

Sistemas para el Cambio: ¿Energía Nuclear versus Eficiencia Energética + Energías Renovables?

“Sabemos que el país que aprovecha la potencia de la energía renovable y limpia será el que lidere el siglo XXI”.

Presidente Barack Obama, Discurso del Estado de la Unión, febrero de 2010

Hipótesis

Una inversión continuada en energía nuclear, particularmente nuevos proyectos de centrales nucleares, constituye una barrera significativa para el necesario cambio hacia una economía de servicios energéticos sustentable e inteligente, basada en eficiencia energética y fuentes de energía renovable.

Por Antony Froggatt con Mycle Schneider

Artículo preparado para la Fundación Heinrich Böll, marzo 2010

Supervisión técnica versión en Español: Dr. Josep Puig i Boix

Editado por la Fundación Heinrich Böll Conosur

Sobre los Autores

Antony Froggatt es *Senior Research Fellow* (Investigador Académico Senior) en Chatham House, donde se especializa en asuntos relacionados con el cambio climático, la política energética de la Unión Europea (UE) y la energía nuclear. Durante más de 20 años trabajó extensivamente en asuntos sobre política energética de la UE para Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y *think tanks*, como consultor ante gobiernos europeos, la Comisión Europea y el Parlamento Europeo y entidades comerciales. En Chatham House es coautor de informes sobre las sinergias y conflictos entre políticas de seguridad energética y climática y el desarrollo bajo en carbono en China.

Mycle Schneider trabaja como un consultor internacional en política energética y nuclear. Entre 1983 y abril 2003, Mycle Schneider fue director ejecutivo del Servicio de Información WISE París y editor jefe de *Plutonium Investigation*, un servicio basado en la web. Desde 2000 ha sido un consultor ante el Ministerio del Medio Ambiente de Alemania. Desde 2004 también estuvo a cargo de la Clase de Estrategias Ambientales y Energéticas del Master Internacional del Ciencia para la Gestión de Proyectos para la Ingeniería de la Energía y el Medio Ambiente en la francesa *Ecole de Mines* en Nantes. En 2006/2007 formó parte del consorcio de consultores que evaluó asuntos de financiamiento del desmantelamiento nuclear y de la gestión de residuos en representación de la Comisión Europea. Mycle Schneider proporcionó información y servicios de consultoría a una gran variedad de clientes, incluyendo la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), Greenpeace International, UNESCO, Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), la Comisión Europea, la Dirección General para Investigación del Parlamento Europeo, el Instituto Francés para Protección contra la Radiación y Seguridad Nuclear (IRSN). En 1997 fue honrado con *Right Livelihood Award* ("Premio Nobel Alternativo") junto con Jinzaburo Takagi, por el trabajo conjunto de ambos sobre el plutonio.

Índice de materias

Introducción	5
1 Visión de Conjunto y Tendencias	9
1.1 Demanda de energía e impacto en un mundo constreñido por el carbono y los recursos	9
1.2 Transformando las opciones de suministro de energía	11
1.3 Desarrollo histórico y pronosticado de las energías renovables	12
1.4 Desarrollo histórico y previsto de la energía nuclear	19
1.5 Comparación de la energía nuclear con las energías renovables	21
2 Asuntos sistémicos	23
2.1 El sistema centralizado francés	24
2.2 El enfoque alemán: Reducción progresiva de la energía nuclear y expansión de las energías renovables	25
2.3 ¿Las energías renovables españolas están alcanzando su máximo?	27
2.4 Un nuevo enfoque	27
3 El calendario de inversiones	30
3.1 Imperativo de una rápida acción para hacer frente al cambio climático	30
3.2 Tiempos de espera para aumentar a escala nuevas tecnologías, experiencias y expectativas	31
3.2.1 Energía nuclear	31
3.2.2 Energías renovables	36
4 Costos de oportunidad	39
4.1 Investigación y desarrollo	41
4.2 Costos de inversión	43
4.3 Infraestructura y redes	47
4.4 Mecanismos de mercado	50
5 Conclusiones	56

Figuras y cuadros

<i>Figura 1: Crecimiento en demanda energética mundial.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2: Crecimiento global de la energía renovable en el sector de la electricidad (excluyendo grandes hidroeléctricas).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3: Nueva inversión financiera en energía limpia por sector: 2004-2009 (miles de millones de US\$).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4: Producción global de electricidad y de hidroeléctrica (TWh).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5: Potencia instalada acumulada global de energía eólica (MW).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6: Potencia eólica instalada a finales de 2008 (MW).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7: Potencia mundial instalada en centrales termosolares de concentración 1980-2007 (MW).....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 8: Producción mundial anual de células solares 1975-2007 (MW).....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9: Reactores nucleares y potencia instalada a nivel mundial 1954-2010 (GW).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10: Incrementos netos mundiales de potencia conectados a la red de electricidad provenientes de nuevas energías renovables y energía nuclear 1990 - 2010 (en GW).....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11: Producción de electricidad proveniente de fuentes que no sean combustibles fósiles.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 12: Evolución del costo de inversión ("curva de aprendizaje") de centrales nucleares estadounidenses.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 13: Evolución del costo de inversión ("curva de aprendizaje") de centrales nucleares francesas.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14: Curvas de aprendizaje de la tecnología.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 15: Inversiones cambiantes en sectores de energía baja en carbono.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 16: Presupuestos nacionales de investigación y desarrollo en países la OCDE (miles de US\$).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 17: Desglose tecnológico de presupuestos de investigación y desarrollo energéticos de la OCDE (1974-2008).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18: Costos estimados de reducción de carbono en el Reino Unido en 2020 (£/tC).....</i>	<i>46</i>
<i>Cuadro 1: Tiempo de construcción de centrales nucleares en todo el mundo.....</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro 2: Proyecciones de costos para la electricidad generada según diversas fuentes de energía, en 2020.....</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 3: Clasificación por rangos de las tecnologías de renovables, nuclear y de carbón.....</i>	<i>55</i>

Introducción

El discurso del Presidente Obama de Estados Unidos en Maryland¹, el 16 de febrero de 2010, marca las pautas. El posible futuro, según dice, es “un futuro en el que la electricidad renovable esté alimentando automóviles híbridos enchufables, hogares y negocios energéticamente eficientes” y “en el que estemos exportando tecnología energética desarrollada en casa en vez de importar petróleo foráneo”. Y para poder llegar allí, dice él, se necesita mucho más:

Tendremos que hacer continuas inversiones en tecnologías avanzadas de biocombustibles y de carbón limpio, incluso a medida que instalemos una mayor potencia en energías renovables como la del viento y la solar. Y tendremos que construir en América una nueva generación de centrales nucleares limpias y seguras.

Eficiencia, energías renovables y energía nuclear. El Presidente Sarkozy de Francia concuerda con su colega estadounidense y el 9 de junio de 2009 declaró: “Haremos un viraje en lo referente a energías renovables y que es tan significativo como el viraje nuclear que hizo el General de Gaulle en la década de 1960. No es uno o el otro. Es uno y el otro”². Sarkozy anunció que por cada euro gastado en energía nuclear, se gastará un euro en energía renovable. También aclaró la agenda política referente a este asunto. La paridad de inversión está concebida “para preservar un consenso sobre lo nuclear y hacer que aquellos que se oponen a lo nuclear toleren la energía nuclear”³. Lo que durante 65 años se conoció como Comisión Francesa de

¹ Observaciones del presidente de Energy en, Lanham, Maryland (16 febrero de 2010), <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/remarks-president-energy-lanham-maryland>

² *Le Monde* (9 de junio de 2010); de hecho, no fue de Gaulle quien lanzó el primer gran programa de centrales nucleares, sino el Primer Ministro Messmer en 1974.

³ *Ibid.* Habría que agregar que el “consenso” referente a la energía nuclear jamás fue un consenso de la opinión pública, sino más bien un acuerdo de los partidos políticos más importantes.

Energía Atómica pronto se renombrará como Comisión de Energía Atómica y de Energías Alternativas (*Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives*).

¿La energía nuclear es una “tecnología puente”? El gobierno de la coalición conservadora de Alemania anunció que planea alargar la operación de sus 17 centrales nucleares remanentes más allá de los plazos perentorios que están definidos en la, aún válida, legislación de la eliminación progresiva de la energía nuclear. Conforme al acuerdo de coalición entre los dos partidos de gobierno, “la parte del león” de los beneficios adicionales provenientes de la extensión de la vida útil del parque nuclear serán gravados por el gobierno con un impuesto y reinvertidos en energías renovables y eficiencia energética en particular. La prohibición explícita de la nueva construcción de plantas nucleares permanecerá intacta. El gobierno de la Canciller Angela Merkel y su propio partido están divididos cuando se trata de la implementación del acuerdo. El Ministro del Medio Ambiente, Norbert Röttgen, declaró que el desafío es cambiar “casi completamente a las energías renovables” y recalca que él “no conoce a persona alguna en la coalición que diga: La nuclear es nuestra tecnología del futuro”⁴. Röttgen quiere que la eliminación progresiva de la energía nuclear esté finalizada en 2030 – unos ocho años más tarde que el límite de tiempo conforme a la actual legislación, cuando los reactores lleguen a unos 40 años de edad y se supone que las energías renovables cubran el 40% de la electricidad, comparado con el 16% de hoy en día. El ministro alemán señala que mucha electricidad nuclear y mucha eco-electricidad no encajan una con otra como conceptos económicos”⁵.

¿Encajan o no encajan una con otra? Alemania es probablemente el caso más interesante cuando se trata del análisis de los aspectos potencialmente complementarios o contradictorios de sistemas energéticos basados en energía nuclear y eficiencia+energías renovables. La Federación Alemana de Empresas Municipales (VKU) – una poderosa asociación de 1.350 compañías que abarcan más de la mitad de los usuarios finales en los sectores eléctricos y térmicos del país – está preocupada acerca de las consecuencias del planeado retraso de la eliminación progresiva de la energía nuclear. El director ejecutivo de la VKU, Hans-Joachim-Reck, declaró en un comunicado de prensa: ⁶

Las implicancias negativas para la competencia y para la conversión del sistema energético hacia la descentralización y las energías renovables han quedado totalmente borradas. [...] Es contraproducente desalentar las inversiones de las empresas de servicios públicos municipales en una generación eficiente de energía y orientada al futuro.

⁴ *Frankfurter Rundschau* (19 de febrero de 2010). Ver sitio: http://www.fr-online.de/in_und_ausland/wirtschaft/debatte_energie_der_zukunft/?em_cnt=2331965&

⁵ Ibid.

⁶ VKU, comunicado de prensa 2/10 (19 de enero 2010).

La VKU agregó que habría que volver ahora a determinar las inversiones municipales en centrales eléctricas en Alemania, del orden de 6.500 millones de euros, e incluso estaría amenazada la viabilidad económica de proyectos ya implementados.

Muchos asuntos sistémicos aún no han sido exhaustivamente investigados cuando se trata de la compatibilidad o incompatibilidad del enfoque nuclear centralizado versus la estrategia descentralizada de eficiencia+energías renovables. ¿Cuáles son las consecuencias para el desarrollo de la red, o cómo influyen las decisiones de escoger sobre características de la red en las estrategias de inversión de la generación de electricidad? ¿En qué medida resulta que el tamaño de la unidad es co-responsable de los excesos de potencia estructurales y por lo tanto una falta de incentivos para la eficiencia? ¿Cómo las ayudas/subvenciones del gobierno estimulan la toma de decisiones a largo plazo? ¿Las grandes centrales de energías renovables reproducirán los mismos efectos sistémicos como las grandes centrales a carbón o nucleares?

Este informe presenta la situación básica y plantea preguntas que necesitan urgentemente ser atendidas. Una política energética exitosa tendrá que atender las necesidades de servicios energéticos de las personas de una manera mucho más eficiente que lo que se ha hecho en el pasado, ya que la mayor competencia por los combustibles fósiles, que a fin de cuentas son limitados, conduce a precios de energía más altos para todos. Durante demasiado tiempo, las políticas energéticas tuvieron como objetivo la "seguridad del suministro " de petróleo, gas y kilowatios-hora, en vez del acceso general a servicios sustentables, confiables y accesibles como alimento cocinado, calor y frío, luz, comunicación, movilidad y fuerza motriz.

El resultado es bien conocido. Incluso en países industrializados con programas establecidos de energía nuclear, tales como Estados Unidos, Francia y Reino Unido, la pobreza energética llegó a ser un grave problema y está aumentando rápidamente. Se creó el acrónimo inglés EWD. Significa *Excess Winter Deaths* (Exceso de Muertes Invernales). Un proyecto europeo⁷⁷ mostró que el número de personas que mueren durante el invierno, porque no pueden permitirse calefaccionar sus hogares apropiadamente, ha llegado a ser estadísticamente muy significativa. Los *EWD* varían desde un 10% en París a un 30% en Glasgow. En el Reino Unido se estima que 15.000 personas mueren en invierno, además de la tasa normal de mortalidad, debido a las consecuencias de la pobreza energética. En la Francia nuclear, cerca de ocho millones de hogares, un 28% del total, gastan más del 10% del presupuesto en energía (incluyendo transporte). Desde 2005, cerca de tres millones de familias francesas tienen derecho a la Tarifa de Necesidades Primarias, otro invento reciente que proporciona una tarifa subvencionada más baja para familias de bajos ingresos.

⁷ European fuel Poverty and Energy Efficiency, ver <http://www.precarite-energetique.org/>

Es obvio que la energía nuclear no condujo a un acceso amplio y justo a los servicios energéticos en los países que optaron por la energía nuclear. ¿Pero una estrategia nuclear es el la actualidad contraproducente para el desarrollo de un futuro servicio energético limpio, basado en eficiencia+energías renovables? Hay una fuerte evidencia que éste sea el caso. Como lo comentó la revista *Time* acerca de la decisión del Presidente Obama referente a la decisión sobre garantías de crédito a la energía nuclear: "A la larga, la extravagante generosidad del gobierno podría crear un renacimiento nuclear de cosas más o menos parecidas – pero podría terminar estrangulando mejores soluciones en sus cunas o impedir que lleguen a nacer alguna vez." ⁸

Nuclear versus Renewable

Amory Lovins:⁹ "Pero la energía nuclear es el método menos efectivo: ahorra carbono, pero cerca de 2 a 20 veces menos por dólar y 20 a 40 veces menos por año, que si se compran sus competidores ganadores".

Bill Keepin y Gregory Kats:¹⁰ Mejorar la eficiencia eléctrica es casi siete veces más eficiente, en cuanto a costo, que la energía nuclear para disminuir emisiones de CO₂ en los Estados Unidos.

Medio ambiente California:¹¹ "Por dólar gastado a lo largo de la vida útil de la tecnología, la eficiencia energética y la co-combustión de biomasa son cinco veces más eficaces en la prevención de la polución por dióxido de carbono, y la cogeneración (generación combinada de calor y electricidad) es tres veces más eficaz" que la energía nuclear.

Warwick Business School:¹² El socavamiento de otras tecnologías significa que la energía nuclear no es complementaria con otras tecnologías bajas en carbono. Esto refuta el argumento que todas las tecnologías deben y son capaces de ser utilizadas juntas, a fin de que puedan trabajar armoniosamente en conjunto para reducir las emisiones de dióxido de carbono. Por el contrario, el gobierno tendrá que elegir entre un futuro nuclear y un futuro dominado por la generación renovable y el uso más eficiente de la energía.

⁸ Revista *Time* (18 de febrero 2010).

⁹ Amory B. Lovins, "Proliferation, Oil, And Climate: Solving For Pattern"; la versión ampliada de Lovins del ensayo "Proliferation, Climate, And Oil: Solving For Pattern," *Foreign Policy* (17 de enero 2010).

¹⁰ B. Keepin y G. Kats, "Greenhouse Warning. Comparative Analysis of Nuclear and Efficient Abatement Strategies," *Energy Policy* 15:6 (diciembre 1988): páginas S38-S61.

¹¹ Travis Madsen, Tony Dutzik, Bernadette Del Chiario y Rob Sargent, *Environment California: Generating Failure: How Building Nuclear Power Plants Would Set America Back in the Race Against Global Warming* (noviembre 2009).

¹² Catherine Mitchell y Bridget Woodman, *New Nuclear Power: Implications for a Sustainable Energy System* (Warwick Business School: marzo 2006).

1 Visión de Conjunto y Tendencias

1.1 *Demanda de energía e impacto en un mundo constreñido por el carbono y los recursos*

Los últimos años vieron cambios sin precedentes en el sector energético. Los mercados – en particular para el petróleo, pero con un efecto de repercusión en otras fuentes de energía – han sido extremadamente volátiles. A mediados de 2008, el precio del petróleo era cercano a \$150 por barril – un aumento óctuple con respecto a una década anterior. No obstante, después de unos pocos meses, los altos precios habían acelerado problemas económicos globales que resultaron en un colapso de los precios a alrededor de \$30 por barril. En todos los sectores energéticos, la recesión global produjo una bajada en el consumo de energía y, notablemente, se espera que 2009 sea el primer año desde el término de la Segunda Guerra Mundial en que el consumo global de electricidad haya bajado.

Sin embargo, globalmente, los tradicionales “pronósticos” energéticos prevén rápidos aumentos en la demanda de energía, primordialmente impulsados por la necesidad de alimentar a las crecientes economías en Asia, y particularmente en China y en menor extensión en India. La Agencia Internacional de Energía (IEA) supone, en su Escenario de Referencia de la Evaluación Mundial de la Energía 2009, que la demanda energética global aumentará en un 40% en 2030. En este escenario, el consumo chino de energía, efectivamente aumenta al doble entre 2007 y 2030, mientras que en la Unión Europea la demanda aumenta sólo 1% y en los Estados Unidos menos de 5%. El Escenario de Referencia adoptado por la IEA no es un escenario sustentable, pero es una extensión de las políticas nacionales actuales. No hay duda de que el desarrollo a lo largo de este recorrido conduciría a cambios sin parangón y catastróficos en la atmósfera, siendo que la IEA está sugiriendo que “la concentración de CO₂ insinuada por el Escenario de Referencia resultaría en un aumento global promedio de hasta 6 grados Celsius”¹³.

¹³ IEA, *World Energy Outlook 2009*, página 44.

El impacto climático no es el único problema –ni necesariamente el más apremiante– asociado con el Escenario de Referencia. La interrogante de la disponibilidad a medio plazo de los recursos apropiados y su impacto asociado a la disponibilidad física y a los precios para los consumidores, es especialmente apremiante para combustibles líquidos. En años recientes, la IEA disminuyó las estimaciones de 2030 para la demanda de petróleo en su Escenario de Referencia. En la publicación 2004 *World Energy Outlook (Mirada a la Energía del Mundo 2004)* se esperaba que la demanda global del petróleo iba a aumentar a razón de 1,6% por año, llegando a 121 millones de barriles por día (mb/día) en 2030, si se compara con los escenarios actuales de un índice de crecimiento de 1% anual, llegando a 105 mb/día en 2030. La IEA alteró en particular sus suposiciones para el consumo de petróleo en los países de la OCDE con una diferencia de 17 mb/día entre los escenarios de 2004 y 2009. La menor demanda de petróleo, sin embargo, aún conduce a serias interrogantes sobre la disponibilidad de los recursos, debido a una combinación del aumento global en la demanda (ya que la demanda actual es de 76 mb/día). Una evaluación hecha por el *UK Energy Research Centre (Centro de Investigación Energética del Reino Unido)* en 2009 estimó que el índice promedio de disminución de los yacimientos, que pasaron por su punto máximo de producción, es de por lo menos 6,5%/año globalmente, mientras que el correspondiente índice de disminución de todos los yacimientos actualmente en producción es de por lo menos 4%/año. Para mantener los niveles actuales de producción, se requeriría cada año una nueva capacidad de 3 mb/año o el equivalente de la producción de Arabia Saudita cada tres años¹⁴.

