

CIENCIA PARA UNA VIDA MEJOR:  
DESARROLLANDO PROGRAMAS CIENTÍFICOS REGIONALES  
EN ÁREAS PRIORITARIAS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

V O L U M E N 3



ENERGÍA SUSTENTABLE  
EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE:  
POTENCIAL PARA EL FUTURO

DÉCIO LUIZ GAZZONI • IVAN AZURDIA • GABRIEL BLANCO • CLAUDIO A. ESTRADA • ISAIAS DE CARVALHO MACEDO



CIENCIA PARA UNA VIDA MEJOR:  
DESARROLLANDO PROGRAMAS CIENTÍFICOS  
REGIONALES EN ÁREAS PRIORITARIAS PARA  
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

V O L U M E N 3

ENERGÍA SUSTENTABLE  
EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE:  
POTENCIAL PARA EL FUTURO

Décio Luiz Gazzoni • Ivan Azurdia • Gabriel Blanco  
Claudio A. Estrada • Isaias de Carvalho Macedo

I C S U – L A C • C O N A C Y T

ICSU-LAC. 2010. Ciencia para una vida mejor: desarrollando programas científicos regionales en áreas prioritarias para América Latina y El Caribe. Volumen 3. Gazzoni, D.L., Azurdia, I., Blanco, G., Estrada, C.A., y Macedo, I. de C. *Energía sustentable en América Latina y El Caribe: potencial para el futuro*. ICSU-LAC / CONACYT, Río de Janeiro y Ciudad de México, 114 pp.

ISBN 978-0-930357-79-5

Coordinación general: Alice Rangel de Paiva Abreu

Coordinación editorial: Ana Ezcurra

Diseño: Juan Carlos Burgoa

Traducción al español: Ramón Elizondo Mata

Colaboradora: Sandra Frias

Fotografías de portada: Ana Ezcurra, Stijn Bossink, Itamar Aguiar y Aleksandar Milosevic

DR © 2010, Oficina Regional para América Latina y El Caribe

del Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU-LAC)

Rua Anfilóbio de Carvalho, 29 / 1004 Rio de Janeiro, RJ 20030-060, Brasil

[www.icsu-lac.org](http://www.icsu-lac.org)

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra para fines comerciales

ISBN 978-0-930357-79-5

Impreso en México por Offset Rebosán

## PRÓLOGO

El Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU), fundado en 1931, es una organización no gubernamental dedicada a planificar y coordinar investigaciones interdisciplinarias, a fin de enfrentar grandes problemas de relevancia para las ciencias y la sociedad. En años recientes, la amplitud geográfica de las actividades del ICSU ha ido cambiando. El punto focal del ICSU ha ido desplazándose, cada vez más, hacia el aumento de la capacidad científica de los países en vías de desarrollo y la integración de sus científicos a iniciativas de investigación internacional.

La creación de tres Oficinas Regionales del ICSU, ubicadas en África, Asia y el Pacífico, y América Latina y El Caribe, también marca un cambio fundamental en la estructura del ICSU, con un doble objetivo. Primero, aumentar la participación de los científicos y las organizaciones regionales de los países en vías de desarrollo, en los programas y las actividades de la comunidad del ICSU. Segundo, lograr que el ICSU participe de modo más activo en el fortalecimiento de las ciencias, en el contexto de las prioridades regionales, mediante esfuerzos de colaboración científica.

En lo que se refiere especialmente a la región de América Latina y El Caribe, éste es un paso importante en la creación de puentes entre las 'islas de competencia' que existen en todos los países y que, en conjunto, podrá impulsar de modo significativo la agenda de investigación científica de la región. El primer paso hacia el establecimiento de una Oficina Regional fue la creación, en 2006, del Comité Regional para América Latina y El Caribe, integrado por renombrados científicos de la región.

La Oficina Regional para América Latina y El Caribe fue la tercera en ser establecida, en abril de 2007. Ésta tiene su sede en la Academia Brasileña de Ciencias, en Río de Janeiro, y es financiada por el Ministerio de Ciencias y Tecnología de Brasil, el ICSU, y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), de México. A partir de octubre de 2010, dicha oficina tendrá su sede en la Academia Mexicana de Ciencias, con el apoyo del CONACYT.

De acuerdo con el Plan Estratégico 2006-2011 del ICSU, el Comité Regional seleccionó cuatro áreas prioritarias para desarrollarlas:

- Enseñanza en las matemáticas;
- Biodiversidad: conocimiento, conservación y uso de la biodiversidad de todos los países de la región de América Latina y El Caribe, a fin de asegurar que la comunidad científica de los países más pequeños de la región se integren plenamente al Programa Internacional de Diversidad Biológica (DIVERSITAS);
- Riesgos y desastres naturales: prevención y mitigación de riesgos, en particular los de origen hidrometeorológico, con atención especial en la investigación necesaria en ciencias sociales;
- Energía sustentable: evaluación de las capacidades existentes en la región de ALC y el impacto social del uso y el desarrollo de nuevos recursos energéticos.

Se crearon cuatro Grupos de Planeación Científica con el objeto de desarrollar propuestas de revisión del estado actual del área prioritaria de la región, y de formular un conjunto de objetivos pormenorizados y áreas de investigación específicas que serán desarrolladas en los próximos años.

Al incluir científicos altamente calificados de ALC, los Grupos de Planeación Científica hicieron un trabajo excelente en un plazo muy limitado. Agradecemos a todos y cada uno de los participantes su entusiasmo y dedicación.

Este documento, que constituye el informe final del Grupo de Planeación Científica en Energía Sustentable, se pone a disposición de la comunidad científica con la esperanza de que influya efectivamente en el desarrollo de investigaciones científicas en esta materia durante los años venideros.

Alice Abreu  
*Directora*  
*Oficina Regional*  
*para América Latina y El Caribe*

José Antonio de la Peña  
*Coordinador*  
*Comité Regional*  
*para América Latina y El Caribe*

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento pretende abarcar los problemas de investigación, desarrollo e innovación relacionados con el uso de recursos energéticos renovables en América Latina y El Caribe (ALC). Esto es fundamental para disminuir los riesgos naturales y salvar la biodiversidad. Además, mejorará considerablemente las condiciones de vida de las comunidades que todavía no están conectadas a las matrices eléctricas.

Lo primero que haremos será revisar la situación energética mundial y regional, indicando los riesgos de mantener intacta la estructura actual de la matriz energética mundial, con su enorme dependencia de los combustibles fósiles. Entre esos riesgos están el agotamiento acelerado de las reservas petrolíferas probadas en relación con el consumo de petróleo, los peligros ambientales asociados con los combustibles fósiles (en especial las emisiones de gases de efecto invernadero y el consiguiente cambio climático global) y la concentración de las reservas energéticas mundiales en un puñado de países. Por otro lado, analizaremos el potencial de las principales fuentes energéticas renovables (biomasa, viento y energía solar) en ALC. Y por último, presentaremos una lista de prioridades de investigación y desarrollo.

Las formas de energías renovables representaron cerca de 100% de las fuentes energéticas disponibles hasta principios del siglo XVIII. El desarrollo científico y tecnológico, aunado a la explotación de las reservas de carbón mineral accesibles, así como al descubrimiento —a fines del siglo XIX— de petróleo crudo y sus derivados, entre ellos el gas natural, hizo que la humanidad empezara a depender de fuentes energéticas fósiles. Durante casi un siglo —de 1880 a 1970—, el precio ajustado del petróleo crudo en el mercado internacional osciló alrededor de 15.00 USD/barril, lo que permitió a la humanidad aferrarse a un sueño en el que los energéticos de bajo costo eran virtualmente infinitos, es decir, lo que pudiésemos llamar un “toma sin daga”. En junio de 2008, el precio del petróleo subió vertiginosamente a 147.00 USD/barril; es decir, un aumento de más de 1000% en sólo un año.

A medida que la humanidad se fue concientizando de los costos y riesgos de mantener intacta la matriz energética mundial existente, varias iniciativas como el Protocolo de Kyoto, que en la actualidad representa el paradigma de acción internacional, se propusieron reducir los efectos de las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero. Los gobiernos nacionales están decretando políticas públicas orientadas a promover el uso de fuentes de energía renovables y el reciclaje de materiales, con el objeto de reducir los efectos negativos de nuestra dependencia generalizada de los combustibles fósiles. Estos incentivos abarcan por igual a usuarios finales, consorcios empresariales e instituciones de investigación, desarrollo e innovación.

Los avances científicos y tecnológicos son esenciales para promover un cambio progresivo que nos saque de la matriz energética actual y nos lleve a otra más sustentable en el futuro inmediato. Así, el análisis de las diversas fuentes de energía renovables indica que la biomasa y las energías eólica y solar son alternativas prometedoras para la generación eléctrica centralizada o distribuida en ALC. Estas alternativas, al igual que las plantas hidroeléctricas a pequeña escala, también son importantes para electrificar comunidades pequeñas y aisladas que se localizan en regiones que todavía no se conectan a las redes eléctricas nacionales.

El desarrollo y ejecución de un plan estratégico basado en el uso de técnicas y tecnologías energéticas sustentables deberá sustentarse en tres pilares:

- Investigación sobre problemas científicos y tecnológicos específicos cuyas contribuciones vayan más allá de la tecnología actual y el desarrollo de la propia industria energética, y que puedan participar en la adaptación de tecnologías de vanguardia a los escenarios locales y regionales, referidos a las características de los recursos energéticos, de los aspectos culturales de las comunidades en estudio y de otras circunstancias locales y regionales.
- Formación de recursos humanos con capacidades institucionales e individuales mediante programas de investigación en colaboración con instituciones científicas y tecnológicas de renombre mundial, bajo esquemas de cooperación Norte-Sur y Sur-Sur.
- Diseño y ejecución de políticas públicas basadas en información científica, con el fin de crear el ambiente adecuado y necesario para promover el uso integral de técnicas y tecnologías energéticas sustentables.



Ésta es una lista de las prioridades de investigación, desarrollo e innovación (RD&I, por sus siglas en inglés) que se identificaron:

#### Biomasa

- Productividad de la biomasa, incluyendo biología de las plantas y métodos agrícolas.
- Procesamiento de biomasa para convertirla en formas de energía utilizables o en medios de transporte energético, incluyendo la generación de calor y energía eléctrica; uso de biomasa en la cocina doméstica; abastecimiento de motores diesel con biocombustibles; hidrólisis y fermentación de biomasa de caña de azúcar; transformación directa de azúcar en combustibles, y biogás.
- Procesos de biorrefinación.

#### Energía solar

- Evaluación de recursos.
- Calefacción solar pasiva e iluminación diurna de edificios.
- Uso de energía termosolar con fines de calefacción y enfriamiento.
- Generación fotovoltaica solar.
- Generación eléctrica termosolar.

#### Energía eólica

- Estimación de recursos eólicos.
- Turbinas eólicas.
- Parques eólicos.

#### Tecnologías relacionadas (incluso medios de transporte energético) y normatividad y certificación

- Producción y uso de hidrógeno.
- Integración de matrices eléctricas, y protocolos y procedimientos de conexión.
- Metodología de valoración de riesgos.

Además, en este documento se proponen diversas actividades que pudieran contribuir a la formación de capacidades institucionales e individuales, con el objeto de facilitar el establecimiento de políticas públicas sólidas y sustentables relacionadas con el uso de fuentes de energía renovables en ALC.

## GRUPO DE PLANEACIÓN CIENTÍFICA Y COMITÉ REGIONAL

### Grupo de Planeación Científica en Energía Sustentable

Décio Luiz Gazzoni *Coordinador* (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasil)

Iván Azurdia (Semilla de Sol, Guatemala)

Gabriel Blanco (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina)

Claudio A. Estrada (Centro de Investigación en Energía, UNAM, México)

Isaias de Carvalho Macedo (Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético,  
Universidade Estadual de Campinas, Brasil)

Elena Vigil (Cuba) *Enlace del RCLAC*

### Comité Regional del ICSU para América Latina y El Caribe (2006-2012)

José Antonio de la Peña *Coordinador* (2006-2012)

Juan A. Asenjo (2006-2009)

Tara Dasgupta (2006-2011)

Sandra Díaz (2006-2009)

Mahabir Gupta (2006-2012)

Patricio Felmer (2010-2012)

Enrique P. Lessa (2006-2011)

Arturo Martinez (2010-2012)

María del Carmen Samayoa (2006-2011)

Elena Vigil Santos (2006-2012)

### *Ex officio*

Jerson Lima Silva (ABC)

Sergio Pastrana (Consejo Ejecutivo del ICSU)

Patricia Ocampo-Thomason (Secretariado del ICSU)

Alice Abreu (Oficina Regional del ICSU)

# CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. PERSPECTIVA MUNDIAL Y REGIONAL DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA	21
3. OBJETIVOS GENERALES	31
4. TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS RENOVABLES	35
4.1. BIOMASA	36
4.1.1. Estado actual de la producción de energéticos derivados de la biomasa en ALC	36
4.1.2. Revisión de prioridades	50
4.1.3. Áreas de investigación específicas	51
4.2. ENERGÍA SOLAR	57
4.2.1. Estado actual, potencial y escenarios prospectivos	57
4.2.2. Revisión de prioridades	59
4.2.3. Áreas de investigación específicas	65
4.3. ENERGÍA EÓLICA	67
4.3.1. Estado actual y potencial	67
4.3.2. Escenarios actuales y prospectivos	69
4.3.3. Prioridades de investigación	77
4.3.4. Áreas de investigación específicas	78
4.4. PEQUEÑAS Y MICRO PLANTAS HIDROELÉCTRICAS	79
4.4.1. Estado actual, potencial y escenarios prospectivos	79
4.4.2. Revisión de prioridades	81

4.5. OTRAS TECNOLOGÍAS AFINES	83
4.5.1. Hidrógeno	83
4.5.2. Integración de sistemas	86
5. PROBLEMAS ECONÓMICOS Y SOCIOCULTURALES	89
5.1. ACCIONES CON ALTO IMPACTO SOCIAL	92
6. CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y OTRAS NECESIDADES (COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS, RECAUDACIÓN DE FONDOS Y SEGUIMIENTO)	95
6.1. COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN TECNOLÓGICA	96
6.2. RECAUDACIÓN DE FONDOS	97
6.1. SEGUIMIENTO	97
BIBLIOGRAFÍA	99
GLOSARIO DE ACRÓNIMOS	101
APÉNDICE: ANTECEDENTES MUNDIALES Y REGIONALES	103

## 1. INTRODUCCIÓN

La historia de la humanidad es un corolario de la disponibilidad y uso de las fuentes de energía, desde las épocas más antiguas hasta un futuro visionario. Civilización, cultura, desarrollo y otros aspectos evolutivos de la especie humana son una consecuencia del descubrimiento y evolución de nuevas (y generalmente mejores) fuentes de energía y de la eficiencia de su uso en beneficio de la sociedad (véase Debeir y cols., 1986).

La energía renovable representó casi 100% del suministro de energía utilizada hasta principios del siglo XVIII. El desarrollo científico y tecnológico y el descubrimiento y explotación de las reservas de carbón mineral, y el descubrimiento —a fines del siglo XIX— del petróleo crudo y sus derivados, entre ellos el gas natural, hicieron a la sociedad global a dependiente de las fuentes de energía fósil. Durante casi un siglo —de 1880 a 1970—, el precio ajustado del petróleo crudo en el mercado internacional osciló alrededor de 15.00 USD/barril, lo que permitió a la humanidad aferrarse a un sueño en el que los energéticos eran virtualmente infinitos y a bajo costo; es decir, lo que pudiera llamarse un “toma sin daca”. En junio de 2008, el precio del petróleo subió vertiginosamente a 147.00 USD/barril; es decir, tuvo un aumento de más de 1000% en sólo un año, como se aprecia en la Figura 1.

Hasta el último cuarto del siglo XX, sólo unos cuantos científicos habían estudiado a fondo el efecto del incremento de los costos de los combustibles fósiles en la matriz energética mundial. Además, los estudios sobre la relación entre disponibilidad (reservas) y consumo de petróleo estaban confinados a modelos matemáticos académicos, pues la sociedad no reacciona ante contingencias de largo plazo como el agotamiento

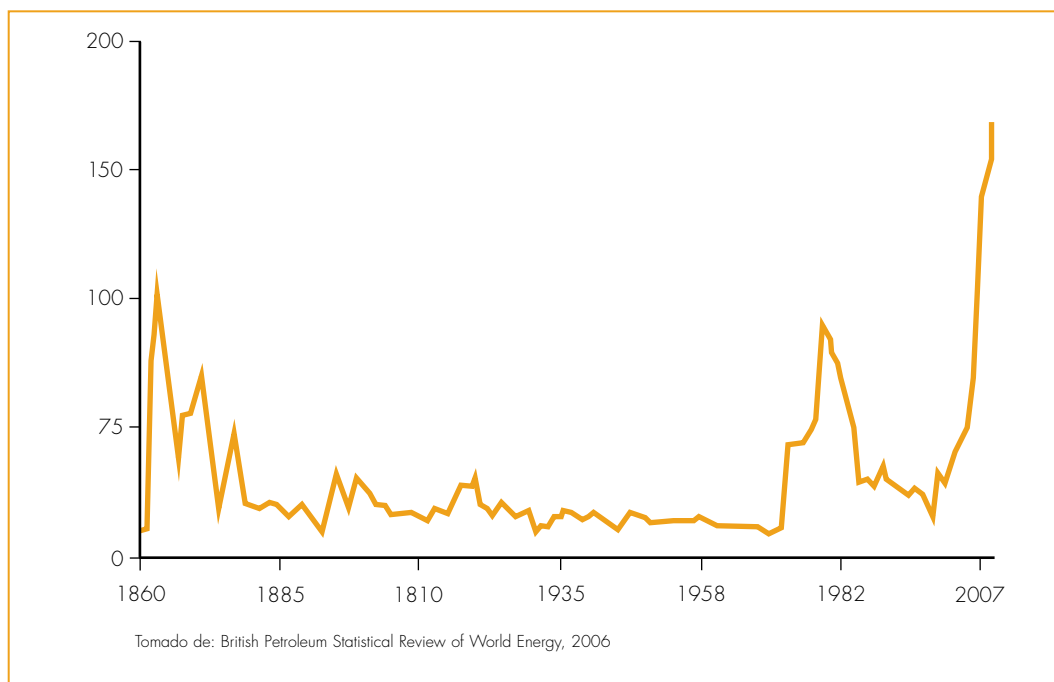


Figura 1. Precios históricos del petróleo crudo, 1860-2007.

de pozos petroleros, aun cuando las estadísticas indicaban que la tasa de producción petrolera había rebasado la tasa de descubrimiento de nuevas reservas probadas (Figura 2).

Además, la distribución irregular de tales reservas, aunada a la concentración natural de la industria petrolera, introducía también distorsiones y sesgos sobre la geopolítica y distribución de los ingresos, lo que ha conducido a disputas abiertas o encubiertas por el control de las principales reservas de petróleo. Por último, pero no menos importante, los científicos establecieron que hay una clara relación entre el consumo de combustibles fósiles y el cambio climático global contemporáneo, que alterará los planes de la humanidad al aumentar drásticamente la frecuencia de los eventos climáticos extremos (como nevadas, tempestades o aguaceros de gran inten-

sidad, tornados, sequías e inundaciones) y al elevar, según se pronostica, la temperatura de la Tierra de 2 a 6 °C durante el presente siglo.

En forma espontánea, el mundo está regresando a las fuentes renovables. La sociedad mundial está tomando conciencia de los costos y riesgos de mantener una matriz energética mundial altamente dependiente de los combustibles fósiles. Muchas organizaciones internacionales están buscando maneras de aminorar los efectos de las emisiones de gases de invernadero, siendo el Protocolo de Kyoto, la primera de tales iniciativas que se ha convertido en el paradigma de las acciones internacionales. Los gobiernos nacionales están decretando políticas públicas que promuevan el uso de fuentes de energía renovables y el reciclaje de materiales, con el objeto

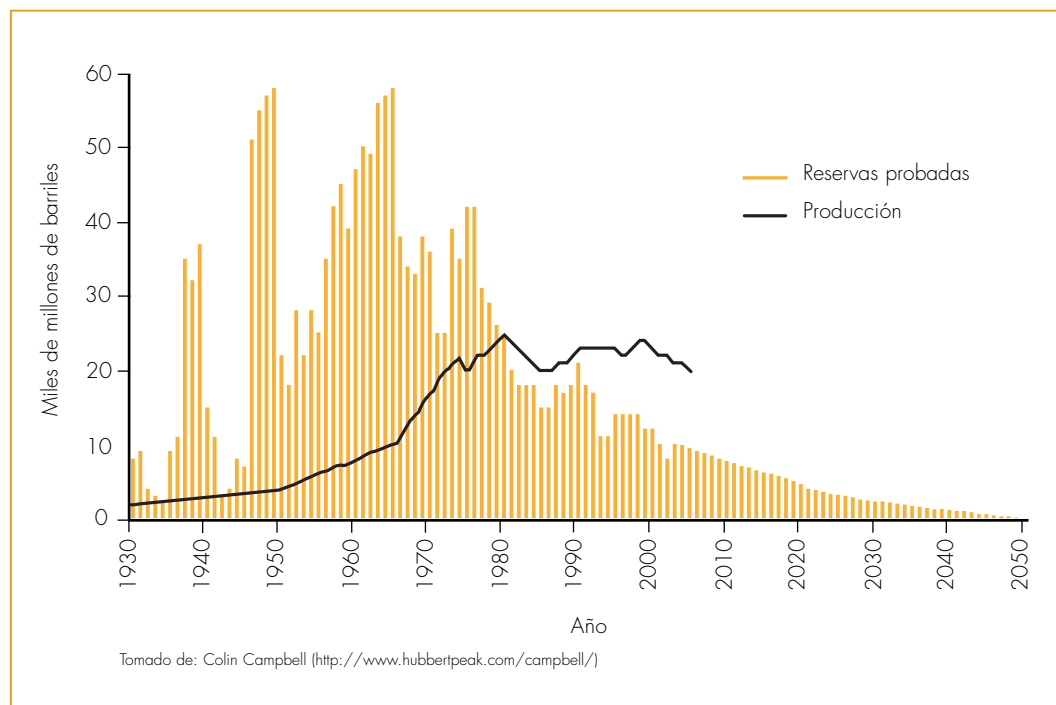


Figura 2. Incorporación anual de nuevas reservas petrolíferas descubiertas y producción petrolera.

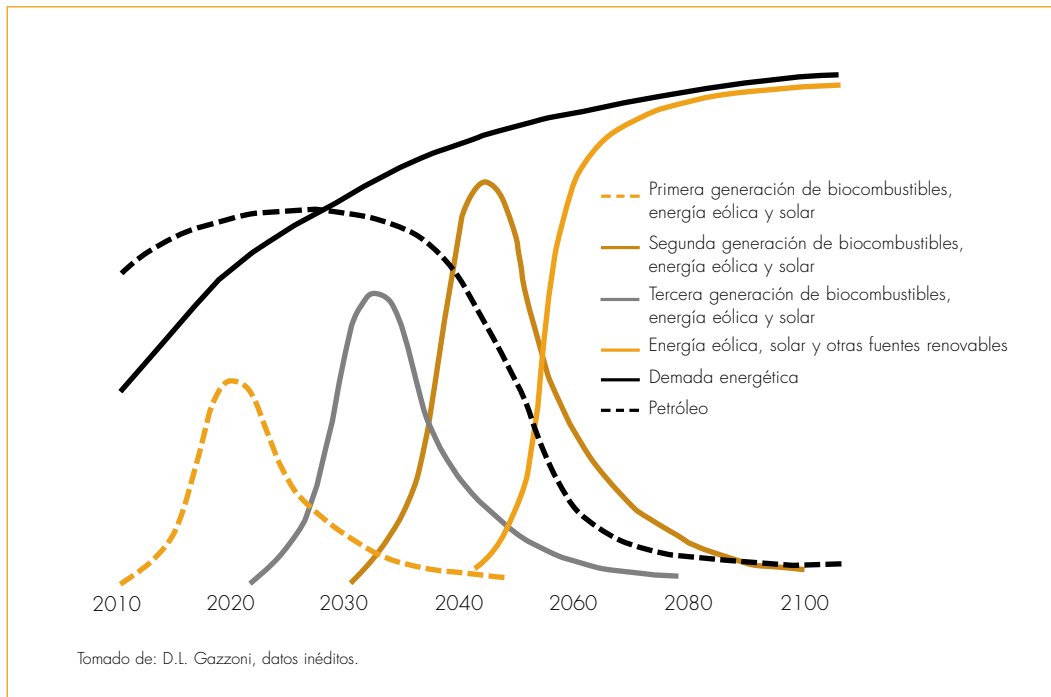


Figura 3. Cronograma de demanda energética, agotamiento del petróleo crudo e introducción de fuentes de energía renovables en la matriz energética mundial.

de reducir los efectos negativos de nuestra dependencia generalizada de los combustibles fósiles. Estos incentivos abarcan a usuarios finales, consorcios empresariales e instituciones de RD&I.

La sensación general es que el mundo tendrá que apoyarse en su tecnología de vanguardia actual para lanzar las primeras acciones, pero también depende mucho de una serie de descubrimientos tecnológicos innovadores (incluso revolucionarios) para compensar los efectos negativos de más de un siglo y medio de consumo de combustibles fósiles y mirar hacia un futuro más sustentable en el que las fuentes de energía fósil sean sustituidas completamente por fuentes de energía renovables, como se aprecia en el cronograma de prospección energética de la Figura 3.



