

EFFICIENCY ANALYSIS OF THE RENEWABLE ENERGY SOURCES

ANÁLISIS A LA EFICIENCIA DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

Jennifer Wangong

US Environment Protection Agency
Wangong.Jennifer@epa.gov

Penelope Daniel

US Environment Protection Agency
Daniels.Penelope@epa.gov

(Tipo de Artículo: **REVISIÓN**. Recibido el 01/09/2010. Aprobado el 20/10/2010)

Abstract – *Despite having public support and numerous advantages over other energy sources, renewable technologies have been characterized repeatedly failing to meet our energy needs, and are presented only as a choice between conventional fossil fuels and nuclear energy. This paper shows that this is a false choice, and that renewable energy can safely generate the same energy as conventional fuels, and can do so without producing carbon emissions or radioactive waste that pollute the environment.*

Keywords: *Renewable energy, efficiency, solar energy, wind power, solar, fossil fuels.*

Resumen – A pesar de tener el apoyo del público y numerosas ventajas sobre otras fuentes de energía, a las tecnologías renovables se les ha caracterizado repetidamente de no poder satisfacer nuestras necesidades energéticas, y se han presentado sólo como una opción entre los combustibles fósiles convencionales y la energía nuclear. En este trabajo se muestra que esto es una falsa opción, ya que la energía renovable puede generar de forma segura la misma energía que los combustibles convencionales, y puede hacerlo sin producir las emisiones de carbono o los residuos radiactivos que contaminan el medio ambiente.

Palabras clave: Energía renovable, eficiencia, energía solar, energía eólica, paneles solares, combustibles fósiles.

1. INTRODUCCIÓN

La energía renovable –que incluye a la energía solar, la eólica, la hidráulica avanzada, ciertos tipos de biomasa y a la energía geotérmica [1]– tiene el potencial de reemplazar a los combustibles fósiles convencionales y a la energía nuclear. Mientras que las energías renovables no hidráulicas proporcionan actualmente sólo 2.3% de la electricidad en los EE.UU., mezclar las diversas tecnologías renovables existentes es técnica y económicamente factible para satisfacer completamente sus necesidades energéticas. De hecho, hasta un 20% de la electricidad de los EE.UU. podría provenir inmediatamente de fuentes de energía renovables no hidráulicas, sin efectos negativos para la estabilidad o confiabilidad de la red eléctrica.

A largo plazo, se pueden hacer mejoras a la red, y las tecnologías renovables podrían suministrar porcentajes cada vez mayores. Examinando posibles aplicaciones y tasas de crecimiento de diferentes tecnologías, el Consejo Europeo de

Energías Renovables, en su reporte de 2004 [2], concluyó que la energía renovable podría satisfacer las necesidades actuales de potencia, y para el 2040, podría proporcionar hasta el 50% de la energía primaria del mundo [3]. Estudios similares de la petrolera Shell [4] han explorado escenarios en los cuales, para el año 2050, entre un tercio y la mitad de la energía del mundo podría provenir de fuentes renovables.

Es importante destacar que las tecnologías de energía renovable prácticamente no producen emisiones de gases de efecto invernadero y pueden hacer frente al cambio climático de forma efectiva. Debido a la falta de control, la perturbación de la atmósfera de la tierra representa la mayor amenaza a la humanidad en nuestra época, y si se continúa llenando con gases de efecto invernadero se derretirán las capas de hielo y el nivel del mar se elevará, trayendo patrones climáticos extremos, interrumpiendo la producción de alimentos, y destruyendo ecosistemas enteros.

Cientos de millones de personas podrían quedar sin alimentos, refugio o agua potable, lo que originaría levantamientos políticos y sociales. De acuerdo con un estudio realizado por el Ministerio para el Medio Ambiente de Japón las energías renovables, combinadas con medidas de eficiencia, podrían reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel coherente con los objetivos de la estabilización del clima mundial – una reducción del 70% para el 2050 [5]. En este trabajo se hace un análisis a la eficiencia en la producción de energía de las fuentes renovables, y se concluye que con costos de capital inicial mínimos y tiempos cortos de implementación, las tecnologías renovables podrían solucionar el cambio climático global más rápidamente que la energía nuclear, sin la producción de residuos radiactivos u otros tipos importantes de contaminación, y satisfaciendo las necesidades energéticas de la humanidad.