Por lo tanto, desde una perspectiva de un sistema de seguridad de suministro y de seguridad climática, el sistema energético actual y las políticas que lo forman son sumamente insustentables. Sea cual fuere el tipo de sistema energético previsto, se requerirán nuevas inversiones para satisfacer los aumentos predichos en la demanda en pro de la explotación de nuevas fuentes de energía y para reemplazar la infraestructura e instalaciones existentes. La IEA estimó que el costo de las inversiones para su Escenario de Referencia será del orden de \$26 billones entre 2008 y 2030, a un requerimiento anual de \$1,1 billón – 1.4% del PIB (Producto Interno Bruto) global por año. Más de la mitad de este costo será para el sector de la energía. Sería importante que la IEA creara también un escenario en el que se reducen las emisiones provenientes del sector energético de manera tal que caigan dentro del objetivo de 2 grados. Los costos de inversión asociados con este “Escenario 450” son significativamente superiores a los del caso de Referencia y requerirían un monto adicional de \$10,5 billones. Sin embargo, la IEA calcula también que el Escenario 450 resultará en un costo energético reducido de alrededor de \$8,6 billones para 2030 y un ahorro total a lo largo de la vida útil de las estructuras de \$17 billones.

Resulta claro que se necesita una nueva dirección para crear un sector energético sustentable

¹⁴ UKERC, *Global Oil Depletion, An Assessment of the Evidence for a Near-term Peak in Global Oil Production* (agosto 2009).

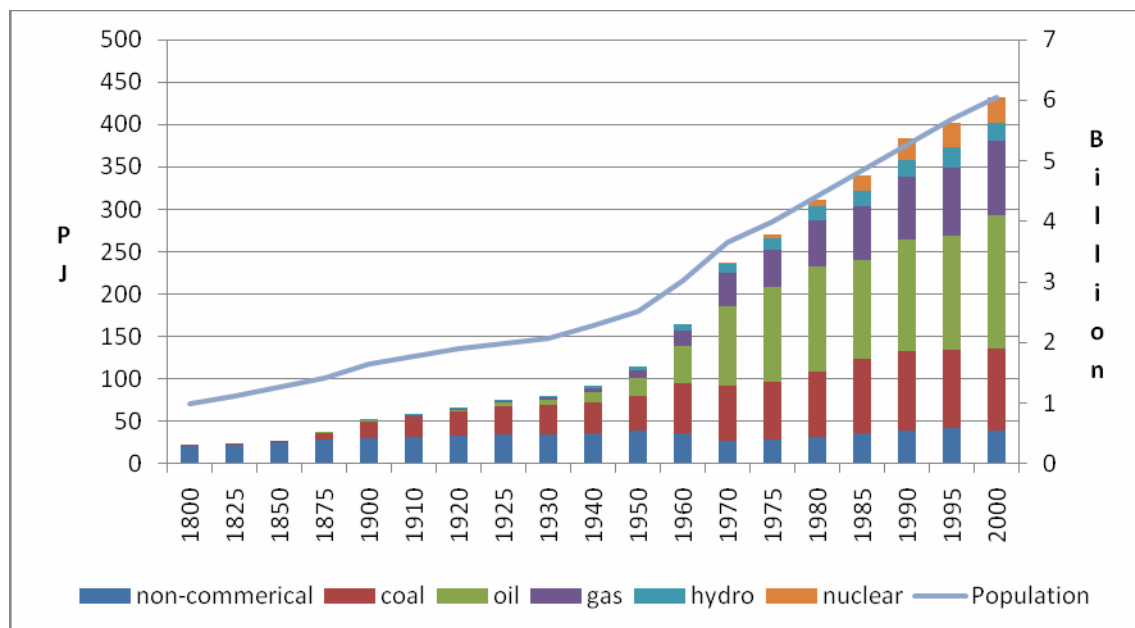
y seguro, y que las actuales políticas y tendencias del mercado -imperantes en todo el mundo- tendrán que cambiar radicalmente y rápido. A largo plazo, es posible un sector energético bajo en carbono y ambientalmente seguro y será más barato que intentar continuar el negocio tal como siempre se hizo. No obstante, cambiar simplemente de una fuente de energía altamente contaminante a una menos contaminante no dará por resultado un sector energético sustentable. En vez de ello, es necesario que haya un cambio sistémico que le ponga mucho más énfasis no sólo a la eficiencia del sistema en relación al uso de la energía, sino también a su producción, transformación y transmisión, que muchas veces se pasan por alto.

1.2 Transformando las opciones de suministro de energía

El consumo global de energía creció como resultado del aumento de la población y del uso per cápita de energía. La figura de abajo muestra cómo aumentó el consumo global de energía a lo largo de los últimos dos siglos, con un aumento al doble entre 1800 y 1900 y un aumento óctuple en los últimos 100 años. Como lo notaron la IEA y otros, se espera que esta tendencia continúe a medida que países menos desarrollados busquen aumentar el nivel de vida de sus poblaciones y les faciliten tener, incluso, servicios básicos de energía. Actualmente, cerca de una cuarta parte de la población carece de acceso a servicios eléctricos y hay una diferencia per cápita quíntuple entre el consumo de energía en países de la OCDE y los países en desarrollo. La figura también muestra hasta qué punto los combustibles fósiles comerciales – aquellos provenientes del carbón, gas y petróleo – contribuyeron a formar esta brecha. Aun cuando la tasa mundial anual del crecimiento de la población se ha ralentizado en años recientes hasta el 1,3%, el escenario de fertilidad media de la ONU prevé que la población no alcanzará un nivel máximo hasta después de 2200, cuando llegue a 10.000 millones, subiendo desde el nivel actual de 6.000 millones.¹⁵

¹⁵ ONU, Six Billion (2004), <http://www.un.org/esa/population/publications/sixbillion/sixbilpart1.pdf>

Figura 1: Crecimiento en demanda energética mundial



Fuente: Arnulf Grubler, 2008.¹⁶

1.3 Desarrollo histórico y pronosticado de las energías renovables

La energía renovable fue durante siglos la principal fuente de energía para la raza humana, inicialmente a través de la quema de biomasa – particularmente madera – pero luego a través del aprovechamiento de la fuerza del agua y del viento. Sin embargo, a lo largo de los últimos siglos disminuyó la confianza en la energía renovable, al desarrollarse la habilidad de aprovechar la energía proveniente de los combustibles fósiles. El uso de éstos, en particular en la forma de carbón, petróleo y luego gas, posibilitó que la energía se libere en una escala incomparable. Esto sucede porque son fuentes relativamente densas en energía y por eso el consumidor puede obtener grandes cantidades de energía utilizable, a pesar de la energía consumida en su procesamiento y transporte.

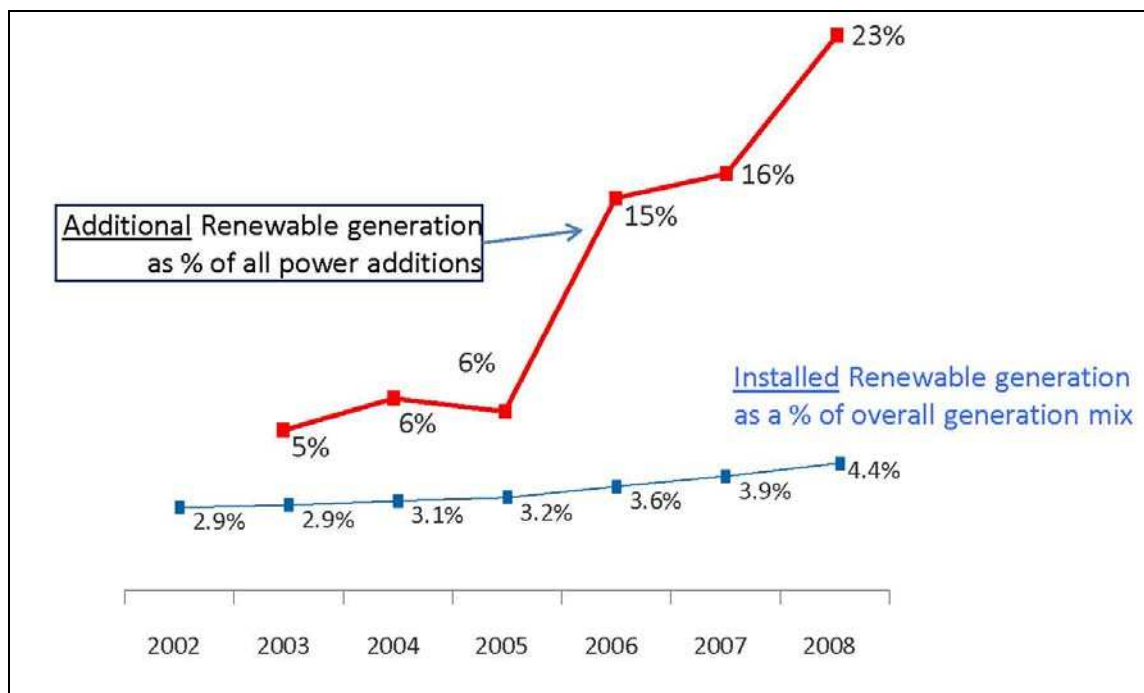
Sin embargo, en los últimos años esta tendencia empezó a retroceder en ciertas regiones y sectores. El caso más notable ha sido el sector de la electricidad en la Unión Europea. Allí se hizo una inversión eólica de €13.000 millones en 2009, que dio lugar a instalaciones de energía eólica que representan el 39% de las instalaciones nuevas, el segundo año consecutivo en el que se instaló más energía eólica que en cualquier otra tecnología de generación. Además, las instalaciones de energía renovable representaban generalmente el

¹⁶ Arnulf Grubler, "Energy transitions," in *Encyclopaedia of Earth*, ed. Cutler J. Cleveland (Washington, DC: Coalición de Información Ambiental, Consejo Nacional para la Ciencia y el Medio Ambiente, 2008).

61% de nuevas instalaciones en 2009. El sector eléctrico de la Unión Europea continúa apartándose del carbón, del fuel oil y de la energía nuclear, y cada una de las tecnologías continúa desmantelando más instalaciones de las que construye.¹⁷

La Figura 2 muestra cómo se está desarrollando una tendencia similar en el sector de la electricidad mundial. En 2008, casi una cuarta parte de todas las inversiones en tecnología de nueva generación fue en energía renovable, sin incluir grandes centrales hidroeléctricas – un aumento cuádruple en la contribución desde 2003.

Figura 2: Crecimiento global de la energía renovable en el sector de la electricidad (excluyendo grandes hidroeléctricas)

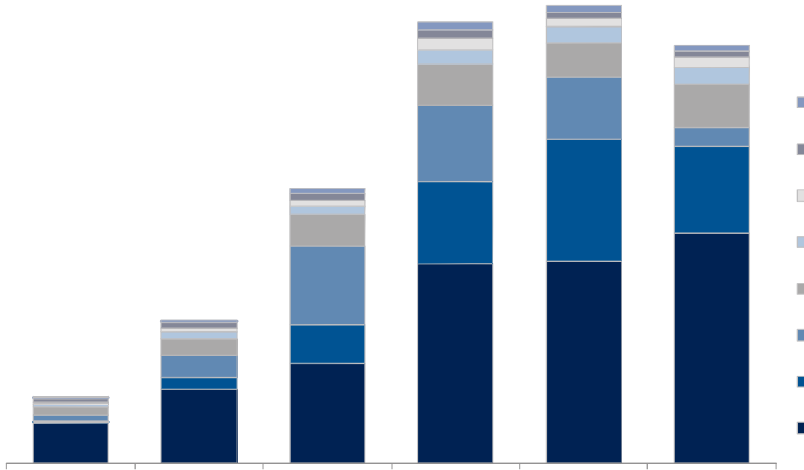


Fuente: UNEP et al., *Tendencias globales en inversiones energéticas sustentables, 2009*.

Como se puede ver en la Figura 3, esta inversión incluye un abanico de tecnologías renovables. No obstante, hay dos de ellas – energía solar y energía eólica – que dominan el sector, resultando una inversión en 2008 de alrededor de \$80.000 millones, entre ambas.

¹⁷ EWEA, *More Wind Power Capacity Installed Last Year in the EU Than Any Other Power Technology*, Asociación Europea de Energía Eólica (febrero 2010)

Figura 3: Nueva inversión financiera en energía limpia por sector: 2004-2009 (miles de millones de US\$)



Nota: Sólo inversiones del sector financiero (es decir, excluye investigación y desarrollo – R&D – gubernamental y empresarial y pequeña potencia distribuida). No ajustado para capital reinvertido. Todos los valores incluyen estimaciones para negocios no revelados. Fuente: Bloomberg New Energy Finance.

Hidroelectricidad

El desarrollo y el uso muy difundido de la electricidad resultaron en un uso considerable de la energía hidráulica, que en 2007 produjo alrededor de 3.100 teravatios-hora (TWh) de electricidad por año (un equivalente a 265 millones de toneladas de petróleo – *mtoe*, en inglés). Como contribución al mix energético mundial, esto representa cerca de un 15% de electricidad. La potencia hidráulica instalada es de 923 gigavatios (GW) y es lejos la más grande de las fuentes renovables. No obstante, hay diferencias significativas en cuanto a los impactos ambientales y a la aceptabilidad de la hidroelectricidad. Ello está particularmente relacionado con el tamaño de las instalaciones de hidroeléctricas.

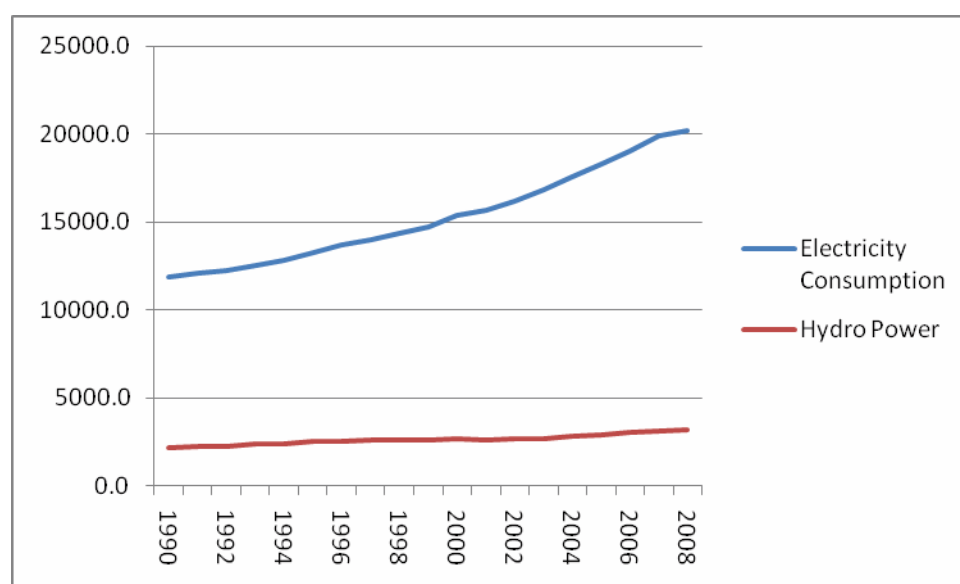
A pesar de que muchos de los grandes emplazamientos hidráulicos más accesibles y económicos se encuentran en operación, particularmente en América del Norte y en Europa, no hubo un aumento significativo en el uso de la energía hidroeléctrica. En efecto, desde 2000 en adelante, la producción global de hidroelectricidad aumentó sólo un 20%, lo que está por debajo del índice de aumento en el consumo total de electricidad. En consecuencia, la contribución de la hidroeléctrica al consumo global de electricidad disminuyó de un 17% en 2000 a poco más de un 15% en 2008, conforme a *BP Statistical Review of World Energy* (Revista Estadística de Energía Mundial de la Compañía British Petroleum). Según el Escenario de Referencia de la IEA, se espera que la producción de electricidad a partir de la hidráulica aumente en alrededor de un 50%, aun cuando su contribución relativa caerá hasta cerca de un 14%. Incluso en el Escenario 450 se espera sólo proporcionar cerca de un 19% de electricidad para 2030.

Sistemas para el cambio

Escenarios preparados por otras organizaciones también indican que no habrá un aumento significativo en la producción proveniente del sector de la energía hidráulica. El escenario de la Revolución Energética de Greenpeace supone, incluso, menos potencia instalada proveniente de la energía hidráulica que el Escenario de Referencia de la IEA¹⁸. No obstante, las evaluaciones efectuadas muestran que el potencial proveniente de la hidroelectricidad tiene la posibilidad de llegar a ser mucho mayor. El informe *World Energy Assessment* (Evaluación de la Energía Mundial) estima que el potencial económico es aproximadamente de 8.100 TWh, el potencial técnico unos 14.000 TWh y el potencial teórico bruto alrededor de 40.000 TWh.¹⁹ Alcanzar algunos de estos niveles causaría potencialmente grandes y, para muchos, inaceptables consecuencias ambientales y sociales, y por eso no se emprenderán. Sin embargo, se podría lograr algo de expansión a través de centrales hidroeléctricas más pequeñas, del tipo centrales fluyentes o a través de un incremento de la eficiencia de las instalaciones existentes.

La Figura 4 muestra la importancia relativa de la energía hidroeléctrica en el mix mundial del suministro de electricidad a lo largo del tiempo. Reviste importancia que, a pesar de sus relativamente buenas características económicas, la expansión de la electricidad generada por centrales hidráulicas no avanzó al mismo paso con el sector, como un todo, y que su contribución relativa continúa cayendo.

Figura 4: Producción global de electricidad y de hidroeléctrica (TWh)



Fuente: BP, 2009.²⁰

¹⁸ Greenpeace, *Energy Revolution, Global Energy Scenario* (DLR, Instituto de Termodinámica, Departamento de Análisis de Sistemas y Evaluación Tecnológica, Consejo Europeo de Energía Renovable y Greenpeace International, 2008).

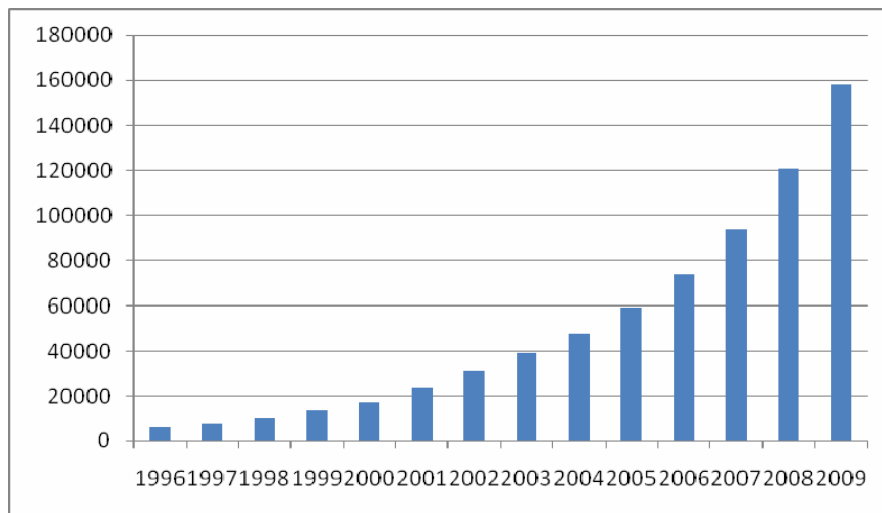
¹⁹ WEA, "Chapter 4: Energy Resources," en: *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability* (Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, 2004).

²⁰ BP, *Statistical Review of World Energy* (junio 2009).