Existen varios problemas energéticos, sumamente diversificados por sus antecedentes económicos, ambientales y sociales, que son urgentes de atender; el reto es identificar las relaciones de cada uno de esos problemas con las actividades de RD&I. Entre ellos, vale la pena mencionar:

- Son muchos los problemas que afligen globalmente a la sociedad, como la degradación ambiental (cambio climático, contaminación), deforestación (pérdidas catastróficas de bosques tropicales), agotamiento de recursos pesqueros marinos, pobreza, migración humana, hambrunas, inseguridad energética y desempleo, entre otros. Los gobiernos deben intervenir para mediar conflictos y asegurar el cumplimiento de los reclamos de la sociedad. Si nuestro mundo debe hacer el cambio de los combustibles fósiles a fuentes de energía renovables, los gobiernos deben establecer políticas públicas que restrinjan el uso de los primeros, al mismo tiempo que asignan una mayor parte del mercado a las segundas y aprovechan al máximo cualquier oportunidad de abatir los índices de desempleo. Sin embargo, esto se debe lograr sin incurrir en costos ambientales exorbitantes y sin reducir la producción mundial de alimentos. Así, los gobiernos deberán prever el futuro y construir la infraestructura necesaria en preparación para ese cambio, al mismo tiempo que sostienen las cosas en su estado actual. Las acciones pueden consistir en compensaciones económicas, incentivos fiscales para forzar la migración, medidas legislativas de regulación, incentivos para la generación de energía renovable, educación y, más que nada, despejar el camino que conduce al futuro financiando actividades de RD&I en materia de fuentes energéticas renovables.
- La sociedad mundial debe discutir abiertamente el acceso a las fuentes energéticas actuales de los 2 000 millones de personas que, según se estima, viven en condiciones de pobreza extrema. Una manera sensata de lograrlo sería actuar de manera rápida e intensiva para darles acceso energético en la medida que aumenten las fuentes renovables. Para ello, será necesario movilizar subsidios con el fin de evitar un uso más intenso de los combustibles fósiles. Además, los

donativos institucionales deberán destinarse a financiar actividades regionales de RD&I en materia de fuentes energéticas renovables, que sirvan de base a programas realistas. Este no es un problema teórico, pues se trata de un fenómeno que ya está vigente en la mayoría de los países desarrollados y en China, India, Vietnam, Camboya y otros países asiáticos, y es muy probable que suceda lo mismo en África, y en América Latina y El Caribe (ALC). La misma estrategia podría servir para dar acceso energético a las comunidades aisladas de casi todos los países subdesarrollados y en desarrollo.

- El estilo de vida actual de la humanidad se conformó bajo la premisa de un suministro energético inagotable en su forma actual, lo cual significa facilidad de transporte y costo relativamente bajo. El desarrollo sustentable debe ser abordado en todas sus facetas principales: económicas, ambientales y sociales. En el pasado, los problemas de desarrollo solían ser atendidos con una visión muy estrecha y, por lo general, desde el punto de vista económico. La fuerza que ha dado impulso al movimiento del desarrollo sustentable ha sido, al menos en parte, una reacción a esa manera de pensar. Las actividades de RD&I no deben concentrarse únicamente en argumentos económicos, sino analizar más de cerca los aspectos locales como cultura, costumbres, aspectos sociológicos y desarrollo científico autónomo, pues eso las ayudará a alcanzar rápidamente nuevos niveles de vida y bienestar sustentables.
- Hasta ahora, el desarrollo de fuentes de energía renovables no ha recibido atención en particular. Será necesario realizar investigaciones científicas básicas para evitar la imposición de limitaciones al desarrollo tecnológico. Después de la era de los combustibles fósiles, la independencia energética sólo será posible si está basada en tecnología propia. Eso incluye la creación de modelos matemáticos, prototipos y plantas piloto de evaluación precomercial en pequeña escala, entre otros estudios integrales, sin mencionar las líneas científicas básicas, como fisiología, ciencia de materiales, genética, bioquímica y física teórica, entre otras.

A partir de este análisis, cabe concluir que el puente hacia un futuro energético más sustentable será construido sobre una base de nuevos paradigmas tecnológicos que van desde los biocombustibles de primera generación, los primeros dispositivos eólicos y fotovoltaicos (FV) y la energía solar térmica, hasta una era de hidrógeno con dispositivos eólicos y FV sumamente eficientes y nuevos métodos para extraer energía de otras fuentes renovables, aunados a formas de transporte y almacenamiento energético de bajo costo y alta densidad. El reto que enfrentamos es construir ese puente a tiempo, antes de que se agoten las últimas reservas de petróleo y gas natural, y antes de que el calentamiento global ocasionado por el consumo de combustibles fósiles sea causa de un deterioro a nivel mundial del bienestar humano y un aumento de la pobreza. Al mismo tiempo, la producción de biomasa para otros usos, como producción de alimentos, forrajes, madera, flores y ornatos, productos farmacéuticos y materias primas para la industria química, deberá satisfacer las demandas de la humanidad y recibir, por lo menos, la misma prioridad que la producción energética.

La región de ALC tiene que ser parte de este esfuerzo mundial, pero con algunas peculiaridades significativas. Actualmente, la región se encuentra a medio camino entre los países del mundo desarrollado, con su uso intensivo de energía, y los países más pobres de África y el Sureste Asiático. Eso significa que nuestra tasa de consumo promedio per cápita no es demasiado alta, de modo que los cambios no serían particularmente dolorosos, aunque todo indica que será necesario intensificarlos. Además, la mayoría de las matrices energéticas nacionales de ALC no dependen en grado extremo de los combustibles fósiles, con excepción de Argentina, Ecuador, México y Venezuela (países productores de petróleo), así como de algunas islas de El Caribe que no tuvieron la oportunidad de movilizar de manera efectiva sus recursos energéticos naturales renovables.

Sin embargo, y considerando que no sólo deben intervenir las ingenierías y las ciencias tecnológicas "exactas", también debemos analizar más de cerca los aspectos ambientales y sociológicos de la problemática energética, incluyendo el conocimiento tradicional acumulado en el transcurso de milenios. Muchos problemas relacionados

con la administración integral de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad, así como con su aprovechamiento sustentable, requieren una combinación de conocimientos tecnológicos y tradicionales. Quienes poseen conocimientos tradicionales tienden a considerar que el ser humano y los animales, plantas y demás elementos del universo están interconectados por una red de relaciones sociales y obligaciones. Para los fines del presente informe, consideramos que *el conocimiento tradicional es un conjunto acumulativo de sapiencia, empirismo, métodos e interpretaciones, que los pueblos con antiguas tradiciones de interacción con el entorno natural se encargan de mantener y desarrollar. Esos refinados conjuntos de comprensión, interpretación y significado, tan complejos como desarrollados, son parte integral de un complejo cultural que abarca lenguas y dialectos, sistemas de nomenclatura y clasificación, formas de aprovechamiento de recursos, rituales, espiritualidad y visión global.* La visión global de aquellos que poseen el conocimiento tradicional enfatiza la naturaleza simbiótica de la relación entre los seres humanos y el mundo natural.

Aunque en general se reconoce la relevancia del papel de la ciencia y la tecnología (S&T, por sus siglas en inglés) en lo referente al desarrollo sustentable, aún persiste una gran brecha entre lo que la comunidad científica y tecnológica piensa que puede ofrecer y lo que la sociedad demanda y apoya. En reconocimiento de esa brecha, la comunidad científica y tecnológica insiste cada vez más en la necesidad de un “nuevo contrato” entre ciencia y sociedad, para poder lograr el desarrollo sustentable. Pero para ser un buen socio en ese nuevo contrato, la comunidad científica y tecnológica necesita buscar fuentes de inspiración y complementar sus métodos tradicionales con varias orientaciones innovadoras. Será necesario establecer prioridades de investigación y desarrollo (R&D, por sus siglas en inglés) y empezar a trabajar en ellas, de modo que la S&T contribuyan a la solución de nuestros problemas de sustentabilidad más apremiantes.

Por último, debemos tener en cuenta que existen en la región varias instituciones de RD&I, entre ellas una red de institutos tecnológicos importantes, dedicados al estudio de la biomasa con fines alimenticios y de alimentos, universidades, institutos téc-

nicos, empresas privadas y departamentos de R&D que pueden ser estructurados coordinados para coordinar el esfuerzo mundial por impulsar un cambio en la matriz energética de cara a un futuro sustentable. El desarrollo de redes sociales (en el ámbito nacional, regional y mundial), el apoyo financiero de grandes donadores altruistas y gobiernos locales, la asistencia técnica y el apoyo de la sociedad serán las piedras angulares de tales acciones de R&D, de modo que podamos visualizar un nuevo orden energético con firmes bases sociales, ambientales y económicas.



## 2. PERSPECTIVA MUNDIAL Y REGIONAL DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA

El consumo de combustibles fósiles, especialmente el petróleo crudo, cundió rápidamente por el mundo por su facilidad de transporte y de uso, por su bajo costo y abundancia relativa. Por consiguiente, las altísimas tasas de desarrollo y mejora de los niveles de vida que el mundo vivió durante el siglo XX tuvieron por base un uso más intensivo de los energéticos con fines de transporte, calefacción, cocina, cuidados de la salud, cultura y servicios educativos. Al mismo tiempo, el petróleo crudo se convirtió en la base de nuevas ramas de la química, lo que se tradujo en nuevos materiales como plásticos, polímeros, productos farmacéuticos, plaguicidas y fertilizantes, entre otros.

Hoy, la relación directa entre el índice de desarrollo humano (HDI, por sus siglas en inglés) y el consumo de energía es más que clara. En un estudio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (UNDP, 2006) se demostró que, mientras que el HDI mundial promedio era de 0.741 (2004), los países con los mayores HDI (de entre 0.9 y 1.0) también tenían las mayores tasas de consumo eléctrico per cápita; por ejemplo, Japón, Francia, los Países Bajos, Italia, el Reino Unido, Alemania, Israel y Corea del Sur (ca. 7 GWh/año), Australia (11 GWh/año), Estados Unidos (14 GWh/año), Canadá (18 GWh/año) y Noruega (25 GWh/año). En el otro extremo, Nigeria y Zambia, cuyos HDI son de 0.3 y 0.4 respectivamente, tuvieron tasas de consumo eléctrico per cápita inferiores a 200 kWh/año. Los países latinoamericanos mejor ubicados —Brasil, Argentina y México, con HDI de entre 0.8 y 0.85— registraron tasas de consumo eléctrico per cápita inferiores a 2 GWh/año.

Por obvias razones económicas, las compañías petroleras se concentraron durante décadas en extraer el petróleo crudo más fácil y económico de alcanzar. Al principio, el petróleo se extraía muy cerca de la superficie del suelo. En general, ese petróleo era del tipo llamado “ligero y dulce”, es decir, petróleo muy fácil de refinar para obtener subproductos como gasolina sin plomo y queroseno para calefacción. Sin embargo, durante las tres últimas décadas, la tasa mundial de descubrimiento de nuevos campos petrolíferos ha sido inferior a la tasa de consumo de petróleo. En años recientes, las nuevas reservas probadas representan apenas 27% del consumo real.

El consumo y la eficiencia en el uso de la energía varían considerablemente de un lugar del mundo a otro. En 2005, la media anual de consumo energético mundial per cápita (sin incluir ni biomasa tradicional ni pérdidas) era de 1 519 kg de equivalente de petróleo (kgoe). Mientras que la media de los países de alto nivel económico fue de 5 228 kgoe, en los países de escasos recursos fue de sólo 250 kgoe. La biomasa tradicional y las pérdidas representan 10.6% del total de energía primaria

Tabla 1. Estadísticas del petróleo crudo respecto de las demandas máximas

Concepto	Medida
Total de reservas petrolíferas estimadas	3 000 Gb
Producción hasta la fecha	873 Gb
Reservas	928 Gb
Descubiertas hasta la fecha	1 801 Gb
Por encontrar	149 Gb
Por poner en producción	1 077 Gb
Total extraíble	1 950 Gb
Tasa de consumo actual	22 Gb/año
Tasa de descubrimiento actual	6 Gb/año
Tasa de agotamiento actual (prod. anual como % de “Por encontrar”)	2%
Tomado de: Colin J. Campbell ( <a href="http://greatchange.org/ov-campbell.outlook.html">http://greatchange.org/ov-campbell.outlook.html</a> )	



Tabla 2. Estadísticas de producción y reservas de petróleo: América Latina y El Caribe

	1986	1996	2005	2006	Mundial	
País	Gb	Gb	Gb	Gb	Proporción	R/P
Argentina	2 233	2 600	1 972	1 972	0.14%	7.55
Brasil	2 358	6 681	11 772	12 182	0.89%	18.45
Colombia	1 700	2 798	1 453	1 506	0.11%	7.39
Ecuador	1 235	3 453	4 866	4 664	0.34%	23.45
México	54 880	48 472	13 670	12 908	0.94%	9.60
Perú	0 536	0 774	1 078	1 078	0.08%	25.56
Trinidad y Tobago	0 564	0 723	0 809	0 809	0.06%	12.77
Venezuela	55 521	72 667	80 012	80 012	5.83%	77.62
Otros	0 455	1 109	1 269	1 270	0.09%	24.91
ALC	119 482	139 276	116 902	116 401	8.48%	41.21

Tomado de: BP Annual Report 2007

global. En los países de escasos recursos, ambos rubros representan en promedio 49.4% del total, pero en algunos países este valor se aproxima a 90 por ciento.

El consumo energético depende principalmente de la tasa de crecimiento demográfico y del nivel de ingresos per cápita. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), pese a la caída paulatina de las tasas de crecimiento anual de la población humana, ésta seguirá aumentando hasta 2050, cuando, según se supone, se estabilizara para luego disminuir hacia fines del presente siglo. En lo económico, el mundo está viviendo un periodo de constante y alto crecimiento sin precedentes, sobre todo en los países en desarrollo. En la Tabla 2 se encuentran las estadísticas de producción y las reservas de petróleo de ALC.

En los últimos cinco años, el crecimiento promedio del PIB mundial osciló entre 3.5 y 4.5%. En ese mismo periodo, la tasa de crecimiento del PIB de ALC excedió la

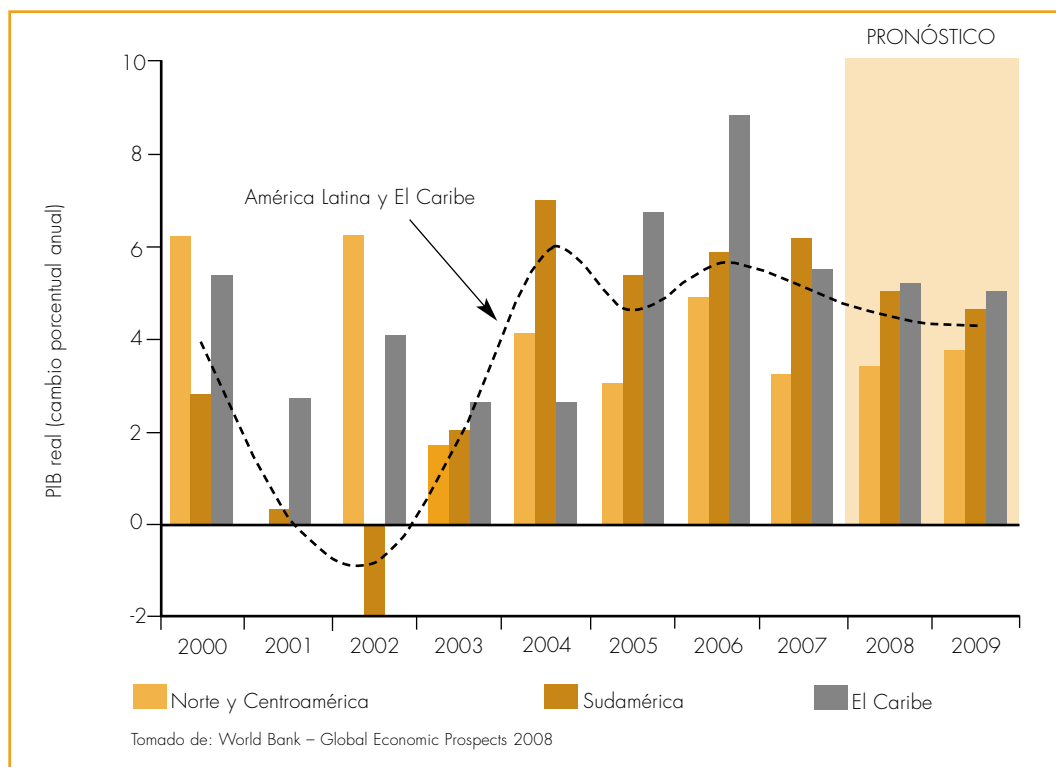


Figura 4. Crecimiento económico de ALC: PIB real (cambio porcentual anual).

media mundial y, según los pronósticos, para el periodo 2008-2009 se espera una tasa crecimiento de 5% (Figura 4).

Según el escenario básico de las Perspectivas Energéticas Mundiales 2008 publicadas por la Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA, por sus siglas en inglés) y suponiendo que las políticas energéticas actuales no cambiarán mayormente en el mediano plazo, nuestras necesidades energéticas mundiales en 2030 serán 50% mayores que hoy. Según el consenso general, China e India absorberán 45% de ese incremento en la demanda. Estas tendencias ocasionarán a un aumento constante de las emisiones de gases de invernadero (GHG, por sus

siglas en inglés) y aumentarán la dependencia de los países consumidores que importan petróleo y gas natural; sobre todo el procedente de Oriente Medio y Rusia. Este escenario acrecentaría las preocupaciones actuales respecto del cambio climático y la seguridad energética. Las principales conclusiones sobre cambio climático global del Cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) publicado a principios de 2007, fueron pasmosas y señalaron un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos (nevadas intensas, tornados, sequías e inundaciones) y una elevación del nivel medio del mar e incremento de la temperatura promedio global.

La mayor parte de las emisiones de GHG (Figura 5) se atribuye al uso de combustibles fósiles; el carbón mineral es el más peligroso, y el gas natural, el menos dañino para el ambiente. El desafío está en iniciar la transición hacia un sistema energético más

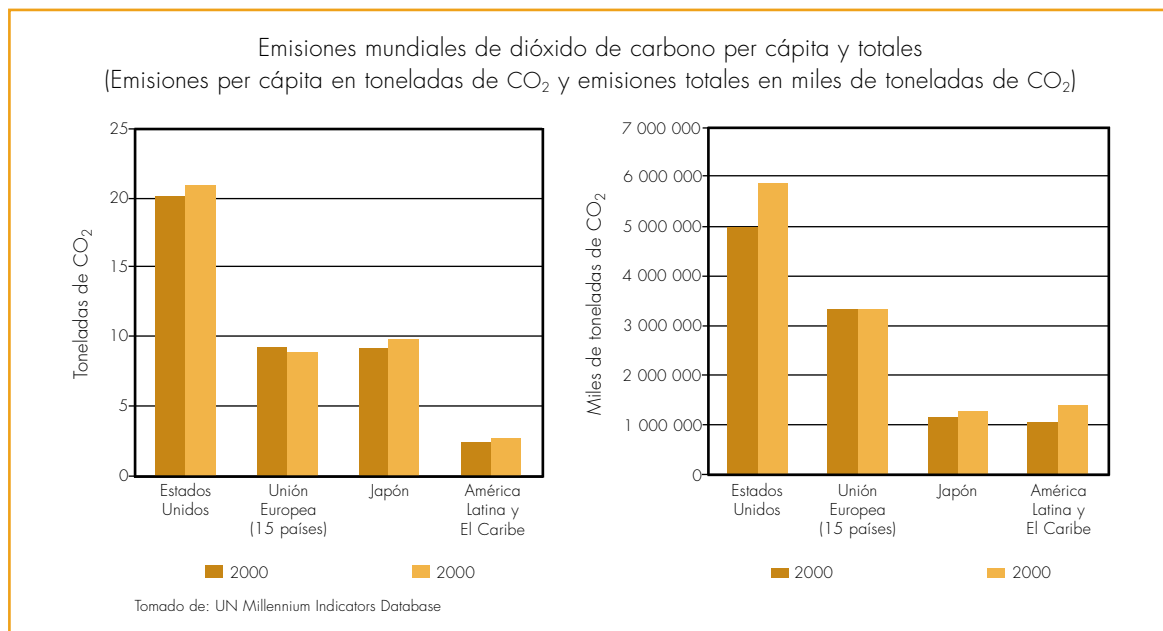


Figura 5. Emisiones mundiales de dióxido de carbono per cápita y totales.

seguro y con menos emisiones de carbono, pero sin disminuir nuestro desarrollo económico y social. En ningún lugar este reto será más difícil o relevante para el resto del mundo, que en China e India. Se requieren acciones políticas enérgicas, inmediatas y colectivas, por parte de todos los gobiernos, para poner al mundo en una trayectoria energética más sustentable. Las medidas de aumento de la eficiencia energética descuellan por ser la manera más económica y rápida de impedir que la demanda de petróleo y la emisión de GHG continúen aumentando en el corto plazo.

Considerando todos los aspectos antes mencionados, las mayores amenazas que la humanidad enfrenta como secuela de su dependencia de los combustibles fósiles son: (a) reducción de las reservas petrolíferas mundiales y aumento del precio del petróleo; (b) distribución irregular de las reservas de combustibles fósiles, y (c) emisiones de los GHG causantes del cambio climático global.

En ALC, el consumo energético anual per cápita varía mucho de un país a otro; por ejemplo, es de unos 300 GJ en Trinidad y Tobago, pero de sólo 10 GJ en Haití. Otro indicador que pone de manifiesto la naturaleza extremadamente diversa de la región es la intensidad energética de los diferentes países, que varía desde 36 MJ/USD (PPP) en Trinidad y Tobago (un gran exportador de gas natural) a sólo 4 MJ/USD (PPP) en Barbados. La intensidad energética media de ALC oscila alrededor de 11 MJ/USD (PPP), cifra que se ubica ligeramente por arriba de la media mundial, que es de unos 10 MJ/USD (PPP). El consumo energético total de la región se encuentra en la Tabla 3; la matriz energética de ALC se muestra en la Figura 6.

Vale la pena mencionar que ALC necesita mejores condiciones de vida, lo que significa mayor consumo de energía per cápita. La estrategia para lograrlo se basa en el ahorro energético (es decir, evitar pérdidas innecesarias de energía) y en sustituir los combustibles fósiles por fuentes energéticas renovables, en vez de en reducir la tasa general de consumo energético per cápita.

El crecimiento de la población y del nivel de ingresos económicos son las fuerzas impulsoras del consumo energético mundial. Los pronósticos del crecimiento demográfico de ALC indican que el punto máximo de crecimiento anual de la población se alcanzó durante la década de 1960 (2.8%) y que la tendencia futura es de

Tabla 3. Consumo energético en ALC

PAÍS	POBLACIÓN	P/B	CONSUMO FINAL	PIB PER	CONSUMO	INTENSIDAD
	10 <sup>3</sup> Inhab (A)	10 <sup>3</sup> USD (B)	DE ENERGÍA 10 <sup>3</sup> Boe (C)	CÁPITA USD/Inhab (D/A)	FINAL PER CÁPITA Boe/Inhab (C/A)	ENERGÉTICA Boe 10 <sup>3</sup> USD (C/B)
ARGENTINA	38 971	340 315.95	361 886.41	8 732.54	9.29	1.06
BARBADOS	270	1 914.03	2 067.76	7 089.00	7.66	1.08
BOLIVIA	9 627	10 193.52	26 613.39	1 058.85	2.76	2.61
BRASIL	190 127	764 552.24	1 355 368.32	4 021.27	7.13	1.77
COLOMBIA	46 772	105 573.95	169 013.85	2 257.20	3.61	1.6
COSTA RICA	4 399	21 028.85	24 049.31	4 780.37	5.47	1.14
CUBA	11 240	56 347.54	69 005.45	5 013.13	6.14	1.22
CHILE	16 436	96 533.33	159 150.66	5 873.29	9.68	1.65
ECUADOR	13 408	21 319.73	60 132.19	1 590.08	4.48	2.82
EL SALVADOR	6 991	15 248.18	23 961.46	2 181.12	3.43	1.57
GRENADA	104	476.51	507.01	4 581.83	4.88	1.06
GUATEMALA	13 018	20 968.72	53 938.43	1 610.75	4.14	2.57
GUYANA	752	534.65	5 519.43	843.95	7.34	8.7
HAITI	9 317	3 648.03	17 238.40	391.55	1.85	4.73
HONDURAS	7 518	7 614.79	24 674.87	1 012.87	3.28	3.24
JAMAICA	2 662	8 123.96	28 843.09	3 051.83	10.84	3.55
MÉXICO	107 537	665 522.24	800 331.46	6 188.77	7.44	1.2
NICARAGUA	5 594	4 772.22	18 570.15	853.10	3.32	3.89
PANAMÁ	3 284	15 474.40	22 809.06	4 712.06	6.95	1.47
PARAGUAY	6 365	8 391.03	26 674.34	1 318.31	4.19	3.18
PERU	28 349	70 661.88	86 611.98	2 492.57	3.06	1.23
REP. DOMINICANA	9 240	31 120.65	36 935.43	3 368.04	4.00	1.19
SURINAME	453	1 067.04	4 495.53	2 355.50	9.92	4.21
TRINIDAD Y TOBAGO	1 311	13 800.60	79 014.96	10 526.77	12.77	5.73
URUGUAY	3 478	22 504.08	18 390.02	6 470.41	5.29	0.82
VENEZUELA	27 031	146 638.03	326 320.32	5 424.81	12.07	2.23
TOTAL	564 254	2 454 446.15	3 802 123.27			
PROMEDIO REGIONAL				4 349.90	6.74	1.55

Tomado de: OLADE, 18th Energy Economic Information System, 2007

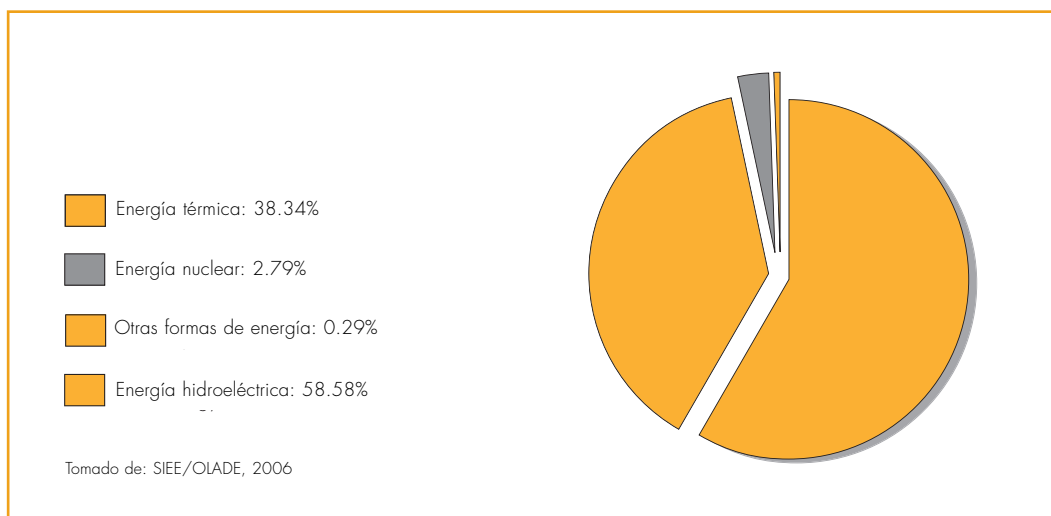


Figura 6. Fuentes de generación eléctrica de ALC.

un descenso continuo, de 1.2% actual a un posible 0.25% en 2050. Los estudios indican que hay una relación directa y lineal entre el crecimiento demográfico y el consumo de energía. En las condiciones sociales y económicas actuales, cada punto en el índice de crecimiento demográfico significa un punto en el índice de consumo energético.