2. CUÁNTA ENERGÍA RENOVABLE HAY

La combinación de la energía eólica, la solar, la hidráulica avanzada, de biomasa y la geotérmica, en el corto y mediano plazo podría satisfacer completamente las necesidades eléctricas de los EE.UU. [6]. De acuerdo con un análisis del

Laboratorio Nacional de Energía Renovable NREL se podría técnicamente, para el 2020, cubrir con recursos energéticos renovables toda la demanda de electricidad de los EE.UU [7]. A más largo plazo, el potencial de los recursos renovables internos superará en 85 veces el uso actual de energía [8].

2.1 Energía eólica

Investigadores de la Universidad de Stanford evaluaron el potencial de la energía eólica a nivel mundial [9]. Después de analizar más de 8.000 mediciones de la velocidad del viento en todo el mundo, concluyeron que en lugares específicos el viento podría generar energía suficiente para satisfacer las demandas del planeta. De los sitios medidos, más del 13% tenía una velocidad media anual del viento lo suficientemente fuerte como para generar potencia de forma económica – velocidades superiores a 6.9 m/s a 80 metros. Estos sitios candidatos se encuentran en todas las regiones, tanto en tierra como mar adentro. Los investigadores concluyeron que la energía eólica mundial podría haber generado cerca de 72 TW en el año 2000, lo que es equivalente a 208 trillones de kilovatios hora –cerca de una vez y medio el consumo de energía actual anual en el mundo.

El Laboratorio del Pacífico Noroeste, al evaluar el potencial eólico de los EE.UU., estimó que la energía eólica terrestre que los estados en conjunto pueden producir, sería capaz de generar casi una vez y medio la energía que actualmente consume el país en un año [10]. Y de acuerdo con un análisis realizado por el DOE –Department of Energy–, a 50 millas de la costa mar adentro hay adicionalmente 900 GW de energía eólica. Esto es equivalente, por lo menos, a 2.6 trillones de kWh/año –casi el 70% de la energía utilizada actualmente en el país [11].

Sin embargo, para producir esta cantidad de energía, no existen los desarrollos significativos que necesita la tecnología eólica. Las turbinas modernas son diseños robustos de tres aspas de eje horizontal que aprovechan el viento mediante motores controlados por computador. La capacidad de potencia de estas turbinas se ha incrementado dramáticamente en los últimos veinte años, pasando de 24 kW en 1981 a 1.5 MW en 2006 [12].

Las turbinas se han desarrollado para funcionar a altas velocidades, con alta eficiencia y baja tensión, lo que contribuye a su buena fiabilidad. Sólo con investigación en nuevos materiales de compuestos ligeros, sistemas avanzados de control, y métodos para hacer frente a las variables adicionales que aparecen en los sitios mar adentro, se mejorará la eficiencia de estos diseños [13]. También se espera que en los próximos cinco a diez años sean comunes: el

contador de revoluciones de los diseños de turbina de eje horizontal, que captura un amplio rango de velocidades de viento, y las turbinas de eje vertical, que tienen el potencial para generar 10.4 MW por turbina. La cuestión más importante que enfrentan estas turbinas es la necesidad de una adecuada ubicación y la aprobación de parte de la comunidad.

2.2 Energía solar

Cualquier medida de la cantidad de energía solar también es enorme. Cada hora golpea la superficie de la Tierra más energía de la que se consume a nivel mundial en un año [14]. De acuerdo con el Solar Energy Technologies Program [15], diariamente hay disponibles en el planeta entre 2.8 y 6.2 kw/h de luz solar por metro cuadrado. La cantidad exacta de esta luz depende de la región y la temporada. En los Estados Unidos, el promedio anual por día es de 4.8 kWh/m² [16].

