caveat*, 46, 1.

BLOCK, B. (2009), *Cheap Energy Comes as High “Hidden” Cost*, Worldwatch Institute.

BUTRAW, D.; KRUPNICK, A. y SAMPSON, G. , con contribuciones de ISAAC, W.; CHU, J. y BEASLEY, B. (2012), *The True Cost of Power*, RFF, Report, junio.

CALDECOTT, B. y McDANIELS, J. (2014), *Stranded Generation Assets: Implications for European Capacity Mechanisms, Energy Markets, and Climate Policy*, *Working Paper*, Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford.

CARBON TRACKER (2015), *The \$2 Trillion Stranded Assets Danger Zone*, *Synthesis Report*, 24 de noviembre.

CHANNELL, J.; CURMI, E.; NGUYEN, P.; PRIOR, E.; SYME, A.; JANSEN, H.; RAHBARI, E.; MORSE, E.; KLEINMAN, S. y KRUGER, T. (2015), *Energy Darwinism II: Why a Low Carbon Future Doesn't Have to Cost the Earth*, informe, Citigroup GPS, agosto.

CLEMSON UNIVERSITY (sin fecha), *Sunk or Stranded Costs*, <http://www.clemson.edu/customerchoice/sunkor.htm#The%20Valuation%20of%20Stranded%20Costs>

CONCA, J. (2015), "It Really Is Our Aging Infrastructure", *Forbes*, 21 de mayo.

CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE (1998), *Electric Utilities: Deregulation and Stranded Costs*, *Paper*, octubre.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; SUTTON, P.; VAN DER PLOEG, S.; ANDERSON, S.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S. y TURNER, R. (2014), "Changes in the Global Value of Ecosystems Services", *Global Environmental Change*, 26: 52-158.

COUNCIL OF ECONOMIC ADVISERS (2013), *Economic Benefits of Increasing Electric Grid Resilience to Weather Outages*, informe, agosto.

DASGUPTA, P. (2007), "Commentary: The Stern Review's Economics of Climate Change", *National Institute Economic Review*, 199: 4-7.

DAVIS, S. y SOCOLOW, R. (2014), "Commitment Accounting of CO<sub>2</sub> Emissions", *Environmental Research Letters*, 9, 8.

DETWILIER, P. (2013), "Electricity Theft: A Bigger Issue Than You Think", *Forbes*, 23 de abril.

DOUW & KOREN (2015), *Crowdfunding Worldwide*, 1 de abril (<http://www.douwenkoren.nl/en/crowdfunding-worldwide-12-5-billion-euro-in-2015/>).

DREBORG, K. (1996), “Essence of Backcasting”, *Futures*, 28(9): 813-828.

ECONOMIST (2014), “The Elephant in the Atmosphere”, 19 de julio, <http://www.economist.com/news/business/21607838-managers-biggest-oil-firms-clash-investors-over-climate-change-elephant>

— (2015), “Mission Impossible”, 7 de febrero, <http://www.economist.com/news/asia/21642221-industrial-clean-up-without-precedent-mission-impossible>

EISING, R. y KOHLER-KOCH, B. (1999), “Introduction: Network Governance in the European Union”, en: KOHLER-KOCH, B. y EISING, R. (Eds), *The Transformation of Governance in the European Union*, Routledge: Londres, Inglaterra.

ELECTRIC POWER AND RESEARCH INSTITUTE (EPRI) (2011), *Estimating Costs and Benefits of the Smart Grid*, informe, 29 de marzo.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/>

FOXON, T. (2013), “Transition Pathways for a UK Low Carbon Energy Future”, *Energy Policy*, 52: 10-24.

GARUD, R. y KARNOE, P. (Eds.) (2012), *Path Dependence and Path Creation*, Psychology Press: East Sussex, Inglaterra.

GERDES, K. y NICHOLS, C. (2009), Water Requirements for Existing and Emerging Thermoelectric Plant Technologies, informe, DOE/NETL 402/080108.