Energía eólica

Com ya se dijo, el uso comercial del viento aumentó rápidamente en varios países en años recientes. Las figuras de más adelante muestran el aumento en la potencia instalada a lo largo de la última década y también el desglose de la potencia instalada en todo el mundo. A lo largo de la década pasada, la tasa de crecimiento anual alcanzó un 30%. Se espera que esta tendencia aumente, en particular con medidas para mejorar la seguridad energética y la seguridad climática, que confían en la energía eólica. El Consejo Global de la Energía Eólica (GWEC – *Global Wind Energy Council*) prevé que habrá un aumento en la energía eólica, desde el nivel de 2008, de 261 TWh a 680 TWh en 2012, lo que en total contribuiría al 42% de los compromisos del Anexo 1 según el primer período de compromisos del Protocolo de Kioto. Además, el Consejo Global de la Energía Eólica estima que en un escenario más ambicioso este tipo de energía podría proporcionar entre el 21% y el 34% de las reducciones requeridas de emisiones para países desarrollados, conforme lo señala el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*) al pedir una reducción entre un 25% y un 40%. Esto requeriría alrededor de 1.000 GW de potencia instalada para el año 2020, lo que representa una evolución de la tasa global de crecimiento²¹ más lenta. No obstante, hay otros escenarios que dan, en algunos casos, niveles mucho más bajos de potencia instalada para la energía eólica en 2020: la IEA sugiere alrededor de 650 GW en sus Escenarios 450 y Greenpeace sugiere alrededor de 900 GW.

Figura 5: Potencia instalada acumulada global de energía eólica (MW)

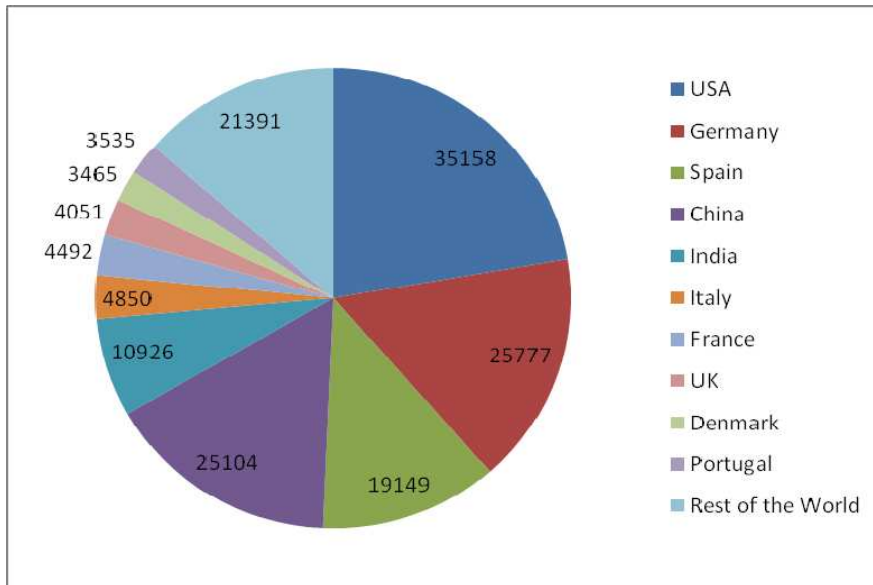


Fuente: *Global Wind Energy Council, 2010.*²²

²¹ GWEC, *Wind Power is Crucial for Combating Climate Change* (Consejo Global de la Energía Eólica, diciembre 2009).

²² GWEC, "Global Installed Wind Power Capacity: 2008/9" (Consejo Global de la Energía Eólica, febrero 2010), http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%20PR%202009.pdf

Figura 6: Potencia eólica instalada a finales de 2008 (MW)



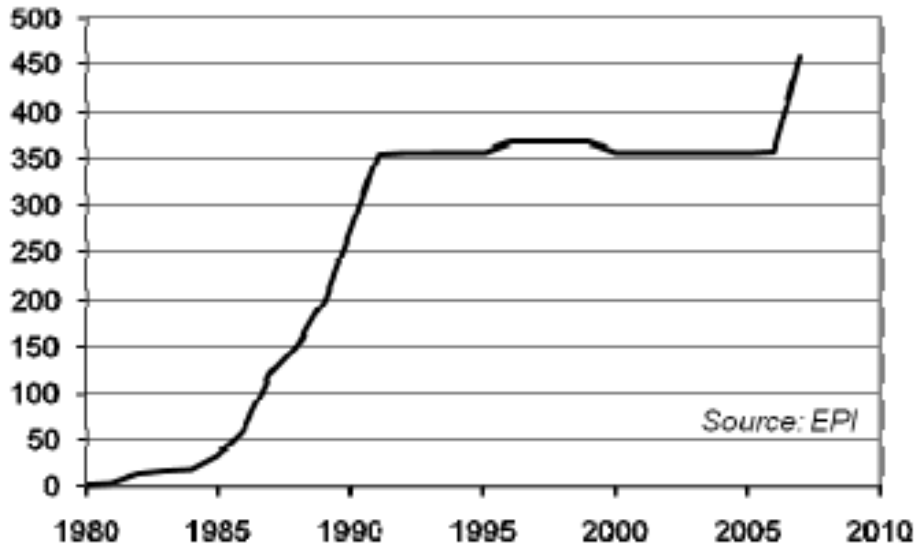
Fuente: Global Wind Energy Council, 2010.

Energía solar

Hay dos tipos básicos de tecnologías solares para la producción de electricidad: energía termo-solar de concentración, que concentra la radiación solar para producir vapor y accionar turbinas y luego generar electricidad de una manera más convencional; y el sistema solar fotovoltaico, que convierte la energía del sol directamente en corriente eléctrica. La energía solar se usa también, en una escala mucho más amplia, para calentar agua y edificios (sistema termosolar). El desarrollo de estas tecnologías de energía solar ha seguido caminos bastante distintos.

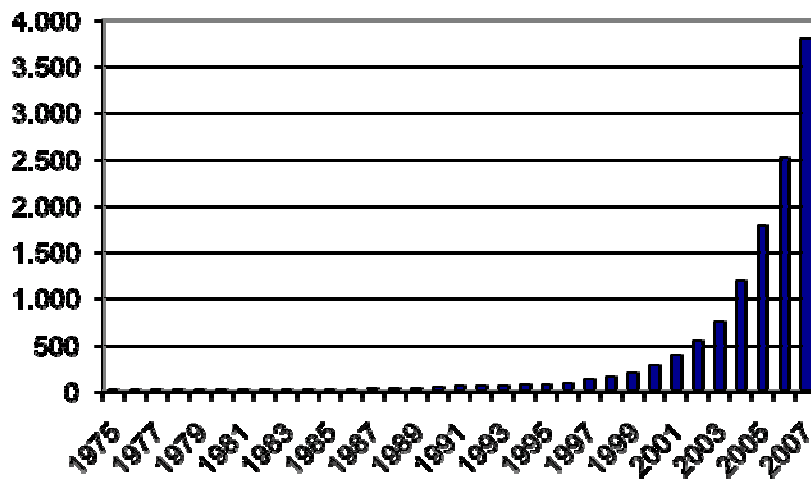
La energía solar de mayor tamaño, más centralizada, de concentración, pasó por un recorrido del tipo "altibajos" (Figura 7), mientras que la Figura 8 presenta el desarrollo más estable de la tecnología solar fotovoltaica.

Figura 7: Potencia mundial instalada en centrales termosolares de concentración 1980-2007 (MW)



Fuente: Earth Policy Institute, 2009.

Figura 8: Producción mundial anual de células solares 1975-2007 (MW)



Fuente: Earth Policy Institute, 2009.

1.4 Desarrollo histórico y previsto de la energía nuclear

El primer reactor nuclear fue conectado a una red eléctrica en 1954 en lo que era entonces la Unión Soviética. El número de las unidades operativas aumentó sin interrupción durante 35 años hasta finales de la década de los 80. En 1989 había un total de 424 reactores operando en el mundo. En 2002 se alcanzó un punto máximo histórico con 444 unidades, ocho más que los 436 reactores en operación en enero de 2010. La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA – *International Atomic Energy Agency*) tiene una lista de 56 reactores en construcción (a fines de febrero 2010), 13 de los cuales figuran en la lista por más de 20 años; y casi la mitad de ellos se toparon con demoras significativas.²³ Efectivamente, por primera vez desde el comienzo del uso comercial de la energía nuclear no se conectó una nueva unidad a la red en 2008. Desde la conexión a la red en agosto 2007 de la unidad rumana Cernavoda 2 (después de 24 años de construcción), solamente dos nuevos reactores (uno en Japón y uno en India) comenzaron a funcionar, mientras que cinco unidades fueron desconectadas de la red en 2008 y 2009. La potencia total instalada también disminuyó levemente, a pesar del amplio "uprating".²⁴

En 2008, los 370 GW de potencia nuclear generaron unos 2.600 TWh, que es el 14% de la electricidad comercial o el 5,5% de la energía primaria comercial, o entre 2% y 3% de toda la energía en el mundo, todo ello con una tendencia a la baja.²⁵

A pesar del descenso en términos reales en el rol de la energía nuclear, las proyecciones para un desarrollo masivo, hechas por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) y por la Agencia Internacional de la Energía de la OCDE, han sido cada vez más optimistas. El IAEA prevé 473 GW de potencia nuclear en su escenario "bajo" y, con admirable precisión, 747,5 GW en su escenario "alto" para 2030. La publicación *World Energy Outlook* (Mirada a la Energía del Mundo) de la IEA, en 2009, agregó en su Escenario de Referencia otro 10% a su proyectada capacidad nuclear instalada para llegar a 475 GW en 2030. En su Escenario 450 (escenario de estabilización climática) la IEA contempla, de manera similar al escenario "alto" del IAEA, llegar para 2030 a más del doble de la actual potencia nuclear instalada y generación de electricidad. La IEA expresa:

Un renacimiento nuclear es posible, pero no puede suceder de un día para otro. Los proyectos nucleares enfrentan obstáculos significativos, incluyendo dilatados períodos de

²³ Para un análisis detallado, ver Mycle Schneider, Steve Thomas, Antony Froggatt y Doug Koplow, *The World Nuclear Industry Status Report 2009*, encargado por el Ministerio del Medio Ambiente alemán (París, agosto 2009), disponible en inglés y en alemán en http://www.bmu.de/english/nuclear_safety/downloads/doc/44832.php

²⁴ Aumento de potencia en instalaciones existentes, mediante recursos técnicos (reemplazo del generador de vapor, reconstrucción de la turbina, etc.)

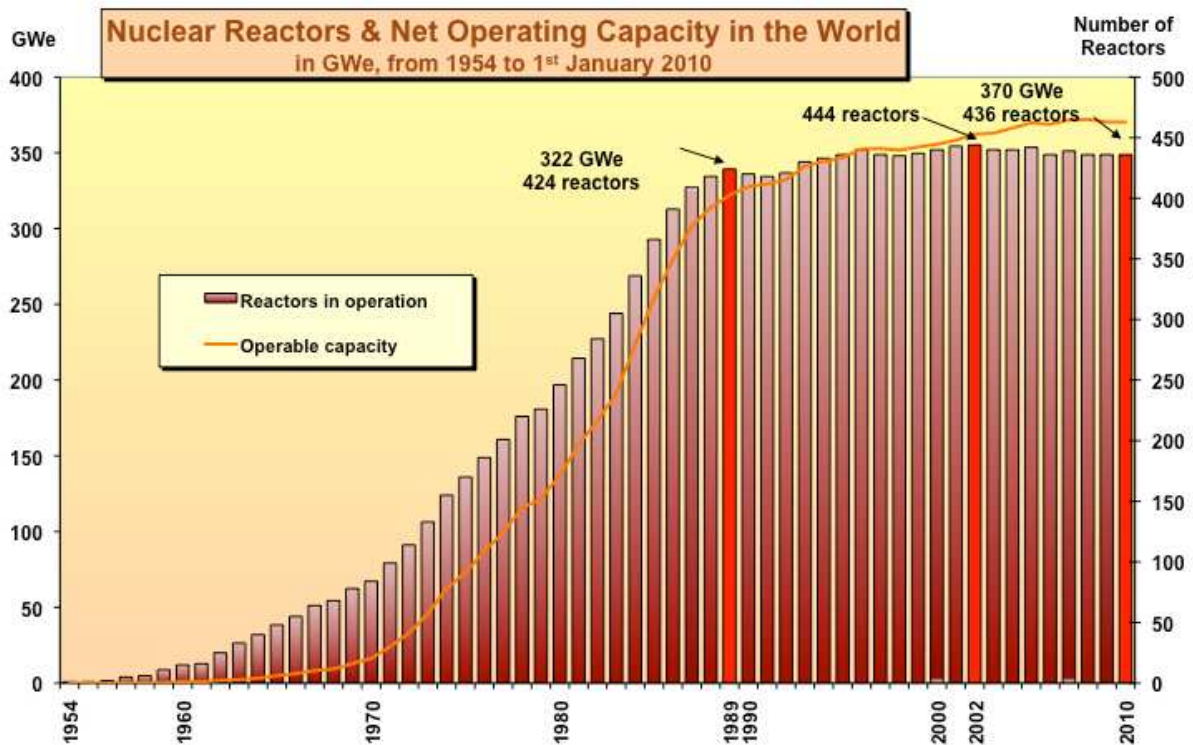
²⁵ Usamos el término "comercial" aquí, a fin de dejar en claro que las estadísticas de energía generalmente no tienen en cuenta la potencia no conectada con la red o la biomasa no "comercial", por ejemplo, que aportan una parte sustancial del suministro de energía en muchas partes del mundo.

Sistemas para el cambio

construcción y riesgos relacionados, largos procesos de autorización y escasez de mano de obra, además de asuntos antiguos relacionados con la disposición de residuos, proliferación y oposición local. La financiación de nuevas centrales nucleares, especialmente en mercados liberalizados, siempre ha sido difícil, y la crisis financiera, con toda probabilidad, contribuyó aún más a que así fuese. Los enormes requerimientos de capital, combinados con los riesgos de los costos excesivos e incertidumbres reglamentarias hacen que los inversionistas y los que prestan dinero sean muy cautos, incluso cuando haya un gran aumento de la demanda.²⁶

Ni la IAEA ni la IEA demuestran cómo se podrían superar estos “obstáculos significativos”, a fin de justificar estas significativas proyecciones de expansión. Efectivamente, en un reciente informe, el *think tank* Prognos²⁷ de la ciudad de Basilea sugiere que el número de reactores operativos probablemente disminuya en un 29% para 2030, comparado con el nivel del primer semestre de 2009. Prognos estima que solamente el 35% de los proyectos anunciados por la Asociación Mundial Nuclear para 2030 se materializarán, lo que no basta para compensar los reactores que están envejeciendo y están siendo desconectados de la red.

Figura 9: Reactores nucleares y potencia instalada a nivel mundial 1954-2010 (GW)



©Mycle Schneider Consulting

Fuentes: IAEA-PRIS, MSC, 2010.

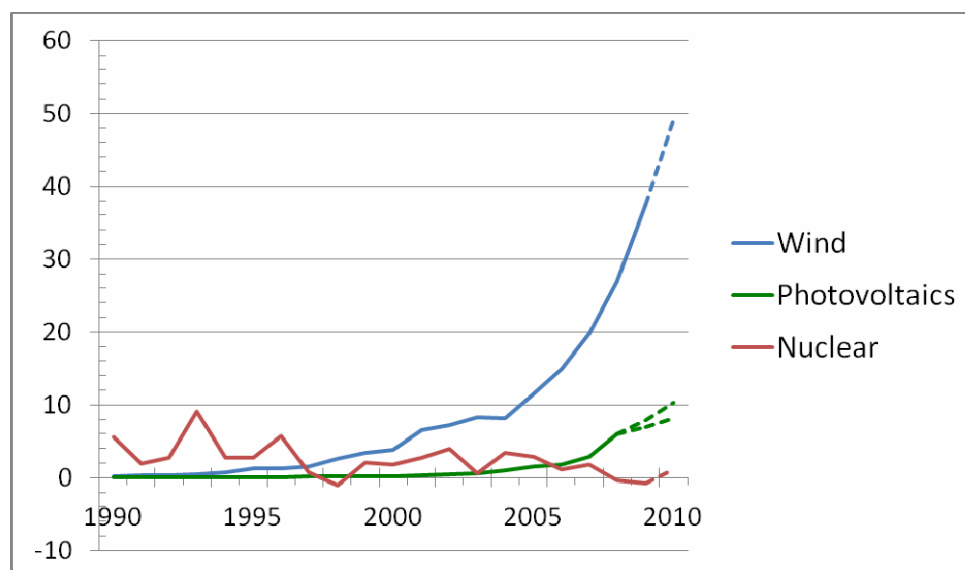
²⁶ Agencia Internacional de Energía, *World Energy Outlook 2009*, página 160.

²⁷ Matthias Deutsch et al., *Renaissance der Kernenergie*, encargado por la Oficina Federal de Protección contra la Radiación (BFS) (Berlín/Basilea: septiembre 2009).

1.5 Comparación de la energía nuclear con las energías renovables

Las Figuras 10 y 11 muestran el incremento neto de conexión a la red proveniente de nuevas energías renovables y nucleares (no incluyendo grandes hidroeléctricas) y las contribuciones de las llamadas fuentes de energía bajas en carbono en el mix mundial de electricidad. Aun cuando estas figuras parezcan ser contradictorias a primera vista, ellas son los dos lados de la misma narrativa. La figura 10 detalla los incrementos netos de potencia conectados a la red en el mundo, a lo largo de la última década. El tamaño de las estaciones individuales, acoplado con el cierre de los reactores, es el motivo por el cual la línea tendencial nuclear carece de una dirección general, pero se podría resumir en una potencia anual adicional, neta y promedio, de alrededor de 2 GW por año, comparada con una potencia global instalada de 370 GW. Sin embargo, esta tendencia se ha estancado o ha disminuido desde 2005 en adelante. A lo largo del mismo período, la energía eólica aumentó su potencia instalada en más de 10 GW en promedio por año, con incrementos de potencia que aumentaban constantemente para llegar a más de 37 GW en 2009.

Figura 10: Incrementos netos mundiales de potencia conectados a la red de electricidad provenientes de nuevas energías renovables y energía nuclear 1990 - 2010 (en GW)



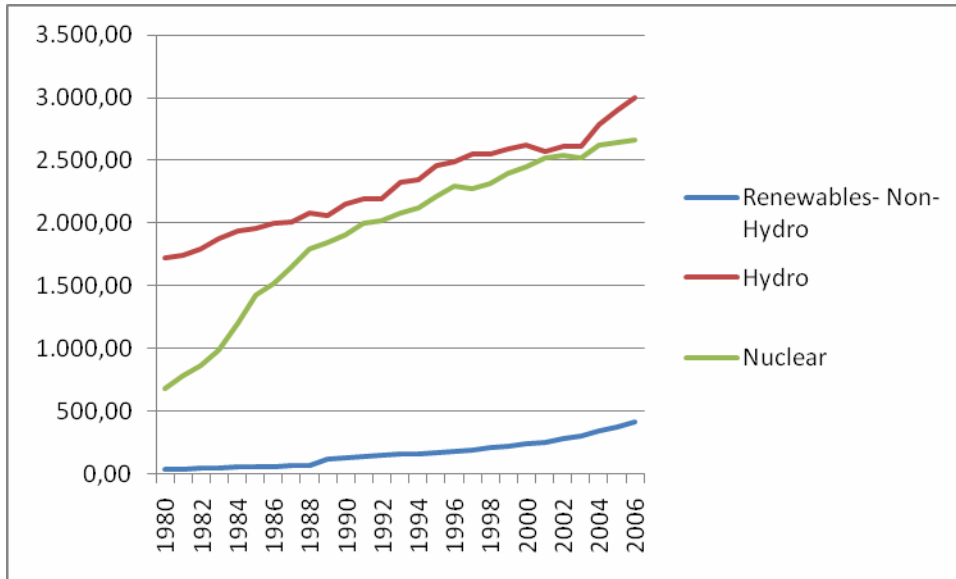
Fuente: Amory Lovins, 2010.²⁸

No obstante, es importante dar también una mirada a la electricidad realmente generada por las diferentes fuentes de combustibles no fósiles, como se ve en la Figura 11. Esto muestra que la contribución de las energías renovables, a pesar del reciente crecimiento, es pequeña en comparación con la energía nuclear y las grandes centrales hidroeléctricas. No obstante, tal como lo muestra la Figura 10, esta situación cambiará. La IEA supone en su Escenario 450

²⁸ Amory Lovins, Comunicación personal al autor (2010).

que para el año 2030 el uso de la hidroelectricidad aumentará al doble del nivel actual de la energía nuclear, en tanto que la energía eólica producirá una cantidad equivalente, como lo harán otras fuentes renovables²⁹.