Entre 1970 y 1980, el desarrollo económico se vio acompañado por un menor consumo de energía por unidad producida (menor intensidad energética), lo cual indica que hubo aumentos en la eficiencia y que los recursos energéticos fueron utilizados de mejores maneras. No obstante, esa tendencia se invirtió entre 1980 y 1985 (los ingresos económicos per cápita menguaron, pero la intensidad energética aumentó), y ese patrón adverso se mantuvo entre 1987 y 1990. Esto sugiere que no hubo mejoras en el uso eficiente de los energéticos durante la recesión económica de la década de 1980. En los tres primeros años de la década de 1990, los niveles de ingreso se recuperaron, pero la intensidad energética permaneció alta. Entre 1990 y 2000, las mejoras en intensidad energética fueron casi nulas. Aunque las ten-

dencias de los indicadores de intensidad energética han sido bastante similares en las distintas subregiones, sus valores absolutos varían considerablemente. Los máximos valores de intensidad energética se registran en los países caribeños; y eso se debe, más que nada, al uso más frecuente de equipos de baja eficiencia y alto consumo eléctrico. Los países del Cono Sur tienen los valores absolutos más bajos debido al uso de equipos y tecnologías energéticas más avanzados en sus procesos de producción. Los países andinos no exhibieron cambios significativos durante el mismo periodo.





### 3. OBJETIVOS GENERALES

El desarrollo y la ejecución exitosos de un plan estratégico basado en el uso de técnicas y tecnologías energéticas sustentables deberá apoyarse en tres pilares: **A.** Investigación sobre problemas científicos y tecnológicos específicos que puedan contribuir más allá de la tecnología actual y el desarrollo propio de la industria energética, y de coadyuvar a la adaptación de tecnologías de vanguardia en escenarios locales y regionales en lo que se refiere a las características de los recursos energéticos, aspectos culturales de las comunidades involucradas y otras circunstancias locales y regionales. **B.** Formación de capacidades en los ámbitos institucional e individual mediante programas de investigación en conjunto con instituciones científicas y tecnológicas de renombre mundial, bajo esquemas de cooperación Norte-Sur y Sur-Sur. **C.** Diseño y ejecución de políticas públicas basadas en información científica, con el fin de crear el ambiente adecuado y necesario para promover el uso total y sustentable de técnicas y tecnologías energéticas sustentables. La información científica que los legisladores necesitan puede incluir, entre otras cosas: **análisis ambiental** del ciclo de vida de las tecnologías de energía renovable y convencional, incluyendo balances de energía y de emisiones de GHG (huella de carbono); **análisis de costos** del ciclo de vida de la implementación de las tecnologías; **análisis multifacéticos** de los impactos ambiental, social y económico; **desarrollo de criterios** e indicadores de sustentabilidad para el uso de recursos energéticos; **diseño de políticas públicas** y sus repercusiones económicas, sociales y ambientales, y **establecimiento de los marcos de reglamentación** necesarios para poner en ejecución las políticas públicas.

## RECUADRO I

### EL MERCADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ALC: DATOS Y ESTADÍSTICAS

Enseguida haremos un resumen de los descubrimientos clave del documento de la OLADE titulado "Una revisión del sector eléctrico de América Latina y El Caribe: evolución en el mercado y oportunidades de inversión para CFT, publicado en marzo de 2005. El documento completo se encuentra en [www.olade.org](http://www.olade.org).

- En 2003, la capacidad de generación eléctrica instalada total de ALC se aproximó a 253 GW.
- De la capacidad de generación eléctrica instalada de 2003: 52% fue hidroeléctrica; 45%, termoeléctrica; 2%, nuclear, y sólo 1% se derivó de fuentes energéticas de origen geotérmico, eólico, solar y/o biológico.
- La generación eléctrica total de los 25 países de la OLADE ascendió a 1 021 TWh en 2003, lo que significó un aumento de 42.5 TWh (4.3%) respecto a 2002.
- El mercado eléctrico está creciendo a una tasa anual de 4-5%; es decir, aproximadamente 12 GW por año.
- Algunos países de ALC informan que tienen altos índices de pérdida eléctrica por transmisión y distribución, lo que representa un promedio de alrededor de 19% en la región.
- En 2003, el consumo de energía eléctrica de ALC ascendió a 820.7 TWh, lo que significa un aumento de 34.2 TWh (4.3%) respecto al consumo en 2002.
- La energía eléctrica generada mediante carbón mineral satisfizo apenas 5% de la demanda eléctrica básica de América Latina en 2003; 65% de ésta se consumió en Brasil. Las reservas probadas de carbón mineral extraíble de América Latina se estiman en 16 000 millones de toneladas.
- Alrededor de 42% de la producción total de carbón mineral se exporta a Estados Unidos y a la UE.
- Las reservas probadas de gas natural de ALC se estimaron en alrededor de  $7.5 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup> en 2003; eso representa 5% del total mundial. Venezuela posee 54% de las reservas probadas de gas natural, seguido por Bolivia (10%), Argentina (10%), México (8%) y Trinidad y Tobago (7%).
- En 2003, la producción de gas natural de ALC ascendió a  $197 \times 10^9$  m<sup>3</sup>. Se espera que ésta aumente considerablemente durante las próximas tres décadas, para llegar a  $516 \times 10^9$  m<sup>3</sup> en 2030.

- Las reservas probadas de petróleo de la región se estimaron en 114 500 millones de barriles a fines de 2003; eso significa 10% del total mundial.
- En ALC, la producción de petróleo crudo y gas natural licuado alcanzó un promedio de 9.4 M b/d en 2003; se espera que esta cifra aumente a cerca de 12 M b/d en 2030. Hoy, los principales países productores de ALC son Venezuela, México y Brasil.
- ALC posee casi 9% de la capacidad de refinación petrolera del mundo.
- El sector eléctrico de ALC está bajo el control de compañías procedentes del sur de Europa y Estados Unidos.
- En muchos países, los precios de la energía eléctrica permiten que las empresas tengan utilidades. Sin embargo, la incertidumbre política y la inestabilidad de los marcos jurídicos, dos fenómenos que prevalecen en la región, aumentan los riesgos financieros.
- ALC está dividida entre dos redes de distribución eléctrica con distintas frecuencias: los países del sur operan a 50 Hz, mientras que los del norte lo hacen a 60 Hz.
- Los países de ALC (incluso los de Centroamérica) están avanzando hacia la integración de sus redes eléctricas mediante la ejecución del proyecto denominado Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC), que es parte del Tratado Marco del Mercado Eléctrico de América Central y de la creación del Mercado Eléctrico Regional.
- Para cubrir la creciente demanda eléctrica, es necesario instalar anualmente cerca de 12 GW de nuevas plantas generadoras.
- Setenta y tres por ciento de las plantas generadoras de ALC tienen capacidades nominales inferiores a 50 MW; 23% de éstas se encuentran entre 50 y 400 MW, y 4% se ubican entre 400 y 1 000 MW.
- En ALC, la mayor parte de la generación eléctrica se realiza mediante plantas con motores diesel (sobre todo para la generación descentralizada en lugares remotos) y plantas con turbinas convencionales de vapor o de gas.
- Las turbinas de gas natural representan 27% de la capacidad de generación eléctrica; las turbinas de vapor, 56%; las plantas de gas de ciclo combinado, 7%, y las plantas diesel, 6%. El 4% restante proviene de plantas geotérmicas y nucleares.
- Del total de generación eléctrica, 85% se basa en el consumo de petróleo y gas natural. Aunque la región posee grandes reservas de carbón mineral, el papel de este combustible en el sector eléctrico de ALC es menor.
- Se ha identificado un potencial de reemplazo cercano a 9 GW durante la presente década.

El objetivo general del presente documento es establecer la base para la investigación, desarrollo y divulgación de las técnicas y tecnologías energéticas sustentables que puedan ser integradas a la matriz energética principal de América Latina y El Caribe (ALC).

En los próximos capítulos se presenta un panorama del estado del arte de las tecnologías de energía renovable y de la situación actual de la implementación de dichas tecnologías en América Latina y El Caribe , incluyendo las actividades de investigación y desarrollo y las principales instituciones participantes. Además, en este documento se destacan las áreas de investigación prioritarias de corto y mediano plazos.

El documento propone también varias actividades que pueden contribuir a la formación de capacidades institucionales e individuales.

Se espera que estas propuestas ayuden a establecer políticas públicas efectivas para poner en marcha programas de energía renovable en los países de ALC, como seguimiento central de las actividades aquí discutidas.

## 4. TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE

En este capítulo se describe el estado del arte de diversas tecnologías que transforman recursos naturales renovables en formas útiles de energía. También se presenta la situación de dichas tecnologías en América Latina y El Caribe (ALC), incluyendo su grado de desarrollo, actividades de investigación, principales instituciones involucradas y áreas de investigación prioritarias. Los recursos de energía renovable y las tecnologías asociadas que se incluyen en este análisis son: energía solar, viento, biomasa y pequeñas plantas hidroeléctricas, todos ellos en esquemas dentro y fuera de redes de distribución eléctrica. Estas fuentes energéticas son las más relevantes para la región en cuanto se refiere a su potencial y disponibilidad. Por lo mismo, ciertos recursos, como la energía geotérmica y oceánica (en todas sus formas), quedaron al margen de este documento. Sin embargo, también se sugieren actividades de investigación y desarrollo (R&D) sobre sistemas híbridos que integran dos o más tecnologías y recursos energéticos.

Además de las áreas de investigación relacionadas con la tecnología, en este capítulo se mencionan también otras necesidades de investigación, como la integración de tecnologías de energía renovable a los sistemas energéticos actuales y medios de almacenamiento de energía. La integración de sistemas incluye áreas de estudio como generación distribuida y conexión y control en redes eléctricas. Los problemas de R&D en materia de almacenamiento de energía que se mencionan en este capítulo se relacionan principalmente con producción, almacenamiento, transporte, distribución y uso de hidrógeno.

Aunque se reconoce que la eficiencia energética es el componente principal en los escenarios de energía racional, ésta no fue incluida directamente como un tema

de investigación porque no sólo se relaciona con la problemática tecnológica, sino también, y sobre todo, con políticas y medidas públicas asociadas con la conducta social.

## 4.1. BIOMASA

### 4.1.1. Estado actual de la producción de energéticos derivados de la biomasa en ALC

La historia de éxito de Brasil en cuanto a producción y uso de biocombustibles ha generado mucho interés en este tema a lo ancho y largo de ALC. Varios países han lanzado importantes iniciativas de regulación y legislación encaminadas a sentar las bases para futuras acciones de expansión e inversión. Unos pocos países han empe-

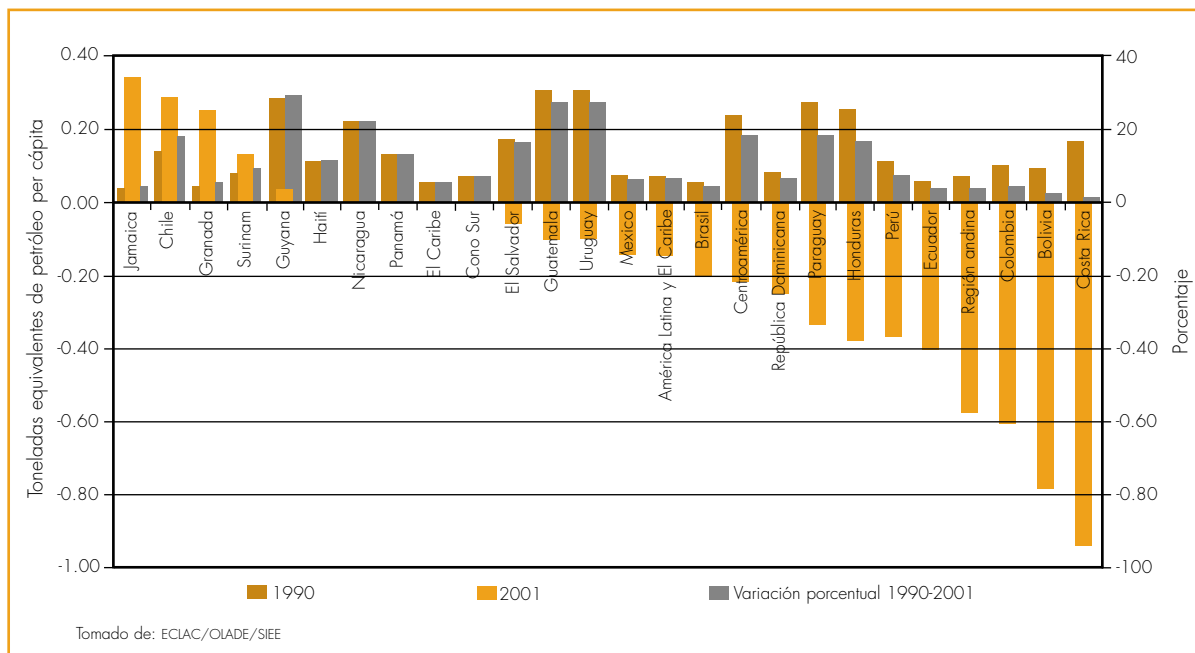


Figura 7. Consumo doméstico de biomasa per cápita.

zado a atraer inversionistas internacionales, mientras que otros han anunciado planes para llevar a cabo grandes expansiones de su industria de biocombustibles. En algunos lugares, el gobierno brasileño se ha dedicado activamente a establecer relaciones que se convierten en proyectos y estudios de investigación conjuntos. En la Figura 7 se muestra el consumo doméstico de biomasa per cápita en ALC.

Muchos de los ingredientes necesarios para crear una industria de biocombustibles próspera ya están presentes. La abundancia de tierras arables, la existencia de condiciones climáticas óptimas en la región y el excedente de materias primas para biocombustibles en muchos países de ALC son factores que aumentan el potencial de la región para convertirse en un productivo centro de comercio mundial de biocombustibles. Además de sus atributos naturales, la concentración de actividades y puestos de trabajo en el sector agrícola significa que los biocombustibles son una atractiva estrategia de desarrollo rural, como se aprecia en la Tabla 4 y en la Figura 8.

En ALC, las actividades de R&D relacionadas con los biocombustibles están distribuidas de modo irregular. Brasil encabeza dichas actividades en la región. En Colombia existe una amplia gama de actividades de investigación, que incluyen asociaciones público-privadas e investigaciones patrocinadas por Ecopetrol, la compañía petrolera del estado. También se están efectuando investigaciones académicas sobre biodiesel a base de aceite de palma; además, las asociaciones de productores de azúcar y aceite de palma están patrocinando estudios para mejorar el rendimiento de los cultivos y para identificar las variedades óptimas para la producción de materias primas. En Costa Rica se está llevando a cabo una prometedora iniciativa conjunta de producción de etanol por parte de Petrobras y RECOPE. En Argentina, con su larga historia de interés en los biocombustibles, algunos inversionistas del sector privado establecieron un centro de investigación de biocombustibles. Varias universidades están promoviendo la producción de biocombustibles, y particularmente biodiesel, mediante actividades de investigación y participación en iniciativas como la Red Mesoamericana de Investigación y Desarrollo en Biocombustibles. En el resto de la región, los trabajos de R&D son más que limitados. Brasil lanzó una iniciativa conjunta de investigación de largo plazo, con participación de los sectores público y privado, sobre la cadena de producción

Tabla 4. Tierra arable actual y potencial en ALC

	Área total (miles de ha)	Tierra arable potencial (miles de ha)	Tierra arable potencial equivalente (miles de ha)	Tierra arable pot. equiv./Área total	Tierra arable actual, 1994 (miles de ha)	% de tierra potencialmente arable en uso actual (1994)	Población total, 1994 (miles)	Población agrícola, 1994 (miles)
Argentina	277 685	90 571	71 161	26	27 200	30.0	34 182	3 847
Belice	2 063	984	709	34	57	5.8	205	65
Bolivia	108 903	61 917	46 067	42	2 380	3.8	7 237	3 258
Brasil	853 637	549 389	393 802	46	50 713	9.2	159 143	30 978
Chile	75 202	3 327	2 003	3	4 250	127.7	14 044	2 518
Colombia	113 184	65 536	47 690	42	5 460	8.3	34 545	8 429
Costa Rica	5 200	1 205	858	16	530	44.0	3 347	783
Cuba	11 068	7 494	5 788	52	3 370	45.0	10 960	1 768
República Dominicana	4 879	2 169	1 418	29	1 480	68.2	7 691	1 634
Ecuador	25 263	12 864	9 194	36	3 036	23.6	11 220	3 347
El Salvador	2 015	864	573	28	730	84.5	5 641	1 904
Islas Malvinas	1 203	0	0	0	0	NA	2	2
Guayana Francesa	8 038	6 627	5 127	64	12	0.2	141	141
Guatemala	11 045	3 710	2 821	26	1 910	51.5	10 322	5 266
Guyana	20 907	13 305	9 739	47	496	3.7	825	167
Haití	2 723	846	511	19	910	107.6	7 035	4 390
Honduras	11 490	3 424	2 162	19	2 030	59.3	5 493	2 008
Jamaica	1 132	156	108	10	219	140.4	2 429	636
México	196 062	52 162	36 471	19	24 730	47.4	91 858	22 906
Antillas	92	17	11	12	8	47.1	197	NA
Nicaragua	12 909	5 546	3 663	28	1 270	22.9	4 275	1 013
Panamá	7 569	2 363	1 584	21	665	28.1	2 585	585
Paraguay	39 905	21 589	13 257	33	2 270	10.5	4 830	1 798
Perú	928	114	68	7	77	67.5	23 331	8 281
Puerto Rico	128 922	43 363	30 567	24	4 140	9.5	3 646	122
Surinam	14 429	9 273	6 736	47	68	0.7	418	85
Trinidad y Tobago	514	321	226	44	122	38.0	1 292	119
Uruguay	17 907	14 245	12 522	70	1 304	9.2	3 167	437
Venezuela	92 388	55 092	38 411	42	3 915	7.1	21 378	2 285
<b>Total</b>	<b>2 047 262</b>	<b>1 028 473</b>	<b>743 243</b>	<b>36</b>	<b>143 352</b>	<b>13.9</b>	<b>471 439</b>	<b>108 772</b>

Tomado de: FAO, Land resource potential and constraints at regional and country levels, World Soil Resources Report, 1990



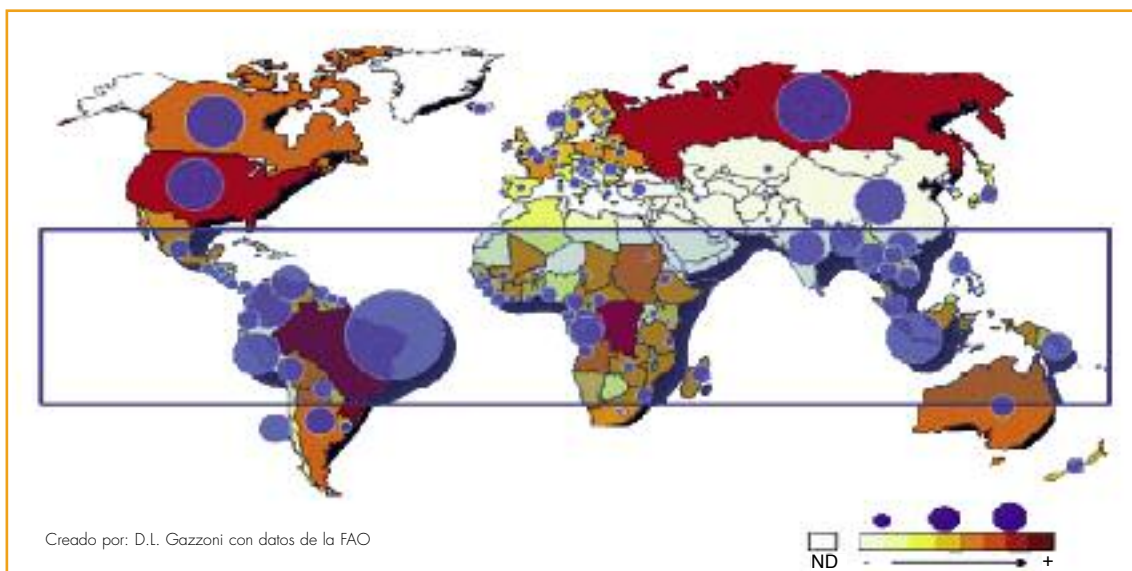


Figura 8. Distribución de tierras arables potenciales y disponibilidad de agua para la producción de biomasa.

del etanol (innovaciones agronómicas e industriales), y en fechas más recientes, también sobre el biodiesel y otros medios de transporte energético.

En suma, la región ha tenido importantes avances en cuanto al establecimiento de un marco de regulación para favorecer la producción de biocombustibles. Varios países, entre ellos Colombia, Guatemala y Argentina, han ido mucho más allá de los primeros pasos. Sin embargo, aún hace falta que los gobiernos y las instituciones de la región coordinen y faciliten actividades de inversión e investigación. Por otro lado, algunas partes de la región aún demandan grandes cantidades de leña y carbón vegetal con fines domésticos e industriales. Además de ser una fuente energética ineficiente y contaminante, estos recursos provienen en su mayor parte de bosques nativos y no siempre cercanos al lugar de consumo, lo que significa altos costos de transporte de la leña o el carbón vegetal.

Así, este proceso destruye un valioso resumidero de  $\text{CO}_2$ . Lo más grave del uso de leña, incluyendo la producción de carbón vegetal, es la deforestación acelerada

de ciertas regiones, lo que causa inmensos daños ambientales y contribuye en gran medida a las emisiones de CO<sub>2</sub> de la región. El uso indiscriminado de esta fuente energética se debe al poco acceso a fuentes de energía modernas.

Algunos problemas ambientales de índole local, como los relacionados con la generación hidroeléctrica o el uso de monocultivos como fuentes de energía, son comunes en la mayoría de los países de la región. Asuntos de índole mundial, particularmente las emisiones resultantes del uso de combustibles fósiles, son comunes a todos los países, de modo que todos deben introducir medidas para reducir esos impactos de alcance mundial.

Leña

Estimar la cantidad de leña que se usa para consumo doméstico no es tarea fácil. Por lo tanto, se acostumbra extrapolar los datos basados en la media de consumo de las

Tabla 5. Número de personas que dependen de la biomasa tradicional para cocinar y calentar sus hogares

	Millones	% de la población mundial
China	706	56
Indonesia	155	74
Resto del Este Asiático	137	37
India	585	58
Resto del Sur Asiático	128	41
América Latina	96	23
Norte de África/Oriente Medio	8	0.05
África Subsahariana	575	89
<b>Total (países en desarrollo)</b>	<b>2 390</b>	<b>52</b>
Tomado de: UNDP Energy Services for the Millennium Development Goals, 2005		

poblaciones que aún utilizan leña. Según la ONU, el promedio de consumo mundial per cápita asciende a 500 kg de biomasa/año. Si se toma en cuenta que ALC tiene 575 millones de habitantes y que alrededor de 23% de esa gente depende de la leña como su principal fuente energética, se estima que en la región se queman anualmente alrededor de 66 M ton de leña con fines de cocción y calefacción (Tabla 5).

### *Biodiesel*

Algunos países, como Argentina, están participando en la producción y uso de biodiesel. En aquel país sudamericano, las leyes exigirán una mezcla obligatoria mínima de 5% de biodiesel en el diesel de petróleo a partir de 2010, lo que representa un mercado de 750 Ml de biodiesel. Sin embargo, este país, que produjo 200 Ml en 2007 e intenta producir 800 Ml en 2008, planea exportar 2 000 Ml de biodiesel de soya en 2010.