GOLDEMBERG, J. y JOHANSSON, T. (Eds), (2004), *World Energy Assessment Overview: Update*, United Nations Development Programme (UNDP), United Nations Department of Economic and Social Affairs y World Energy Council.

GOLDTHAU, A. (2010), “Energy Diplomacy in Trade and Investment of Oil and Gas”, en: GOLDTHAU, A. y WITTE, J., *Global Energy Governance*, Global Public Policy Institute, Berlin y Brookings Institute: Washington D.C.

GREENSTONE, M. y LOONEY, A. (2012), Paying too much for Energy? The True Costs of our Energy Choices, *Working Paper*, 12-05, 24 de febrero.

GRUBLER, A. y WILSON, C. (Eds) (2013), *Energy Technology Innovation: Learning from Historical Successes and Failures*, Cambridge University Press: Cambridge, Inglaterra.

HALL, S.; FOXON, T. y BOLTON, R. (2015), “Investing in Low Carbon Transitions, Energy Finance as an Adaptive Market”, *Climate Policy*, octubre.

HALLAM, C. y CONTRERAS, C. (2015), “Evaluation of the Levelized Cost of Energy Method for Analyzing Renewable Energy Systems”, *IEEE Systems Journal*, 9(1): 199-208.

HOHMEYER, O. (1992), “Renewables and the Full Costs of Energy”, *Energy Policy*, 20(4): 365-375.

INTERAGENCY WORKING GROUP ON SOCIAL COST OF CARBON (2010), United States Government, Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis, Under Executive Order 12866, Technical Support Document, febrero.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2012a), *Method for Calculating Subsidies to Renewables*, OECD/IEA, Paris, Francia.

— (2012b), *Fossil Fuel subsidies – Methodology and Assumptions*, OECD/IEA, Paris, Francia.

— (2012c), *Methodology for Energy Access*, OECD/IEA, Paris, Francia.

— (2014), *World Energy Investment Outlook*, OECD/IEA, Paris, Francia.

— (2015), <http://www.worldenergyoutlook.org>, 26 de noviembre.

— (2015a), *Data*, OECD/IEA, Paris, Francia.

— (2015b), *World Energy Balances, Data Documentation*, OECD/IEA, Paris, Francia.

— (2015c), *Projected Costs of Generating Electricity*, IEA/NEA, Paris, Francia.

— (2015d), *World Energy Outlook*, OECD/IEA, Paris, Francia.

— (2015e), *WEO Special Report*, OECD/IEA, Paris, Francia.

INTERNATIONAL MONETARY FUND (IMF) (2007), *Guide on Resource Revenue Transparency*, IMF, Washington DC.

JIANG, R.; LU, R.; WANG, Y.; LUO, J.; SHEN, C. y SHEN, X. (2014), “Energy-Theft Detection Issues for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid”, *Tsinghua Science and Technology*, 19(2): 105-120.

JOHANSSON, T. y STEEN, P. (1978), *Solar Sweden*, Secretariat for Future Studies, Estocolmo, Suecia.

JOSCOW, P. (2011), “Comparing the Costs of Intermittent and Dispatchable Electricity Generating Technologies”, *American Economic Review*, Papers and Proceedings, 100(3): 238-241.

JOWIT, J. y WINTOUR, P. (2008), “Cost of Tackling Global Climate Change has Doubled, Warns Stern”, *The Guardian*, 26 de junio.

LEIBOWICZ, B. D.; KREY, V. y GRUBLER, A. (2015), *Representing Spatial Technology Diffusion in an Energy System Optimization Model*, *Technological Forecasting and Social Change* (artículo en prensa).

LEVI, M. (2010), Energy Security: An Agenda for Research, *Working Paper*, Council on Foreign Relations, junio.

LONNROTH, M.; JOHANSSON, T. y STEEN, P. (1980), “Sweden beyond Oil”, *Science*, 208: 557-563.

LOVINS, A. (1976), “Energy Strategy: The Road Not Taken?”, *Foreign Affairs*.

LUCAS, A. (2016), “Stranded Assets, Externalities, and Carbon Risk in the Australian Coal Industry”, *Energy Research and Social Science*, 11: 53-66.