Figura 11: Producción de electricidad proveniente de fuentes que no sean combustibles fósiles (en TWh)



Fuente: Earth Policy Institute, 2009.

²⁹ Agencia Internacional de Energía, *World Energy Outlook 2009*, cuadro 9.2, página 32

2 Asuntos sistémicos

“Si alguien declara públicamente que la energía nuclear es necesaria como fuente de energía que proporciona la carga base de la red debido a la energía fluctuante proveniente del viento o del sol, dicha persona o no ha comprendido cómo funciona una red eléctrica o una central nuclear, o bien le miente al público. La energía nuclear y las energías renovables no se pueden combinar”.

Siegmar Gabriel

entonces Ministro Federal del Medio Ambiente de Alemania³⁰

La decisión política de desarrollar la energía nuclear y/o la eficiencia energética+energías renovables está lejos de hallarse limitada por la elección de las opciones tecnológicas. Las decisiones frecuentemente se desencadenan, o por lo menos están muy influenciadas, por los sistemas políticos preexistentes, los procesos de toma de decisiones, la estructura del mercado y la pesada infraestructura. Por otra parte, las decisiones sistémicas básicas, como la generación centralizada o descentralizada de electricidad, tienen un impacto significativo en la flexibilidad y competitividad de las tecnologías y los sistemas energéticos. Por ejemplo, mientras no hay duda acerca de que la generación combinada de calor y electricidad (cogeneración o CHP – *combined heat and power*) es una manera mucho más eficiente para proporcionar servicios energéticos basados en calor y electricidad que la generación separada, le resulta difícil a la cogeneración competir con centrales eléctricas *existentes*, centralizadas y frecuentemente sobredimensionadas, o con redes *existentes* de gas natural.

En muchos países en desarrollo aún resta tomar muchas de esas decisiones infraestructurales. Por lo tanto, es de suma importancia determinar las implicaciones de estas opciones sistémicas básicas. Los países industriales ilustran el resultado de opciones estratégicas del pasado.

Desafortunadamente, aun cuando hay numerosos casos locales y regionales exitosos, no hay un “buen” ejemplo referente a una política energética nacional exitosa que proporcione servicios energéticos sustentables y asequibles. Todos los países implementaron políticas que tienen serios inconvenientes y se necesitan importantes “trabajos de reparación” a fin de encarar los defectos.

³⁰ Parlamento Federal de Alemania, Período de Elección 16, Sesión 211 (Berlín: 19 marzo 2009).

2.1 El sistema centralizado francés

Francia, por ejemplo, gobernada por un sistema político muy centralizado, siempre ha estado buscando muy naturalmente una respuesta centralizada para los desafíos del suministro de energía. La energía nuclear fue una opción lógica de la toma de decisiones del nivel superior al nivel inferior y el resultado de la total ausencia de la buena disposición del Estado central a compartir el poder político sobre asuntos energéticos con gobiernos regionales o, incluso, gobiernos locales. Tal como una apisonadora a vapor, la lógica nuclear patrocinada por el Estado arrasó las industrias pequeñas y de tamaño mediano que trataban de desarrollar fuentes energéticas nuevas y renovables. De manera similar se sofocaron frecuentemente esfuerzos en eficiencia. A mediados de la década del 80 resultó claro que la empresa de servicios públicos del Estado, EDF (*Electricité de France*), había construido masivamente en exceso (del orden de 16 centrales nucleares). En vez de ajustar el planeamiento del equipo de generación, el Estado desmanteló la mayor parte de la Agencia de Eficiencia Energética y EDF se decidió por dos opciones estratégicas: acuerdos de exportación de electricidad a largo plazo y una ampliamente difundida promoción de la calefacción eléctrica y el calentamiento de agua. Esta estrategia condujo a la barrera individual más significativa para el desarrollo de la eficiencia energética+energías renovables en Francia. Se construyeron centenares de miles de edificios sin chimeneas y, por lo tanto, sin una oportunidad de bajo costo de cambiar a una fuente calórica y menos derrochadora y contaminadora que la electricidad. En años recientes la tendencia incluso aumentó y alrededor de un 75% de todos los nuevos hogares franceses están equipados con calefacción eléctrica. Hay casos en que las nuevas redes de calefacción urbana por tubería pasan al lado de edificios calefaccionados por electricidad sin posibilidad alguna de engancharlas debido a que faltan chimeneas (se refiere a espacios verticales para alojar las tuberías de alimentación de agua caliente) y a los costos desproporcionados de inversión.

El otro efecto secundario del masivo uso térmico de la electricidad – casi la mitad del consumo residencial de electricidad en Francia – es el espectacular aumento del pico de máxima demanda (*peak load*) en invierno que llega ahora a triplicar la carga diaria más baja en verano. El resultado es un considerable aumento en el uso de combustible fósil para la generación de electricidad (un aumento de más o menos 25% desde 1990), el reinicio de operación de centrales de hasta 40 años de edad, alimentadas por petróleo, y la rápidamente creciente importación de electricidad, en particular electricidad generada con carbón y procedente de Alemania. Efectivamente, en enero de 2010 Francia fue un importador neto de electricidad –después de octubre 2009, el segundo mes de importaciones netas en 27 años.

Los esfuerzos de eficiencia energética+energías renovables en Francia permanecieron seriamente subdesarrollados. Lógicamente, el consumo de energía eléctrica per cápita es significativamente superior al promedio de la Unión Europea o de un país como Italia, que paralizó la energía nuclear después del desastre de Chernóbil. En 2008, España agregó más potencia eólica (4.600 MW) que la que Francia había instalado en total hasta finales de 2007 (4.060 MW).

2.2 El enfoque alemán: Reducción progresiva de la energía nuclear y expansión de las energías renovables

El caso alemán ilustra una estrategia totalmente diferente. Aun cuando la energía nuclear ha proporcionado hasta un 30% de la electricidad, el país siempre dependió muchísimo del carbón y del lignito. En el año 2000, el gobierno firmó un acuerdo con las empresas electronucleares de servicio público y en 2002 legisló para la eliminación progresiva de la energía nuclear. Paralelamente se aprobó en 2000 una legislación de tarifas de inyección a red (*feed-in tariffs*). Esta legislación introdujo precios garantizados para productores de electricidad renovable y se introdujeron programas de estimulación del mercado para promover la penetración de las energías renovables en el mercado del calor. La combinación de un despejado horizonte de planificación para la eliminación progresiva de la energía nuclear y una fuerte estimulación para el desarrollo de energías renovables creó un ambiente fenomenalmente dinámico. Las Agencias Regionales de Energía, bajo la autoridad de los *Länder* (estados de la República Federal de Alemania), fueron el instrumental en la ingeniería de la implementación. La energía total proporcionada por las energías renovables se triplicó desde fines de la década del 90, se crearon centenares de miles de puestos de trabajo y las tecnologías de energías renovables llegaron a ser un sector de exportación de la más alta importancia.

Sin embargo, no todo funcionó bien. Mientras la generación de electricidad renovable, principalmente eólica, aumentaba en más o menos 70 TWh – o un factor de cinco, entre 1990 y 2007 – el consumo total de electricidad aumentaba en más de un 12%, o casi 68 TWh, durante el mismo período. El resultado fue que las emisiones de CO₂ del sector alemán de generación de energía eléctrica eran idénticas en 2007 y 1990. Éste es un resultado particularmente chocante, ya que la unificación de Alemania Oriental y Occidental condujo a una disminución “natural” del contenido de carbono y del consumo de electricidad en la parte oriental, debido al simple cierre de centrales eléctricas³¹ y de industrias anticuadas.

³¹ La más antigua central a carbón en Berlín Oriental, que operaba en 1989, era de 1919.

Analistas de energía y organizaciones ambientalistas señalaron este problema durante un tiempo, pero ni la Gran Coalición anterior, ni el nuevo gobierno conservador, fueron capaces de implementar los requerimientos mínimos de eficiencia conforme a la legislación de la Unión Europea. Al mismo tiempo, la extensión de la operación de las centrales nucleares alemanas amenaza la reestructuración del sistema energético en el país. Un análisis exhaustivo de Joachim Nitsch, encargado por el Ministerio del Medio Ambiente de Alemania, concluyó en 2008³²:

En el caso de la extensión de la vida útil de la energía nuclear habría que revisar completamente la planificación actual para la construcción de nuevas plantas de combustible fósil, a fin de no amenazar la meta del 30% para la energía renovable para 2020. No se alcanzaría la meta de la cogeneración (CHP). El cambio estructural necesario del suministro de electricidad, hacia un incremento significativo de la eficiencia de la electricidad, hacia una participación significativamente mayor de la cogeneración (CHP) y una gran dinámica de expansión para la energía renovable, sería fundamentalmente cuestionada. Así, el sistema energético difícilmente estaría en una posición de cumplir con el objetivo de protección climática, consistente en una reducción del 80% de las emisiones de CO₂ hasta 2050.

La significativa expansión de las energías renovables en el sector de la electricidad no necesita grandes potencias adicionales para cubrir la carga básica del sistema, que operen todo el año con elevados factores de carga, sino más bien plantas flexibles, de carga mediana y que pueden adaptarse a diversos tipos de centrales intermitentes.³³ “La extensión de la vida útil de las centrales nucleares dejaría en el mercado cantidades de energía eléctrica que, de otro modo, serían sucesivamente reemplazadas por la generación combinada de calor y electricidad (CHP - *combined heat and power*)”, enfatiza el Instituto Wuppertal.³⁴ Al mismo tiempo, la operación continua de plantas nucleares impediría también la extensión de sistemas de calefacción urbana.

³² Joachim Nitsch, “Leitstudie 2008- Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas”, encargado por el Ministerio Federal del Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (octubre 2008).

³³ Nótese que efectivamente todas las centrales son más o menos intermitentes, incluyendo las plantas nucleares que no sólo están paradas durante varias semanas por año para la recarga de combustible, sino también porque muchas de ellas han pasado por extensas interrupciones de servicio por reparación o mejoras, que excedían un año.

³⁴ Manfred Fishedick et al., “Hindernis Atomkraft – Die Auswirkungen einer Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke auf erneuerbare Energien”, encargado por el Ministerio Federal del Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (Instituto Wuppertal, abril 2009).

La competencia directa entre electricidad renovable y energía nuclear conduce cada vez más a absurdas situaciones de mercado. En Alemania, la inyección de electricidad renovable tiene prioridad legal sobre la electricidad nuclear. Pero en octubre de 2008, por ejemplo, la generación de energía eólica fue tan grande que hubo que “vender” algo de dicha energía a precios “negativos” en el mercado eléctrico, porque no se pudo reducir con suficiente rapidez la potencia de las centrales nucleares. Esta situación se presentó a pesar del hecho que 8 GW de potencia nuclear estaban desconectados de la red por tareas de mantenimiento³⁵. De hecho, la estrategia de la eliminación progresiva de la energía nuclear se complementa perfectamente con la introducción de un sistema sumamente flexible y basado en la combinación inteligente de fuentes de energía distribuidas.

2.3 ¿Las energías renovables españolas están alcanzando su máximo?

En España, en la madrugada del 24 de febrero de 2010, el operador del sistema de transporte Red Eléctrica (REE) ordenó que 800 MW de potencia eólica pararan la generación de electricidad durante varias horas. Esto se debió a que a las 1:30 a.m., la potencia eólica estaba entregando 11.961 MW (44,5% de los 26.674 MW solicitados a esa misma hora). No obstante, después de la intervención de REE, se bajó la potencia eólica generada a 10.852 MW. La generación eólica permaneció debajo de la cantidad que podría haber entregado hasta las 6:30 a.m., cuando la demanda empezó a aumentar. No obstante, la generación nuclear permaneció invariable durante el período de la disminuida generación eólica.

2.4 Un nuevo enfoque

Uno de los asuntos sistémicos más significativos es el efecto de la insistencia en plantas eléctricas centralizadas -ya sea alargando su funcionamiento o basándose en nueva construcción- sobre la innovación. Esto no sólo es pertinente para los aspectos tecnológicos de la generación de calor y electricidad, sino en particular para los innovadores vínculos del uso descentralizado de la energía y la gestión de la carga en plantas eléctricas virtuales. Las plantas eléctricas virtuales – la agrupación y la gestión unificada de unidades de generación descentralizadas (distribuidas), como por ejemplo las renovables de pequeño tamaño y la cogeneración (CHP) – son uno de los conceptos más prometedores del futuro de la electricidad.

Una expansión ulterior de este enfoque es la inclusión de capacidades descentralizadas de almacenamiento, como baterías de automóvil o almacenamiento de respaldo a sistemas de energía

³⁵ Ibid.

renovable. Esto es literalmente lo opuesto a la visión de la energía nuclear. Los consumidores de electricidad usan un interruptor que activa la generación y el uso de la energía de acuerdo con las condiciones optimizadas de la red (balance demanda/suministro). A fin de considerar este desarrollo, habrá que adaptar las redes de forma significativa. El Grupo de Organismos Reguladores Europeos de Electricidad y Gas (ERGEG – *European Regulators Group for Electricity and Gas*) declararon en un reciente documento de consulta pública³⁶:

Se requerirá que las redes futuras de electricidad conecten generadores de muchas diferentes tecnologías y tamaños, en todos los niveles de voltaje, algunos de ellos sumamente controlables, otros con su potencia de salida muy dependiente de la disponibilidad física instantánea de su recurso energético primario renovable (p.ej.: generación eólica). [...] Habrá que introducir, significativamente, más monitoreo y control inteligente del sistema para satisfacer de manera segura la demanda por energía con el nivel óptimo de generación y capacidad de la red. Esto se logrará con la evolución de las redes de electricidad, en redes cortas inteligentes.

La diferencia clave entre el transporte tradicional de electricidad y los sistemas de distribución es la adaptación de una red sofisticada de comunicaciones a una red de electricidad. Un desafío significativo será la integración de estos sistemas de comunicación en niveles de voltaje medio y bajo y la organización de sus sinergias con el uso de medidores inteligentes en el lado del consumidor. A fin de realizar este trabajo, no sólo hay que desplegar nuevos sistemas electrónicos, sino que hay que adaptar también la regulación. Y cuanto más rápido uno desea la introducción de las redes inteligentes, tanto más se pide a dichos reguladores “que encuentren maneras de alentar un nivel y alcance adecuados de innovaciones más radicales, mientras se vaya proporcionando un grado apropiado de protección de los intereses del cliente y un desarrollo económicamente eficiente de la red.”³⁷

La Italia no nuclear fue un precursor en el uso de contadores inteligentes. Ya en 2006, los reguladores anunciaron la instalación obligatoria de contadores inteligentes para todos los consumidores a fines de 2011. No obstante, Suecia implementó la tecnología más rápidamente y alcanzó una cobertura de 100% en julio de 2009. Ahora el país está ayudando a las vecinas Dinamarca, Finlandia y Noruega a acelerar la instalación.³⁸ La Francia nuclear solamente iniciará una fase de prueba con 300.000 contadores inteligentes en 2010, en dos regiones. Muy parecido a Francia, el Reino Unido considera a las redes inteligentes más bien

³⁶ ERGEG (*Grupo de Organismos Reguladores Europeos de Electricidad y Gas*), “Position Paper on Smart Grids – An ERGEG Public Consultation Paper” (Bruselas: 10 diciembre, 2009).

³⁷ Ibid.

³⁸ *Technology Action Plan – Smart Grids*, informe presentado por Italia y Corea del Sur al Foro de las Principales Economías sobre Energía y Clima (diciembre 2009).

como una mejora de la red actual que como una herramienta para un cambio profundo hacia una economía de eficiencia energética+energías renovables. Por el contrario, el Ministerio de Energía y Cambio Climático del Reino Unido está, incluso, contando con un aumento continuo en el consumo.

“Para 2050 necesitaremos producir más energía de la que producimos hoy en día, pero tenemos que hacerlo en gran parte sin emitir gases de invernadero. Tendremos que generar electricidad de fuentes bajas en carbono, tales como plantas de renovables, nucleares y de combustibles fósiles, equipadas con captación y almacenamiento de carbono”.³⁹

Aun cuando quedan lagunas significativas de conocimiento, hay evidencias abrumadoras del hecho que algunos de los efectos sistémicos de una infraestructura de electricidad, basada en energía nuclear, incluyen barreras para el desarrollo de una sociedad de servicios energéticos basada en eficiencia energética+energías renovables. También hay evidencias de que ambos enfoques se excluyen mutuamente, especialmente a medida que aumenta el nivel de energía renovable.

³⁹ http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/network/smart_grid/smart_grid.aspx

3 El calendario de inversiones

3.1 Imperativo de una rápida acción para hacer frente al cambio climático

Hay un creciente consenso, y ahora casi universal, que las emisiones de gases de efecto invernadero inducidas por el ser humano, particularmente el dióxido de carbono (CO₂) proveniente del sector energético, están alterando el clima global. El *Cuarto Informe de Evaluación* del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (GICC, o IPCC por sus siglas en inglés) declaró que “el calentamiento del sistema climático es inequívoco” y que había una probabilidad superior al 90% que esto era el resultado de las actividades humanas desde el comienzo de la revolución industrial. Durante el siglo XX, las temperaturas globales aumentaron en 0,6 grados Celsius. Si continuamos con las trayectorias actuales del uso de la energía y de los suelos, aumentarán las concentraciones de los gases de efecto de invernadero en la atmósfera hasta tal punto que a finales de este siglo las temperaturas podrían aumentar en unos 6 grados adicionales. Esto tendría consecuencias catastróficas para la raza humana y los ecosistemas de la Tierra.

Para evitar las consecuencias más peligrosas del cambio climático, la comunidad internacional estableció un “objetivo de 2 grados”, según el cual se reducirían las emisiones con miras a intentar y asegurar que la temperatura global promedio no aumente en más de 2 grados Celsius sobre los niveles preindustriales. Este objetivo ha sido respaldado por un gran número de organismos y foros internacionales, incluyendo la Unión Europea, el Grupo Internacional sobre Cambio Climático y más recientemente el Acuerdo de Copenhague, que declara: “Estamos de acuerdo que se requieren recortes profundos en las emisiones globales conforme a la ciencia y, tal como lo documentó el *Cuarto Informe de Evaluación* del GICC, con miras a reducir las emisiones globales y mantener el aumento de la temperatura global en un rango inferior a 2 grados Celsius, y adoptar medidas para alcanzar este objetivo en conformidad con la ciencia y basado en la equidad”.⁴⁰

Con la finalidad de alcanzar este objetivo se necesita un enorme recorte, superior a un 80%, en las emisiones de gas de efecto de invernadero para el año 2050. Desde muchos puntos de vista, los objetivos a corto plazo son más importantes que los objetivos a largo plazo. Una

⁴⁰ Acuerdo de Copenhague, redactado en la Convención Marco sobre Cambio Climático, Sesión 15, de la ONU (Copenhague: 7-18 diciembre 2009).

tecnología o comportamiento rápidamente cambiante demostrará la viabilidad de la reducción de emisiones y evitará inmovilizar la inversión en trayectorias de alto consumo energético y altas emisiones. No obstante, las demoras en reducir las emisiones conducen a requerimientos muy superiores en el futuro.