El desarrollo de biocombustibles en Argentina recibe grandes incentivos por parte del gobierno. Por ejemplo, mientras que las exportaciones de aceite de soya pagan aranceles de 24.5%, las ventas de biodiesel pagan únicamente 5%, y 2.5% es reembolsable en forma de créditos fiscales. En Brasil, a partir del 1 de julio de 2008, la legislación exige mezclar 3% de biodiesel con el diesel de petróleo, lo que representa una producción de 840 Ml. En 2013, la proporción de la mezcla aumentará a 5%, de modo que serán necesarios más de 2 000 Ml de biodiesel. A partir de 2001, una serie de leyes y reglamentos han establecido el uso obligatorio de mezclas de combustible, la aplicación de normas de regulación y la incentivación de la producción de biocombustibles.

El programa de oxigenación de combustibles de Colombia abarca actualmente 57% del país. Perú estableció su primer marco jurídico para promover los biocombustibles y para poner en marcha un Programa de Promoción de Biocombustible y una Comisión Técnica de Biocombustibles. Chile está empezando a poner atención en el tema de los biocombustibles. Actualmente no hay producción de biocombustibles en este país, y la Ley de Energías Renovables, que fue aprobada en 2003, aún está en espera de la normatividad necesaria para su regulación. Dada su gran

producción de viruta de madera, es muy probable que el mayor potencial de Chile esté en la investigación de biocombustibles celulósicos. Ecuador también ha instituido políticas para promover la diversificación de los combustibles y tiene gran potencial de materia prima en sus industrias productoras de azúcar y aceite de palma.

Se considera que hay una amenaza en la producción de biocombustibles a base de aceites vegetales o grasas de origen animal, debido a que el continuo y pronunciado crecimiento económico mundial ha producido un enorme aumento en la demanda de estos productos para el mercado alimentario. En promedio, los precios del aceite aumentaron de 300 USD en 2001, a 1 400 USD en 2008, de modo que sería demasiado caro producir biodiesel a partir de materias primas nutritivas, según lo indica la fluctuación de los precios de los principales aceites de origen vegetal en el Consejo de Comercio de Chicago (Figura 9).

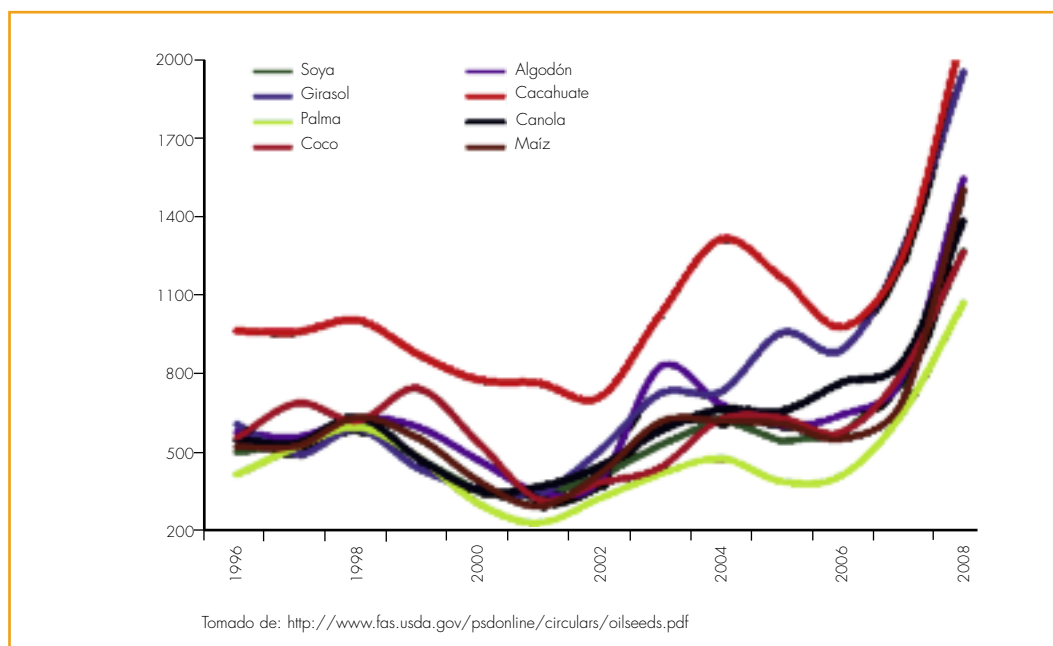


Figura 9. Precios de los aceites de origen vegetal.

Tabla 6. Estimación del uso presente y futuro del suelo en América Latina y El Caribe

Uso del suelo	Alimentos	Productos de ex- portación	Biocom- bustibles	Leña	Total	Aumento	Área potencial	Área potencial corregida
Año	M ha	M ha	M ha	M ha	M ha	M ha	%	%
2005	114	-	2	5.5	122	-	-	-
2010	139	2	4	4.8	150	28	4.9	11.4
2015	149	12	5.7	4.2	172	49	8.4	19.8
2020	156	25	9.5	3.6	194	72	12.3	28.9
2025	162	31	9.7	3.1	207	85	14.4	33.8
2030	171	36	10	2.7	220	98	16.7	39.3
Tomado de: D.L. Gazzoni.								

Por cuanto se refiere al conflicto entre el uso del suelo para producir biocombustibles a partir de biomasa en vez de cultivar otros productos agrícolas, en la Tabla 1 podrá apreciarse que en 2010, apenas 4.9% de la tierra arable potencial declarada por la FAO estaba en uso en los países de ALC. De la superficie cultivada total, sólo 3% estaba dedicado a la producción de biocombustibles. Según las predicciones de un estudio, se estima que 16.7% de las tierras arables estarán sujetas a cultivo en 2030, y alrededor de 10% de las mismas estarán dedicadas a la producción de biocombustibles. Pero aunque las cifras de la FAO no fueran ambiciosas en cuanto se refiere a protección ambiental, cambio climático global y desarrollo urbano, el estudio consideró que a partir de las cifras de la FAO, sólo el 40% del total podría ser convertido en tierras agrícolas. En tal caso, alrededor de 11.4% de la tierra arable potenciales estará sujeta a cultivo en 2010 y, según se estima, la cifra aumentaría a 39.3% en 2030. Con base en este estudio, cabe concluir que no hay razones para suponer que habrá conflictos si la producción de alimentos y otros cultivos en gran demanda se combina con la producción de biocombustibles en ALC.

## RECUADRO II

### ETANOL DE CAÑA DE AZÚCAR EN BRASIL

Luego del periodo de crecimiento inicial de Brasil, impulsado por el programa Pro-Ácool (a 12.5 M m<sup>3</sup>/año en 1984), la producción de etanol se estabilizó hasta 2002, cuando la producción de vehículos con flexibilidad de combustible condujo a un nuevo e intenso periodo de crecimiento (de 12.5 M m<sup>3</sup> en 2002, a ~24 M m<sup>3</sup> en 2008). Los escenarios de demanda interna apuntan a 40 M m<sup>3</sup> en 2020, con exportaciones del orden de 10 a 15 M m<sup>3</sup>.

En 2006, 325 ingenios azucareros procesaron 425 M ton de caña (cultivadas en 6.6 M ha), con un rendimiento total de 26 M ton de azúcar y 15.7 M m<sup>3</sup> de etanol (derivados del 50% de la caña). Brasil ocupa el segundo lugar mundial en producción de etanol y es el principal exportador de azúcar y etanol (2005). El etanol sustituye hasta en 45% los combustibles a base de gasolina que abastecen a una flotilla mundial de 22 millones de vehículos. En 2008, los vehículos con flexibilidad de combustible acaparraron 90% del total de ventas de unidades nuevas.

En 2006, el nivel tecnológico alcanzado en la región Centro-Sur de Brasil significó una zafra promedio de 82.4 ton de caña de azúcar/ha (sin riego), y 35% de ésta fue cosechada mecánicamente. Cada tonelada de caña de azúcar produjo 85 litros de etanol, más 2.1 kWh de energía eléctrica. La emisión neta de gases de invernadero (GHG) asociada con la producción del etanol ascendió a 0.27 ton de equivalente de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de etanol, lo que significó una reducción de más de 80% por sustitución de gasolina. La proporción de energía renovable/energía fósil utilizada para la producción del etanol fue de 9.2.

Gracias a las considerables mejoras logradas a partir de 1975 en la productividad, la eficiencia de conversión y el manejo de la caña de azúcar, Brasil se convirtió en el productor de etanol y azúcar a más bajo costo del mundo. Sin embargo, es probable que en los próximos años se disponga de nueva tecnología para derivar energéticos (combustibles y energía eléctrica) de la biomasa de caña de azúcar (bagazo y desperdicios). La integración total de esa tecnología a las operaciones de los ingenios azucareros podría representar un aumento de 50% en la producción total de energéticos.

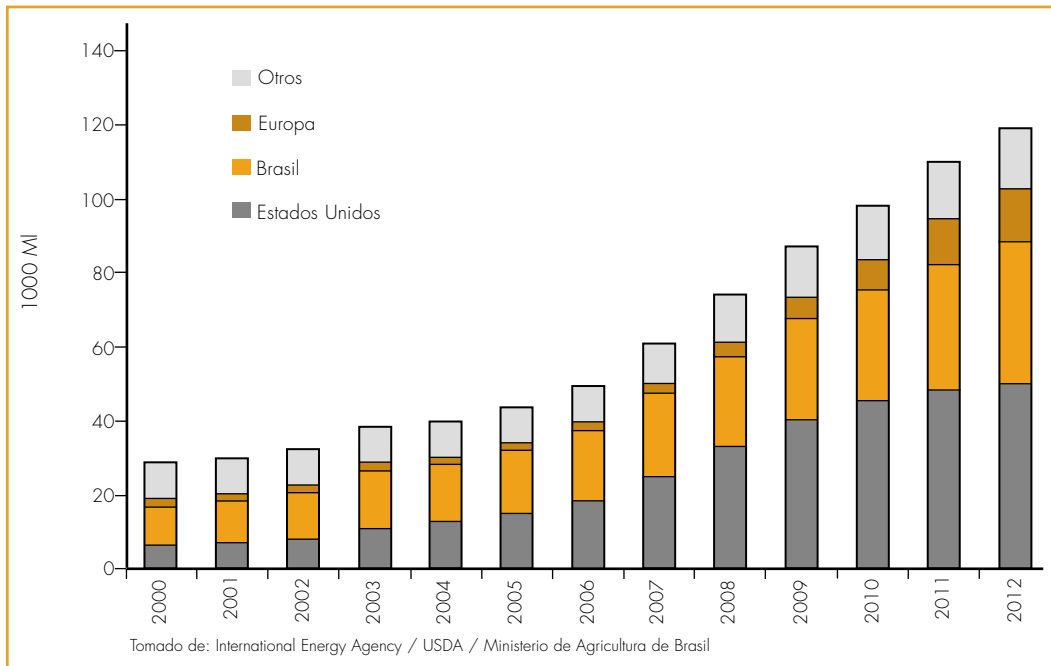


Figura 10. Producción mundial de etanol para mezclas combustibles y otros usos.

## Etanol

La producción y el uso de etanol combustible ha ido en aumento en el mundo entero. En 2006, la producción mundial llegó a 50.4 M m<sup>3</sup>, de los cuales, 36% se produjeron en Estados Unidos (maíz), 34% en Brasil (caña de azúcar), 8% en China (maíz) y 4% en Europa, donde también se usan como materias primas otros cereales y el betabel (Figura 10). Las principales fuerzas impulsoras del uso del etanol a base de biomasa como combustible han sido: la necesidad de reducir las emisiones de GHG procedentes del uso de combustibles fósiles, y los problemas de largo y corto plazo asociados con la disponibilidad y el costo de los combustibles derivados del petróleo. En muchas partes del mundo, las políticas públicas están generando un aumento acelerado de la producción: muchas regiones se han planteado el objetivo de contar

con mezclas E-10 (gasolina mezclada con 10% de etanol) a partir de 2010, y muchas otras proponen (o ya están usando) mezclas con porcentajes más altos. En 2007, la meta de uso de etanol que Estados Unidos se proponía alcanzar en 2015 ya era de 133 000 Ml/año, y la UE tenía planes para sustituir 20% de sus fuentes energéticas principales por fuentes renovables en 2020. En Brasil, se espera que la producción de etanol derivado de la caña de azúcar aumente a 40 M m<sup>3</sup> en 2015.

En todos lados, las políticas públicas son fundamentales para el lanzamiento de programas de biocombustibles. Por ejemplo, el actual programa de etanol brasileño se remonta a 1975, cuando se promulgó un mandato que exigía mezclar todas las gasolinas con 10% de ese alcohol (en realidad, el uso obligatorio de mezclas de etanol y gasolina como combustible automotriz data de 1931). La obligación por parte del gobierno de adquirir una cantidad específica, a un precio basado en una evaluación independiente de los costos de producción, aunada a la asignación de préstamos con intereses muy bajos, estimuló la construcción de plantas productoras de etanol. En los años subsiguientes, se lograron grandes reducciones de costos gracias al considerable aumento en la eficiencia de conversión y la productividad. Por lo tanto, para cuando se cancelaron todos los subsidios (luego de una reducción gradual que se prolongó hasta la década de 1990), la producción de etanol ya era competitiva con la gasolina a precios internacionales.

La perspectiva de las tecnologías de producción de etanol celulósico puede dar impulso a la producción mundial durante la próxima década. Actualmente, las limitaciones tecnológicas que tienen algunas de las materias primas (baja densidad energética y balance energético pobre) indican que, para 2020, la caña de azúcar y otros materiales celulósicos pueden convertirse en las principales fuentes de biomasa para la producción de etanol. Además, el desarrollo del etanol celulósico impulsaría grandemente la producción y la competitividad económica del etanol derivado de la caña de azúcar, pues permitiría el uso eficiente del bagazo y otros desperdicios de este cultivo.

La caña de azúcar se produce en 100 países del mundo, entre los cuales figuran todas las naciones de ALC. La tecnología de producción de caña está generalizada en la región, pues el azúcar es el producto principal en todas partes



Tabla 7. Lista de instituciones que realizan actividades de investigación y desarrollo sobre la caña de azúcar en ALC

País	Institución	Desarrollo de variedades	Métodos agrícolas	Procedimientos industriales
Argentina	Chacra Experimental Santa Rosa	X		
	Estación Experimental Agrindustrial Obispo Colombres	X	X	
Brasil	Red Interuniversitaria para el Desarrollo Sucroalcoholero (RIDESA; la integran 11 universidades federales)	X		
	Instituto Agrônômico de Campinas (IAC)	X	X	
	Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo			X
	Embrapa Tabuleiros Costeiros		X	
	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP; Polo de biocombustíveis)		X	X
	Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP; NIPE)		X	X
	Universidade de São Paulo (USP; CENBIO)		X	X
	Universidade Estadual Paulista (UNESP)		X	X
	Centro de Tecnologia Canavieira (CTC)	X	X	X
	Centro de Absorción y Transferencia de Tecnología), Alagoas		X	X
	Votorantim (Allelyx, Canavialis)	X	X	
	Petrobrás (hidrólisis, procesos termoquímicos)			X
	Oxitenó (química alcoholera)			X
	Braskem (química alcoholera)			X

País	Institución	Desarrollo de variedades	Métodos agrícolas	Procedimientos industriales
Colombia	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA)	X	X	X
Cuba	Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)			X
	Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)			X
	Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA)	X	X	
Ecuador	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE)	X	X	
México	Estación de Hibridación de Tapachula, Chiapas	X		
	Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Caña de Azúcar (CICTCAÑA)		X	X
	Universidades (UNAM, Veracruzana, y otras)			X
Venezuela	Fundación Azucarera para el Desarrollo, la Productividad y la Investigación (Fundacaña)	X	X	
Guatemala	Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA); patrocinado por la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) (A + I)		X	X
	Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Investigaciones, Laboratorio de Ingeniería Bioquímica			X
Costa Rica	Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA); apoya transferencias tecnológicas			
<b>Total</b>	<b>2 047 462</b>	<b>1 028 473</b>	<b>743 243</b>	<b>36</b>

(excepto en Brasil, donde el etanol superó la producción de azúcar en la última temporada de zafra). Todos los países producen algo de etanol a partir de melazas y, en fechas más recientes, también a partir de jugo de caña. El aumento de la producción de alcohol de caña impulsó avances tecnológicos significativos que también beneficiaron la producción azucarera, pues ahora se obtiene un azúcar morena de mayor calidad.

### *Cogeneración eléctrica*

Hoy, la potencialidad más importante de la industria cañera es la existencia de tecnología que permite aprovechar de modo más completo y eficiente la fracción lignocelulósica de la caña de azúcar para producir energía, sea en forma de bioelectricidad o de biocombustibles. Incluso, la puesta en marcha de plantas cogeneradoras de gran escala depende de las políticas gubernamentales, y no sólo en materia de subsidios, sino también la modificación de los marcos jurídicos que rigen al sector eléctrico en la región, para permitir fuentes de energía más distribuidas. En Brasil, se espera que la industria cañera genere entre 10 y 15% de la energía eléctrica del país en 2020, y esta industria podría elevar en 50% su producción de energía/área durante la próxima década, mediante el aprovechamiento de la biomasa residual actual. En algunos casos, la gran variedad de posibilidades reclama grandes esfuerzos de R&D.

### *Potencialidad de producción de energía a partir de la biomasa*

La producción de biomasa con fines energéticos no debe entrar en conflicto con los usos tradicionales de ésta (producción de alimentos, forrajes, fibras, madera y farmacéuticos). Entre las demandas modernas de productos agrícolas destacan: flores, combustibles y materias primas para la industria química. Los energéticos derivados de la biomasa se pueden usar para consumo doméstico o para exportarlos. En ambos casos, son cinco los aspectos fundamentales que ayudarán a establecer la potencialidad y sustentabilidad de la producción de biomasa: (a) disponibilidad de tierra; (b) disponibilidad de agua; (c) clima; (d) restricciones ambientales, y (e) área que utilizan actualmente los cultivos de energéticos.

Aunque la mayoría de los países de ALC poseen otras materias primas (como el sorgo dulce) que son bastante adecuadas y tienen gran potencial, la caña de azúcar es la más eficiente para la producción de energía. La tecnología de producción de caña de azúcar fue importada a la región hace varios siglos; no obstante, en los últimos 40 años ha tenido grandes avances, principalmente en las zonas cañeras de muchos países. En la mayoría de los casos, diversos centros tecnológicos (como institutos y cooperativas) participaron en el programa de desarrollo de variedades de caña de azúcar y otros objetivos de investigación agronómica. La ingeniería agrícola y la mayor parte de la investigación industrial/desarrollo quedaron en manos de los fabricantes de equipos y maquinarias agrícolas. Con contadas y destacadas excepciones, la mayoría de los programas fueron desarrollados por instituciones nacionales. El desarrollo de la producción de etanol en gran escala generó la necesidad de más investigación industrial; no obstante, hasta la fecha sólo un puñado de países han emprendido esta tarea. La Tabla 7 enlista algunos de los centros de tecnología en la región.

#### 4.1.2. Revisión de prioridades

Para la producción de etanol, las prioridades propuestas incluyen:

- Tecnología agronómica: modificación genética de la caña de azúcar; agricultura de precisión, y recuperación y acondicionamiento de desperdicios de caña de azúcar.
- Tecnología industrial: gasificación de biomasa (desperdicio y bagazo de caña) para electricidad o producción de combustibles; e hidrólisis de biomasa para la fermentación de etanol.
- Transferencia tecnológica.

En el caso de otras fuentes de biomasa, es bastante difícil revisar prioridades, porque hay diferentes niveles de desarrollo tecnológico; debido a que es posible obtener biomasa de otras fuentes, como especies forestales, desperdicios agrícolas y

residuos de origen animal; y la necesidad de identificar nuevas especies con atributos especiales para la producción de energía. La mejora tecnológica de especies de plantas se ha efectuado desde el punto de vista de la industria alimentaria, mas no desde la perspectiva de la producción de energía . En un panorama general, la prioridad en la producción de biomasa vegetal ha abarcado el desarrollo de variedades para mejorar el rendimiento y la resistencia a las plagas, la nutrición vegetal; el control de plagas; y los procedimientos de cosecha.

Las instituciones de R&D son principalmente institutos de investigación agronómica (denominados generalmente Institutos Nacionales de Investigación Agrícola, INIA) y universidades.

#### 4.1.3. Áreas de investigación específicas

##### *Biomasa general*

##### I. Productividad de biomasa

###### i. Biología de la planta

*Prospección de nuevas especies:* comprende la identificación de nuevas plantas con producción excepcional de energía por unidad de área; identificación de algas con cualidades apropiadas para la producción de energía.

*Fisiología de la planta:* comprende la identificación de las vías de fotosíntesis y modos de optimizar la captura de energía solar; vías metabólicas de lignina y celulosa; vías metabólicas para la resistencia de las plantas a los estreses bióticos y abióticos.

*Biología molecular y crianza:* comprende el establecer, caracterizar y mantener bancos de ADN de la planta; identificar los genes vegetales asociados a la resistencia o tolerancia a los estreses bióticos o abióticos principales, y mejorar la

absorción y el aprovechamiento de los nutrientes del suelo; identificar los genes de codificación de sustancias químicas de importancia social y económica; introducción de caracteres genéticos deseables dentro de las plantas cultivadas.

*Balance de energía y flujo de carbono:* comprende la optimización de las entradas y salidas de energía de diversas plantas específicas; identificación de métodos para alterar los flujos de carbono hacia compuestos más ricos en energía, como los lípidos; establecer el flujo de carbono y las emisiones de GHG de diferentes materias primas agroenergéticas.

## ii. Métodos agronómicos

*Nutrición vegetal:* comprende un mejor entendimiento de las asociaciones simbióticas planta-bacteria para la fijación del nitrógeno atmosférico, y de los nuevos microorganismos capaces de asociarse con plantas no leguminosas; investigación de asociaciones planta-microorganismo con capacidades de promoción del crecimiento; un entendimiento profundo de las vías bioquímicas de las fitohormonas, e identificación de las sustancias que actúan como bioactivadores hormonales; desarrollo de estudios sobre las interacciones planta-suelo-agua.

*Impacto ambiental:* comprende la validación del impacto del carbono del suelo sobre la eliminación de los residuos agrícolas; identificación de los posibles impactos ambientales de la agricultura intensiva.

*Mejora de los métodos agrícolas sustentables:* comprende el establecimiento de métodos agronómicos óptimos para la producción agrícola sustentable, lo que incluyendo el retiro de residuos existentes; desarrollo de estudios sobre las relaciones planta-plaga-depredador y el control biológico de plagas; desarrollo de estudios sobre el ciclo de vida y el balance de energía de la biomasa utilizada como materia prima, con el fin de reducir el consumo energético de

los sistemas; identificación de los suelos y las regiones más adecuados para la producción de cultivos ricos en energía; y uso intensivo de compostas producidas por lodos filtrados en cono y exprimidos.

*Agrosilvicultura*: comprende el desarrollo de estudios básicos sobre parámetros silvícolas (espaciamiento, fertilización, rotación de rodales, tasa de crecimiento, fotosíntesis neta, etcétera); desarrollo de tecnologías que permitan plantar y manejar bosques de energía en terrenos inadecuados para la agricultura o en áreas degradadas; identificación de los requisitos necesarios para establecer proyectos agrosilvícolas en pequeña escala.

*Agricultura de precisión*: uso de tecnología e imágenes satelitales en la producción de caña de azúcar.

*Recuperación de desperdicios de caña de azúcar*: integración de la recuperación de desperdicios con la cosecha; acondicionamiento de desperdicios.

## II. Procesamiento de biomasa para convertirla en medios transportador de energía

*Biomasa para fines de cocción y calefacción doméstica*: comprende la optimización de las estufas de biomasa; mitigando o eliminando el impacto ambiental y de salud resultantes de la combustión de leña dentro de las viviendas; estudios encaminados a estabilizar los ciclos de demanda de leña; producción y aprovechamiento sustentable de leña.

*Biocombustibles para motores de ciclo diesel*: comprende el mejoramiento de los procesos existentes o el desarrollo de nuevos procesos para sustituir los aceites vegetales o las grasas de origen animal como materias primas para la producción de biodiesel; adaptación de motores diesel para que funcionen con bioetanol; promoción de estudios sobre los catalizadores y reactivos que se usan

en procesos industriales; mejora de los métodos de extracción de aceites vegetales especialmente adaptados para plantas industriales chicas y medianas. Sin embargo, es imposible que el biodiesel derivado de aceites vegetales ordinarios, semillas oleaginosas o grasas de origen animal satisfaga las necesidades reales, pues apenas basta para cubrir una pequeña fracción de la demanda de combustibles actual. Además, se requieren grandes y costosas extensiones de tierra para producir cultivos oleaginosos suficientes o para compensar el costo de alimentar animales cuyas grasas sean utilizables como materias primas. Por lo tanto, se puede recurrir al uso de microorganismos oleaginosos para sustituir los aceites ordinarios en la producción de biodiesel. La mayoría de los microorganismos oleaginosos como las microalgas, bacilos, hongos y levaduras, son adecuados para la producción de biodiesel. Sin embargo, antes será necesario entender y transformar en procesos innovadores los mecanismos que regulan la acumulación de aceites en los microorganismos, así como los métodos necesarios para lograr que el diesel microbiano pueda competir económicamente con el petrodiesel.

*Biomasa para producir calor y electricidad:* comprende investigación y desarrollo confiable dirigidas a sistemas óptimos de gasificación con flexibilidad de combustible, energéticamente eficientes y de bajo costo; creación de tecnologías para recuperar productos gaseosos condensables durante el proceso de carbonización de la madera; optimización de los usos energéticos del licor negro; promoción de estudios sobre la calidad del carbón que se utiliza en los altos hornos, pero con énfasis en la penalización de carbono; establecimiento de protocolos, normas de certificación y estándares técnicos para tecnologías asociadas con el suministro y uso de energéticos derivados de la biomasa forestal.