Una forma de aprovechar esta energía es transformarla directamente en electricidad [17]. Hay dos tipos de tecnología fotovoltaica desarrolladas para este fin: los paneles fotovoltaicos y los concentradores fotovoltaicos. Para los paneles, la eficiencia o capacidad de las células fotovoltaicas para capturar la energía solar y convertirla en electricidad varía entre 12% y 25%. Los mismos paneles tienen eficiencias ligeramente más bajas que las celdas actuales debido a la estructura y el cableado. Tradicionalmente, al incrementar la eficiencia también se incrementa el costo y el espesor del silicio de los paneles. Sin embargo, varios científicos lograron desarrollar paneles baratos y flexibles de una película delgada, capaces de lograr 15% más de eficiencia [18]. Estos paneles han comenzado a producirse a gran escala [19].

Como resultado y con la tecnología existente, la energía fotovoltaica podría hacer una contribución significativa a la producción de energía en los EE.UU. De acuerdo con un estudio de la Fundación para la Energía, los EE.UU. podrían generar aproximadamente 1 millón de MW de energía fotovoltaica en 2025, si se utiliza al menos el 15% de la eficiencia del panel y una estimación conservadora de por lo menos 7.854 millones de m² del espacio disponible en las azoteas residenciales y comerciales, lo que generaría aproximadamente 1.9 billones de kw/h al año – casi la mitad de su consumo eléctrico actual [20]. Esta cifra no incluye otras formas de generación distribuida de electricidad fotovoltaica, como paneles instalados en tierra, tejas fotovoltaicas, plazas de aparcamiento cubiertas, ventanas, toldos, y las fachadas de los edificios. Tampoco tiene en cuenta las mejoras adicionales en la eficiencia del panel. De acuerdo con el análisis del NREL, el potencial técnico total de energía fotovoltaica en los EE.UU., a largo plazo, es de

alrededor de 219 TW –que podría proporcionar más de tres veces la energía que se consume actualmente en el mundo.

Los concentradores fotovoltaicos –los sistemas que reflejan o enfocan la luz de una amplia zona en un pequeño panel fotovoltaico– también podrían hacer una contribución significativa a las necesidades energéticas de EE.UU. Los concentradores solares que hacen seguimiento al sol producen un nivel más constante de "energía pico" durante todo el día, y operan con mayor eficiencia que los paneles fotovoltaicos. Los concentradores también pueden reducir costos mediante la reducción de material fotovoltaico por unidad de energía generada –aunque sí necesitan un elemento óptico de bajo costo y una estructura de apoyo y seguimiento [21]– y podrían ser muy adecuados para estabilizar la generación de los parques eólicos y para las instalaciones a lo largo de las carreteras y corredores de transmisión.

2.3 Hidráulica avanzada

La energía hidroeléctrica proporciona actualmente el 10% de la generación eléctrica en EE.UU. y podría ser una fuente importante de energía renovable [22]. Las grandes presas convencionales, sin embargo, han causado graves daños ambientales [23], por lo que tendrán que ser adaptadas o reducidas; mientras tanto se instalan sistemas más pequeños con diseños de turbina avanzados –hasta 25 MW. Según el DOE, estos sistemas avanzados se pueden aplicar a más del 80% de los proyectos hidroeléctricos existentes, y pueden construirse en pequeñas represas existentes que previamente no hayan sido utilizadas para producir potencia [24].

El diseño de hidráulica avanzada reduce el impacto de las turbinas en los peces, ya que facilita su migración aguas arriba, y reduce los problemas de sedimentos y calidad del agua. Los sistemas fluviales, que aprovechan el poder del movimiento del agua sin represas o embalses, también son una alternativa pequeña y de bajo impacto que podría desarrollarse donde se han eliminado embalses o en sitios nuevos. El potencial estimado de los recursos hídricos sostenibles de las presas existentes en EE.UU. está en el rango de entre 77 y 82 GW; esto incluye 62 GW adaptados de los proyectos de energía hidroeléctrica existentes y entre 15 y 20 GW de la instalación de sistemas avanzados en otras pequeñas presas también existentes [25]. Estas fuentes de energía hidroeléctrica podrían aportar entre 337 y 359 billones de kW/h al año, es decir, entre el 8.5% y el 9% del consumo actual de electricidad en los EE.UU.