3.2 Tiempos de espera para aumentar a escala nuevas tecnologías, experiencias y expectativas

3.2.1 Energía nuclear

Dada la necesidad para una rápida reducción de las emisiones, el tiempo necesario para introducir nuevas tecnologías a escala masiva es un factor importante y sumamente subestimado. Hay dos fases principales para la puesta en servicio de nuevas instalaciones generadoras de energía: la fase de pre-desarrollo y la de construcción.

La fase de pre-desarrollo puede incluir una amplia variedad de consultas e implica potencialmente obtener las autorizaciones necesarias de construcción y operación, el consentimiento local y nacional, así como conseguir el paquete financiero. En algunos casos se podrá acelerar la puesta en práctica de una tecnología nueva, a medida que se van haciendo las evaluaciones genéricas de la seguridad contra accidentes o, alternativamente, puede que la fase de pre-desarrollo se alargue más de la cuenta a causa de las condiciones locales del emplazamiento o porque salgan a relucir nuevos asuntos. La Agencia Internacional de Energía (IEA, por su nombre en Ingles *International Energy Agency*) ha estimado un fase de pre-desarrollo de aproximadamente ocho años para la energía nuclear⁴¹. No obstante, esto incluye el tiempo que se tarda en lograr la aprobación política y supone la existencia de infraestructura industrial, mano de obra y regímenes regulatorios existentes. En el caso del Reino Unido, el entonces Primer Ministro Tony Blair anunció que la energía nuclear “había vuelto con venganza” en mayo de 2006, pero eso fue algunos años antes de que la fase de pre-desarrollo para la energía nuclear ni siquiera hubiera empezado.

La energía nuclear tiene una historia de retrasos en la construcción, y el análisis realizado por el Consejo Mundial de la Energía⁴² mostró la tendencia global de tiempos de construcción

⁴¹ IEA, Potencia Nuclear en la OCDE (International Energy Agency, 2001).

⁴² Consejo Mundial de la Energía, Alexandro Clerici, y ABB Italia, “European Regional Study Group – The Future Role of Nuclear Energy in Europe” (13 de junio 2006); y, para cifras posteriores a 2000, cálculo basado en la base de datos PRIS, <http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>

más largos para reactores nucleares. El aumento significativo en los tiempos de construcción, desde finales de la década de 1980 hasta 2000, se debió en parte a los cambios en los puntos de vista políticos y públicos a continuación del accidente de Chernóbil, con alteraciones posteriores en los requerimientos regulatorios. Como lo mostramos en el Informe sobre el Estado de la Industria Nuclear a Nivel Mundial, 2009 (*World Nuclear Industry Status Report 2009*),⁴³ el cálculo del tiempo de construcción, promedio y global – dicho tiempo sería alrededor de nueve años para las 16 conexiones más recientes de la red – no tiene mucho sentido debido a las diferencias entre los países. El período de construcción para cuatro reactores puestos en marcha en Rumania, Rusia y Ucrania, duró entre 18 y 24 años. En contraste, difícilmente tomó más de cinco años en promedio concluir las 12 unidades que fueron conectadas a la red en China, India, Japón y Corea del Sur.

Aumentos en los tiempos de construcción se pueden ver en diversos países a lo ancho del mundo. En Alemania, en el período de 1965 a 1976, la construcción tomó 76 meses, aumentando a 110 meses en el período de 1983 a 1989. En Japón el tiempo promedio de construcción en el período de 1965 a 2004 fluctuaba entre 44 y 51 meses, pero de 1995 a 2000 el promedio era de 61 meses. Finalmente en Rusia, el tiempo promedio de construcción de 1965 a 1976 era de 57 meses, luego de 1977 a 1993 estaba entre 72 y 89 meses, pero las cuatro plantas que fueron terminadas desde entonces demoraron alrededor de 180 meses (15 años),⁴⁴ debido a la creciente oposición a continuación del accidente de Chernóbil, las restricciones económicas y los cambios políticos después de 1992.

Cuadro 1: Tiempo de construcción de centrales nucleares en todo el mundo

Período de referencia	Número de reactores	Tiempo medio de construcción (meses)
1965-1970	48	60
1971-1976	112	66
1977-1982	109	80
1983-1988	151	98
1995-2000	28	116
2001-2005	18	82
2005-2009	6	77

Fuentes: Clerici 2006, IAEA (Internacional Atomic Energy Agency)⁴⁵

⁴³ Mycle Schneider et al., *The World Nuclear Industry Status Report 2009*.

⁴⁴ Consejo Mundial de la Energía et al., "European Regional Study Group" (2006).

⁴⁵ Ibid. El rango 2005-2009 no incluye la terminación de la unidad Cernavoda 2 en Rumania que tomó 279 meses en quedar terminada debido a una extensa interrupción en la construcción

El primero de los reactores de más reciente diseño, los llamados reactores de Generación III+, se encuentra en construcción en Finlandia.⁴⁶ En la época del encargo de Olkiluoto-3, en diciembre 2003, el contrato exigía que la planta debiera estar en funcionamiento para el 1 de mayo de 2009. No obstante, la fecha más reciente de terminación de la obra está ahora con un retraso de a lo menos tres años y el presupuesto está sobrepasado en cerca de un 100% (estimaciones actuales sugieren que al término de la obra, el costo total ascenderá a €5.500 millones o más, en comparación con una estimación original de €3.000 millones). Dados los costos y las complejidades que se asocian con la construcción, se tiende a construir los reactores más bien en serie que en paralelo, es decir, que los constructores esperarán hasta que uno de los reactores esté terminado antes de comenzar el otro. En consecuencia, tomará una cierta cantidad de años adicionales para que una nueva flota de reactores esté completamente en condiciones de operar.

La construcción de un gran número de reactores en todo el mundo aportaría una experiencia, la que en condiciones normales de despliegue tecnológico conduciría a tasas aceleradas de difusión y a costos más bajos. Hasta la fecha, no han ocurrido tasas aceleradas de despliegue con la energía nuclear, en parte debido a la complejidad de la tecnología, las cadenas asociadas de abastecimiento y la variedad de las tecnologías desplegadas. Uno de los artículos sobre costo y financiamiento, preparados para el *Stern Review* (el informe del gobierno del Reino Unido sobre el impacto económico del cambio climático) declaró que:

Desde la década del 70, los costos de la producción y el uso de energía de todas las tecnologías disminuyeron sistemáticamente debido a la innovación y a las economías de escala en la fabricación y en el uso, con la excepción de la energía nuclear.⁴⁷

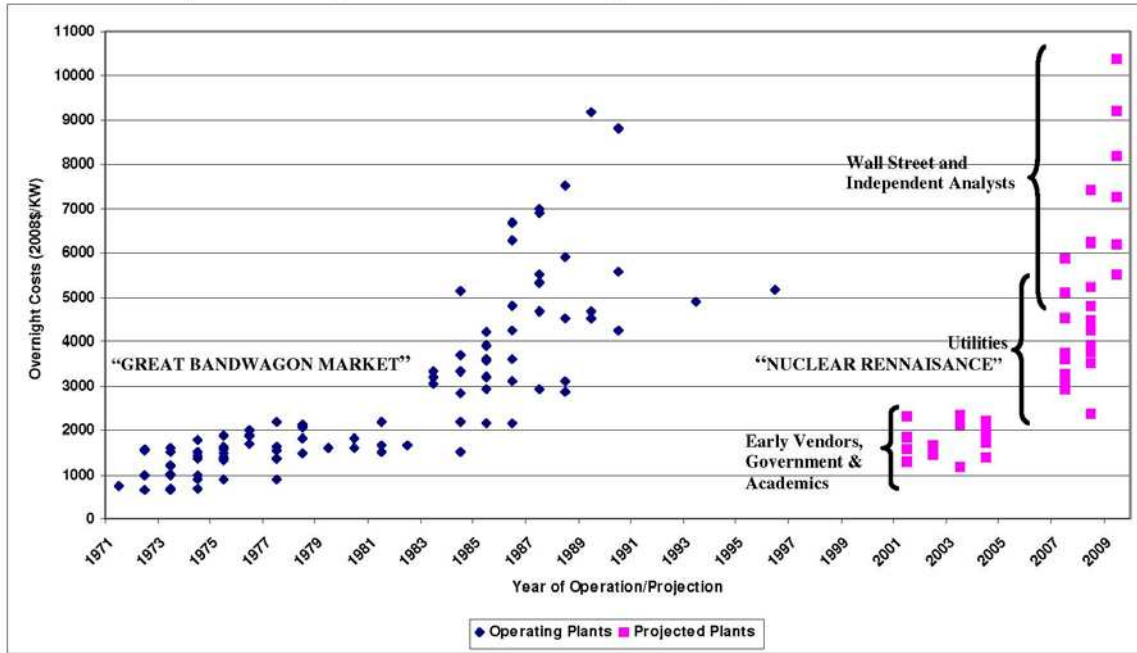
Esto se puede ilustrar con los dos más grandes programas nucleares del mundo: el de Estados Unidos (Figura 12) y el de Francia (Figura 13). Ambos muestran grandes aumentos en los costos de construcción, a pesar de la considerable experiencia en construcciones. En el caso de Estados Unidos, el costo por kW instalado a lo largo del período de 25 años aumentó aproximadamente cinco veces, mientras que en Francia se acumulaba un costo cuádruple. Lo que también es notable en Francia fue el hecho que esto quedó registrado para una compañía, ya que tan sólo la compañía perteneciente al Estado se encontraba en una posición que le permitía construir y operar reactores.

⁴⁶ Para más información, ver artículo de Steve Thomas: "*The Economics of Nuclear Power*" (2010), www.boell.de

⁴⁷ Dennis Andersen, "Cost and Finance of Abating Carbon Emissions in the Energy Sector," documento de apoyo para el *Stern Review* (Imperial College London: octubre 2006), página 18.

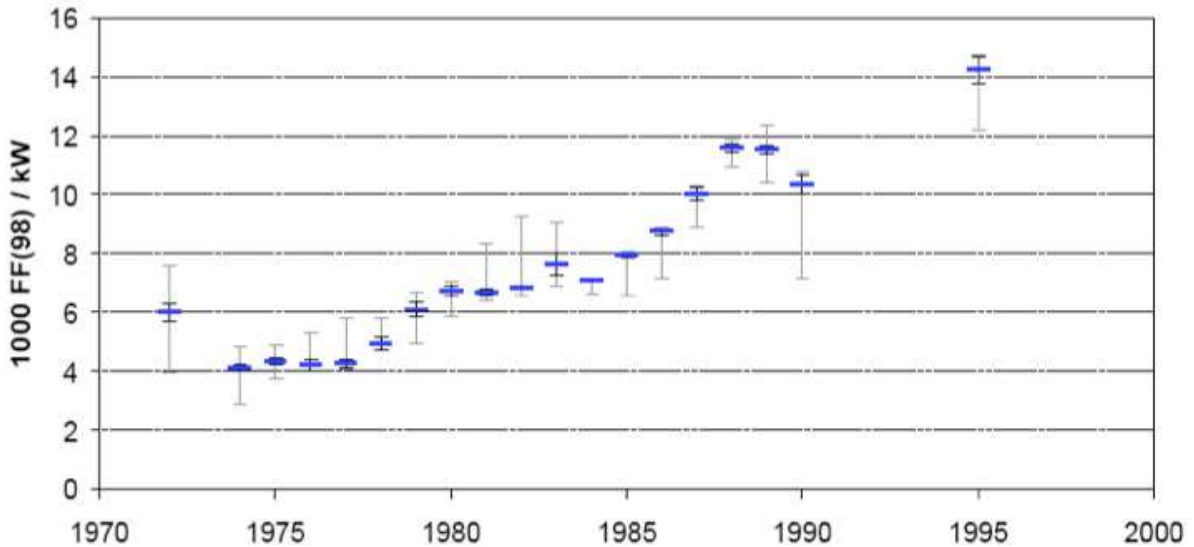
Sistemas para el cambio

Figura 12: Evolución del costo de inversión (“curva de aprendizaje”) de centrales nucleares estadounidenses



Fuente: Cooper, 2009.⁴⁸

Figura 13: Evolución del costo de inversión (“curva de aprendizaje”) de centrales nucleares francesas



Fuente: Arnulf Grübler, 2009.⁴⁹

⁴⁸ Mark Cooper, *The Economics of Nuclear Reactors: Renaissance Or Relapse?* Mark Cooper es Senior Fellow de Análisis Económico del Instituto de Energía y del Medio Ambiente (Vermont Law School – Escuela de Leyes de Virginia, junio 2009)

⁴⁹ Arnulf Grübler, *An Assessment of the Costs of the French Nuclear PWR Program 1970–2000* (6 de octubre 2009).

Diversas razones han sido expuestas acerca de la relativamente baja o negativa tasa de aprendizaje en relación a la fabricación de centrales nucleares, incluyendo la relativamente pequeña tasa de pedidos de reactores posteriores en la década de 1970; la interfaz entre la complejidad de la central nuclear y los procesos regulatorios o políticos; y la variedad de diseños⁵⁰ desplegados. Aun cuando algunos de estos factores puedan ser superados en el futuro, la Unidad de Características e Innovación (*Performance and Innovation Unit - PIU*) del gobierno del Reino Unido también destacó una serie de áreas en las que las futuras centrales nucleares quizás no exhiban tasas de aprendizaje comparables con otras tecnologías, incluyendo:

- La energía nuclear es una tecnología relativamente madura y, por lo tanto, la posibilidad que haya un dramático “tirón tecnológico” es aquí menos probable que en otras tecnologías;
- Los tiempos relativamente largos para la construcción y la puesta en servicio significan que las mejoras logradas mediante la retroalimentación de la información proveniente de las experiencias de operación y de diseño, logradas en las primeras unidades, son necesariamente lentas;
- El alcance para las economías de escala es más estrecho en el caso nuclear que para las energías renovables, debido a la escala inicial más pequeña de estas últimas y su aplicación potencial más amplia (en tipos y en cantidades).

Además, la cuestión industrial cambió radicalmente desde que la construcción nuclear alcanzó su nivel máximo en 1980. Muchas de las organizaciones líderes en la industria nuclear se apartaron completamente en 1980 del negocio nuclear, amalgamándose con otros en el campo nuclear, o volvieron a dirigir su enfoque comercial a actividades relacionadas con el desmantelamiento de centrales nucleares y la gestión de residuos, en aquellos lugares en que hubo en años recientes un aumento de la actividad. Esto dio por resultado un grupo más pequeño de compañías, en un número menor de países, con la capacidad de gestionar la construcción de una central nuclear completa.⁵¹

La industria manufacturera del sector nuclear se encuentra claramente en un estado de profunda reorganización y mejora. Las inversiones en la capacidad manufacturera de equipo pesado son muy extensivas en capital. Los fabricantes no seguirán adelante con inversiones por valor de centenares de millones de dólares, si no tienen pedidos en firme por varios años de antemano.

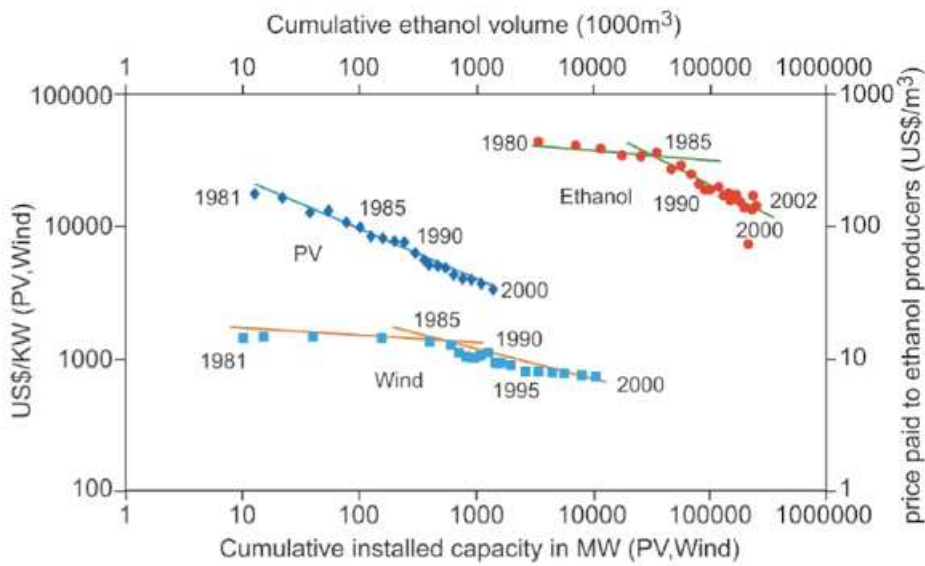
⁵⁰ PIU – *Performance and Innovation Unit*, “Energy Review Working Paper, The Economics of Nuclear Power” (PIU, 2002).

⁵¹ IAEA, *International Status and Prospects of Nuclear Power* (2008).

3.2.2 Energías renovables

Como se muestra en la Figura 14, la falta de un efecto positivo de aprendizaje y el impacto negativo en la economía, en el sector nuclear, no han dado pruebas de ser aplicables a las tecnologías de las energías renovables. La difusión ulterior de la energía eólica, la electricidad solar y el etanol condujo en todos los casos a una reducción significativa en los costos de instalación o de producción.

Figura 14: Curvas de aprendizaje de la tecnología



Fuente: IPCC Fourth Assessment Report, Report 3, Mitigation of Climate Change.

En 2002, la Unidad de Características e Innovación del gobierno del Reino Unido estimó cuáles podrían ser los costos de producción para varias opciones de suministro en 2020. Esto se puede ver en el Cuadro 2, en el que los costos de la energía nuclear son significativamente más altos que los costos de la eólica en tierra firme (*onshore wind*) y los costos de la eólica mar adentro (*offshore wind*) y que están en un rango similar a los cultivos energéticos y a la energía de las olas.

Sistemas para el cambio

Cuadro 2: Proyecciones de costos para la electricidad generada según diversas fuentes de energía, en 2020

Tecnología	Costo en 2020 - p/kWh	Confianza en la estimación	Tendencias de costo a 2050
Combustibles convencionales			
Carbón (IGCC)	3.0-3.5	Moderada	Disminución
Gas (CCGT)	2.0-2.3	Alta	Disminución limitada
CCS	3.0-4.5	Moderada	Incierta
CHP grande (gas)	Bajo 2	Alta	Disminución limitada
Micro CHP (gas)	2.5-3.5	Moderada	Disminución sostenida
Nuclear	3.0-4.0	Moderada	Disminución
Energías Renovables			
Viento en tierra firme	1.5-2.5	Alta	Disminución limitada
Viento en mar adentro	2.0-3.0	Moderada	Disminución
Cultivos energéticos	2.5-4.0	Moderada	Disminución
Olas	3-6	Baja	Incierto
PV solar	10-16	Alta	Disminución sostenida

Fuente: PIU, 2002.⁵²

En años recientes se ha visto un aumento en la oposición a la energía eólica en algunos condados, lo que condujo a la cancelación y retrasos de los proyectos. En el Reino Unido, en 2009, sólo al 25% de los emplazamientos propuestos para la energía eólica en tierra firme les fue dada la aprobación local necesaria – una caída desde el 63% en 2007. El documento “La Estrategia de la Energía Renovable” (*Renewable Energy Strategy*), publicado por el gobierno del Reino Unido en julio de 2009, estableció un objetivo de 14 GW de potencia eólica instalada en tierra firme (*onshore wind*) para 2020. En el Reino Unido hay actualmente instalados 3,2 GW de potencia eólica en tierra firme, hay 0,8 GW construidos y 3,4 GW en construcción – lo que da 7,4 GW en total, o simplemente a medio camino más para alcanzar el objetivo. No obstante, hay otros 7,4 GW en planificación – suficiente para alcanzar el objetivo a tiempo si se aprueban.⁵³ Incluso proyectos eólicos más grandes, mar adentro (*offshore wind*), se pueden realizar rápidamente en comparación con las centrales nucleares. En enero de 2010, el gobierno del Reino Unido anunció planes para 32 GW, a fin de complementar los 8 GW actualmente en desarrollo. Se espera que estén en operación para 2020.