*Hidrólisis y fermentación de biomasa de caña de azúcar para convertirla en etanol y otros medios de transporte energético:* se necesitan tecnologías de conversión avanzadas para producir etanol y sus derivados a partir de una



amplia gama de recursos, incluyendo la biomasa ligno-celulósica. Esto abarca una variedad de biomasa ligno-celulósica residual procedente de la industria agrícola, silvícola, maderera y papelera (p. ej., paja, olotes de maíz y bagazo de caña de azúcar). Es posible convertir la celulosa y la semicelulosa en alcohol transformándolas primero en azúcares; sin embargo, aún hace falta poner a prueba el proceso a escala industrial. Aunque no es posible convertir directamente la lignina mediante esos procesos bioquímicos, sí es factible hacerlo por medio de un paso termoquímico. Hoy, la producción comercial de etanol y sus derivados a partir de biomasa celulósica es mínima, pero se está haciendo R&D sobre este tema en Canadá, Estados Unidos y Europa.

*Transformación directa de azúcar en combustible:* se están llevando a cabo investigaciones para de lograr que las levaduras productoras de etanol comunes generen, por sacarólisis, hidrocarburos de cadena lineal con propiedades combustibles similares a las del diesel.

*Biogás:* comprende el desarrollo de sistemas domésticos modernos de alta tasa de biometanación, capaces de utilizar diversas materias primas; desarrollo y evaluación de la cinética de la digestión anaeróbica en diferentes modelos y sistemas biodigestores, para el tratamiento final de desecho de los biodigestores; evaluación de las características cuantitativas y cualitativas del biogás, como una función de la estacionalidad climática y del tipo de sistema de producción animal; desarrollo de equipos para el aprovechamiento del biogás como combustible de calefacción en granjas porcícolas y avícolas; desarrollo de equipos para comprimir y transportar biogás a baja presión; evaluación de biofertilizantes derivados de los residuos de biodigestores; adaptación de motores diesel y Otto para que funcionen con biogás. También, el uso de procesos innovadores, como catolitos aireados y de ferrocianuro en la producción de bioelectricidad, vía una pila de combustible microbiano (MFC, por sus siglas en inglés) dividida en cámaras (ánodo sin mediador; electrodos de grafito) y mediante el empleo de consorcios



Figura 11. Mapa de radiación solar anual en ALC (kWh/m<sup>2</sup>/día).

microbianos mixtos productores de hidrógeno selectivamente enriquecidos como inóculo anódico, que tienen un enorme potencial.

*Biorrefinerías:* comprende la identificación de compuestos químicos presentes en la biomasa que sean de interés para la industria química; identificación de sustancias químicas que se extraen actualmente de recursos fósiles, pero que pueden derivarse de la biomasa; identificación de rutas químicas para expandir la química petrolera y alcoholera; desarrollo de usos innovadoras para el glicerol que se produce en las plantas de biodiesel, y para los residuos o co-productos resultantes de la producción de energía de labiomasa; desarrollo de nuevos usos nutritivos de los residuos de los residuos resultantes de la producción de energía a base de biomasa.

## 4.2. ENERGÍA SOLAR

### 4.2.1. Estado actual, potencial y escenarios prospectivos

La energía solar se puede usar directamente para calentar, enfriar o iluminar viviendas y edificios, así como para el abasto doméstico de agua caliente, en cumplimiento de todos los requisitos térmicos e higiénicos básicos, para los ricos y pobres de los países desarrollados o en desarrollo. Además, la energía radiante del sol puede generar directamente agua y vapor a muy altas temperatura para procesos industriales, así como calentar fluidos por concentración, a temperaturas suficientemente elevadas como para producir energía eléctrica mediante generadores termoeléctricos, impulsar directamente motores térmicos, o generar electricidad por efecto fotovoltaico.

La energía radiante del sol se puede utilizar directamente para mejorar la seguridad pública; para llevar iluminación y refrigeración de alimentos y/o medicinas a los 2 000 millones de personas que aún carecen de electricidad en el mundo; para suministrar medios de comunicación a todas las regiones remotas de ALC; y para generar energía eléctrica “limpia” mediante sistemas fotovoltaicos conectados a las redes

eléctricas. También se puede usar para producir agua dulce a partir de agua de mar, para bombear agua y energizar sistemas de riego, y para purificar aguas contaminadas, lo que quizá permita atender las necesidades de agua limpia más apremiantes del mundo, tanto para consumo humano como para riego de cultivos. Se puede emplear incluso para cocinar en estufas solares, sustituyendo así la interminable tarea de recolección de leña, que recae principalmente en los hombros de las mujeres, deforesta ecosistemas y contamina el aire de los hogares de escasos recursos.

Esta amplia variedad de posibilidades es lo que hace de la energía solar una opción tan atractiva, pues tiene muchas aplicaciones potenciales de relevancia crítica en todas las culturas, regiones, economías y conglomerados humanos del mundo, pero particularmente en los países de ALC. La región es muy rica en recursos solares. En la mayor parte del territorio, la radiación solar media supera los 4 kWh/m<sup>2</sup>/día. Pero existen áreas especiales cuyos índices de radiación solar son aún más altos, como el noroeste de México, con valores de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, así como Honduras y algunas partes de Cuba, República Dominicana, Perú, Bolivia y Brasil, donde los índices de radiación solar son de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día o más. Los mayores índices de radiación solar del mundo se encuentran en África del Norte y Australia, con cifras cercanas a 7 kWh/m<sup>2</sup>/día. La radiación solar es la fuente de energía renovable con mayor potencial en los países de ALC. Por lo tanto, la región en general se considera especialmente adecuada para el uso de tecnologías de energía solar (Figura 11).

No obstante, a pesar de la abundancia de recursos solares y sus aplicaciones potenciales, el uso de tecnologías energéticas solares ha sido muy limitado en ALC, donde se ha restringido principalmente a la calefacción de agua y a la generación fotovoltaica. Por ejemplo, en México, algunas empresas locales producen colectores solares planos para calefacción de agua destinados al mercado local, mientras que otras los importan, generalmente de China, para su distribución en el país. El área total de colectores solares planos instalados en México se aproximó a 840 000 m<sup>2</sup> en 2006, pero esta cifra es pequeña en comparación con la capacidad instalada de países como Turquía o Israel. El resto de las naciones de la región carecen de datos sobre el área total de colectores solares planos instalados, pero se supone que la cifra es muy baja.

Con respecto al uso de sistemas fotovoltaicos (*photovoltaic systems*, PVS) en los países de ALC, se han puesto en marcha varios programas nacionales e internacionales de instalación de PVS con fines de iluminación y bombeo de agua en comunidades pequeñas. Una de tales iniciativas fue el programa mexicano de energía renovable, llevado a cabo por Sandia National Laboratories y patrocinado por el US Department of Energy y la US Agency for International Development. Este programa ha sido un modelo de éxito para la instalación de sistemas de bombeo y generación eléctrica basados en fuentes de energía renovable; por lo mismo, ha sido reproducido en otros países de América Latina. Gracias a este programa, se instalaron más de 200 sistemas de bombeo de agua en comunidades rurales y se dio capacitación profesional a más de 30 ingenieros locales, quienes se volvieron expertos en energía renovable.

Según se estima, en México se instalaron 17 633 kWe de PVS en 2006. Además, se ha dado capacitación a docenas de profesionales mexicanos de los sectores público y privado. Actualmente, México cuenta con un programa nacional para el uso productivo de PVS en zonas rurales, mismo que es financiado por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), una institución financiera federal. Existen pocos ejemplos de tales programas en el resto de ALC.

Aunque se han impulsado otras aplicaciones aisladas en la región (como deshidratación de alimentos, refrigeración solar de alimentos o vacunas, y destilación solar de licores) no ha habido intentos de reproducirlas y se dispone de poca información.

Los escenarios prospectivos para el uso de energía solar en ALC son optimistas. Debido a la instauración de políticas adecuadas para promover el uso de tecnologías energéticas renovables, se espera un crecimiento considerable de los mercados de energía renovable (ER) en el corto plazo (cinco años). Posteriormente, en el largo plazo (de 10 a 15 años) (a medida que los grupos de investigación se fortalezcan, que surjan y crezcan empresas nacionales e internacionales, y que se desarrollen tecnologías energéticas renovables en ALC) el uso de la ER se volverá masivo y abarcará al menos 20% del consumo energético principal.

#### 4.2.2. Revisión de prioridades

El desarrollo de dispositivos termosolares es de suma importancia para ALC. Tales dispositivos se pueden usar para calentar agua con fines domésticos, lo que ahorra grandes cantidades de gas natural; producir agua caliente o vapor para procesos industriales, y calentar líquidos por concentración para producir electricidad en generadores termoeléctricos. Además, se pueden usar con relativa facilidad en caseríos, e incluso en ciudades medianas y grandes, para obtener agua dulce del mar, eliminar la toxicidad de aguas contaminadas para consumo humano y producción agrícola, cocinar en estufas solares, e impulsar bombas de agua y sistemas de riego. La mayoría de estas tecnologías pueden ser desarrolladas y fabricadas en la región. Por lo tanto, se debe apoyar a la naciente industria dedicada a fabricar este tipo de dispositivos solares mediante varias acciones entre ellas resolver los problemas políticos que impiden el crecimiento del mercado, así como dar apoyo específico al desarrollo científico y tecnológico para promover la innovación en este sector.

El desarrollo de celdas fotovoltaicas es igualmente importante, pues la energía solar tiene el máximo potencial de generación eléctrica en la región. Una propiedad importante de la energía fotovoltaica, sobre todo en nuestra región, con su intensidad de radiación solar por arriba del promedio, es que permite generar la electricidad justo donde se necesita. La investigación encaminada a optimizar el aprovechamiento de ese potencial es crucial. También es fundamental evitar la necesidad de importar tecnología de los países desarrollados para transformar la energía solar en energía eléctrica, pues de esa manera se multiplicará la capacidad de la región para satisfacer sus necesidades energéticas en forma independiente. Por otro lado, dado el diseño modular, la facilidad de instalación y la sencillez de mantenimiento de los PVS, estos son ideales para electrificar comunidades remotas que están fuera de las redes eléctricas. En este sentido, los PVS podrían cumplir un papel muy relevante al llevar educación, cultura y hasta mejores condiciones de salud a tales comunidades.

Existe la necesidad urgente de capacitar personal y construir centros de investigación que permitan alcanzar las metas de desarrollo y producción de PVS. Las apli-

caciones actuales de los PVS en la región se basan en el uso de paneles PV importados (con excepción de Cuba, que los produce con celdas solares importadas). Varias universidades de México, Brasil, Cuba y Argentina están investigando sobre celdas solares. En todos los casos, son grupos pequeños de investigación que contribuyen con sus publicaciones al avance del conocimiento universal, pero no están vinculados con la industria.

A pesar de que el uso de la energía solar ha sido mínimo en ALC, hace tres décadas que varios grupos de investigación, principalmente los de las universidades, han estado realizando investigaciones científicas y tecnológicas sobre varios temas afines a la energía solar como: tecnología colectora solar, almacenamiento de energía térmica y química, generación eléctrica fotovoltaica, calentamiento de agua solar, calefacción y enfriamiento solar pasivo de interiores, integración de colectores solares a edificios, sistemas solares de producción de vapor, deshidratación de alimentos, desalinización de agua, trazo de mapas de radiación solar y otros recursos energéticos, y modelos de radiación solar.

A continuación presentamos las principales instituciones de algunos países de ALC que han hecho investigación sobre energía solar.

En México, las mayores instituciones que cuentan con grupos dedicados al estudio de la energía solar son:

- Centro de Investigación en Energía (CIE), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Esta es la única institución mexicana dedicada a la investigación de energías renovables, pero en particular en la energía solar. Sus científicos han trabajado en sistemas de refrigeración solar, bombas térmicas para calefacción y enfriamiento solar, deshidratación solar de productos agrícolas, concentración solar en bajas y altas concentraciones, desalinización de agua de mar, calefacción y enfriamiento solar pasivo de interiores, eliminación solar de toxicidad, cocción solar, electricidad termosolar, generación eléctrica fotovoltaica, almacenamiento de energía, baterías, producción y almacenamiento de hidrógeno, pilas de combustible, tecnología de películas delgadas, y estudios de planeación energética.

- Instituto de Ingeniería (II), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Este pequeño grupo de investigación ha trabajado principalmente en el área de sistemas termosolares: estanques solares, tecnología de colectores cilindro-parabólicos, generación directa de vapor, espejos de primera superficie, desalinización de agua de mar, calefacción y enfriamiento solar pasivo de interiores, estudios de planeación energética, y evaluación de recursos.
- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV – IPN). Estos investigadores han trabajado principalmente sobre materiales fotovoltaicos, desarrollo de celdas y paneles solares, y sistemas solares fotovoltaicos y sus aplicaciones.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). Investiga sistemas solares fotovoltaicos, estanques solares y en fechas más recientes, tecnología de hidrógeno y concentración de energía solar, como colectores cilindro-parabólicos y sistemas de discos Stirling.
- Asociación Nacional de Energía Solar, AC (ANES; también se le conoce como ISES–México). Durante el congreso anual de esta asociación, que fue fundada hace 28 años, los investigadores solares tienen oportunidad de conocer e intercambiar información técnica sobre todos los temas afines a las energías renovables. Eso ha catalizado la investigación solar en México.

En Argentina, las mayores instituciones que cuentan con grupos dedicados al estudio de la energía solar son:

- Instituto de Investigación en Energías no Convencionales (INENCO), Universidad Nacional de Salta (UNSA). Este es el centro de investigación sobre energía solar más activo de Argentina. Ha trabajado sobre evaluación de recursos, deshidratación solar de productos agrícolas, invernaderos, producción de agua potable, calefacción de agua con fines domésticos e industriales, colectores solares planos, estanques solares, estufas solares, arquitectura solar, iluminación diurna y enfriamiento pasivo.



- Grupo de energía solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Ha trabajado en las áreas de superficie selectiva, colectores concentradores, y celdas y sistemas fotovoltaicos.
- Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV), Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT). Aquí se ha trabajado en el área de estufas solares, arquitectura solar, ecodiseño, iluminación diurna, y enfriamiento pasivo.
- Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES; también se le conoce como ISES – Argentina). Esta asociación, que también fue fundada hace 28 años, celebra congresos anuales que tienen lugar en las localidades que cuentan con grupos de investigación que trabajan en formas de energía renovable. Eso ha sido un catalizador para la investigación solar en Argentina.

En Brasil, las principales instituciones que cuentan con grupos dedicados al estudio de la energía solar son:

- Laboratorio de energía solar, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Este grupo ha trabajado en el área de evaluación de recursos, sistemas de refrigeración, calefacción y enfriamiento solar pasivo de interiores, generación eléctrica solar fotovoltaica, y eficiencia energética de edificios.
- Laboratorio de energía solar, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Este pequeño grupo está trabajando en colectores solares de mediana temperatura, desalinización de agua de mar, radiación en materiales semitransparentes, caracterización térmica de materiales, y deshidratación solar.

En Colombia, la principal institución con grupos investigando en energía solar es la Universidad Nacional de Colombia. Han trabajado en el área de evaluación de recursos, colectores solares de baja y mediana temperatura, estufas solares, sistemas de refrigeración, y pilas de combustible.

En Cuba, las principales instituciones que cuentan con grupos dedicados al estudio de la energía solar son:

- Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) y la Facultad de Física, ambos adscritos a la Universidad de La Habana (UH). Han trabajado en tecnología de películas delgadas (PLD, CSS y baño químico) y en dispositivos semiconductores para celdas solares (silicio, celdas solares sensibilizadas con colorantes, celdas solares nano-cristalinas).
- Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES). Han trabajado en sistemas termosolares (calefacción de agua, aplicaciones de deshidratación solar, etc.), aplicaciones de PVS y proyectos demostrativos.
- Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Instituto Politécnico Superior "José Antonio Echevarría" en La Habana. Aquí se trabaja en sistemas termosolares y aplicaciones fotovoltaicas.
- Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Se dedica a investigar sobre sistemas termosolares para calefacción de agua, aire acondicionado y eliminación de toxicidad de aguas contaminadas.

En México, como en Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, Guatemala y otros países de ALC, unos cuantos investigadores procedentes de diversas instituciones investigan sobre energía solar, sea de modo independiente o en pequeños grupos, pero todos con presupuestos muy reducidos. Las actividades de R&D comenzaron en la región a principios de la década de 1970; durante los años subsiguientes cobraron interés y eso se vio reflejado en un flujo constante de apoyo financiero específico por parte de los gobiernos. Posteriormente, luego de un periodo de muy escasa actividad que se prolongó desde fines de la década de 1980 hasta principios de la de 1990, empezó a haber un renovado interés en este campo.

Al parecer, el origen del financiamiento actual de la investigación se desplazó hacia las universidades nacionales y fondos nacionales no-específicos. El sector privado, quizá debido a su mayor consciencia ambiental pública, así como a la obligación de presentar estudios de impacto ambiental cuando solicita préstamos internacionales para proyectos de desarrollo, al recrudescimiento de la competencia mundial y el conocimiento del

agotamiento de los combustibles fósiles, está mostrando un interés cada vez mayor en este tipo de iniciativas. En este sentido, cabe decir que vamos a un periodo de transición.

#### 4.2.3. Áreas de investigación específicas

##### *Evaluación de recursos*

- Proporcionar estandarización y homologación de los conjuntos de datos internacionales sobre recursos solares de ALC, con el fin de asegurar que dicha información sea comparable y reconocida en el ámbito mundial.
- Proporcionar mejora en la confiabilidad, disponibilidad y accesibilidad de datos, en formatos que satisfagan necesidades específicas del usuario.
- Desarrollar métodos para mejorar la calidad de la cobertura espacial y temporal, con productos del recurso solar diseñados de modo específico, incluyendo pronósticos de radiación solar confiables.

##### *Calefacción solar pasiva e iluminación diurna de edificios*

- Nuevos límites de diseño para los edificios.
- Nuevas metodologías de construcción.
- Integración de nuevas tecnologías de componentes de cercado integrado al diseño de edificios (uso de nuevos materiales no contaminantes y reciclables, cristales de alta tecnología, etc.)
- Desarrollo de normas que regulen la calidad energética y los grados de emisión de los edificios.

##### *Uso de sistemas termosolares para calefacción y enfriamiento*

- Desarrollo de nuevos componentes para reducir los costos de los colectores cilindro-parabólicos y aumentar su competitividad comercial.
- Desarrollo de tubos de absorción de bajo costo.

- Desarrollo de nuevos recubrimientos para aplicaciones en sistemas de concentración solar.
- Desarrollo de estructuras más ligeras y fáciles de instalar en el campo.
- Manufactura de concentradores con materiales innovadores.
- Caracterización de componentes en condiciones reales, mediante el uso de instalaciones experimentales específicas.
- Evaluación de tubos de absorción en cámaras de vacío.
- Evaluación de nuevos sistemas de espejos y seguimiento solar en condiciones reales, mediante el uso de instalaciones experimentales específicas.
- Desarrollo de aplicaciones y procesos industriales con buen potencial para aprovechar la energía solar a temperaturas de entre 125 y 450 °C (generación eléctrica, calentamiento para procesos y aire acondicionado industrial).
- Desarrollo de normas para evaluar la eficiencia energética de componentes y sistemas.
- Desarrollo de programas de cómputo para diseñar y simular sistemas termosolares.

### *Generación eléctrica solar térmica*

- Desarrollo de componentes innovadores y económicos para colectores solares, sistemas térmicos y plantas de generación eléctrica, y de tecnologías competitivas para aplicaciones de energía solar de entre 250 y 1 500 °C.
- Desarrollo de plantas generadoras termosolares de gran escala, con capacidad solar equivalente mínima de 10 MWe.

### *Generación eléctrica fotovoltaica solar*

- Desarrollo de celdas, módulos y sistemas solares innovadores que aceleren la tendencia actual hacia la reducción de costos.
- Reducción del grosor físico y los costos de producción así como el incremento de la eficiencia de las celdas de silicio cristalino.

- Reducción de los costos de producción y aumento del área superficial de los dispositivos de película delgada y heterounión.
- Desarrollo de nuevos dispositivos, como celdas orgánicas, celdas de polímeros y celdas de concentración solar con niveles III y IV.
- Diseño de nuevos PVS integrales, de bajo costo, más fáciles de instalar y con mayor durabilidad (25 a 30 años).

### 4.3. ENERGÍA EÓLICA

#### 4.3.1. Estado actual, el potencial y los posibles escenarios

La energía eólica comercial moderna nació a principios de la década de 1980, luego de la crisis petrolera de la década de 1970, cuando los problemas de seguridad y diversificación de las fuentes energéticas, y en menor medida, las inquietudes asociadas con la sustentabilidad a largo plazo, despertaron el interés en fuentes de energía renovables. Si bien a partir de la década de 1980 la consolidación del diseño ha sido significativa, el surgimiento de nuevos tipos de generadores eólicos también ha significado mayor diversificación. Aunque los avances y mejoras realizados a partir de la comercialización inicial de tecnología eólica a principios de la década de 1980 han sido muchos, la arquitectura básica de diseño más ampliamente aceptado ha tenido pocos cambios. La mayoría de las turbinas eólicas (WT, por sus siglas en inglés) tienen rotores a barlovento y viran activamente para mantenerse alineadas con la dirección del viento predominante. El rotor de tres aspas que proliferó por todas partes, tiene un cojinete delantero independiente y una flecha de baja velocidad conectada a una caja de transmisión, la cual suministra velocidades de salida adecuadas para un generador de cuatro polos. Por lo común, en las WT de mayor tamaño, el ángulo de paso del perfil aerodinámico de las aspas es ajustado activa y continuamente para regular la potencia durante velocidades del viento más altas.

Al parecer, existe consenso en que la regulación del ángulo de paso será una característica común de las futuras WT de grandes dimensiones.

La gran mayoría de las aspas de las WT son de materiales compuestos de fibra de vidrio y poliéster o de fibra de vidrio y resinas epóxicas. Aunque algunas partes del proceso de manufactura han sido automatizadas, sus procedimientos de mano de obra intensiva se remontan a sus orígenes en la industria constructora de lanchas. En general, las estructuras de soporte son torres de acero tubular con disminución en el diámetro y el espesor de las paredes en la parte superior. Aunque también se usan torres de concreto, bases de concreto con secciones superiores de acero y torres de celosía de acero estructural, éstas son mucho menos comunes. La altura de la torre tiende a ser específica para cada sitio, pero en general, las WT se diseñan con torres de tres o más alturas optativas.

Si se tienen en cuenta los tamaños de las 10, el incremento en el coeficiente entre el diámetro del rotor y la capacidad de las turbinas más recientes ha seguido una tendencia constante. Este parámetro es importante porque la altura de las turbinas aumenta proporcionalmente con el diámetro. Existe una relación entre el diámetro y la capacidad como las fuerzas cortantes del viento, que se incrementan con la altura. En el tren de motriz, el rotor se une a una flecha principal y ésta impulsa, a su vez, al generador por medio de la caja de transmisión. La estructura básica de esta caja de transmisión ha tenido mejoras significativas, con una clara tendencia hacia los generadores de transmisión directa. En estos nuevos diseños, la caja de transmisión desaparece y el rotor aerodinámico impulsa directamente el generador. También han surgido modelos híbridos equipados con caja de transmisión de una sola velocidad y un generador de polos múltiples.

Los sistemas de transmisión directa, que evitan el costo y mantenimiento de una caja de transmisión, son de creciente interés. Históricamente, las cajas de transmisión han dado muchos problemas; de ahí que su reemplazo por sistemas de transmisión directa se estime conveniente. No obstante, existe la posibilidad de que las dificultades mecánicas sean sustituidas simplemente por problemas eléctricos. Aún no se tiene claro cuál de esas configuraciones sea óptima. El esfuerzo por reducir los costos y optimizar la confiabilidad de los sistemas es persistente; en última instancia, el objetivo es abatir al mínimo el costo de la electricidad eólica.

La operación a velocidades variables ofrece la posibilidad de aumentar la “compatibilidad con las redes”, reducir la carga y lograr ciertas ventajas energéticas menores. Obviamente, esta es una opción atractiva. Entre los 52 modelos de WT con capacidades superiores a 1 MW (producidos por 20 fabricantes distintos) que fueron evaluados, sólo tres tenían velocidades fijas, 12 presentaban sistemas de dos velocidades, y 37 fueron de velocidad variable. Esto demuestra que, en el caso de las WT cuya capacidad se encuentre en el orden de MW, el tener cierta flexibilidad de velocidad es prácticamente obligatorio y la alternativa que predomina es la velocidad continuamente variable.

El desarrollo de las WT ha sido una historia de éxito excepcional, pero inconclusa. La industria eólica ha llegado a una etapa en la que algunas personas podrían considerarla como una tecnología madura, capaz de mantenerse comercialmente en pie por cuenta propia. Si bien es cierto que llegar a ese estado es un logro estupendo, también es importante reconocer que el potencial de crecimiento es considerable y que éste puede alcanzarse mediante un esfuerzo de R&D continuo y enérgico. En este sentido, las principales fuerzas impulsoras del diseño son: reducción de costos y aumento de la confiabilidad.