2.4 Biomasa

La biomasa es la combustión de materia orgánica –típicamente cultivos agrícolas y pastos– para producir calor o electricidad. La energía de la

biomasa, a diferencia de la solar y la eólica, produce significantes emisiones de dióxido de carbono. Estas emisiones, sin embargo, pueden ser compensadas mediante la plantación de nuevos cultivos que absorban el dióxido de carbono a medida que crecen. La emisión de carbono en relación con la absorción de carbono, la ubicación de ambos procesos, y los efectos sobre el suelo local y la calidad del agua, son temas importantes que se deben considerar al determinar qué formas de biomasa son sostenibles. Para que la biomasa sea una fuente importante de energía renovable que no emita carbono, las cosechas deben ser pequeñas y fertilizadas, transportadas sólo en distancias cortas, y cultivadas y cosechadas de manera que no degraden la tierra. Las hierbas –como los bejucos y la gran caña azul– son posibilidades de biomasa de bajo impacto. Si se produce y se usa correctamente, la biomasa podría contribuir significativamente a satisfacer las necesidades de energía de los EE.UU. Según un estudio del NREL, la biomasa podría producir, para el 2020, entre el 17% y el 28% de la electricidad de los EE.UU. [26].

3. VARIABILIDAD E INTERMITENCIA

A pesar de las capacidades y la inmensidad de recursos de las tecnologías renovables, a menudo se les describe como demasiado variables e inconsistentes para satisfacer las necesidades energéticas del mundo. Esto, sin embargo, es una imagen incorrecta. La hidráulica avanzada y la biomasa sostenible ya son capaces de producir potencia de carga base, y la energía eólica de mar adentro tiene un potencial similar. En cuanto a los paneles fotovoltaicos y la eólica de tierra, si bien es cierto que "el sol no siempre brilla y el viento no siempre sopla", es posible aprovecharlas de manera que se reduzcan sustancialmente sus problemas de intermitencia y variabilidad.

Un análisis de la Agencia Internacional de Energía IEA [27], –un organismo intergubernamental de veintiséis países, comprometidos a avanzar en la seguridad del abastecimiento energético, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental– concluye que la intermitencia no es un obstáculo técnico para la energía renovable. Para hacer frente a la variabilidad y la intermitencia IEA [28] recomienda la generación distribuida, vínculos entre zonas geográficas, una mezcla diversa de tecnologías de aprovechamiento de diferentes recursos, y el desarrollo continuado de tecnologías de almacenamiento. Ya se han hecho avances significativos en este sentido. Las tres primeras medidas por sí solas pueden permitir que las tecnologías renovables no hidráulicas superen, para el año 2020, el 20% de la capacidad de generación sin afectar la estabilidad o fiabilidad de la red.

A más largo plazo, el almacenamiento sigue siendo la cuestión más importante. En la actualidad, las mejores opciones para almacenar son el bombeo hidroeléctrico de agua y el aire comprimido. La primera mueve el agua, cuando se produce electricidad adicional, de los embalses menores a los mayores, y la libera cuando se necesita más potencia. Este sistema está bien establecido, es de bajo costo, proporciona hasta un 80% de eficiencia, y tiene una enorme capacidad de almacenamiento. Además, ya que la energía se almacena en tiempos de alta generación, este sistema no compite con la generación hidroeléctrica [29]; y, gracias a la tecnología hidráulica avanzada, puede tener un impacto ambiental mínimo. Los sistemas de aire comprimido trabajan con un principio similar: comprimen aire y lo almacenan en cavernas subterráneas herméticas durante las épocas de menor demanda, y cuando es necesario lo liberan para accionar las turbinas [30]. Últimamente esta tecnología ha sido objeto de importantes aportes, lo que le ha permitido ser diseñada para almacenar energía en los parques eólicos. A más largo plazo, el desarrollo de redes regionales extensas estabilizará cada vez más la generación distribuida geográficamente, y la producción de hidrógeno probablemente se convertirá en un importante mecanismo de almacenamiento de energía.