⁵² PIU, “*The Energy Review: Performance and Innovation Unit*”, The Cabinet Office (febrero 2002), página 199

⁵³ BWEA, *Wind Farm Planning Approvals by Local Councils Slump to Record New Low of 25%*, Asociación Británica de Energía Eólica (BWEA – British Wind Energy Association), 20 de octubre 2009

Es importante notar las diferencias en la construcción de un parque eólico, comparado con centrales eléctricas convencionales. La Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA – *European Wind Energy Association*) asemeja la construcción de un parque eólico a la compra de una flota de camiones, ya que notaron que las turbinas se comprarán a un costo fijo convenido de antemano y que se establecerá un cronograma de la entrega. La infraestructura eléctrica también se podrá especificar con bastante antelación. Puede que haya algunos costos variables asociados con las obras civiles, pero esta variación de costo será muy pequeña, comparada con el costo del proyecto como un todo.⁵⁴ El tiempo de construcción para turbinas eólicas en tierra firme es relativamente rápido, dado que los parques más pequeños se terminan en unos pocos meses y la mayoría dentro de un año. La industria eólica convirtió la ventaja de la rapidez de implementación en una herramienta importante de marketing.⁵⁵

⁵⁴ EWEA, *Wind Energy, The Facts: Volume 1, Technology*, Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA – European Wind Energy Association), 2003.

⁵⁵ Vestas (2009): “Se puede disponer de una planta eólica Vestas, construida y en funcionamiento, en un año - mucho más rápido que en el caso de plantas energéticas convencionales – y esto significa un rápido retorno sobre la inversión”,

<http://www.vestas.com/en/modern-energy/understanding-modern-energy/fast.aspx>

4 Costos de Oportunidad

Evaluaciones hechas por la Agencia Internacional de Energía y otros muestran dos importantes y algo conflictivas tendencias. En primer lugar, que será necesario que haya niveles sin precedentes de inversión en el sector energético a lo largo de la próxima década. Esto es el resultado de varias tendencias:

- una demanda creciente de los países en desarrollo, particularmente en el ambiente urbano;
- la necesidad de retirar un gran número de plantas generadoras de electricidad en los países de la OCDE, a medida que dichas plantas lleguen al final de sus vidas operativas y, en algunos casos, debido a la introducción de una legislación de protección ambiental;
- agotamiento de reservas energéticas existentes y abrir nuevas reservas y fuentes energéticas.

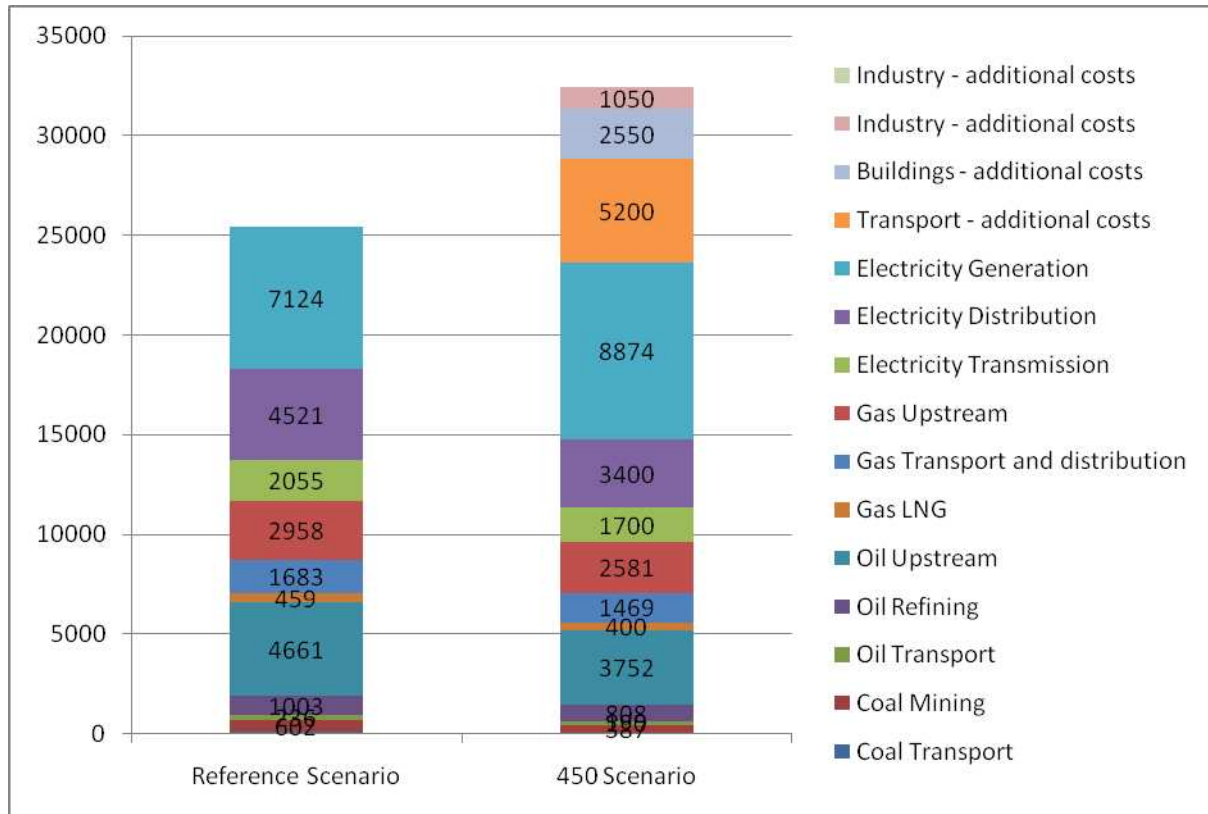
En segundo lugar, hubo una reducción en la inversión en el sector energético a lo largo del último par de años, debido a una menor disponibilidad y a un mayor costo de capital, una menor demanda de energía como resultado de la recesión global y precios de energía más bajos, conducentes a niveles más altos de incertidumbre financiera. Con muchos analistas prediciendo ahora el final de la recesión global, puede que se eliminen totalmente o parcialmente las condiciones que hacían que la inversión fuese más lenta o que la paraban. Como consecuencia es probable y a la vez se está alentando una mayor inversión en el sector energético. No obstante, a pesar de la recuperación económica mencionada, el capital estará limitado, en particular para la inversión en el sector público. Además, habrá una considerable competencia por fondos de inversión entre sectores.

Suponiendo que hay una aceleración de la inversión en el sector energético, entonces las decisiones acerca de qué tipos de inversión se deben hacer, determinará ahora el tipo de sector energético que operará para una generación. La figura más abajo muestra la escala de inversión que se necesita en el sector relacionado con la energía, conforme a la IEA, basado en diferentes escenarios. El Escenario de Referencia de la IEA supone un nivel total de inversión de \$25,6 billones para 2030; mientras que, bajo condiciones que impidan que las emisiones de gases de efecto de invernadero eleven las temperaturas globales sobre 2 grados Celsius, la inversión total aumentaría en \$10,5 billones adicionales. La mayor parte de esta inversión se necesitará para mejorar la eficiencia en el uso final, tal como en edificios o en vehículos, pero hay también un mayor costo asociado con el cambio de combustible y la electricidad

Sistemas para el cambio

generada por combustibles no fósiles o captura y almacenamiento del carbono (CCS - *carbon capture and storage*). No obstante, esta inversión adicional podría llevar a una menor demanda de combustibles fósiles, reducir el nivel de nuevas inversiones necesarias para extraer y transportar combustibles fósiles en alrededor de \$2,1 billones y reducir el monto gastado en combustible. La IEA predice que los ahorros en combustibles hasta 2030 serían del orden de \$8,6 billones, y a lo largo de la vida útil de la inversión serían alrededor de \$17 billones.

Figura 15: Inversiones cambiantes en sectores de energía baja en carbono



Fuente: IEA, *World Energy Assessment, 2009*.

Este ejemplo muestra hasta qué grado debieran influir los objetivos de las políticas en la inversión. El no reconocer esto conducirá ya sea al fracaso de la política o a inversiones varadas.

La misma lógica rige al elegir inversiones para el sector de la energía. Evidentemente, una penetración mucho mayor de la eficiencia energética en el uso final reducirá la necesidad para una ulterior exploración y explotación de combustibles fósiles, como asimismo la necesidad de inversión en transmisión. No obstante, el impacto más directo será entre diferentes fuentes de electricidad, ya que obviamente un aumento de la inversión en una de las fuentes reduce la necesidad en otra.

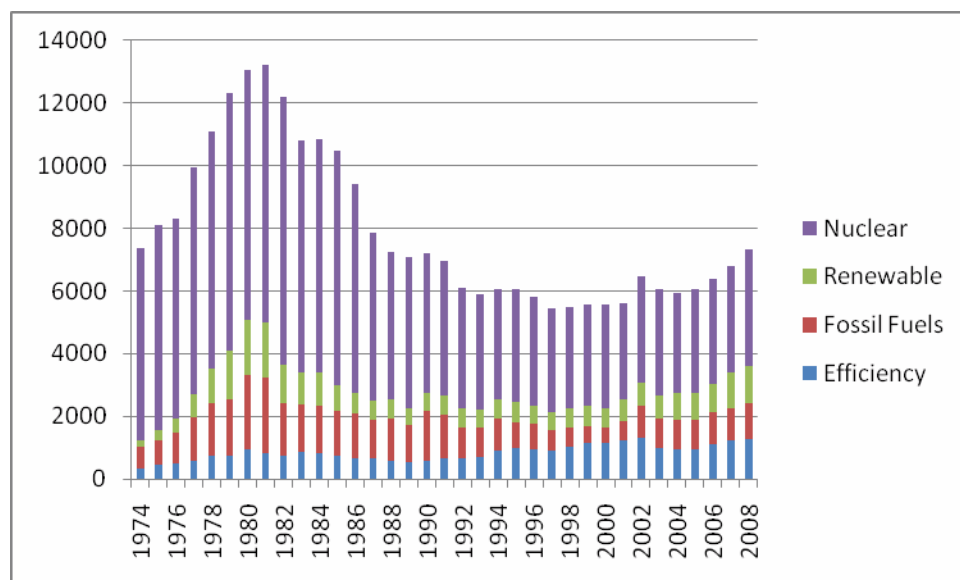
Virtualmente y conforme a todos los escenarios globales que dan por resultado un sector energético con emisiones considerablemente más bajas, la contribución del sector nuclear comparado con las energías renovables (al margen de la conservación y la eficiencia) es relativamente pequeña. No obstante, se argumenta que la energía nuclear debiera ser incluida, a pesar de todo, en una carpeta más amplia de “opciones energéticas bajas en carbono”, en particular junto con la CCS de centrales a carbón o a gas.

Cambiar el sector energético a uno que es genuinamente bajo en carbono y sostenible requerirá un cambio transformativo no sólo en cuanto a las fuentes energéticas, sino también en cuanto a la manera en que se distribuya o use la energía. Para posibilitar esta transición, habrá que hacer cambios en prioridades e inversiones a lo largo de toda la cadena de despliegue tecnológico, desde la investigación y el desarrollo hasta la difusión tecnológica a todos los niveles. La sección que sigue examinará cada etapa de despliegue y comparará la energía nuclear y la energía renovable.

4.1 Investigación y desarrollo

Hay pocas áreas con comparaciones y competencia tan directas entre energía nuclear y energía renovable como las que hay en el campo de la investigación y desarrollo gubernamental. A pesar de los continuos llamados en pro de una mayor acción de Investigación y Desarrollo (R&D - *Research and Development*) para tratar la seguridad energética y climática, en muchos países el nivel del gasto en investigación gubernamental es casi la mitad de lo que era en la década del 80. Esto afectó todas las fuentes energéticas y es una indicación del deseo existente por un rol gubernamental menor, en general, y por un rol mayor del sector privado en el campo energético a lo largo de las últimas décadas.

Figura 16: Presupuestos nacionales de investigación y desarrollo en países la OCDE (miles de millones de US\$)



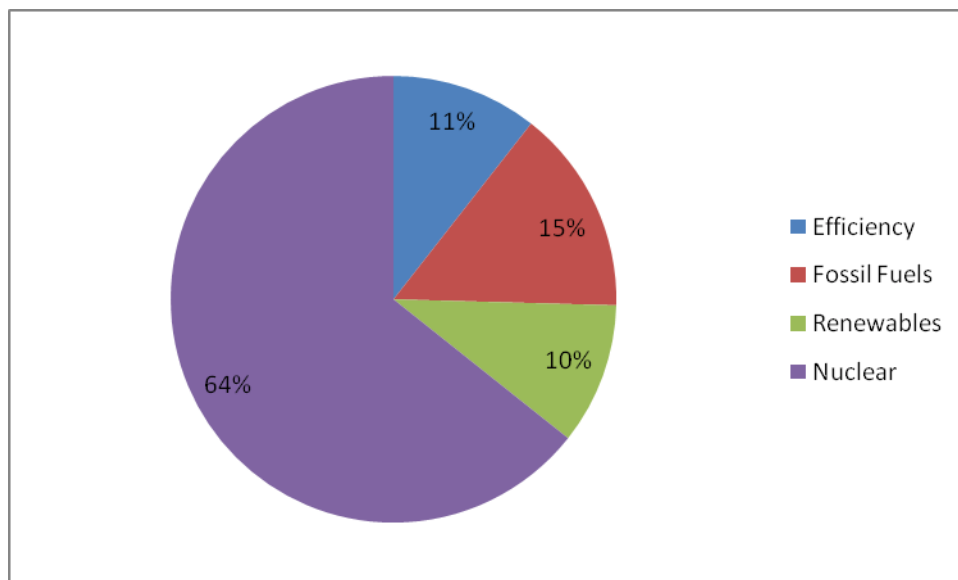
Fuente: IEA, 2010.⁵⁶

Esta disminución en los presupuestos hará que se reduzcan las oportunidades y limitará la influencia de los gobiernos en desarrollar nuevas tecnologías energéticas. La Figura 16 muestra el predominio de la energía nuclear dentro de estos presupuestos de Investigación y Desarrollo (R&D – *Research and Development*), ya que tiene un predominio de casi dos tercios de los gastos totales durante el pasado par de décadas. Esta es una estadística realmente notable y es un resultado de factores particulares. En primer lugar, el sector nuclear incluye financiamiento para fisión y financiamiento para fusión, de los cuales fusión recibe actualmente la mayor cuota de R&D, ya que se dio prioridad al desarrollo del proyecto de fusión del Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER – *International Thermonuclear Experimental Reactor*). En segundo lugar, el financiamiento para la investigación de la energía nuclear – y, en particular, el financiamiento de las instalaciones de demostración o instalaciones piloto – es caro y requiere un nivel desproporcionado de financiamiento, especialmente considerando la falta de un servicio energético proporcionado a corto plazo. La complejidad técnica y la naturaleza innovadora de estas instalaciones de demostración incurren en costos superiores a los presupuestados, y experimentan retrasos que continúan ocurriendo. En el caso del proyecto ITER, en 2006, se esperaba que costase alrededor de €5.000 millones (US\$7.400 millones) construirlo y otros €5.000 millones operarlo durante un período de 20 años. Pero según una revisión extensiva del diseño, se espera que los

⁵⁶ IEA, Base de datos de presupuestos de investigación y desarrollo – 2010 (IEA, Research and Development Budget data-base - 2010), <http://www.iea.org/stats/rd.asp>

costos de construcción aumenten por lo menos al doble.⁵⁷ Tales aumentos de costos, superiores a los presupuestados, probablemente causen un impacto en la disposición de los gobiernos para financiar otros proyectos energéticos en las décadas venideras.

Figura 17: Desglose tecnológico de presupuestos de investigación y desarrollo energéticos de la OCDE (1974-2008)



Fuente: IEA, 2010.⁵⁸

4.2 Costos de inversión

En mercados competitivos hay varios factores que afectarán las decisiones acerca de los tipos de fuentes energéticas que se han de desplegar. No obstante, particular importancia revisten el costo de la energía producida, el precio al que se puede vender dicha energía y el costo financiero y los riesgos de su desarrollo y despliegue.

La energía nuclear se encuentra en una situación de desventaja financiera al ser comparada con la mayoría de las fuentes energéticas, ya que tiene grandes costos de pago por adelantado, largos tiempos de construcción y la dificultad – dada la complejidad tecnológica – de cumplir con presupuestos anticipados. La historia de la energía nuclear está llena de ejemplos en que no se cumplieron las expectativas de costo de la construcción nuclear, como

⁵⁷ "Fusion Dreams Delayed International Partners are Likely to Scale Back the First Version of the ITER Reactor," *Nature* (27 de mayo 2009): páginas 488-489

⁵⁸ IEA, Base de datos de presupuestos de investigación y desarrollo – 2010 (*IEA, Research and Development Budget data-base - 2010*).

se puede ver en el recuadro siguiente. Tales aumentos de costos, superiores a los presupuestados, no sólo son importantes porque afectan el costo del proyecto en particular, sino porque esto afectará el costo de capital para proyectos nucleares posteriores y/o para la empresa eléctrica de servicio público en general. Como indica la IEA “la incertidumbre en los costos de construcción es un factor de riesgo muy importante para los inversionistas”.⁵⁹

Recuadro: Aumentos de costos de construcción nucleares, superiores a los presupuestados

Los costos de construcción de las plantas nucleares terminadas durante la década de 1980 y comienzos de la década de 1990 en los Estados Unidos y en la mayor parte de Europa fueron muy altos, y mucho más altos de lo predicho hoy en día por las pocas empresas eléctricas de servicio público, que están ahora construyendo plantas nucleares, y por la industria nuclear en general.⁶⁰

MIT 2003

La evidencia muestra, que históricamente, las estimaciones de costos de la industria han estado sujetas a masivas subestimaciones del costo real, inexactitud sorprendente que se repite casi invariablemente a lo largo de un período de 40 ó 50 años.⁶¹

Jonathan Porritt

Presidente de la Comisión de Desarrollo Sustentable, del gobierno del Reino Unido

2005

No tengo motivo alguno para creer a ČEZ [la empresa eléctrica checa de servicio público que está construyendo la central nuclear de Temelin]. Me mintieron nueve veces. No sé por qué debiera creerles en este décimo caso.⁶²

Vaclav Havel

entonces Presidente de la República Checa

1999

La Figura 12, tomada de un informe de la Escuela de Leyes de Vermont (*Vermont Law School*), muestra a la vez el rango de los incrementos de costos de construcción de reactores en los Estados Unidos en las décadas 70 y 80 y la rápidamente cambiante expectativa de los costos nucleares de los últimos años. Es importante considerar que estos aumentos de los costos no fueron resultado de la experiencia real en los Estados Unidos, ya que actualmente no hay reactores en construcción, sino que presumiblemente hay que considerarlos como el resultado de un análisis económico más a fondo y el impacto de las experiencias en otras partes del mundo.

⁵⁹ IEA, *World Energy Outlook 2009*, página 268.