#### 4.3.2. Escenarios actuales y futuros

La industria energética eólica creció a una impresionante tasa anual cercana a 30% durante la última década, y los expertos predicen que el final de este auge aún no asoma en el horizonte. Aunque buena parte del desarrollo ha tenido lugar en Europa, existen otros mercados, en especial los de Asia y América del Norte, que están creciendo a ritmo acelerado. El éxito y la enorme proliferación mundial de la energía eólica han significado presiones sin precedentes para los fabricantes de componentes de WT (como torres, aspas de rotores, cajas de transmisión, cojinetes, generadores, etc.) y la industria está luchando por mantenerse al mismo ritmo que la demanda. Por el momento, los desarrolladores de parques eólicos tienen que aguardar hasta 12 meses la llegada de las turbinas y, de continuar la tendencia actual, el tiempo de espera pudiera elevarse entre 18 y 24 meses.

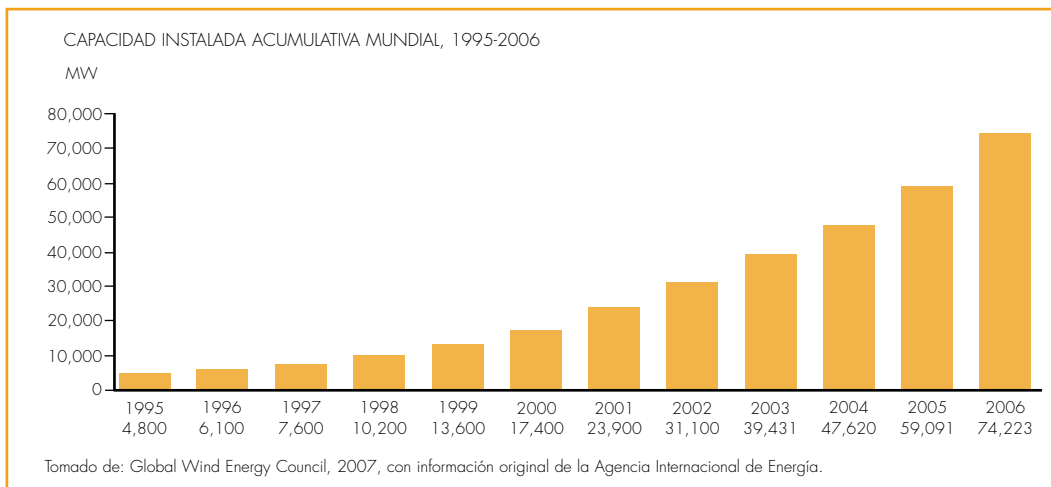


Figura 12. Capacidad instalada acumulativa mundial de la energía eólica.

En 2006, el floreciente mercado mundial de la energía eólica superó todas las expectativas y el sector tuvo otro año récord con la instalación de 15 197 MW. Eso elevó la capacidad instalada total de la energía eólica a 74 223 MW, en comparación con los 59 091 MW instalados en 2005 (Figura 12).

Pese a las limitaciones que han enfrentado las cadenas de suministro de turbinas, el mercado anual de la energía eólica continuó creciendo al pasmoso ritmo de 32%, ligeramente menor que el del año récord 2005, cuya tasa de crecimiento llegó a 41%. Tal grado de desarrollo indica que la industria energética eólica mundial está respondiendo con rapidez y de manera adecuada al reto que le presenta la producción, y que ha logrado mantenerse a la par de ese crecimiento sostenido. Desde el punto de vista económico, el sector energético eólico se ha establecido firmemente como uno de los principales actores del mercado energético, pues el valor total de los equipos de generación eléctrica recién instalados ascendió a 23 000 millones USD (18 000 millones EUR) en 2006.

Los países con mayor capacidad instalada total son: Alemania (20 622 MW), España (11 615 MW), Estados Unidos (11 603 MW), India (6 270 MW) y Dinamarca



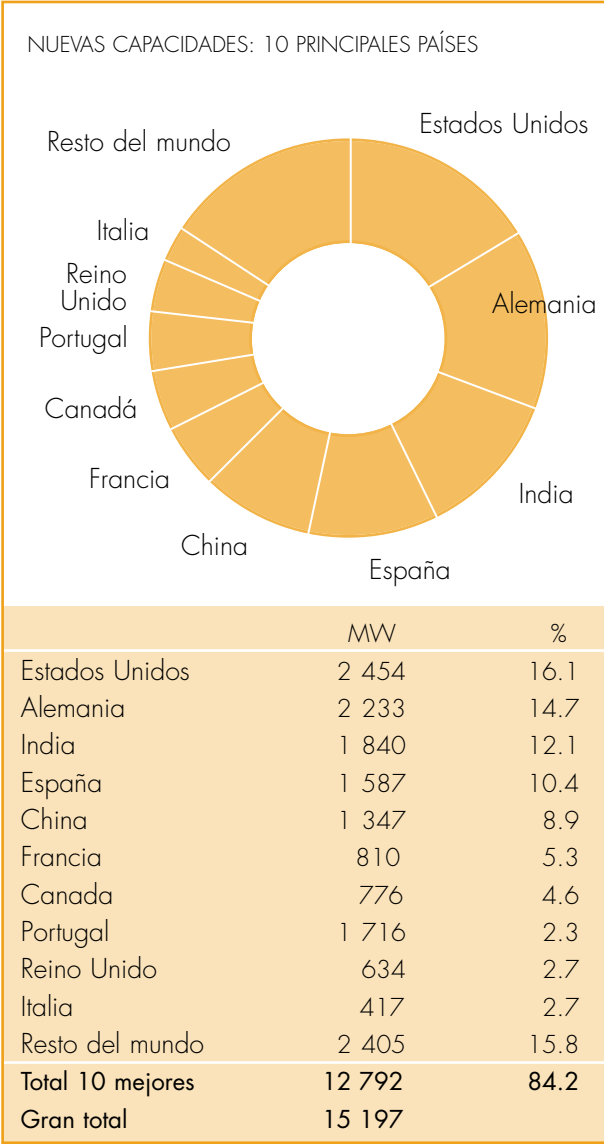
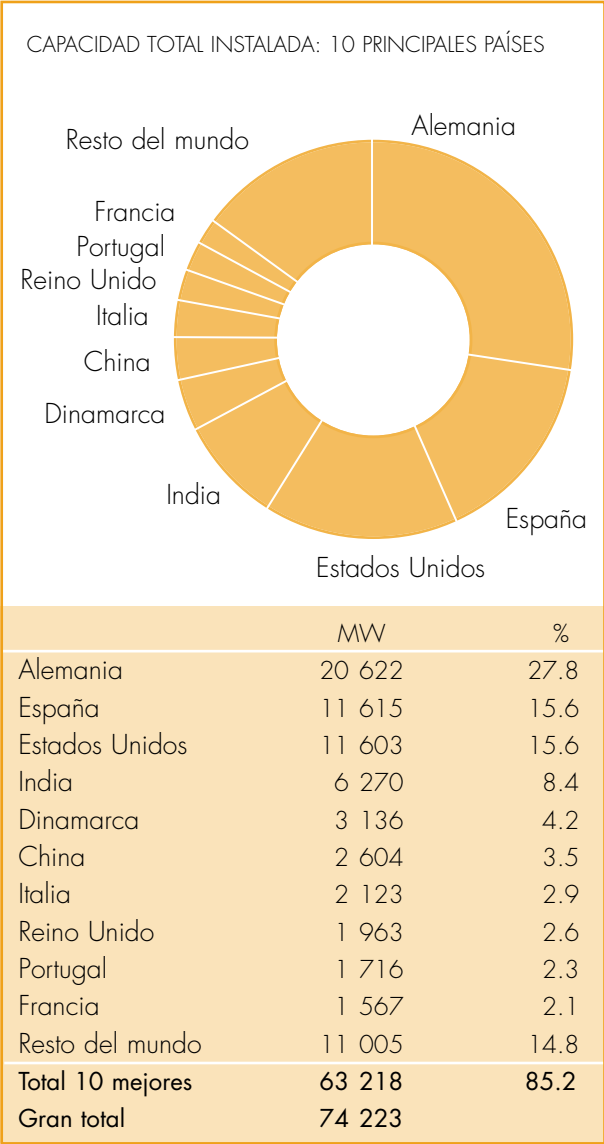


Figura 13. Capacidad de energía eólica instalada en 10 países (tomado de: Global Wind Energy Council, 2007, con información original de la Agencia Internacional de Energía).

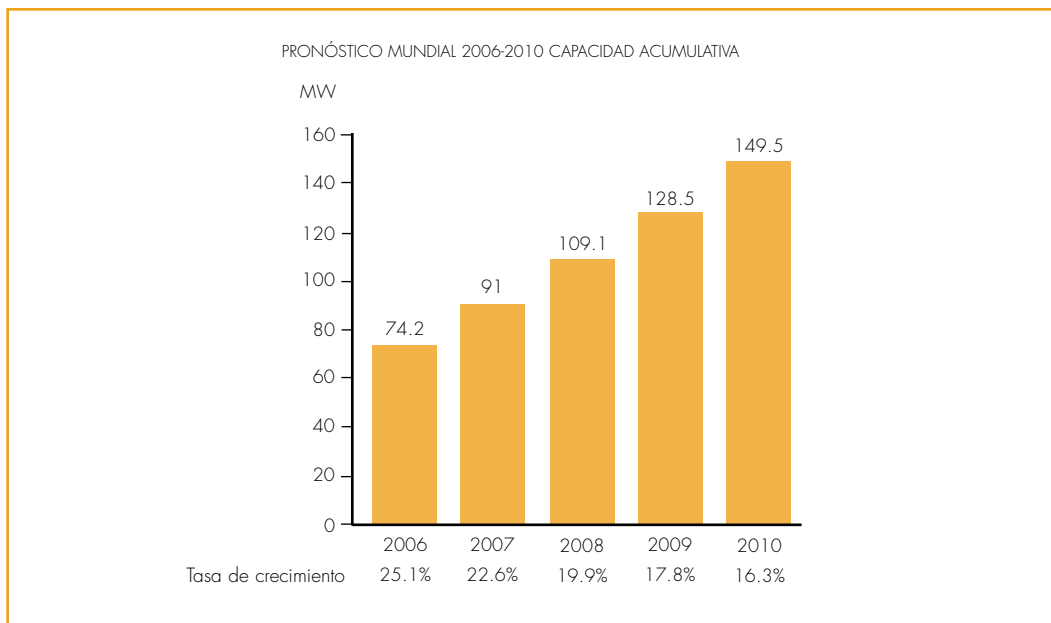


Figura 14. Pronóstico mundial de la capacidad acumulativa de la energía eólica (tomado de: Global Wind Energy Council, 2007, con información original de la Agencia Internacional de Energía).

(3 136 MW). Otros 13 países se pueden contar entre los que tienen capacidad eólica de más de 1 000 MW; p. ej., Francia y Canadá, que alcanzaron ese límite en 2006. En cuanto a nueva capacidad instalada durante 2006, Estados Unidos continuó a la vanguardia con 2 454 MW, seguido por Alemania (2 233 MW), India (1 840 MW), España (1 587 MW), China (1 347 MW) y Francia (810 MW). Esto indica que otros actores, como Francia y China, están ganando terreno (Figuras 13 y 14).

En Latinoamérica, el mercado está empezando a mostrar signos de crecimiento, sobre todo en Brasil y México. En total, la región acumuló 296 MW de nuevas instalaciones en 2006, comparado con 6 MW durante el año precedente. En Brasil, el programa gubernamental denominado Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica está dando las primeras señales de éxito con la reciente instalación de 208 MW, lo que eleva la capacidad total de Brasil a 237 MW, mientras se construye la infraestruc-

tura para otros 220 MW. Además, se espera que el gobierno federal brasileño anuncie un programa de 5 000 MW de energía eólica, que se concretará entre 2009 y 2015.

En México, cuyo potencial energético eólico también es excelente, se instalaron 85 MW de capacidad en 2006, lo que elevó el total a 88 MW. Según la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), se estima que en 2014 se alcanzará una capacidad al menos de 3 000 MW. En la Figura 15 se muestra la parte que ocupa la energía eólica en la generación eléctrica mundial.

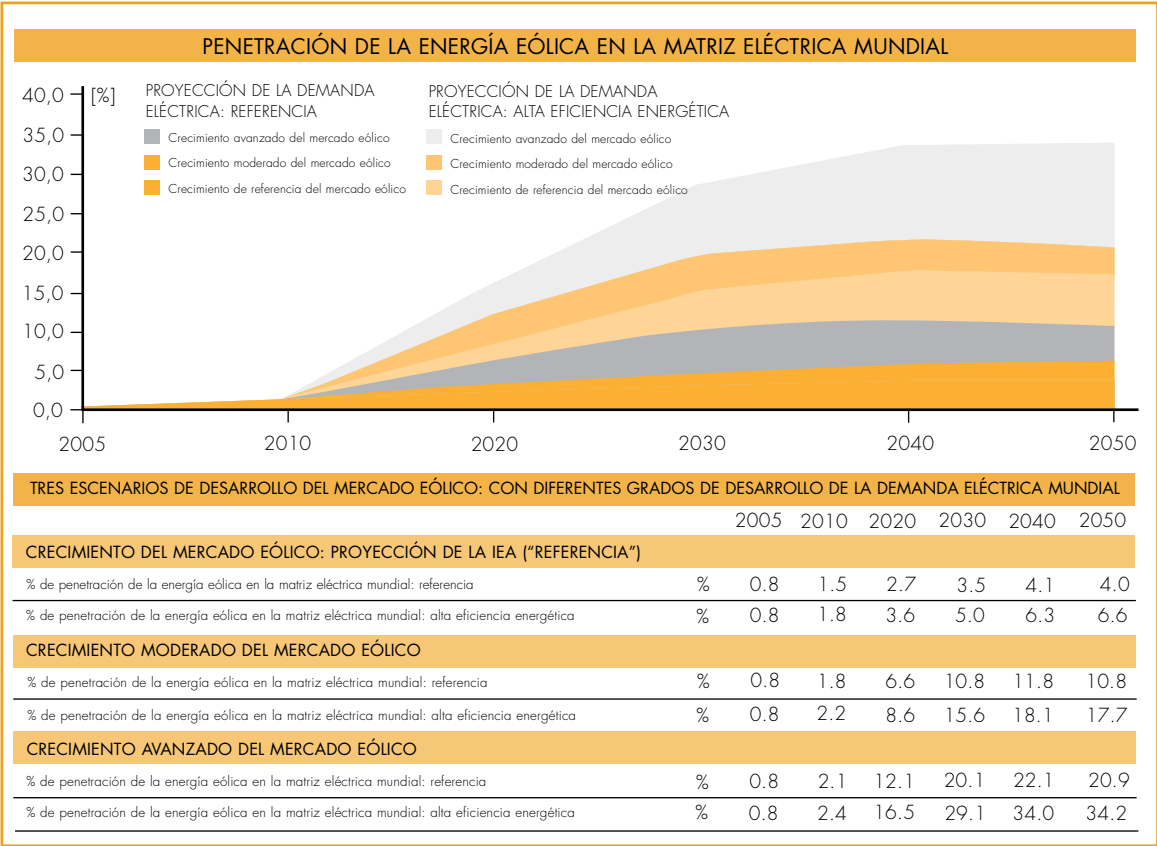


Figura 15. Penetración de la energía eólica en la matriz eléctrica mundial (tomado de: Global Wind Energy Council, 2007, con información original de la Agencia Internacional de Energía).

Según algunas predicciones, la capacidad acumulativa de la generación eólica ascenderá a 149.5 GW a fines de esta década; es decir, más del doble de la capacidad instalada actual. En promedio, la tasa de crecimiento acumulativo anual durante el periodo 2006-2010 será de 19.1%, en comparación con 24.3% registrado en el periodo 2002-2006. Según se predice, la capacidad instalada anual llegará a 21 GW en 2010; es decir, un aumento de 38% respecto de los 15.2 GW instalados en 2006. Esto significa una tasa de crecimiento media anual de 8.4% en el mercado mundial de energía eólica. Aunque el crecimiento podría ser mayor, se verá limitado (al menos en el futuro inmediato) por la capacidad de producción de los fabricantes. En casi todos los mercados, el tiempo de entrega actual de las WT oscila alrededor de dos años.

En América Latina y El Caribe (ALC), los primeros y alentadores avances se dieron en 2006 con la instalación de 296 MW. Según varias predicciones, el mercado alzará el vuelo en el periodo 2007-2010 con Brasil a la vanguardia, seguido de cerca por México. También habrá avances menores en varios países centroamericanos, en Argentina y en Chile. A pesar de su enorme potencial, Latinoamérica persistirá como un mercado limitado hasta fines de esta década, cuando dará comienzo un desarrollo más significativo.

Se vislumbran tres escenarios mundiales hipotéticos de la futura expansión de la energía eólica (Figura 16). El escenario más conservador (llamado "escenario de referencia") se basa en la proyección del informe titulado *Perspectivas Energéticas Mundiales 2004* de la International Energy Agency (IEA). Esta proyección incluye el desarrollo de todas las fuentes energéticas renovables (entre ellas la eólica) hasta el año 2030. En el escenario conservador llamado "escenario moderado" se tienen en cuenta todas las políticas surgidas en apoyo de las fuentes de energía renovable, lo que incluye las que ya están en construcción y las que se están planeando en el ámbito mundial. Se supone, además, que muchos países están alcanzando sus metas establecidas, sean de desarrollo de fuentes energéticas renovables o de energía eólica. Aquí, la suposición principal es que el éxito europeo en el logro de las metas de instalación de generadores eólicos señaladas por la UE puede repetirse en el ámbito mundial.

En el escenario más ambicioso, llamado “escenario progresista”, la trayectoria sería similar a la que se esboza en la serie de informes —titulados Wind Force 10 y 12— publicados por la European Wind Energy Association (EWEA), el Global Wind Energy Council (GWEC) y Greenpeace desde 1999. En esos informes se analizó cuán factible sería que, inicialmente, 10% de la energía eléctrica del mundo (y 12% más adelante) se derivada de la energía eólica en 2020. Aquí, la suposición es que

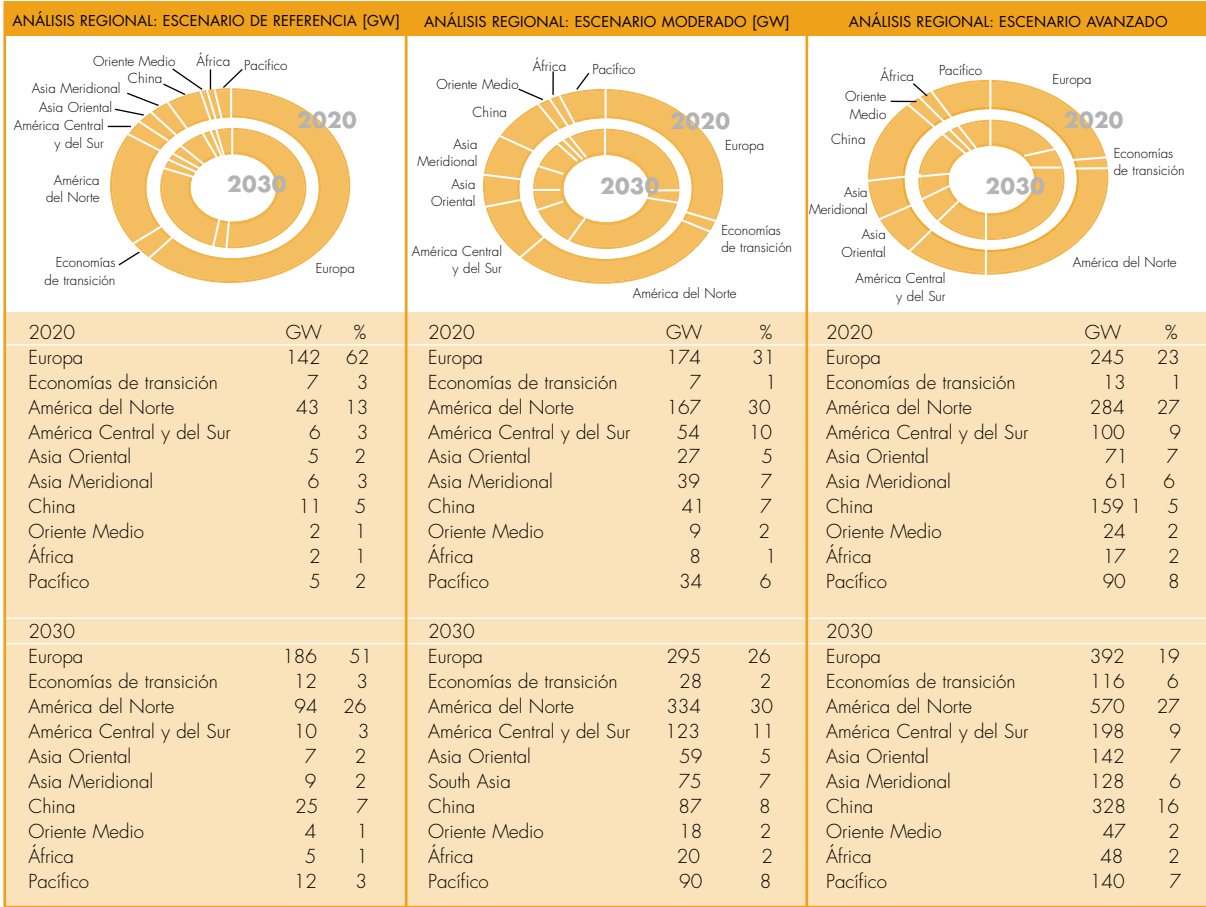


Figura 16. Escenarios de desarrollo de la energía eólica. (tomado de: Global Wind Energy Council, 2007, con información original de la Agencia Internacional de Energía).

se hayan adoptado todas las opciones políticas a favor de la energía renovable, así como las directrices establecidas por las recomendaciones de este documento, y que se cuente, además, con la voluntad política necesaria para ponerlas en práctica.

Los tres escenarios del mercado mundial de energía eólica se cotejan con dos trayectorias alternativas para el futuro crecimiento de la demanda de energía eléctrica. Pero lo más importante es que en esas proyecciones se evita caer en la simple hipótesis de será necesario hacer coincidir la creciente demanda de los consumidores con las opciones de suministro. Con base en la suposición de que será necesario reducir la demanda de electricidad si se pretende empezar a atender en serio la amenaza del cambio climático, en estas proyecciones se supone que habrá un aumento de la eficiencia energética. Una vez más, la más conservadora de esas dos proyecciones de la demanda eléctrica mundial se basa en los datos de las Perspectivas Energéticas Mundiales 2004 de la IEA, mismos que fueron extrapolados hasta 2050. Esta es la proyección de "referencia". En ésta no se tienen en cuenta las posibles iniciativas políticas futuras y se supone, por ejemplo, que las políticas nacionales relacionadas con la energía nucleoelectrica se mantendrán idénticas.

La suposición de la IEA es que: "En ausencia de nuevas políticas gubernamentales, las necesidades energéticas del mundo continuarán inexorablemente en aumento". Por lo tanto, la demanda mundial duplicará prácticamente su valor de referencia (establecido en 13 423 TWh en 2003) para llegar a 25 667 TWh en 2030 y continuar aumentando hasta 37 935 TWh en 2050. Luego, las expectativas de la IEA en cuanto se refiere a esta demanda energética creciente, se comparan con el resultado de un estudio llevado a cabo por DLR y Ecofys (una compañía consultora) sobre el efecto potencial de los ahorros por eficiencia energética. Esto describe una ambiciosa trayectoria de desarrollo para aprovechar esas medidas de eficiencia energética. Se concentra en nuestras mejores técnicas actuales y en las tecnologías que estarán a nuestra disposición en el futuro, y presupone que habrá innovación continua. Bajo la proyección de "alta eficiencia energética", la información de los modelos de DLR/Ecofys muestra el efecto de tales ahorros por eficiencia en el perfil de la demanda eléctrica mundial.

Aunque esto supone la introducción de una amplia variedad de tecnologías e iniciativas, su alcance se ve limitado por las barreras de costos potenciales y otros obstáculos por el estilo. No obstante lo anterior, eso continúa representando un aumento de casi 30% en la demanda mundial, que llegará a 17 786 TWh en 2030. Al concluir el escenario proyectado (en el año 2050), la demanda será 39% inferior que la del escenario de referencia.

Los resultados de los escenarios de las Perspectivas Energéticas Eólicas Mundiales indican que, incluso en el caso de la visión conservadora del mercado mundial potencial de la IEA, la energía eólica podría representar 5% de la electricidad mundial en 2030, y 6.6% en 2050. Esto considera la introducción de la proyección de “alta eficiencia energética”. En la proyección de crecimiento moderado de la energía eólica, que va aunada a medidas de ahorro energético ambiciosas, la energía eólica podría suplir 15.6% de la energía eléctrica mundial en 2030, y 17.7% en 2050. En la proyección de crecimiento progresista, que también va aunada a medidas de ahorro energético ambiciosas, la energía eólica podría suplir 29.1% de la energía eléctrica mundial en 2030, y 34.2% en 2050.

#### 4.3.3. Prioridades de investigación

Las mayores prioridades de R&D en materia de energía eólica se relacionan con: estimación del recurso eólico, turbinas eólicas, parques eólicos, integración a redes eléctricas nacionales, cuidado del medio ambiente, apoyo público, normatividad y certificación. Las instituciones científicas de mayor relevancia que realizan estudios sobre energía eólica en ALC son:

- Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), Brasil.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), México.
- Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (CIE-UNAM), México.
- Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Cuba.
- Universidad de la República (UDELAR), Uruguay.

- Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica (UCR), Costa Rica.
- Instituto de Investigación en Energías no Convencionales (INENCO), Universidad Nacional de Salta (UNSA), Argentina.
- Instituto Universitario Aeronáutico (UIA), Argentina.
- Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Argentina.
- Universidad Nacional de la Plata (UNLP), Argentina.