4. COSTO DE LAS TECNOLOGÍAS RENOVABLES

A pesar de todas sus ventajas, las tecnologías renovables se rechazan por ser demasiado costosas. Este argumento falla al no tener en cuenta dos factores muy importantes: 1) en los últimos cincuenta años, el apoyo federal para la energía nuclear y los combustibles fósiles ha superado con creces el apoyo a las tecnologías renovables. Este desequilibrio se ha traducido en un desarrollo tecnológico y una comercialización desigual; y 2) mientras que los costos de las tecnologías renovables están disminuyendo considerablemente, se continúa desestimando los costos de la energía nuclear y de los combustibles convencionales.

4.1 El subsidio federal

En los últimos cincuenta años, el apoyo federal para la energía nuclear y los combustibles fósiles ha sido significativo, mientras que para las tecnologías renovables ha sido limitado. De acuerdo con un reporte del Renewable Energy Policy Project REPP [31], entre 1947 y 1999, los subsidios directos para la energía nuclear del gobierno federal ascendieron a 115.07 billones de dólares, mientras que para las energías eólica y solar fue de 5.49 billones [32]. Si se añade a estas cifras las notables subvenciones no presupuestarias directas –como limitaciones a la responsabilidad por daños nucleares y la inversión en energía renovable y créditos fiscales–, las

subvenciones federales para el mismo período ascienden a 145.4 billones de dólares para la energía nuclear y a 5.7 billones para las otras. Estas cifras son consistentes con el estudio realizado en 1992 por Charles Komanoff [33], un economista en energía y transporte reconocido internacionalmente, que subsidió la energía nuclear con alrededor de 124 billones dólares hasta 1990.

La disparidad en financiación continúa y está bien ilustrada por recientes créditos y en el Energy Policy Act de 2005. Por ejemplo, el presupuesto anual para el National Renewable Energy Laboratory NREL –la investigación primaria del país y centro de desarrollo para tecnologías de energías renovables– fue de sólo 174 millones para el año fiscal 2006 [34], 28 millones menos que para el año fiscal 2005, y es menor que la subvención a NuStart Energy –un consorcio de empresas energéticas que buscan construir nuevas centrales nucleares en los EE.UU.

4.2 Costo

A pesar de la enorme discrepancia en el apoyo federal, la energía eólica es competitiva con la energía nuclear y los combustibles fósiles en alrededor de US \$0.05 y 0.06 por kWh, y el precio de la energía solar fotovoltaica se ha reducido aproximadamente entre US \$0.25 y 0.30 por kWh [35]. Con los recientes avances en tecnología fotovoltaica de capa fina, el mejor desempeño de turbinas eólicas, y las grandes economías de escala [36], se espera que sigan cayendo los costos de estas y otras tecnologías. A medida que más paneles se produzcan y se requiera menos material fotovoltaico por panel [37], se espera que el costo de la energía solar tenga una reducción particularmente dramática. El precio de la energía fotovoltaica, por ejemplo, ha demostrado una caída de 20% por cada duplicación del volumen de producción [38].

También es importante incluir los costos, que actualmente no se valoran con centavos de dólar por kWh, de las tecnologías convencionales [39]. Para los combustibles fósiles estos costos externos incluyen las emisiones de carbono, la contaminación del aire y la tierra, y para el carbón la degradación del agua de las minas. Para la energía nuclear incluyen la contaminación de la minería del uranio, la seguridad y los riesgos planteados por los reactores comerciales, los riesgos de la proliferación de armas nucleares, y el peligroso legado de los residuos radiactivos [40]. Además, mientras que la mayoría de las fuentes de energía renovables son de suministro libre e ilimitado, el carbón y el uranio son finitos [41]. Si estos efectos se cuantifican e incluyen en el precio de los combustibles convencionales, las energías renovables serán de hecho mucho más baratas para la sociedad [42].