⁶⁰ Massachusetts Institute of Technology, *The Future of Nuclear Power* (MIT, 2003).

⁶¹ Citado en el Comité de Comercio e Industria de la Cámara de los Comunes “*New Nuclear? Examining the Issues*,” Cuarto Informe de la Sesión 2005–06, Vol. I.

⁶² Oficina del Presidente, Departamento de Prensa, comunicado de prensa (12 de mayo 1999).

A menudo estos costos de construcción más elevados no se incorporan en el análisis económico que se usa para determinar los costos de la producción de energía.

Por ejemplo, en su análisis económico más reciente, la IEA expresa que los costos de construcción, llamados costos *overnight*, para plantas nucleares están en el rango de \$3.200 a \$4.500 por kW.⁶³ Esto es bastante más bajo que el resumen de los análisis realizados por los académicos de la Escuela de Leyes de Vermont y otros.⁶⁴ Partiendo de esta base, la IEA supone que los costos de producción para electricidad estarán en el rango de \$55 a \$80 por MWh.

Los costos más elevados de construcción tienen un impacto significativo en el costo total de la electricidad nuclear. El estudio de la Universidad de Vermont cita tres fuentes para el impacto de los costos más elevados de construcción en los precios de la electricidad:

- El modelo de MIT sugiere que para cada \$1.000 de incremento de costos *overnight*, el costo de la electricidad en barras de la central⁶⁵ aumenta en \$US 1,8 centavos/kWh en el modelo financiero de empresa de servicio público y en 2,4 centavos en el modelo financiero mercantil;
- En el estudio de Harding, el costo en barras de central aumenta en unos 2,4 centavos por kWh por cada \$1.000 de aumento en costos *overnight*;
- En el estudio de la Universidad de Chicago, el aumento en el costo en barras de central fue 3,0 centavos por kWh por \$1.000 en costos *overnight*.

Promediando estas cifras, se llegaría a un incremento de \$40/MWh, si se usase como costo una cifra de \$5.500/kW instalado, lo que concordaría con el extremo superior de la predicción actual del costo esperado de la empresa eléctrica de servicio público y el pronóstico más bajo de los analistas de *Wall Street* y analistas independientes (ver Figura 12). Esto haría que los costos promedio de la IEA para la electricidad fueran del orden de \$95 a \$120 por MWh.

Europa también ha estado experimentando costos más altos que lo esperado. El primer pedido de un reactor en la planta Olkiluoto, en Finlandia, tenía en 2004 un precio de

⁶³ IEA, *World Energy Outlook 2009*, página 266.

⁶⁴ Ver *New Nuclear – The Economics Say No UK Green Lights New Nuclear – Or Does It?* Citi Investment Research & Analysis (noviembre 2009).

⁶⁵ El costo por kilowatio-hora de la electricidad producida: incluye el costo de capital, el servicio de la deuda, la operación y el mantenimiento, y el combustible. Las barras de la central eléctrica (llamada *bus* o *busbar* en inglés) son el punto que está más allá de generador, pero antes del punto donde se transforma la tensión en la parte exterior de la planta y donde se conecta a los cables de transporte de la electricidad.

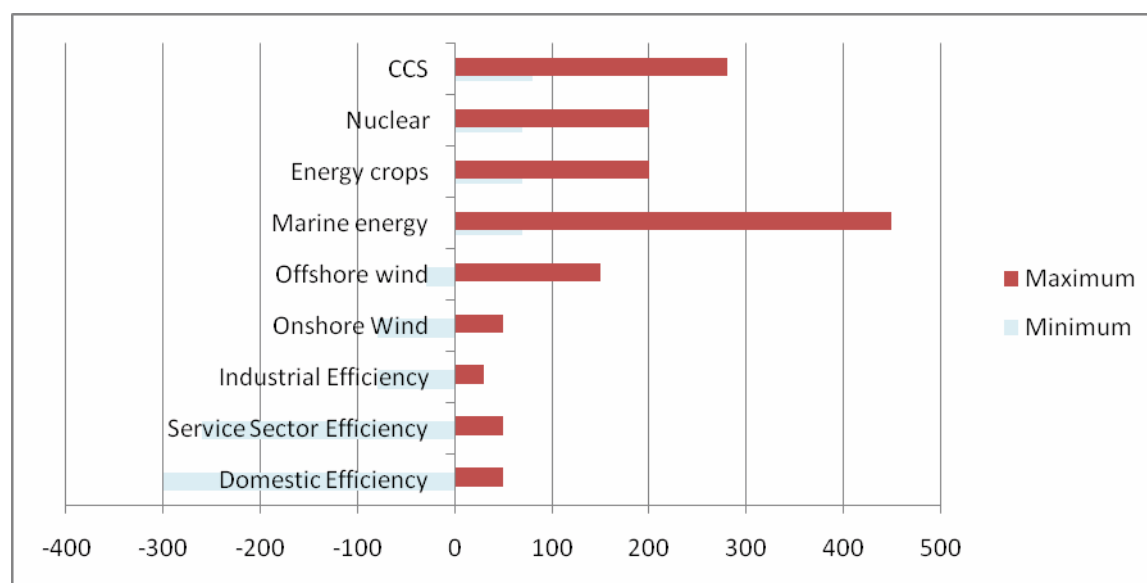
Sistemas para el cambio

alrededor de \$3.000/kW. Después de cuatro años de construcción, aun cuando debiera haber estado terminado, todavía se encuentra a cuatro años de su terminación y con un presupuesto excedido en más de un 75% (cerca de \$5.000/kW).⁶⁶

También es probable que costos más altos de construcción reduzcan la capacidad de las empresas eléctricas de servicio público o de los gobiernos para invertir en otras centrales o en otras estrategias alternativas de gestión energética. Actualmente, la IEA da por sentado que el mayor uso de la energía nuclear requerirá un 16% de la inversión total. Dar por sentado un costo de inversión más concordante con las expectativas estadounidenses o europeas, conducirá ya sea a una disminución de la inversión de más o menos 40% o a un requerimiento de un aumento similar en la financiación. Cualquiera de las dos opciones creará dificultades potenciales para el sector eléctrico.

La figura que sigue, proveniente del Informe del Gobierno del Reino Unido de 2002, muestra los costos de reducción del carbono de diferentes opciones de suministros no fósiles y de eficiencia energética. Se esperaba que la energía nuclear fuese inmensamente más cara que todas las demás medidas de eficiencia energética y que la eólica, tanto en tierra firme como mar adentro; en un rango similar al de los cultivos energéticos; pero posiblemente más barato que las energías marinas.

Figura 18: Costos estimados de reducción de carbono en el Reino Unido en 2020 (£/tC)



Fuente: PIU, 2002.

Otros análisis más recientes sugieren que el costo de la energía nuclear y de la energía renovable podrían estar mucho más cerca de aquello que sugirió la Unidad de Características e Innovación (PIU - *Performance and Innovation Unit*). La valoración más reciente de 2009, de la

⁶⁶ Prof. Steve Thomas, "Blair's Nuclear Dream Faces Financial Meltdown", Parliamentary Brief (7 de enero 2009).

consultoría McKinsey,⁶⁷ determina los costos de reducción del carbono de diversas tecnologías de oferta y demanda y llega a la conclusión que “varias tecnologías bajas en carbono tendrán un costo de reducción similar para 2030; lo que refleja el alto nivel de incertidumbre acerca de cuáles serán las tecnologías que posiblemente vayan a probar que son las “ganadoras”. El análisis de McKinsey muestra un rango de tecnologías nucleares y renovables que tienen los siguientes costos de reducción de carbono: de nueva construcción: entre €5 y €20/tCO₂ equivalente; geotérmica: 5€/tCO₂ equivalente; nuclear: 10 €/tCO₂ equivalente; eólica con baja penetración: 12€/tCO₂ equivalente; energía solar de concentración: 13€/tCO₂ equivalente; eólica con alta penetración: 20€/tCO₂ equivalente.⁶⁸ No obstante, con energía nuclear, el análisis McKinsey usa €3.000 por kW en 2005 para países desarrollados (y \$2.000 por kW para países en desarrollo). Esta estimación de costos de la potencia instalada cae por debajo de los actuales costos reales de construcción y de los análisis independientes.

4.3 Infraestructura y redes

Será necesario acelerar en la década venidera la inversión en infraestructura eléctrica, independientemente de la energía usada para la generación. En la más reciente evaluación efectuada por la IEA en su publicación *World Energy Outlook* (Mirada a la Energía del Mundo), concluye para su Escenario de Referencia que la inversión total que se necesita para 2030 en el sector de la energía eléctrica es de \$13,7 billones, de los cuales se necesitará el 48% para el transporte y la distribución (\$2 billones para el transporte y \$4,5 billones para la distribución). Los costos de inversión para un sistema que produzca menos emisiones de carbono serán más altos.

La red existente está basada en gran parte en la operación de grandes productores de energía eléctrica de forma centralizada y que usan cables de alta tensión para transportar la electricidad a grandes distancias hasta las áreas urbanas o industriales, en donde cables de menor tensión llevan la electricidad al consumidor final. Estas redes fueron construidas en una época en la que todo el sector electricidad era de propiedad estatal. En consecuencia, las nuevas estaciones de energía eléctrica no tenían que pagar por las conexiones con la red que les permitía operar. Esto crea potencialmente una desventaja económica adicional y de costos para la nueva potencia generadora que ingresa al mercado en localidades que no figuran en el sistema de red existente, ya que se requiere que paguen bien, sea para el refuerzo de la red o de las conexiones con ella.

⁶⁷ McKinsey, *Pathway to a Low Carbon Economy – Version 2 of the Global Greenhouse Gas Carbon Abatement Cost Curve* (McKinsey and Company, 2009).

⁶⁸ Ibid., basado en una estimación del documento de prueba 8.1.3 en página 63.

El sistema actual está basado en gran medida en un modelo de “predecir y suministrar”, en el que las empresas eléctricas centralizadas de servicio público tratan de asegurar que las necesidades de demanda de los consumidores hayan sido satisfechas en todo momento. No obstante, tal como se mencionó en el capítulo sistémico anterior, este sistema es ineficiente y no es adecuado para la creación de un sector energético de bajo contenido en carbono y sustentable. Además, se necesitarán cambios a gran escala para el alcance y funcionamiento de la red, a fin de acomodar la producción de energía renovable, proveniente de un grupo de generadores de varios tamaños y geográficamente dispersos. En algunos casos, por ejemplo la eólica mar adentro, no puede haber ambigüedad en la necesidad de una inversión en la red. Sin esta inversión en la red, el desarrollo no se va a producir.

Tales cambios han sido reconocidos tanto en las declaraciones de políticas como en las propuestas de inversiones, particularmente en los paquetes de estímulo económico. No obstante, en muchos casos faltan los detalles y permanece la confusión acerca de las definiciones y la extensión del cambio radical que viene en camino. En particular, el uso del término “inteligente” (*smart*) ha llegado a ser ahora sinónimo de cambio, pero aún no hay una comprensión clara e universal de qué significa eso. Uno de los ejemplos más impactantes de eso fue un comunicado de prensa del Departamento de Energía y Cambio Climático del Reino Unido justo antes de la conferencia de Copenhague. Esta declaración, que lleva por título “El sistema energético del Reino Unido se vuelve inteligente”, usó la palabra “inteligente” 22 veces en una declaración de 19 frases.⁶⁹

Los paquetes nacionales de estímulo producidos como resultado de la crisis económica destacaron las actividades “verdes” y también la necesidad de inversión en “redes inteligentes”, en particular. Según el análisis realizado por el Banco HSBC de Londres, el financiamiento total comprometido para nuevas redes ascendía globalmente a \$92.000 millones, aun cuando la mayoría de este monto, alrededor de \$70.000 millones, se hallaba en China (fuera de las finanzas totales para las actividades Verdes y que ascienden a \$430.000 millones)⁷⁰. No obstante, es evidente que no todos los proyectos que estén clasificados como “de bajo carbono” o “Verdes” difieren significativamente de planes existentes de mantenimiento o expansión.

El paquete de estímulo de la Unión Europea para la energía se focaliza en el Programa Energético Europeo para Recuperación, que creó la base para proporcionar un cofinanciamiento sustancial, proveniente del presupuesto de la Unión, a proyectos energéticos clave, a través de un plan de €3.980 millones y del que se decía que estaba dirigido a “proteger puestos de trabajo y comprar electricidad, impulsar las infraestructuras y crear puestos de trabajo en los sectores bajos en carbono del futuro”. La inversión en proyectos de infraestructuras de gas y electricidad recibieron la mayor parte, €2.365 millones

⁶⁹ <http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/pn139/pn139.aspx> (16 de marzo 2010).

⁷⁰ HSBC, *A Climate for Recovery; The Colour of Stimulus Goes Green* (febrero 2009).

(60% del presupuesto), luego la captura y almacenamiento del carbono (CCS – *carbon capture and storage*) €1.050 millones (26% del presupuesto) y finalmente proyectos de energía eólica mar adentro €565 millones (14% del presupuesto). Los detalles acerca de los proyectos de CCS y eólicos mar adentro están disponibles, pero no aquellos proyectos de infraestructuras en gas y en electricidad, que están aún siendo considerados. No obstante, no parece que los proyectos en consideración estén relacionados con la energía baja en carbono, particularmente energía renovable, pero consolidan el mercado existente de la electricidad.⁷¹

Además, sólo un 10% de los criterios para juzgar la sostenibilidad de los proyectos se relaciona con asuntos ambientales e incluso aquí no hay referencia al “impacto de la acción, *inter alia*”, en la naturaleza, emisiones, ruido, uso del suelo y en las medidas para reducir o compensar cualquier impacto negativo”.⁷² En la sub-categoría eólica mar adentro (*offshore wind*) hay que financiar tres proyectos principales de infraestructura de la red, los que recibirán alrededor de €310 millones para proyectos que se espera tengan un costo del orden de €1.800 millones.

Mientras que el enfoque permanece en una fuerte inversión en infraestructuras de transporte de electricidad en alta tensión, queda pendiente un análisis sistémico acerca de dinámicas conflictivas de inversión. La prioridad absoluta dada a los siempre crecientes sistemas de transporte y distribución centralizados de alta potencia - y elevadas pérdidas - constituye una barrera efectiva para la rápida introducción de redes inteligentes (*smart grids*), descentralizadas y altamente eficientes, que minimizan las pérdidas de transporte y constituyen el ingrediente clave de futuras redes inteligentes (*intelligent networks*) que redefinen profundamente los roles del productor y usuario de electricidad.

Un automóvil eléctrico, por ejemplo, transforma la electricidad mucho más eficientemente en potencia mecánica que un motor de combustión. No obstante, esta realidad física sigue siendo pura teoría a no ser que se genere la electricidad de manera sustentable. Es crucial reorientar las inversiones en infraestructuras más bien hacia un enfoque sistémico enteramente diferente, en vez de continuar parchando la antigua e ineficiente infraestructura con nuevos dispositivos que no harán que las características del sistema, en su conjunto, resulten mejores.

En años recientes ya se ha visto en unos pocos casos, las dificultades de potencia para integrar cantidades mayores de energía renovable intermitente en la red. Estos problemas fueron agravados por centrales nucleares grandes y difíciles de manejar, que requieren un acceso

⁷¹ Diario Oficial (OJ – *Official Journal*), Regulación (EC) No. 663/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 13 de julio, que establece un programa para ayudar a la recuperación económica y que le otorga a la Comunidad asistencia financiera para proyectos energéticos L/200/31 (31 de julio 2009).

⁷² Comisión Europea, Día de la Información (2009), ver sitio: http://ec.europa.eu/energy/grants/docs/eepr/eepr_info_day_presentation_interconnections.pdf

*Nota del traductor. *Inter alia*: entre otras cosas.

permanente a la red. El crecimiento de la energía renovable en años recientes demostró que los proyectos se están construyendo a tiempo y dentro del presupuesto, y la conexión con la red no ha sido un problema. Además, tiene sentido en forma evidente dar un acceso prioritario a la energía renovable, ya que no usan combustible. A no ser que haya un cambio sistemático, entonces el uso ineficiente de las energías renovables aumentará. Por eso tendrá que haber una reforma fundamental de la gestión de manejo de las redes, con una significativa inversión para nuevas infraestructuras y para el desarrollo de los productos. Esto tiene que estar basado en niveles superiores de eficiencia de los suministros, que le asigne prioridad a la producción localizada y al uso de la energía, que suministre consumo y almacenamiento responsable, que integre redes regionales de electricidad a fin de reducir la necesidad de una generación de apoyo y aproveche mayores recursos renovables, tales como el viento mar adentro.

4.4 Mecanismos de mercado

A lo largo de las últimas décadas, la tendencia global hacia una mayor liberalización de los mercados dio por resultado una menor intervención estatal en la operación de los mercados de gas y de electricidad. No obstante, esto no condujo a un enfoque de una total “no intervención” (“*hands off*”) para el suministro de energía, sino que condujo más bien a la introducción de mecanismos más basados en el mercado para apoyar tecnologías específicas.

Estos mecanismos de mercado se usaron muy recientemente y con eficacia – en algunos casos, pero no en todos – para ayudar a establecer la energía renovable. Particularmente, en el mercado de electricidad se introdujeron mecanismos tales como las tarifas de inyección a la red (*feed-in tariffs*) y las garantías de la cuota de mercado. A comienzos de 2009 existían, en a lo menos 73 países, objetivos políticos (*policy targets*) para energía renovable. Esto incluye objetivos a nivel de los estados de EE.UU. o a nivel provincial de Canadá, ya que dichos países no tienen metas nacionales.⁷³ Estos mecanismos políticos son los cimientos del éxito de la energía renovable.

Lo importante es que se ha declarado y probado legalmente en Europa que estos mecanismos no constituyen ayuda estatal. Específicamente, en un juicio de caso de prueba, dictado en 2001, la Corte Europea de Justicia declaró claramente que las tarifas de inyección a la red bien estructuradas no representaron ayuda estatal, pero son justificadas como un medio de compensar los costos externos que no están considerados como factores determinantes del precio. Este fallo ha sido ampliado por la Comisión Europea, que declara que desde un punto de vista de eficiencia económica sucede que un número de fallas del mercado justifican la

⁷³ REN 21, Informe del estado global de renovables 2009 Actualización: *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (2009).

intervención estatal en el mercado de electricidad renovable.⁷⁴ Las razones que se dieron para ello, fueron las siguientes:

- “Dado que la internalización completa de [...] externalidades no parece políticamente factible en la actualidad en la mayoría de los países [...] el apoyar a las energías renovables para que se tome en consideración su perfil más bajo de emisiones, puede ser justificado por motivos de eficiencia”.
- “Aun cuando algunas energías renovables, tales como la eólica en emplazamientos privilegiados, presentan estructuras de costo cercanas a las fuentes convencionales, se considera generalmente que las energías renovables todavía no son comercialmente competitivas en un mercado de electricidad no protegido, especialmente si este mercado sigue distorsionado por un gran número de subvenciones directas e indirectas para el sistema de electricidad existente y se basa en una infraestructura principalmente construida cuando el sector eléctrico era de propiedad pública [...] A pesar de las perspectivas a largo plazo de las energías renovables, el mercado sigue aún invirtiendo insuficientemente en investigación y desarrollo, que es la razón de por qué los gobiernos debieran proporcionar incentivos para innovar”.
- “Los sistemas regulatorios hoy en día favorecen a las energías convencionales, que en el pasado sacaban adicionalmente provecho del apoyo masivo del gobierno para la investigación y el desarrollo”.

Comparación de las subvenciones nucleares estadounidenses

En sus primeros 15 años, la tecnología nuclear y la eólica produjeron una cantidad comparable de energía (nuclear: 2.600 millones de kWh; eólica: 1.900 millones de kWh), pero las subvenciones a la nuclear excedían las de la eólica por un factor superior a 40 (\$39.400 millones a \$900 millones).