Otras instituciones latinoamericanas no académicas relacionadas con la energía eólica son:

- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), México.
- Centro Regional de Energía Eólica (CREE) Argentina.
- IMPSA – División Eólica, Argentina.

#### 4.3.4. Áreas de investigación específicas

##### *Estimación de recursos eólico*

- Accesibilidad máxima a los datos sobre recursos eólicos, de dominio público cuando esto sea posible, para así asegurar que las compañías financieras, de seguros y de desarrollo puedan diseñar de manera eficiente proyectos de alta calidad, evitando así el fracaso de los proyectos debido a la imprecisión de los datos.
- Elaboración de mapas de recursos de las áreas con potencial eólico superior a la media, que aún estén inexplorados.
- Desarrollo de unidades de monitoreo económicas y fáciles de transportar, incluyendo sistemas de comunicación y procesamiento de datos como LIDAR, SODAR y observación satelital, para poder evaluar las características de los recursos eólicos.



### *Turbinas eólicas*

- Herramientas de diseño integral de WT de gran tamaño, para que dichas turbinas funcionen en condiciones climáticas extremas y/o en terrenos escarpados.
- Laboratorios de vanguardia para la evaluación rápida de grandes componentes en condiciones externas reales (climatológicas).
- Desarrollo de herramientas de diseño al nivel de componentes, y estrategias de control de múltiples parámetros.

### *Parques eólicos*

- Investigación y desarrollo de sistemas de almacenamiento energético en los parques eólicos. Estudio y comprensión del flujo del viento en los grandes parques eólicos y sus alrededores.
- Sistemas de control para optimizar la generación eléctrica y el factor de carga en los parques eólicos.
- Desarrollo de metodologías de evaluación de riesgos.

### *Cuidado del medio ambiente y apoyo público*

- Investigación sobre el impacto ambiental de las plantas eólicas de gran escala en los sistemas ecológicos, con el objeto de informar a los legisladores y al público en general.
- Establecer recomendaciones específicas para las metodologías de diseño y planeación de parques eólicos.
- Impacto de los parques eólicos en los ecosistemas circundantes.
- Desarrollo de equipos automáticos para monitorear en particular los choques de aves.
- Evaluación económica de los costos marginales. Intercambio y comunicación internacional de los resultados de los estudios de impacto ambiental.

## 4.4. PEQUEÑAS Y MICRO PLANTAS HIDROELÉCTRICAS

### 4.4.1. Estado actual, el potencial y los posibles escenarios

Esta es una tecnología añeja ampliamente probada, que debemos integrar plenamente a la matriz energética de ALC. El potencial hidroeléctrico total de América Latina sobrepasa los 659 531 MW y, de ese total, sólo está en uso alrededor de 21%; en Centroamérica, el potencial asciende a 23 625 MW y la región apenas ha utilizado 17% del total. Consecuentemente, es muy importante que la región desarrolle su potencial hidroeléctrico por varias razones:

- La generación hidroeléctrica es un recurso renovable local que puede ser desarrollado en incontables localidades por medio de tecnologías cológicamente racionales.
- El desarrollo de presas hidroeléctricas puede conducir al reconocimiento de los servicios ambientales de las cuencas hidrológicas y, a su vez, eso puede motivar su conservación mediante técnicas de manejo integral de bosques y aguas pluviales.
- Una vez que el desarrollo de las plantas hidroeléctricas induzca el manejo de las cuencas hidrológicas, será posible reducir la vulnerabilidad de éstas a los fenómenos hidrometeorológicos extremos.
- Esta tecnología requiere mano de obra intensiva y, por lo tanto, puede generar oportunidades de empleo, tanto para técnicos calificados, como para trabajadores no calificados, proveedores y muchas otras personas.
- La mayor parte del potencial hidroeléctrico sin aprovechar se encuentra al margen de los sistemas nacionales interconectados, lo que hace de la generación eléctrica distribuida una sólida política energética que introduzca, al mismo tiempo, fuentes de energía renovables en las matrices energéticas nacionales.
- Las fuentes de energía renovables evitan o desplazan los proyectos de generación eléctrica que utilizan combustibles fósiles; por lo tanto, son ideales para el mecanismo de desarrollo limpio (CDM, por sus siglas en inglés) u otros instrumentos voluntarios de intercambio de créditos de carbono.

- Las presas hidroeléctricas en pequeña escala son compatibles con la cosmovisión de los pueblos indígenas, pues éstas se basan en la transformación cíclica de la energía mediante el aprovechamiento de recursos naturales sin contaminación ni destrucción.
- Las pequeñas y micro plantas hidroeléctricas pueden ser autónomas o conectarse a las redes nacionales; por consiguiente, pueden suministrar electricidad a comunidades aisladas o alimentar redes nacionales.

Es necesario explorar otras tecnologías de pequeña escala de energía renovable como los proyectos híbridos; es decir, proyectos que incluyen energía solar, eólica e hidráulica. En algunos lugares existen mezclas de recursos naturales que varían de una estación del año a otra: por ejemplo, durante los meses de lluvia el viento puede escasear, pero la temporada de secas puede ser muy ventosa; asimismo, donde la precipitación pluvial es alta, la radiación solar suele ser limitada. Por lo tanto, la creación de proyectos híbridos con más de una tecnología puede ser una solución para las zonas remotas sin electrificar, pues es poco probable que las redes eléctricas nacionales lleguen a esas comunidades en el corto plazo. En otras zonas, los recursos geotérmicos cercanos a la superficie terrestre (baja entalpía) se pueden usar para electrificar industrias artesanales, deshidratar cultivos y calentar hogares.

#### 4.4.2. Revisión de las prioridades

En el caso de la microgeneración hidroeléctrica, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Las mejoras en el diseño de componentes basadas en las buenas prácticas de la Comisión Mundial de Presas deberán concentrarse en abatir el costo de la capacidad instalada por kW, que se encuentra actualmente en el rango de 4 000-3,000 USD, para llevarla a un rango de entre 2 500 y 2 000 USD, mediante aumentos de la eficiencia de las turbinas (nuevos materiales), mejoras en los equipos de

automatización, e inclusión de un factor de carga basado en los usos productivos de la electricidad (PUE, por sus siglas en inglés).

- Las investigaciones sobre reforestación de usos múltiples para el manejo integral de cuencas hidrológicas, lo que incluye el empleo de especies productoras de leña, deberán concentrarse en el uso de especies nativas para promover la conservación de los ecosistemas y el germoplasma.
- Introducir mejoras en el diseño e integración de componentes clave de las presas hidroeléctricas chicas, como conductos de toma y derivación, cámaras de compensación, compuertas, turbinas, generadores y dispositivos de control y protección. Al respecto, será fundamental tener en cuenta las experiencias de China, India y Europa, pero también debemos aprender de las experiencias de Perú y Cuba.
- El objetivo principal deberá ser abatir el precio actual de la capacidad instalada por kW, para llevarla del rango actual de 4 000-3 000 USD a un rango de entre 2 500 y 2 000 USD; en este sentido, la mayor parte del trabajo se concentrará en encontrar nuevos materiales para construir las turbinas.
- En la investigación deberán participar científicos, fabricantes y expertos de ALC y de otras regiones, quienes deberán establecer, en conjunto, un proceso de capacitación sobre la marcha para mejorar los planos constructivos de equipos como Francis Banki, Pelton y otros modelos.
- Otra meta específica debe ser la instalación de equipos de sincronización que permitan interconectar pequeñas plantas hidroeléctricas a las redes nacionales. Para ello será necesaria una coordinación más estrecha de los profesionales, proveedores y fabricantes de equipos, así como de los organismos reguladores encargados de establecer las normas y los criterios límite para una interconexión segura cuando se tienen capacidades de 200 kW o más.
- Para poner en práctica esas investigaciones y mejoras será indispensable introducir cambios en el marco jurídico actual, de modo que éste permita la dispersión de la generación eléctrica; por lo tanto, es de esperar la creación de un protocolo de participación en el mercado que admita la generación eléctrica dispersa.
- En paralelo a las mejoras y reducciones de costos necesarios para aumentar la

eficiencia de los equipos hidroeléctricos, será necesario lanzar una iniciativa de uso productivo de la electricidad que no sólo incorpore equipos y maquinarias de alta eficiencia a las cadenas de producción con el fin de agregar valor a los productos locales, sino que tenga en consideración los conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas.

- El principal enfoque de este tipo de R&D deberá ser el uso de esa energía para electrificar cadenas productivas que sean amigables con el ambiente y culturalmente sensibles. Por ejemplo, las actividades de R&D deberán combinar las buenas prácticas de las plantas hidroeléctricas con la transformación de los recursos naturales locales, de tal manera que se eleve el valor comercial de productos agroforestales como café y cardamomo orgánicos, madera certificada, productos lácteos, artesanías, frutas y verduras enlatadas y/o en conserva, entre otros.

## 4.5. TECNOLOGÍAS AFINES

### 4.5.1. Hidrógeno

#### *Estado actual, el potencial y los posibles escenarios*

La variabilidad en el tiempo de los recursos energéticos renovables determina la necesidad imprescindible de encontrar medios de almacenamiento energético que permitan sincronizar el uso de dichos recursos con las actividades económicas y sociales de nuestras sociedades.

De esa manera la energía primaria derivada de recursos energéticos renovables como el sol, el viento y la biomasa, puede ser almacenada para luego ser transportada y usada donde sea necesario, sin importar en qué momento se disponga del recurso renovable.

Es probable que los medios de almacenamiento y transporte energético más común y ampliamente utilizado (aparte de los combustibles fósiles) sean las pilas y baterías; sin embargo, la cantidad de energía que estos pueden almacenar por unidad

de volumen es muy baja. En la actualidad, los biocombustibles están cobrando popularidad porque, al ser transportables, pueden sustituir a los hidrocarburos; sin embargo, dada la baja eficiencia de la fotosíntesis, la biomasa no bastará para satisfacer todas nuestras necesidades energéticas futuras. Por lo mismo, algunos expertos vaticinan que el hidrógeno (que es el elemento más abundante de la Tierra y se puede obtener del agua) será el energético fundamental de un futuro distante, cuando la R&D logre resolver varios problemas de costo, seguridad y almacenamiento.

No obstante, es importante destacar que el hidrógeno no es una fuente energética en sí y, por lógica, su producción exige el uso de una fuente energética primaria.

El hidrógeno se puede obtener directamente por fotólisis, o mediante el uso de la electricidad (por electrólisis) derivada de fuentes de energía renovables. Su desarrollo también se verá impulsado por su potencial para transformar los sistemas mundiales de energía de transporte y estacionaria. Las fuentes remotas de energía renovable ubicadas en zonas con buen potencial energético eólico, solar o geotérmico pueden convertirse en fábricas de hidrógeno. Posteriormente, la posibilidad de transportar el hidrógeno permitirá distribuir la energía renovable original, sea en forma de energía eléctrica y de calor por demanda, para utilizarla en pilas de combustible locales dispersas [mismas que también podrían funcionar como dispositivos termoeléctricos mixtos (CHP, por sus siglas en inglés)].

La aplicación generalizada y de gran escala de tecnologías de almacenamiento energético no será necesaria antes de 2020 —y quizá no antes de 2030. El desarrollo del hidrógeno combustible y otras aplicaciones de este elemento deberá avanzar independientemente de la transición hacia los energéticos renovables, atraída por los interesantes beneficios económicos de la transición hacia el hidrógeno y motivada por enérgicos programas gubernamentales. En esas condiciones, es de esperar que la tecnología y la infraestructura necesarias para el uso generalizado del hidrógeno evolucionen lo suficiente para impulsar el avance de las energías renovables con mayores niveles de penetración.

No obstante, el corolario de este argumento es que el éxito ambiental de la transición al hidrógeno dependerá por completo del uso de los recursos energéticos re-

novables, en lugar de las fuentes energéticas convencionales que se utilizan en la actualidad para producir hidrógeno. Una de las metas declaradas de la UE es lograr, para el año 2050, una economía totalmente integrada al hidrógeno y basada en el uso de fuentes renovables de energía [directivas del Parlamento Europeo y del Consejo de promoción del uso de fuentes energéticas renovables (COM) (2008: 30)].

### *Revisión de prioridades*

En los países de ALC, la participación en la R&D de tecnologías relacionadas con el hidrógeno deberá ser una prioridad, sobre todo como parte del actual esfuerzo internacional. La sinergia entre el desarrollo del hidrógeno y la aplicación de tecnologías energéticas renovables será significativa. La producción de hidrógeno (que es un medio de transporte energético cuya combustión no contamina) deberá basarse en el uso de recursos energéticos renovables. Y la energía de dichos recursos deberá ser transformada en combustibles para aplicaciones energéticas por demanda, ambientalmente limpios y totalmente independientes de las fluctuaciones de las fuentes de energía renovables. Así, el valor económico y social del hidrógeno y de los recursos energéticos renovables aumentará gracias a esa sinergia. El paralelismo entre la transición hacia las fuentes de energía renovables y la utilización del hidrógeno implica que se apoyarán mutuamente.

### *Áreas específicas de investigación y desarrollo*

- Caracterización de materiales y dispositivos adecuados para la producción, almacenamiento y uso de hidrógeno, particularmente en forma de pilas de combustible.
- Modelación matemática de los procesos de las pilas de combustible para mejorar su diseño.
- Creación de prototipos y sistemas de pilas de combustible productores de hidrógeno para aplicaciones prácticas.
- Desarrollo de metodologías para almacenar hidrógeno en sólidos.

- Desarrollo de procesos termoquímicos de alta temperatura basados en el uso de energía solar, para la producción de hidrógeno.
- Caracterización de materiales y dispositivos periféricos para procesos relacionados con el hidrógeno (p.ej., baterías y supercapacitores).
- Desarrollo de estándares y protocolos relacionados con el hidrógeno, que permitan regular todos los aspectos de esa tecnología.
- Puesta en marcha de programas educativos en materia de tecnologías relacionadas con el hidrógeno.
- Creación de plantas piloto capaces de producir hidrógeno a altas temperaturas.
- Estudios de planeación y prospección sobre la economía del hidrógeno.

#### 4.5.2. Integración de sistemas

La integración de recursos energéticos renovables y sus tecnologías afines a los sistemas energéticos presentes y futuros es un problema complejo que estamos muy lejos de resolver, en especial cuando la participación de las formas de energía renovable en esos sistemas es relativamente grande.

Esta integración a los sistemas de suministro energético (como matrices eléctricas, redes de calefacción y gas natural, y combustibles líquidos) requiere R&D en áreas como:

- Control de cargas.
- Control de matrices eléctricas.
- Transporte energético.
- Interacción con sistemas convencionales.
- Necesidad de sistemas de respaldo eléctrico.

También se requiere R&D para resolver el problema de la diversificación de las fuentes de energía renovables. Además, la integración de formas de energía renovable a los sistemas energéticos presentes y futuros requerirá la creación de estándares y protocolos que regulen ambas tecnologías, así como el desarrollo de criterios de apoyo.



### *Integración a las redes eléctricas*

- Creación de estrategias y requisitos de control para lograr que los parques eólicos sean totalmente compatibles con las redes eléctricas, de modo que ayuden a soportar y mantener una red eléctrica estable.
- Desarrollo de componentes y tecnologías de tipo eléctrico y electrónico para la conexión a las redes eléctricas.

### *Normatividad y certificación*

- Cálculo de la capacidad energética.
- Desarrollo de protocolos y procedimientos de conexión a las redes eléctricas.
- Creación de metodologías de evaluación de riesgos.
- Desarrollo de criterios de diseño de componentes y materiales.
- Estandarización de mecanismos de operación y mantenimiento.
- Conclusión acelerada de las actividades actuales de desarrollo normativo, como procesos de certificación, procedimientos de prueba, criterios de diseño para WT marítimas, y certificación de proyectos.



## 5. PROBLEMAS ECONÓMICOS Y SOCIOCULTURALES

A principios del siglo XXI, aún estamos lejos de lograr un equilibrio dinámico intergeneracional y transtemporal entre el ser humano, el resto de las formas de vida y la Tierra. Por el contrario, le hemos dado aliento a un crecimiento económico sostenido y desequilibrado, basado en la optimización de las utilidades y dependiente de costos marginales negativos que no se tienen en cuenta como parte del costo total de transformar los recursos naturales en satisfactores de necesidades humanas. Lo que el mundo ha vivido es un desarrollo económico sostenido basado en el consumo de combustibles fósiles y en actividades de minería intensiva. El proceso de globalización económica depende de una manera de pensar lineal, que acumula capital con el tiempo y tiene por base la explotación de recursos naturales, al mismo tiempo que contamina y causa daños humanos y ecológicos.

En términos de consumo de energía, más de 2 000 millones de seres humanos aún carecen de acceso a las formas modernas de suministro energético. Por otro lado, la humanidad parece ser adicta al petróleo, como se aprecia en el hecho de que el precio del barril se triplicó en sólo un año. Una consecuencia positiva de eso es que a los consumidores ya les empieza a preocupar el costo, lo que significa mayor presión para que la industria automotriz empiece a cambiar. Aunque se dispone de muy poco tiempo para lograr resultados medibles, ciertos indicadores, como la demanda de automóviles más eficientes, se ha incrementado drásticamente y están surgiendo soluciones en el mundo entero.

Independientemente del aumento de la inversión en tecnologías energéticas renovables para la generación eléctrica, los principales proyectos energéticos en construcción

en el planeta continúan basándose en la combustión de combustibles fósiles como petróleo y carbón mineral. Además, el dinero que se invierte en investigación y desarrollo (R&D) en energía se destina principalmente a energía nuclear (56%) y combustibles fósiles (32%), de modo que sólo 12% se dedica al desarrollo de tecnologías energéticas renovables. Con tal desproporción en la inversión dedicada al desarrollo de tecnologías energéticas convencionales, será muy difícil nivelar las cosas hasta lograr una participación más justa de la energía renovable en el ámbito mundial. Sin embargo, los vientos de cambio empiezan a soplar: durante su discurso ante la Conferencia Internacional de Energía Renovable llevada a cabo en Washington, DC, en 2008, el presidente Bush se comprometió a asignar una fracción considerable de los fondos disponibles a la investigación de combustibles más benignos para el medio ambiente.

La economía de la energía eólica indica que los costos financieros, costos de operación y mantenimiento, impuestos, seguros y otros gastos, una vez sumados al margen de utilidad esperado, constituyen el precio unitario por kWh de la energía eléctrica. Dependiendo del mercado, y quizá de otras medidas de promoción, la energía eólica puede ser competitiva o no. En general, el consenso es que, si bien la energía eólica y otras fuentes de energía renovables poseen ventajas ambientales en comparación con la generación eléctrica convencional, cabe la posibilidad de que esos beneficios no se vean reflejados por completo en el precio comercial de la energía eléctrica.

La respuesta a esa duda puede estar en los costos externos de la generación eléctrica, pues estos permiten estimar los beneficios y perjuicios ocultos del proceso de generación que el sistema actual de cálculo de precios no tiene en cuenta. Esos costos se consideran "externos" porque serán cubiertos por terceros o por las generaciones venideras. Si se quiere establecer una comparación justa entre las diversas alternativas de generación eléctrica, deberán tenerse en cuenta todos los costos, tanto internos como externos, que ésta representa para la sociedad.

Por ejemplo, en la construcción de turbinas eólicas (WT), los empleos pueden ser directos e indirectos. En número total de empleos del sector manufacturero se ha ele-

vado considerablemente en la UE a partir de la década de 1990. En Europa, los empleos directos e indirectos relacionados con la construcción e instalación de WT para el mercado interno aumentaron en 185% durante el periodo 1998-2002, mientras que los empleos relacionados con el mantenimiento de WT se elevaron en 268%, para llegar a 72 275 puestos de trabajo.

A pesar de las incertidumbres y debates en torno a los costos externos, cabe decir que, con excepción de la energía nuclear y los efectos de largo plazo de los gases de invernadero (GHG) en el cambio climático, los resultados de los diversos grupos de investigación coinciden y pueden servirnos de base para el desarrollo de medidas políticas que nos obliguen a ir incluyendo en las cuentas los diversos costos externos de la generación eléctrica.

El uso de nueva tecnología energética solar en los países de ALC está en marcha, y aunque el mercado aún es muy limitado, su crecimiento significará nuevas fábricas y, por lo tanto, nuevos puestos de trabajo. El hecho de que la energía solar sea una fuente energética de baja densidad significa que, para satisfacer la misma carga que los sistemas energéticos convencionales, se necesita un área de captación significativa. Por consiguiente, será necesario producir grandes cantidades de colectores solares. Esto no sólo debe incluir la creación de nuevas empresas que produzcan colectores termosolares y fotovoltaicos, sino también el diseño de nuevas plantas y edificios generadores de electricidad, e incluso nuevas ciudades con un concepto de sustentabilidad integral. Los países de ALC pueden ser parte de esa revolución. Lo que se necesita para que eso suceda es visión política y acción.

Será necesario transformar la manera de pensar de nuestra sociedad acerca de la energía, desde su actual noción de una fuente inagotable, hasta una perspectiva más realista en la que la energía es finita y debe ser utilizada de modo sustentable. Eso exigirá la puesta en marcha de medidas de ahorro energético persuasivas y un enorme esfuerzo educativo.

Las actividades simultáneas de R&D sobre problemas técnicos conducentes a mejorar la capacidad y eficiencia de las pequeñas y micro plantas hidroeléctricas, al mismo tiempo que se reduce el costo final de la generación eléctrica, harán necesario

el uso de la electricidad generada para crear fuentes de trabajo locales. Eso se puede lograr combinando los conocimientos indígenas tradicionales con opciones de alta tecnología, de tal modo que las empresas y agroindustrias locales puedan transformar la base de recursos naturales de la localidad y agregar valor a sus productos naturales. Las actividades de R&D en materia socioeconómica deberá estar a cargo de equipos de investigación interdisciplinarios que abarquen áreas como antropología, estudios de género, sociología, economía, administración de empresas y ecología, de modo que se cuente con estudios de caso específicos para ejemplificar las mejores combinaciones de alta tecnología y conocimientos tradicionales.

Hoy, lo que necesitamos son políticas públicas y liderazgo político (más que avances tecnológicos y/o económicos) para impulsar el uso generalizado de tecnologías y métodos basados en la energía solar. Obviamente, aunque la tecnología y la economía seguirán mejorando con el tiempo, en este momento están lo bastante avanzadas como para impulsar una participación más amplia de la energía solar, tanto en la infraestructura energética principal como en nuestra sociedad. Además, en este momento podemos establecer metas significativas con base en la hipótesis de que, en el transcurso de los próximos 50 años, habrá importantes mejoras en la eficiencia energética, aunadas al aumento de las aplicaciones de la energía solar y otras fuentes renovables de energía. Para entonces, nuestro mundo estará cubriendo más de 50% de sus necesidades energéticas totales mediante recursos energéticos renovables locales, y la mayoría de estos serán usos directos e indirectos de la energía solar. Este escenario carece de limitaciones de recursos.

### 5.1. ACCIONES CON ALTO IMPACTO SOCIAL

Algunas acciones concretas con alto impacto social y gran visión, promovidas por la Oficina Regional del ICSU, proponen maneras para que esta institución así como sus asociados estratégicos puedan participar en la ejecución de éstas:

- Integración con otras áreas temáticas.
- Participación de instituciones regionales como BID, OEA, CAN, Proclisur, Proclitropicos, etc.
- Participación de los gobiernos nacionales.
- Integración con organizaciones e instituciones financieras de la UE.
- Identificación de mecanismos de financiamiento como los fondos de la UE (participación de diversos países, creación de redes).





## 6. CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y OTRAS NECESIDADES

El fomento de capacidades será necesario en diversos ámbitos del campo de la energía renovable. Primero, se necesita crear capacidades en el ámbito gubernamental para fortalecer las instituciones relacionadas con el sector energético, así como con los sectores industrial, comercial y financiero. Dichas instituciones son esenciales para crear un entorno propicio para la movilización de capitales privados y fondos públicos dirigidos a la implementación total de las fuentes energéticas renovables de cada país.

También será necesario impulsar la formación de capacidades entre otros actores, como ingenieros que laboran en los sectores académico y privado; p.ej., desarrolladores de proyectos, etcétera. Esta necesidad se puede cubrir de varias maneras, como talleres, seminarios o cursos integrales sobre energía renovable. Además, es posible apoyar la formación de capacidades humanas y la capacitación específica mediante visitas didácticas a centros de manufactura y a instalaciones de energía renovable.

Los siguientes aspectos deberán recibir la máxima prioridad:

- Organización, implementación y operación de redes que congreguen a las instituciones de ALC vinculadas con otras redes.
- Adaptación de programas académicos específicos para cada campo, que incluyan energías renovables y otras disciplinas afines.
- Otorgamiento de becas y otros incentivos a estudiantes de licenciatura, especialidad y posgrado interesados en hacer carreras relacionadas con los recursos energéticos renovables y otras áreas afines.

- Mejora de los laboratorios actuales para que las actividades de R&D dispongan de condiciones adecuadas.
- Otorgamiento de incentivos financieros a las actividades de construcción de prototipos, incubación de proyectos y difusión tecnológica.

Se propone el estudio a fondo del modelo creado por el Consorcio Internacional de Biotecnología Cañera, (ICSB, por sus siglas en inglés) el cual abarca actualmente 12 países, con el fin de desarrollar una institución “virtual” que promueva en ALC actividades específicas de R&D a nivel precomercial. Puesto que Brasil, Argentina y Colombia están usando el modelo del ICSB, sería muy útil contar con una versión regional para ALC.