5. CONCLUSIONES

Además de las tecnologías renovables, el uso de energía más eficiente es también un componente importante que anima a avanzar hacia un futuro de energía limpia. La eficiencia es la forma más barata y sencilla de reducir el consumo de electricidad y facilitar la transición a las tecnologías renovables. En 1994, la Office of Technology Assessment OTA [43], del gobierno federal, estimó que los EE.UU. podrían reducir su consumo de electricidad entre un 20% y un 45% mediante la adopción de tecnologías eficientes disponibles en ese momento. Igualmente concluyó, en 1994, que el gobierno federal, el mayor consumidor de energía del país, podría reducir el consumo de la energía en sus instalaciones, al menos en un 25%, utilizando las medidas de eficiencia económica disponibles comercialmente [44]. Esta serie de cambios incluyen: mejoras en calefacción, ventilación y de los sistemas de aire acondicionado, refrigeradores más eficientes y otros electrodomésticos, sistemas avanzados de iluminación, y el aumento de aislamiento de los edificios. Desde principios de 1990, cuando se realizaron estos análisis, han aparecido en el mercado otras medidas de eficiencia como las luces LED [45]. Por todo esto, al incrementar la eficiencia de las tecnologías, se incrementan las reducciones del consumo energético. Por ejemplo, las bombas de calor terrestre también son una medida de eficiencia efectiva, ya que utilizan la temperatura relativamente constante de la tierra para proporcionar calefacción y refrigeración. Se estima que el uso generalizado de estas bombas puede reducir la energía utilizada para calefacción y refrigeración entre un 30% y un 60% [46] [47].

En la actualidad, hay muchas barreras normativas artificiales que limitan el crecimiento inmediato de las tecnologías de energía renovable [48]. Si realmente se desea avanzar hacia estas tecnologías, y ajustar la forma de producir y vender la energía renovable, es necesario establecer acuerdos de compra a largo plazo entre los productores de energía renovable, e incrementar las utilidades y los usuarios finales [49]. Cambios como estos pueden afectar desde los niveles locales hasta los estatales y mundiales. Además, las ciudades y los estados pueden desarrollar estándares de cartera renovable que asignen un determinado porcentaje a la generación de energía proveniente de tecnologías renovables, y pueden poner en marcha incentivos financieros que fomenten su desarrollo [50].

REFERENCIAS

1. Academy of sciences for the developing world TWAS. *Sustainable energy for Developing Countries*. Trieste: TWAS Press. 48 p. 2008.
2. A. Grubler. *Technology and Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press. 464 p. 2003.
3. European Renewable Energy Council EREC. "Renewable Energy Scenario to 2040". 16 p. 2004. Disponible en: http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/EREC_Scenario_2040.pdf, Nov. 2009.
4. Shell International "Energy Needs, Choices, and Possibilities: Scenarios to 2050". Global Business Environment. 32 p. 2001. Disponible en: http://www.cleanenergystates.org/CaseStudies/Shell_2050.pdf, Nov. 2009.
5. The Japan Times. "Reactor increase not needed to cut CO₂ drastically". November 15. 2005. The Low Carbon Society Scenarios toward 2050, Program authored the study. Disponible en: <http://search.japantimes.co.jp/member/member.html?nn20051115f2.htm>, Jan. 2010.
6. Energy Information Agency. "Annual Energy Review AER". Report No. DOE/EIA-0384(2009). 2010. Disponible en: <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/elect.html>.
7. S. Horowitz, C. Christensen & R. Anderson. "Searching for the Optimal Mix of Solar and Efficiency in Zero Net Energy Buildings". *National Renewable Energy Laboratory*. Conference Paper NREL/CP-550-42956. 2008.
8. E. Brown. "Near-Term Practical and Ultimate Technical Potential for Renewable Resources". National Renewable Energy Laboratory. Draft. January 16. 7 p. 2006.
9. C. L. Archer & M. Z. Jacobson. "Evaluation of global wind power". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110. 2005. Disponible en: <http://www.stanford.edu/group/efmh/winds/2004jd005462.pdf>, Jan. 2010.
10. D. L. Elliot & M. N. Schwartz. "Wind Energy Potential in the United States". Pacific Northwest Laboratory. NTIS no. DE94001667. 1993. Disponible en: <http://www.windaction.org/?module=uploads&func=download&fileId=901>, Dec. 2009.
11. Department of Energy DOE. "A Framework for Offshore Wind Energy Development in the United States". Offshore Wind Collaborative Organizing Group. 2005. Disponible en: http://www.masstech.org/offshore/final_09_20.pdf, Nov. 2009.
12. D. Yen-Nakafuji. "California Wind Resources". Draft Staff Paper CEC-500-2005-071-D, California Energy Commission. 2005. Disponible en: <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-500-2005-071/CEC-500-2005-071-D.PDF>, Feb. 2010.
13. European Commission. "Effective policies for improving energy efficiency in buildings". Paolo Bertoldi and Bogdan Atanasiu (Eds.) Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 443 p. 2005.
14. European Commission. "Photovoltaic Solar Energy. Development and current research". Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union. 80 p. 2009
15. Energy Efficiency and Renewable Energy. "Solar FAQs – Photovoltaics – The Basics, Other Resources". Solar Energy Technologies Program. 2008. Disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/solar/cfm/faqs/third_level.cfm/name=Photovoltaics/cat=The%20Basics, Ap. 2010.
16. A. Aulisi & G. Hanson. "Developing "next generation" green power products for corporate