LUZAR, C. (2013), “It’s Here: World Bank Report on Crowdfunding”, *Crowdfund Insider*, 20 de octubre.

MARKARD, J. y TRUFFER, B. (2008), “Technological Innovation Systems and the Multi-Level Perspective: Towards an Integrated Framework”, *Research Policy*, 37: 596-615.

MCCLEAN-CONNER, P. (2009), *Reducing Revenue Leakage, Electric Light and Power Magazine*.

MCLAUGHLIN, S.; PODKUIKO, D. y MCDANIEL, P. (sin fecha), Energy Theft in Advanced Metering Infrastructure, CRITIS 09, [https://www.idc-online.com/technical\\_references/pdfs/electrical\\_engineering/critis09.pdf](https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electrical_engineering/critis09.pdf)

MIELKE, E.; ANADON, L. y NARAYANAMURTI, V. (2010), Water Consumption of Energy, Resource Extraction, Processing, and Conversion, *Discussion Paper*, 2010-15, octubre.

MOOMAW, W. (2015), *Presentation, Energy Security Forum*, Reykjavik University, Reykjavik, Islandia, 15 de octubre.

MOSCOVICI, D.; DILWORTH, R.; MEAD, J. y ZHAO, S. (2015), “Can Sustainability Plans Make Sustainable Cities? The Ecological Footprint Implications of Renewable Energy within Philadelphia’s Greenworks Plan”, *Sustainability: Science, Practice & Policy*, 11:1.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2010), *Hidden Costs of Energy*, National Academies Press.

NEVENS, F.; FRANZESKAKI, N.; GORISSEN, L. y LOORBACH, D. (2013), “Urban Transition Labs”, *Journal of Cleaner Production*, 50: 111-122.

NITKOSKI, M. (2015), “China Seeks to Turn its Potential Wind and Solar Power into a Reality”, *China Economic Review*, 25 de junio.

NORDHAUS, W. (2007), “A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change”, *Journal of Economic Literature*, XLV: 686-702.

O’ROURKE, D. y CONNOLLY, S. (2003), “Just Oil? The Distribution of Environmental and Social Impacts of Oil Production and Consumption”, *Annual Review of Environmental Resources*, 28: 587-617.

OSTROM, E. (1990), *Governing the Commons*, Cambridge University Press: Cambridge, UK.

— (2014), “Collective Action and Evolution of Social Norms”, *Journal of Natural Resources Policy Research*, 6(4): 235-252.

PENTLAND, W. (2014), Levelized Cost of Electricity, *Forbes*, 29 de noviembre, <http://www.forbes.com/sites/williampentland/2014/11/29/levelized-cost-of-electricity-renewable-energys-ticking-time-bomb/print/>

Plumer, B. (2012), “How to Calculate the True Cost of Energy”, *The Washington Post*, 25 de abril.

REN 21 (2015), *Global Status Report*, <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>

REUTERS (2015), Carbon Limits to Put \$2 Trillion of Coal, Oil and Gas Projects at Risk, 24 de noviembre, <http://newsdaily.com/2015/11/carbon-limits-to-put-2-trillion-of-coal-oil-gas-projects-at-risk-report/>

ROBINSON, J. (1982), “Energy Backcasting: A Proposed Method of Analysis”, *Energy Policy*, 10(4): 337-344.

— (1988), “Unlearning and Backcasting”, *Technological Forecasting and Social Change*, 33: 325-338.

ROSELUND, C. (2015), “IEA Talks Energy Transition, but Still Low Balls Future Growth of Wind and Solar”, *PV Magazine*, 10 de noviembre.

SEYMOUR, R. y GEYER, R. (1992), “Fates and Effects of Oil Spills”, *Annual Review of Energy and the Environment*, 17: 261-283.

SHERLOCK, M. (2011), *Energy Tax Policy*, CRS R41227, 2 de mayo.

SIGMAN, H. y STAFFORD, S. (2011), “Management of Hazardous Waste and Contaminated Land”, *Annual Review of Resource Economics*, 3(2): 55-75.