Marshall Goldberg, “Subvenciones Energéticas Federales: No todas las tecnologías se crean iguales”, *REPP* no. 11 (julio 2000)

La falta de pedidos de nuevas centrales nucleares, en la mayoría de los mercados liberalizados, dio por resultado la utilización de muchos menos mecanismos de apoyo tecnológico, a pesar de que se esté facilitando la posibilidad de disponer de un mayor financiamiento o de reservarse dicho financiamiento para un fin determinado. El ejemplo más patente está en Estados Unidos, donde la Ley de la Energía de 2005 (*2005 Energy Act*) dejó en claro su apoyo financiero para la generación de energía nuclear, incluyendo:

⁷⁴ Comisión Europea, Comunicación de la Comisión: *The Support of Electricity from Renewable Energy Sources*, SEC(2005) 1571, Com(2005)627 final, (2005).

Sistemas para el cambio

- descuentos impositivos por producción: 1,8 centavos de descuento impositivo por cada kWh proveniente de nuevos reactores por ocho años y por seis reactores – costo para el Tesoro de Estados Unidos: \$5.700 millones;
- garantías de préstamos por los primeros 6 a 8 reactores (por valor de hasta \$18.500 millones);
- un marco jurídico de apoyo contra retrasos regulatorios o judiciales (por valor de hasta \$500 millones por los primeros dos reactores y \$250 millones por los próximos cuatro);
- financiamiento ulterior para investigación y desarrollo, por valor de \$850 millones;
- asistencia prestada con costos históricos de desmantelamiento (hasta \$1.300 millones)

En diciembre de 2007, Christopher Crane, presidente de Exelon Generation, una de las empresas eléctricas de servicio público que había declarado una intención de construir nuevas plantas nucleares, dijo:

“Si el programa de garantías de préstamos no está vigente para 2009, no seguiremos adelante”.⁷⁵ La importancia de este particular mecanismo de mercado se aclaró en enero de 2010, cuando el Presidente Obama triplicó el potencial financiamiento disponible, asegurando que conforme al proyecto de ley de la energía, por él propuesto, habría \$54.000 millones disponibles.

Como se señaló, en otros países con mercados de electricidad liberalizados, hay actualmente menos mecanismos públicos de mercado puramente para la energía nuclear. No obstante, se están desarrollando mecanismos de apoyo más amplios que podrían permitir el apoyo financiero futuro para la energía nuclear. En la Cumbre informal en Hampton Court, en octubre de 2005, durante el período del Primer Ministro Tony Blair, Dieter Holm presentó un artículo informal, “Política energética europea, asegurando los suministros y enfrentando el desafío del cambio climático”.⁷⁶ Este artículo sugería que la necesidad de inversión — debido a la retirada de gran parte de la potencia generadora actual— era una oportunidad ideal para invertir en “fuentes energéticas sin carbono”. Además, el artículo declaraba “que la Unión Europea debía considerar ampliar la definición de renovables a una definición que incluya un número de tecnologías que reducen las emisiones”.

⁷⁵ “Loan Guarantees Tagged as Key for Nuclear Builds” *Power, Finance and Risk* (21 de diciembre 2007)

⁷⁶ http://www.fco.gov.uk/Files/kfile/PN%20papers_%20energy.pdf

En algunos casos se hicieron intentos más explícitos para reclasificar la potencia nuclear como una fuente de energía renovable. En el estado de Arizona (EE.UU.), el lenguaje usado en la legislación referente al proyecto de ley sobre energía renovable sufrió una derrota en febrero de 2010 – dicho proyecto de ley había propuesto incluir la potencia nuclear en la definición de energía renovable. Esto habría hecho posible que la energía nuclear fuese incluida en la meta que requería que las empresas de servicios públicos adquiriesen el 15% de su electricidad de fuentes de energía renovable. El Gobernador de Arizona emitió una declaración cuando los elementos nucleares fueron retirados del proyecto de ley: “Esto envía un mensaje claro y unido a los empleadores alrededor del mundo – Arizona sigue siendo la primera destinación para las industrias solares”.⁷⁷

La Comisión Europea publicó el 8 de marzo 2006 el *Green Paper* (Libro Verde), “Una estrategia europea para una energía segura, competitiva y sustentable”.⁷⁸ Incluía la siguiente sección sobre tecnologías bajas en carbono:

Además podría ser apropiado convenir en un objetivo estratégico que incluya todo, equilibrando los objetivos del uso sustentable de la energía, de la competitividad y de la seguridad del suministro. Sería necesario desarrollar estos objetivos en base a una evaluación completa del impacto y proporcionar un patrón de referencia en base a la cual se podría juzgar el mix energético en desarrollo, de la Unión Europea (UE), y podría ayudar a la UE a detener la creciente dependencia de las importaciones. Por ejemplo, un objetivo podría ser tratar de lograr que un nivel mínimo del mix energético general de la UE tenga por origen fuentes energéticas seguras y bajas en carbono. Un patrón de referencia de este tipo reflejaría los riesgos potenciales de la dependencia de las importaciones, identificaría una aspiración general a un desarrollo a largo plazo de fuentes de energía bajas en carbono y permitiría la identificación de las medidas internas esencialmente necesarias para lograr estos objetivos.

Ahora se están proponiendo tales métodos en Europa, y en febrero de 2010 el regulador de energía del Reino Unido – OFGEM (*Office of the Gas and Electricity Markets* – Oficina de los Mercados del Gas y de la Electricidad) – anunció que “hay un consenso creciente en que el dejar el presente sistema de disposiciones del mercado y de los demás incentivos tal como están y sin cambiarlos, no es una opción” para la seguridad del suministro, ni por razones ambientales.⁷⁹ Una de las medidas que OFGEM estaba considerando eran las licitaciones de

⁷⁷ “Bill to Classify Nuclear as Renewable Energy Killed” *Phoenix Business Journal* (22 febrero 2010), <http://phoenix.bizjournals.com/phoenix/stories/2010/02/22/daily51.html>

⁷⁸ http://europa.eu.int/comm/energy/green-paper-energy/index_en.htm

⁷⁹ OFGEM, “Action Needed to Ensure Britain’s Energy Supplies Remain Secure”, comunicado de prensa (4 de febrero 2010).

potencia para todas las formas de generación, incluyendo energías renovables y energía nuclear, a fin de proporcionar señales más claras de inversiones a largo plazo.

El uso de mecanismos de mercado para el más amplio despliegue de energía renovable ha sido legalmente justificado, en Europa, al tratar ellos de equilibrar las existentes distorsiones ambientales y económicas presentes en el mercado. Además, facilitan el desarrollo de nueva tecnología que no haya sacado provecho ya sea de los presupuestos de investigación y desarrollo, históricamente mucho mayores, o de la construcción de infraestructura que ocurrió cuando el sistema era de propiedad estatal. Estas mismas justificaciones no pueden regir para la energía nuclear, ya que la tecnología ha recibido, y continúa recibiendo, la parte del león de la investigación y el desarrollo; ha sido favorecida por la implementación de la infraestructura; y no es responsable del valor total de su costo ambiental real y potencial. No obstante, conforme a lo señalado, ahora se están introduciendo medidas en Estados Unidos para apoyar de nuevo financieramente la introducción de la energía nuclear, mientras que en Europa se están haciendo intentos de apartarse de los objetivos específicos para la introducción de energía renovable y crear un objetivo "bajo en carbono". Estas medidas diluirán potencialmente la efectividad de las políticas de energía renovable y, lo que es más importante, crearán dudas en las mentes de los inversionistas acerca de la seriedad del compromiso asumido por los gobiernos con la energía renovable.

Esta sección ha mirado los costos de oportunidad de la energía nuclear y de la energía renovable. No obstante, hay muchos otros asuntos que una comparación más a fondo consideraría. Un estudio efectuado por Mark Jacobson y publicado en la revista *Energía y Ciencia Ambiental*⁸⁰ (*Energy and Environmental Science*) se refiere a un rango de fuentes de energía y a la capacidad potencial que tienen para enfrentar el cambio climático, la polución del aire y la seguridad energética, en tanto que consideraba un rango de otros asuntos, tales como el suministro de agua, el uso del suelo, la vida silvestre, la disponibilidad de recursos, la polución térmica, la polución del agua, la proliferación nuclear y la malnutrición. Las conclusiones de la investigación del Profesor Jacobson se presentan en el cuadro que sigue y muestran que la energía nuclear figura en el último rango, debajo de todas las demás opciones que se usan para generar electricidad. Las tecnologías consideradas fueron la solar fotovoltaica (PV), la energía solar térmica de concentración, la eólica, la geotérmica, la hidroeléctrica, la de las olas, la mareomotriz, la nuclear y la del carbón con CCS, junto con biocombustibles, cereales y celulosa.

⁸⁰ Mark Z. Jacobson, "Review of Solutions to Global Warming, Air Pollution and Energy Security," *Energy and Environmental Science* (1 de diciembre 2008).

Sistemas para el cambio

Cuadro 3: Clasificación por rangos de las tecnologías de energías renovables, nuclear y de carbón

	Weight	Wind (BEV)	Wind (HFV)	Solar PV	CSP	Geothermal	Hydro	Wave	Tidal	Nuclear	CCS	Corn	Cellulosic
Resources	10	2	3	1	4	7	10	6	5	9	8	11	12
CO2 emis.	22	1	3	5	2	4	8	7	6	9	10	11	12
Mortality	22	1	3	5	2	4	8	7	6	10	9	11	12
Footprint	12	1	2	8	9	5	10	4	3	6	7	11	12
Spacing	3	8	9	5	6	2	10	7	1	4	3	11	12
Water	10	1	6	5	9	4	11	1	1	7	7	12	10
Thermal	1	1	2	4	8	3	7	6	5	12	11	10	9
Water poll	3	1	3	5	2	4	8	7	6	10	9	12	11
Energy supply disrupt	3	3	4	2	6	7	11	5	1	12	8	9	9
Operating reliability	8	10	1	10	5	6	2	10	9	7	8	3	3
Weighting		2.09	3.22	5.26	4.28	4.60	8.40	6.11	4.97	8.50	8.47	10.6	10.7
Overall rank		1	2	6	3	4	8	7	5	9=	9=	11	12

Fuente: Jacobson, 2009.⁸¹

El impacto de la política de la energía nuclear en el cambio climático y en el medio ambiente ha sido evaluado más a fondo en un artículo por Felix Matthes.⁸²

⁸¹ Ibid., Cuadro 4.

⁸² http://www.boell.de/downloads/ecology/NIP6_MatthesEndf.pdf

5 Conclusiones

La energía nuclear ha sido y sigue siendo la que recibe las grandes intervenciones gubernamentales. Como lo señala un ejemplo, en los primeros 15 años las tecnologías nucleares y eólicas produjeron cantidades comparables de energía en Estados Unidos (nuclear: 2.600 millones de kWh; eólica: 1.900 millones de kWh), pero las subvenciones a la energía nuclear superaron a las de la eólica por un factor superior a 40 (\$39.400 millones a \$900 millones). Incluso hoy en día, con la falta de nuevos pedidos de energía nuclear y el surgimiento de otras tecnologías, la nuclear continúa disfrutando de un acceso inigualado a los fondos gubernamentales de investigación y desarrollo.

Además, esta energía continúa recibiendo grandes subvenciones indirectas⁸³ a través de la falta de inclusión de los costos ambientales en los precios de la electricidad, en particular a través de garantías gubernamentales para el almacenamiento o disposición final de los residuos radiactivos. Se facilita una asistencia financiera más directa a través de limitaciones y garantías financieras gubernamentales para el seguro de responsabilidad civil ante terceros, a través de garantías de las agencias de créditos para la exportación, créditos para impuestos de la producción o garantías de préstamos.

La experiencia global de la construcción nuclear muestra una tendencia a costos superiores a los presupuestados y a retrasos. La historia de los dos programas de construcción más grandes del mundo, el de Estados Unidos y el de Francia, muestran un aumento quintuple y triple, respectivamente, en los costos de construcción. Esto no se puede atribuir, a la primera, a una especie de problemas propios de los costos o problemas iniciales, sino a problemas sistémicos asociados con estos grandes, políticos y complicados proyectos. La experiencia reciente, en Olkiluoto en Finlandia y el proyecto Flamanville en Francia, destaca el hecho que esto sigue siendo un problema. Los incrementos de costos y los retrasos en la construcción nuclear no sólo absorben montos cada vez mayores de la inversión, sino que los retrasos aumentan las emisiones provenientes del sector.

Desde un punto de vista sistémico, el enfoque de la energía nuclear y el enfoque del tipo eficiencia energética+energía renovable se excluyen mutuamente, no sólo en términos de inversión. Esto se está tornando cada vez más transparente en los países o regiones en los que la energía renovable se está apropiando de una gran parte de la generación de electricidad, es decir, en Alemania y España. Las principales razones son las siguientes:

- **Competencia por fondos limitados de inversión.** Un euro, dólar o yuan sólo se pueden gastar una vez y se deben gastar para las opciones que

⁸³ Para una discusión más a fondo de los subsidios gubernamentales históricos para la energía nuclear en Alemania, ver Presupuesto Verde de Alemania (2009) "Staatliche Förderungen der Atomenergie im Zeitraum 1950 bis 2008."

Sistemas para el cambio

proporcionen, lo más rápidamente, las mayores reducciones de emisiones. La energía nuclear no es solamente una de las opciones más caras, sino también una de las más lentas.

- **El exceso de potencia mata los incentivos de la eficiencia.** Las grandes unidades centralizadas, generadoras de energía eléctrica, tienden a conducir a excesos de potencia estructurales. La potencia en exceso no deja espacio a la eficiencia.
- **Se necesita una potencia complementaria flexible.** Niveles crecientes de fuentes de electricidad renovable necesitarán instalaciones complementarias flexibles de mediana carga y no grandes centrales inflexibles de carga en base.
- **Las redes futuras son bidireccionales.** La medición inteligente y las redes inteligentes hacen su camino. La lógica es un sistema enteramente rediseñado en el cual el usuario hace también una función de generación y almacenamiento. Esto es radicalmente diferente al enfoque centralizado de arriba a abajo (*centralized top-down approach*).

Para futuros propósitos de planificación, en particular para países en desarrollo, es de crucial importancia que las características sistémicas contradictorias de la estrategia energética nuclear versus la estrategia de eficiencia energética+energía renovable estén claramente identificadas. Hay numerosos efectos del sistema que hasta ahora han sido insuficientemente documentados o incluso entendidos. Se necesita urgentemente investigación y análisis en esta área.

Esto es particularmente importante en la época presente, porque la próxima década será vital para determinar la sustentabilidad, seguridad y viabilidad financiera del sector energético para por lo menos una generación. Se han juntado tres impulsores y consideraciones clave que tendrán que transformar la manera o forma de cómo se proporcionan servicios energéticos y se generan, transportan y usan portadores energéticos (electricidad, hidrógeno...) y combustibles. Estos impulsores son:

- la creciente toma de conciencia de la necesidad de acción para reducir las amenazas del peligroso cambio climático y el darse cuenta de la importante contribución del sector energético;
- aumento y aumentos ulteriores esperados, en la competencia global por recursos energéticos tradicionales, dado que el incremento de la demanda no se cubrirá mediante nuevos descubrimientos de mayores reservas de recursos;
- y una acelerada necesidad de inversión en el sector energético, en países de la OCDE, como resultado de la obsolescencia de la infraestructura existente, y en países en desarrollo como un resultado de una urbanización acelerada y demanda de servicios energéticos diferentes y ampliados.

Como han señalado la Agencia Internacional de la Energía de la OCDE y otros, el negocio convencional ("business as usual") no es ninguna opción. La energía renovable ha sido una importante y, quizás, la historia de mayor éxito industrial de la última década. En 2009, en Europa, se hicieron inversiones eólicas por valor de €13.000 millones, lo que condujo a centrales eólicas que representan el 39% de la nueva potencia instalada de generación de electricidad, el segundo año consecutivo en el que se instaló más potencia eólica que en cualquier otra tecnología de generación. Además, las instalaciones de energía renovable representan el 61% de las nuevas conexiones a red de la Unión Europea (UE) en 2009. El sector de la energía eléctrica de la UE continúa apartándose del carbón, del fueloil y de la energía nuclear, y cada una de estas tecnologías sigue desmantelando más de lo que instala. Aun cuando sea evidente que algunos países tengan más éxito en su despliegue de energía renovable, existe en por lo menos 73 países una tentativa global de aumentar el uso de estas tecnologías mediante objetivos políticos para energía renovable. Y lo que es importante es que muchos países en desarrollo están a la vanguardia en el proceso de producción y el uso de energía renovable. China ya lidera el mundo en el uso de la energía termosolar y se espera que llegue a ser en breve el mayor fabricante de aerogeneradores y, en 2009, fue el responsable del mayor aumento en potencia eólica instalada. Además, se espera que el uso de la energía renovada se triplique en Europa en la próxima década y aumente significativamente en la mayoría de los países OCDE.

El uso de la energía renovable demostró ser un conjunto clave de tecnologías para reducir emisiones de gases de efecto de invernadero provenientes del sector energético. No obstante, hoy en día, aún falta reconocer plenamente su rol para otros sectores, en particular para el transporte, el calor y el enfriamiento. Por lo tanto, su contribución al mix energético es considerablemente menor que para la electricidad en muchos países, si no se consideran fuentes energéticas tradicionales y no-comerciales.

Es sumamente importante, sin embargo, darse cuenta de que las políticas de energía renovable no lograrán los resultados indispensables de reducción de emisiones sin un esfuerzo masivo de eficiencia energética en todos los sistemas de energía. El sector de la energía eléctrica en Alemania es un ejemplo impactante, a medida que el consumo aumentaba más rápidamente que la descarbonización del kWh, eliminando gran parte de los efectos beneficiosos del programa sumamente exitoso de energías renovables. Esto empieza con la disposición apropiada para las inversiones a largo plazo en infraestructuras, en particular en planificación urbana, diseño de edificios y uso del suelo. No podemos continuar dándonos el lujo de seguir creando necesidades artificiales de transporte, porque construimos edificios de oficinas y *zonas comerciales* en donde no hay hogares. No tenemos ni el tiempo ni los recursos para derrocharlos invirtiendo primero en edificios ineficientes y (quizás) después rehabilitarlos.

La confianza en la larga vida y en la eficacia de las políticas gubernamentales son de vital importancia si se ha de atraer el financiamiento privado al sector de eficiencia energética+energía renovable. Las políticas de energía renovable, del tipo "grado de

Sistemas para el cambio

inversión”⁸⁴ (“*investment grade*”) tienen que seguir existiendo y hay que extenderlas a largo plazo. Lo ideal es que estas políticas y metas expresen las oportunidades y los objetivos para cada sector de energía renovable, reflejando el estatus del mercado y de cada tecnología, para asegurar que se disponga de un apoyo adecuado, pero no excesivo. No obstante, la relativamente baja contribución de la energía renovable no-hidráulica al suministro global de electricidad muestra el mercado potencial que existe y la escala de inversión que se necesitará a corto y largo plazo. Por eso habrá que introducir señales claras y a largo plazo, que demuestren los compromisos de los gobiernos con este sector. El envío de señales mixtas con propuestas de mezclar objetivos de energía renovable con objetivos “bajos en carbono” va a crear incertidumbre e indudablemente retraso, o va a detener la inversión.

⁸⁴ Ver Kirsty Hamilton, *Unlocking Finance for Clean Energy: The Need for “Investment Grade” Policy*; Hamilton es *Research Fellow* (Investigador Académico) en Chatham House, http://www.chathamhouse.org.uk/files/15510_bp1209cleanenergy.pdf (15 de marzo 2010).