- markets in North America". World Resources Institute. 24 p. 2004. Disponible en <http://www.thegreenpowergroup.org/pdf/Installment6.pdf>, Jan. 2010.
17. The Green power group. "Guide to Purchasing Green Power: Renewable Electricity, Renewable Energy Certificates and On-Site Renewable". 50 p. 2004. Disponible en: http://www.thegreenpowergroup.org/pdf/Purchasing_Guide.pdf, Feb. 2010.
 18. V. Alberts, K. T. Hillie & C. M. Demanet. "Atomic force microscopy imaging of polycrystalline CuInSe₂ thin films". *Journal of Microscopy*, Vol. 197, No. 2 pp. 206-215. 2000.
 19. W. Steenkamp. "SA solar research eclipses rest of the world". *Saturday Argus*, February 11. 2006.
 20. M. Chaudhari, L. Frantzis & T. E. Hoff. "PV Grid Connected Market Potential Under a Cost Breakthrough Scenario". The Energy Foundation and Navigant Consulting. 94 p. 2004.
 21. EUREC. "Research Priorities for Renewable Energy Technology by 2020 and Beyond Concentrating". 44 p. 2009. Disponible en: http://www.eurec.be/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,540/, Ap. 2010.
 22. Energy Information Administration. "Existing Capacity by EnergySource". 2010. Disponible en: http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epa/epaxfile1_2.pdf, Ap. 2010.
 23. A. Imhof & G. L. Lanza. "Greenwashing Hydropower. World Watch". 2010. Disponible en: <http://www.bicusa.org/en/Document.101877.aspx>, Feb. 2010.
 24. U.S. Department of Energy. "Advanced Hydropower Technology". Energy Efficiency and Renewable Energy Office – Wind and Hydropower Technologies Program. 2008. Disponible en: www1.eere.energy.gov/windandhydro/printable_versions/hydro_advtech.html, May 2010.
 25. National Renewable Energy Laboratory. "Power Technology Energy Databook". USA: Progressive Management. 220 p. 2009.
 26. S. Brown. "Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer". FAO Forestry Paper 134. A Forest Resources Assessment publication. Rome, 55 p. 1997.
 27. G. Timur & T. Stenzel. "Variability of Wind Power and Other Renewables: Management Options and Strategies". International Energy Agency IEA. 51 p. 2005.
 28. IEA. "Key world energy statistics". France: Soregraph. 82 p. 2010.
 29. Electric Storage Association. "Technologies: Pumped Hydro Storage". 2009. Disponible en: http://www.electricitystorage.org/site/technologies/pumped_hydro/, Ap. 2010.
 30. U.S. Department of Energy . "Combined Heat and Power: A Decade of Progress, A Vision for the Future". 32 p. 2010. Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/industry/distributedenergy/pdfs/chp_accomplishments_booklet.pdf, Feb. 2010.
 31. M. Goldberg. "Federal Energy Subsidies: Not All Technologies Are Created Equally". Research Report No. 11, Renewable Energy Policy Project. 20 p. 2000. Disponible en: <http://www.earthtrack.net/files/repp-subsidies.pdf>, Dec. 2009.
 32. OECD. "Measuring Support to Energy. Version 1.0". 47 p. 2010. Disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/62/63/45339216.pdf>, Jun. 2010.
 33. C. Komanoff & C. Roelofs. "Fiscal Fission: The Economic Failure of Nuclear Power". USA: Komanoff Energy Associates. 98 p. 1992.