SIMON, H. (1972), “Theories of Bounded Rationality”, *Decision and Organization*, 1: 161-176.

— (1982), *Models of Bounded Rationality: Empirically Grounded Economic Reason*, (Volume 3) MIT Press: Cambridge, MA.

SMITH, A. (2012), *Civil Society in Sustainable Energy Transitions*, en: *Governing the Energy Transition: Reality, Illusion or Necessity?*, Routledge: Londres, Inglaterra.

SMITH, K.R.; BALAKRISHNAN, K.; BUTLER, C.; CHAFE, Z.; FAIRLIE, I.; KINNEY, P.; KJELLSTROM, T.; MAUZERALL, D.L.; MCKONE, T.; MCMICHAEL, A. y SCHNEIDER, M. (2012), capítulo 4 – “Energy and Health”, en: *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra y Nueva York, NY, EE.UU. e International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, pp. 255-324.

SMITH, T. (2004), “Electricity Theft: A Comparative Analysis”, *Energy Policy*, 32: 2067-2076.

SOVACOOOL, B. (2008), “The Costs of Failure: A Preliminary Assessment of Major Energy Accidents: 1907-2007”, *Energy Policy*, 36(5): 1802-1820.

SOVACOOOL, B.; KRYMAN, M. y LAINE, E. (2015), “Profiling Technological Failure and Disaster in the Energy Sector: A Comparative Analysis of Historical Energy Accidents”, *Energy*, 90: 2016-2027.

STERN, N. (2006), “Stern Review on the Economics of Climate Change”, *Report, HM Treasury*, Londres, Inglaterra.

STEWART, H. y ELLIOTT, L. (2013), “Nicholas Stern: I Got it Wrong on Climate Change – It’s Far Worse”, *The Guardian*, 26 de enero.

TILTON, J. (2015), *U.S. Energy R&D Policy, The Role of Economics*, Routledge: Londres, Inglaterra.

TURNHEIM, B.; BERKHOUT, F.; GEELS, F.; HOF, A.; MCMEEKIN, A.; NYKVIST, B. y VAN VUUREN, D. (2015), “Evaluating Sustainability Transition Pathways”, *Global Environmental Change*, 35(1): 239-253.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) (2014), *Aligning the Financial System with Sustainable Development*, junio.

— (2015), *The Coming Financial Climate*, mayo.

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (USAID) (2015), Mekong Adaptation and Resilience to Climate Change (USAID Mekong ARCC), On-line Ecosystem Evaluator.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) (2015), *Annual Energy Outlook*.

VASILEIADOU, E.; HUIJBEN, J. y RAVEN, R. (2014), “Three is a Crowd? Exploring the Potential of Crowdfunding for Renewable Energy in the Netherlands”, *Journal of Cleaner Production*, artículo en prensa.

WILSON, C.; GRUBLER, A.; BAUER, N.; KREY, V. y RIAHI, K. (2013), “Future Capacity Growth of Energy Technologies”, *Climatic Change*, 118(2): 381-395.

WORLD BANK (2013), *Crowdfunding's Potential for the Developing World*, informe, Washington DC.

— (2015), *World Development Indicators*, <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators#>

WORLD BANK e IEA (2015), *Progress toward Sustainable Energy, Global Tracking Framework*, informe.

WORLD ENERGY COUNCIL (WEC) (2015), *World Energy Trilemma Index*, informe.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2013), *WHO Methods and Data Sources for Global Burden of Disease Estimates, 2000-2011*, [http://www.who.int/healthinfo/statistics/GlobalDALYmethods\\_2000\\_2011.pdf?ua=1](http://www.who.int/healthinfo/statistics/GlobalDALYmethods_2000_2011.pdf?ua=1)

WUPERTALL INSTITUTE (2009), *Measuring and Reporting Energy Savings for the Energy Services Directive, How It can be Done*, informe, 30 de junio.

YONK, R. (2015), “Wind Energy’s True Costs”, *New York Times*, 21 de octubre.