 34. DOE. "Budget Request to Congress". 2006. Disponible en: <http://www.mbe.doe.gov/budget/06budget/Start.pdf>, Dec. 2009.
 35. California Climate Change Center at UC Berkeley. "Managing Greenhouse Gas Emissions in California". 2006. Disponible en: http://www.fypower.org/pdf/CA_GHG_UCBerkeley.pdf, Dec. 2009.
 36. National Renewable Energy Laboratory. "Advances in Photovoltaic (PV) Technology". 2006. Disponible en: http://www.nrel.gov/analysis/seminar/docs/ea_seminar_apr_10.ppt, Jun. 2010.
 37. Instituto de la ingeniería de España. "Tendencias de la ingeniería: Crean material fotovoltaico para células solares más efectivo y económico". Disponible en: http://www.tendencias21.net/Crean-material-fotovoltaico-para-celulas-solares-mas-efectivo-y-economico_a4156.html, Feb. 2010.
 38. A. Farrell, D. Kammen & F. Ling, F. "Managing Greenhouse Gas Emissions in California". The California Climate Change Center at UC Berkeley. Chapter 4. 2006. Disponible en: <http://ethree.com/downloads/Climate%20Change%20Readings/California%20GHG%20Economics/Farrell%20-%2010-Synthesis%20Managing%20GHGs%20CA.pdf>, Nov. 2009.
 39. United Nations. "Achieving sustainable development and promoting development cooperation: dialogues at the Economic and Social Council". New York: UN Publications. 295 p. 2008.
 40. Community Science Action Guide. "The secret lives of energy". Disponible en: <http://www.fi.edu/guide/hughes/energypolution.html>, May 2010.
 41. M. T. Klare. "¿Viene el fascismo energético? La carrera energética global y sus consecuencias". Online: <http://www.estudiosecologistas.org/docs/reflexion/Ecosocialismo/fascismoenergetico.pdf>, May 2010.
 42. D. Kammen & S. Pacca. "Assessing the Costs of Electricity". *Annual Review Environmental Resource*, Vol. 29, pp. 301-344. 2004.
 43. U.S. Congress, Office of Technology Assessment. "Energy Efficiency in Federal Facilities: Update on Funding and Potential Savings". Report OTA-BP-ETI-125. 22 p. 1994.
 44. M. Bolinger, R. Wiser & W. Golove. "Quantifying the value that wind power provides as a hedge against volatile natural gas prices". Technical Report LBNL-50484. Environment Energy Technology Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, CA. 2002.
 45. http://www.joliet-europe.com/luz_de_techo_led_joliet.htm, May 2010.
 46. Department of Energy EERE. "Selecting and Installing a Geothermal Heat Pump System". 2010. Disponible en: http://www.eere.energy.gov/consumer/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12670, Feb. 2010.

47. P. J. Hughes & J. A. Shonder. "The Evaluation of a 4000 Home Geothermal Heat Pump Retrofit at Fort Polk, Louisiana". Final Report, Oak Ridge National Laboratory ORNL-CON 460. 152 p. 1998.
48. W. W. Hogan. "Electricity market restructuring: reforms of reforms". *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 21, pp. 103-132. 2002.
49. P. L. Lemar. "The potential impact of policies to promote combined heat and power in US industry". *Energy Policy*, Vol. 29, pp.1243-1254. 2001.
50. P. H. Templet. "Energy price disparity and public welfare". *Ecological Economics*, Vol. 36, No. 3, pp. 443-460. 2001.