## 6.1 COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN TECNOLÓGICA

Se requieren acciones que involucren a todos los sectores sociales en la discusión y adopción de fuentes de energía renovables. Entre otras, se recomiendan las siguientes:

- Financiamiento de paneles de discusión y actividades masivas de difusión tecnológica, como congresos, seminarios, talleres y juntas técnicas.
- Integración de los sectores público y privado para promover la generación y el uso de formas de energía renovable en gran escala.
- Creación y demostración de prototipos.
- Financiamiento de ferias científicas que ofrezcan actividades de demostración de energías renovables dirigidas a estudiantes de nivel preparatorio.
- Acrecentar la interacción con los medios de comunicación para promover las fuentes de energía renovables.
- Formación de capacidades humanas en las áreas de generación, acumulación y distribución de formas de energía renovable.
- Expansión y fortalecimiento de la iniciativa del BID para la difusión de la tecnología cañera en ALC, de modo que ésta incluya a los países sudamericanos.

- Creación de una institución “virtual” de información tecnológica capaz de definir y ejecutar programas.

## 6.2. RECAUDACIÓN DE FONDOS

Deberá procurarse el apoyo de grandes donadores como la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (Japan International Cooperation Agency, JICA), de instituciones privadas como las fundaciones Bill & Melinda Gates Foundation, Rockefeller Foundation y Fulbright Foundation, y de las instituciones de financiamiento dependientes de los gobiernos que asignan fondos para realizar R&D en materia de energía renovable y cambio climático. Algunos organismos de desarrollo, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), también son excelentes opciones para el financiamiento de programas.

## 6.3 SEGUIMIENTO

Se propone la creación de un Comité Científico especializado en investigación, desarrollo e innovación de fuentes de energía renovable, que informe sobre avances específicos del plan estratégico, como por ejemplo:

- Organización de redes regionales de investigación y desarrollo.
- Adaptación de las disciplinas académicas para incluir la enseñanza de alternativas de energía renovable.
- Aumento de la población estudiantil de posgrado dedicada al campo de la energía renovable.
- Aumento del número de proyectos aprobados en materia de energía renovable y del monto del apoyo financiero que estos reciben.
- Aumento del número de eventos de comunicación y difusión tecnológica.
- Promoción de la generación y el uso de fuentes de energía renovables en las matrices energéticas nacionales.



## BIBLIOGRAFÍA

- ALEKLETT, K., y CAMPBELL, C.J. 2003. "The peak and decline of world oil and gas production". *Minerals & Energy*, 18(1): 5-20.
- ALDOMONTE, H., COVIELLO, M., y LUTZ, W. 2003. "Renewable energy and energy efficiency in Latin America and the Caribbean: constraints and prospects". *Recursos Naturales e Infraestructura Series*, Núm. 65 (LC/L.1977-P/I), Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), octubre, Organización de las Naciones Unidas, Santiago.
- DEBEIR, J.C., DELEAGE, J.P., y HÉMERY, D. 1986. *Les servitudes de la puissance: une histoire de l'énergie*. Flammarion, París, p. 428.
- FAO. 2000. Land resource potential and constraints at regional and country levels. *World Resource Soil Report*, 90. División de Tierras y Aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, p. 122.
- IEA (International Energy Agency). 2008. *World Energy Outlook* [PDF electrónico en [www.iea.org](http://www.iea.org), p. 603].
- Oil and Gas Journal. 2005. Global reserves, oil production show small increases for 2005. *Oil and Gas Journal*, 103: 47, diciembre.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2006. *Beyond scarcity: power, poverty, and the global water crisis*. Organización de las Naciones Unidas, Nueva York [<http://hdr.undp.org/hdr>].
- RADLER, M. 2005. Global reserves, oil production show small increases for 2005. Vol. 103(47): 20-22.



## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

**AMDEE:** Asociación Mexicana de Energía Eólica

**BID:** Banco Interamericano de Desarrollo

**CAN:** Comunidad Andina

**CHP:** compound heat and power (calor y electricidad combinados)

**CPC:** compound parabolic concentrator (concentrador parabólico compuesto)

**CSS:** close-spaced sublimation (sublimación en espacio cerrado)

**ECLAC:** Economic Commission for Latin America and the Caribbean (Comisión Económica para América Latina y El Caribe)

**EIA:** Energy Information Agency (Administración de Información Energética)

**FAO:** UN Food and Agriculture Organization (Organización para la Alimentación y la Agricultura de la ONU)

**Gb:** giga barriles

**GHG:** greenhouse gases (gases de invernadero)

**GW:** gigavatios

**GWh:** gigavatios por hora

**HDI:** human development index (índice de desarrollo humano)

**IEA:** International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Internacional sobre Cambio Climático)

**JICA:** Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional de Japón)

**kgoe:** kilogramos de equivalente de petróleo

**kW:** kilovatios

**kWe:** kilovatios equivalentes

**kWh:** kilovatios por hora

**M ha:** millones de hectáreas

**ML:** megalitros

**M m<sup>3</sup>:** millones de metros cúbicos

**M ton:** millones de toneladas

**M b/d:** millones de barriles por día

**MJ:** megajoules

**MW:** megavatios

**OEA:** Organización de Estados Americanos

**OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

**OLADE:** Organización Latinoamericana de Energía

**PIB:** producto interno bruto

**PLD:** pulsed laser deposition (acumulación por láser pulsátil)

**PNUD:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

**Pol:** Apparent sucrose content (contenido aparente de sacarosa)

**PPP:** purchase power parity (paridad de adquisición eléctrica)

**Procisur:** Agricultural Technological Development Cooperation Program for the Southern Cone (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur)

**Procitropicos:** Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos

**PV:** fotovoltaica(o)

**toe:** tonelada de equivalente de petróleo

**TPES:** total primary energy supply (suministro energético primario total)

**TW:** teravatios

**TWh:** teravatios por hora

**WCS:** World Conference on Science (Conferencia Mundial de Ciencias)

**WT:** wind turbine (turbina eólica)



## APÉNDICE

### ANTECEDENTES MUNDIALES Y REGIONALES

El consumo de combustibles fósiles (en especial de petróleo crudo) se extendió rápidamente por el mundo porque estos son fáciles de transportar y de usar, económicos y relativamente abundantes. Por consiguiente, durante el siglo XX, el mundo tuvo tasas de desarrollo sorprendentemente altas aunado a mejores estándares de vida, lo que tuvo por base un uso más intensivo de la energía con fines de transporte, calefacción, cocina, cuidados de la salud, cultura y servicios educativos. Al mismo tiempo, el petróleo crudo se convirtió en la base de toda una nueva rama de la química, lo que significó el descubrimiento de nuevos materiales como los plásticos, polímeros, plaguicidas y fertilizantes, entre muchos otros.

Hoy, la relación directa entre el índice de desarrollo humano (human development index, HDI) y el consumo de energía es más que clara. En un estudio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (UNDP, 2006) se demostró que, mientras que el HDI mundial promedio era de 0.741 (2004), los países con los mayores HDI (de entre 0.9 y 1.0) también tuvieron el máximo consumo eléctrico per cápita; por ejemplo, Japón, Francia, los Países Bajos, Italia, el Reino Unido, Alemania, Israel y Corea del Sur (ca. 7 GWh/año), Australia (11 GWh/año), Estados Unidos (14 GWh/año), Canadá (18 GWh/año) y Noruega (25 GWh/año). En el otro extremo, Nigeria y Zambia, cuyos HDI fueron de 0.3 y 0.4, respectivamente, tuvieron tasas de consumo eléctrico per cápita inferiores a 200 kWh/año. Los países latinoamericanos mejor ubicados (Brasil, Argentina y México, con HDI de entre 0.8 y 0.85) registraron tasas de consumo eléctrico per cápita inferiores a 2 GWh/año.

Por comprensibles razones económicas, las compañías petroleras se concentraron durante décadas en la extracción del petróleo crudo más fácil y económico de alcanzar. Al principio, el petróleo se extraía muy cerca de la superficie del suelo. En general, ese petróleo era del tipo llamado “ligero y dulce”, es decir, petróleo muy fácil de refinar para obtener productos como gasolinas sin plomo y queroseno para calefacción. A medida que ese proceso avanzó y el petróleo crudo localizado en tierra se volvió (y seguirá volviéndose) cada vez más difícil de encontrar, las tasas de producción de petróleo crudo disminuyeron considerablemente. Además, todos los campos petrolíferos llegan a un punto de su ciclo de vida en el que dejan de ser económicamente convenientes para continuar extrayendo petróleo. Cuando el costo de extracción de cada barril de petróleo se equipara al costo de producción del equivalente energético de un barril de petróleo crudo a partir de otras fuentes energéticas, el pozo petrolero se considera obviamente infructífero.

Durante las tres últimas décadas, la tasa de descubrimiento mundial de nuevas reservas petrolíferas ha sido inferior a la tasa de consumo. En años recientes, las nuevas reservas petrolíferas probadas representaron apenas 27% del consumo mundial de petróleo. En la actualidad, más de 50 países productores de petróleo crudo, como Rusia y Estados Unidos, están produciendo menos petróleo que en el pasado. Además, la región del Mar del Norte, considerada como una prolífica región petrolera hace 20 años, ha sufrido graves mermas en su producción de petróleo crudo. También muchos otros países productores de petróleo crudo están aproximando a su máxima producción. Brasil, que incorporó recientemente nuevos e importantes pozos petroleros, es una excepción mundial.

El consumo y la eficiencia de uso de los energéticos varían considerablemente de un lugar del mundo a otro. En 2005, la media anual de consumo energético mundial per cápita (sin incluir ni biomasa tradicional ni pérdidas) era de 1519 kg de equivalente de petróleo (kgoe). Mientras que el promedio de los países con altos niveles de ingreso fue de 5 228 kgoe, los países con bajos niveles de ingreso tuvieron una media de sólo 250 kgoe. La biomasa tradicional y las mermas representan 10.6% del total de energía primaria global. En los países de escasos recursos, estos

rubros representan en promedio 49.4% del total, pero en algunos países se aproximan a 90 por ciento.

El consumo de energía depende principalmente de la tasa de crecimiento demográfico y del nivel de ingresos per cápita. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), pese a la caída paulatina de las tasas de crecimiento anual de la población humana, ésta seguirá aumentando hasta 2050, cuando se supone se estabilizará para luego empezar a disminuir hacia fines del presente siglo. En lo económico, nuestro mundo está pasando por un periodo sin precedentes de crecimiento económico constante y acelerado, sobre todo en los países en desarrollo.

Actualmente, América Latina y El Caribe (ALC) se está aproximando a la tasa de crecimiento media mundial. Según el escenario básico de las Perspectivas Energéticas Mundiales 2008 de la EIA (y suponiendo que las políticas energéticas actuales no registren cambios significativos en el mediano plazo) la necesidades energéticas mundiales de 2030 serán 50% mayores que las de hoy. En general, se considera que China e India representarán 45% de ese aumento en la demanda. Estas tendencias conducirán a un aumento constante de las emisiones de gases de invernadero (GHG) relacionadas con los energéticos y aumentarán la dependencia de los países consumidores respecto de las importaciones de petróleo y gas natural —sobre todo los procedentes de Oriente Medio y Rusia. Este escenario acrecentaría las preocupaciones actuales respecto del cambio climático y la seguridad energética.

En cuanto se refiere al cambio climático global, las conclusiones clave del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, publicado a principios de 2007, fueron:

- El calentamiento del sistema climático global es inequívoco.
- Es muy probable que gran parte del aumento de la temperatura media mundial que se ha registrado a partir de mediados del siglo XX se deba al incremento observado en las concentraciones de GHG antropogénicos.
- Se espera que el calentamiento y la elevación del nivel medio del mar por causas antropogénicas prosiga durante varios siglos debido a la escala temporal que

rige los procesos climáticos y sus repercusiones, incluso si las concentraciones de GHG se estabilizaran hoy. No obstante, los incrementos potenciales en la temperatura y el nivel del mar serán muy variables, dependiendo de la intensidad de las actividades humanas basadas en el consumo de combustibles fósiles durante el próximo siglo.

- Las probabilidades de que eso se deba exclusivamente a procesos climáticos naturales son de menos de 5 por ciento.
- Durante el siglo XXI, las temperaturas mundiales podrían elevarse entre 1.1 y 6.4 °C, lo que provocaría los siguientes cambios:

1. Es probable que el nivel del mar se eleve entre 18 y 59 cm.
2. Estadísticamente, los episodios de calor intenso, rachas tórridas y precipitaciones catastróficas serán más frecuentes (grado de confianza: >90%).
3. También aumentarán las sequías, los huracanes y las mareas extremadamente altas (grado de confianza: >66%).

- Las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono pasadas, presentes y futuras seguirán contribuyendo al calentamiento global y a la elevación del nivel del mar por más de un milenio.
- Las concentraciones atmosféricas globales de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso resultantes de las actividades humanas, aumentaron considerablemente a partir de 1750 y hoy exceden, por mucho, los valores preindustriales acumulados durante los 650 000 años precedentes.

La mayor parte de las emisiones de GHG se deben al consumo de combustibles fósiles; el carbón mineral es el más peligroso y el gas natural, el menos dañino para el ambiente. El desafío está en iniciar la transición hacia un sistema energético más seguro y con menos emisiones de carbono, pero sin disminuir nuestro desarrollo económico y social. Y en ningún lugar este reto será más difícil, o de mayor relevancia para el resto

del mundo, que en China e India. Se requieren acciones políticas enérgicas, inmediatas y colectivas, por parte de todos los gobiernos, para conducir al mundo hacia una trayectoria energética más sustentable. Las medidas de aumento de la eficiencia energética se distinguen por ser la manera más económica y rápida de impedir que la demanda de petróleo y la emisión de GHG continúen aumentando en el corto plazo. Considerando todos los aspectos antes mencionados, las mayores amenazas que la humanidad enfrenta como secuela de su dependencia de los combustibles fósiles son:

- Reducción de las reservas petrolíferas del mundo y aumento de los precios del petróleo. La red internacional denominada Asociación para el estudio del consumo pico de petróleo y gas (Association for the Study of Peak Oil and Gas, ASPO; <http://www.peakoil.net>) se propuso la misión de: (1) Definir y evaluar la dotación mundial de petróleo y gas natural; (2) elaborar modelos que describan su agotamiento, teniendo en cuenta de su demanda y sus aspectos económicos, tecnológicos y políticos; y (3) aumentar la conciencia en torno a las graves consecuencias que esto representa para la humanidad. Esta red efectúa cálculos anuales para definir por cuántos años sería posible seguir abasteciendo al mundo mediante las reservas probadas, si la tasa de demanda actual se mantiene intacta. Hasta 2007, dichas reservas podían seguir abasteciendo al mundo por 39 años. Sin embargo, el problema de esas estimaciones es que la demanda energética continúa aumentando año tras año y a gran velocidad, lo que le quita realismo a la predicción. Según Aleklett y Campbell (2003), por cada cuatro barriles que se extraen anualmente, sólo se agrega uno a las reservas probadas. Los pronósticos de precio varían de un estudio a otro, pero los expertos están de acuerdo en que los precios del petróleo jamás volverán a ser tan bajos como lo fueron en 2005. En tal escenario, la humanidad enfrenta dos grandes retos:

1. Cómo compensar la demanda energética que quedará al descubierto conforme disminuya la producción petrolera.
2. Cómo evitar que se ensanche la brecha entre los países desarrollados

y los países pobres, en cuanto se refiere a bienestar, progreso, desarrollo, oportunidades y mayores ingresos económicos, en un escenario donde el precio de los energéticos se vaya por las nubes.

- Distribución inequitativa de las reservas de energéticos fósiles. La distribución de las reservas mundiales de petróleo, carbón mineral y gas natural no es uniforme. Según Radler (2005), las reservas mundiales de petróleo probadas (petróleo crudo, gas natural, líquidos, condensados y petróleo no convencional) se ubicaban alrededor de 1.293 billones de barriles a fines de 2005; es decir, 14 800 millones de barriles (1.2%) por arriba del cálculo del año anterior. Las reservas están concentradas en el Oriente Medio y el Norte de África (Middle East and North Africa, MENA) y, en conjunto, representan 62% del total mundial. Las reservas petroleras de Arabia Saudita son las mayores del mundo y equivalen a 20% del total. Siete de los 20 países con las mayores reservas se localizan en la región de MENA. En ALC, solamente Venezuela (5º lugar), Brasil (10º lugar) y México (13º lugar) figuran en la lista de los mayores países productores de petróleo. En el caso del gas natural y el carbón mineral, la concentración es aún más irregular, pues Rusia, Irán y Qatar poseen conjuntamente 56% de las reservas probadas totales de gas natural; asimismo, 76% de las reservas de carbón mineral están concentradas en cinco países: China, Rusia, Estados Unidos, Australia e India. Como contraparte, la distribución de los recursos edáficos (biomasa), eólicos y solares es más democrática y ALC se ve particularmente favorecida por la presencia de estos recursos naturales.
- Emisiones de GHG inductores del cambio climático global. Según un informe reciente de la ONU/IPCC, se deben adoptar medidas enérgicas para mitigar el cambio climático actual. Una de las más urgentes es otorgar incentivos financieros al uso de fuentes de energía renovables que sustituyan el consumo de combustibles fósiles.

Desde el punto de vista social, buena parte de las actividades de investigación y desarrollo necesarias para promover la sustentabilidad se deben enfocar en las

complejas y dinámicas interacciones de la naturaleza y la sociedad humana (sistemas socioecológicos), en vez de concentrarse individualmente en las facetas sociales o ambientales de dicha interacción. Además, algunas de las interacciones de mayor relevancia ocurrirán en lugares específicos o estarán asociadas a ciertas empresas y tiempos. Por lo tanto, los avances científicos y tecnológicos relacionados con el desarrollo sustentable deberán tener por base “un lugar” o “una empresa” y estar inmersos en las características particulares de cada localidad o circunstancia. Eso significa que será necesario ampliar la investigación científica y tecnológica para ir en busca de conocimientos, mucho más allá de los conjuntos esenciales de erudición especializada, para abarcar los conocimientos, innovaciones y prácticas de tipo endógeno.

El diseño de métodos para evaluar cuáles lecciones se pueden transferir de forma útil de un entorno a otro es uno de los mayores retos de este campo. Tanto la comunidad científica y tecnológica, como la sociedad en general, están comprometidas a diseñar un nuevo conjunto de estrategias que nos permita enfrentar los desafíos que nos aguardan en el futuro. Puesto que tiene por base el capítulo 31 de la Agenda 21, la propuesta de la comunidad científica y tecnológica establece que dichas estrategias deberán apoyarse en estos principios:

- Un nuevo contrato entre ciencia y sociedad: dirigido a la desigualdad social, la reducción de la pobreza y otros problemas sociales debe ser parte integral de cualquier iniciativa científica, ingenieril y tecnológica.
- Reorientación e inversión: las disciplinas científicas e ingenieriles deben asignar mayor prioridad a la búsqueda de soluciones a nuestros desafíos más apremiantes de tipo ambiental y de desarrollo, y recibir mayor apoyo de parte de nuestras sociedades y gobiernos.
- Acumulación y preservación de capacidades: como corolario de esos conocimientos y de las nuevas herramientas, todos los países deben acumular y preservar su capacidad científica y tecnológica, pero sobre todo aquellos que carecen de una masa crítica mínima en cuanto se refiere a capacidad científica y tecnológica.

## *Antecedentes de ALC*

El consumo energético anual per cápita varía mucho de país a otro; por ejemplo, es de unos 300 GJ en Trinidad y Tobago, pero de sólo 10 GJ en Haití. Otro indicador que pone de manifiesto la índole extremadamente diversa de la región es la intensidad energética de los diferentes países, que varía desde 36 MJ/USD (PPP) en Trinidad y Tobago (un exportador mayor de gas natural) a sólo 4 MJ/USD (PPP) en Barbados. La intensidad energética media de ALC oscila alrededor de 11 MJ/USD (PPP), cifra que se ubica ligeramente por arriba de la media mundial: unos 10 MJ/USD (PPP).

Vale la pena mencionar que ALC necesita mejores condiciones de vida, lo que significa mayor consumo de energía per cápita. La estrategia para lograrlo se basa en el ahorro energético (es decir, evitar pérdidas innecesarias de energía) y en sustituir los combustibles fósiles por fuentes energéticas renovables, en vez de en una reducción de la tasa general de consumo energético per cápita.

El crecimiento demográfico y el nivel de ingresos económicos son las fuerzas impulsoras del consumo energético mundial. Los pronósticos de crecimiento demográfico de ALC indican que se llegó al punto máximo de crecimiento anual durante la década de 1960 (2.8%) y que la tendencia futura es hacia un descenso continuo, de nuestro 1.2% actual a un posible 0.25% en 2050. Los estudios indican que hay una relación directa y lineal entre el crecimiento demográfico y el consumo de energía. En las condiciones sociales y económicas actuales, cada punto en el índice de crecimiento demográfico significa un punto en el índice de consumo energético.

En el caso del crecimiento económico, las cosas son diferentes. La relación entre el aumento de los ingresos económicos per cápita y el consumo de energía eléctrica tiende a ser logarítmico, pues lo sesgan las tasas de inflación y la desigualdad de la distribución de los ingresos (coeficiente de Gini). Los datos del PIB basados en la PPP indican que las economías de ALC representan 8% de la economía mundial, en comparación con sólo 5% cuando se basan en el PIB convertido en USD a las tasas de cambio monetario actuales. Brasil y México son las mayores economías de la región, pues representan cerca de dos tercios del PIB de ALC y 61% de su población.



La media del PIB per cápita de la región es de 9 064 USD en términos de la PPP. Chile, México y Argentina poseen el mayor PIB per cápita de la región, mientras que Paraguay y Bolivia tienen el menor. Actualmente, el consumo de energía eléctrica individual de ALC sobrepasa el promedio mundial. Las cifras por país oscilan entre 1.0 y 1.5 veces la media mundial en México, hasta menos de 0.5 veces la media mundial en Bolivia.

Se espera que el PIB regional disminuya en los años venideros, para llegar a 4.5% en 2008 y reducirse a sólo 4.3% en 2009. Esta estimación se apoya en el crecimiento constante y firme de Brasil, y en la recuperación de un mal año 2007 para México. En otros países (sobre todo Argentina y Venezuela) es de esperar que el crecimiento se decelere. Con salvedad de estos dos países, se espera una deceleración marginal en el aumento del PIB regional, de 4.4% en 2007 a 4.2% en 2008 (debido a la debilidad económica de Estados Unidos), antes de su recuperación a 4.3% en 2009.

Si estas predicciones resultan ciertas, representarían para ALC el periodo de crecimiento positivo más prolongado desde la década de 1960. Pese al empeoramiento gradual de las balanzas económicas actuales debido al aumento constante del precio de las materias primas y la deceleración del incremento de la demanda mundial, es muy probable que el crecimiento persista, apoyado por la expansión continua del consumo y la inversión, y mantenido a flote por un ambiente de baja inflación (excepto en Argentina y Venezuela), mejores políticas fiscales (sobre todo en México) y el constante y firme influjo de capital (especialmente en Brasil).

Entre 1970 y 1980, el desarrollo económico se vio acompañado por un descenso en el consumo de energía por unidad producida (menor intensidad energética), lo cual indicó que hubo aumentos en la eficiencia y que los recursos energéticos fueron utilizados de mejores maneras. No obstante, la tendencia se invirtió entre 1980 y 1985 (los ingresos económicos per cápita menguaron, pero la intensidad energética aumentó), y ese patrón adverso persistió entre 1987 y 1990. Esto sugiere que la eficiencia energética no tuvo mejora alguna durante la recesión económica de la década de 1980. Durante los tres primeros años de la década de 1990, los niveles de

ingreso se recuperaron, pero la intensidad energética permaneció alta. Entre 1990 y 2000, las mejoras en intensidad energética fueron casi nulas. El indicador de intensidad energética ha exhibido tendencias bastante similares en las distintas subregiones, pero sus valores absolutos varían considerablemente. Los mayores índices de intensidad energética se registran en los países caribeños debido más que nada, al uso más frecuente de equipos de baja eficiencia y alto consumo eléctrico. Los países del Cono Sur tienen los valores absolutos más bajos ya que usan equipos y tecnologías energéticas más avanzados en sus procesos de producción. Los países andinos no exhibieron cambios significativos durante el mismo periodo.

Por lo tanto, los países de ALC sólo han logrado avances modestos en cuanto se refiere a reducción de la intensidad energética. Además, durante algunos periodos han registrado incluso algunos retrocesos. Luego de una caída de 9% entre 1970 y 1980, la intensidad energética volvió a elevarse durante la década de 1980. En 1999, el consumo energético de ALC por unidad de producción fue 7% mayor que en 1980. Por el contrario, los países de la OCDE redujeron en 20% su intensidad energética durante las dos últimas décadas, al imponer políticas energéticas encaminadas a diversificar el suministro energético y a multiplicar la eficiencia energética mediante la reducción de las mermas y la promoción de un uso más rentable de la energía. Si ALC cuenta con tecnologías, apoyos y políticas apropiados, el potencial de la región para lograr los mismos resultados es considerable.

Pese a las posibilidades de progreso de la región, las proyecciones de la intensidad energética hasta 2015 son poco halagüeñas. Según la OLADE, y excluyendo cualquier cambio estructural significativo como la incorporación de tecnologías más eficientes, es poco probable que la región logre mejoras significativas en su intensidad energética. Mientras que algunos países mejoran en este aspecto, otros tienden a incrementar su intensidad energética.

La región posee 10% de las reservas petrolíferas del planeta, 4.3% de las reservas mundiales de gas natural y 1.6% de las reservas de carbón mineral del orbe. Además, 22.7% del potencial hidroeléctrico del mundo se encuentra en ALC. La demanda de energía de la región representa alrededor de 6.6% del mercado energético mundial.

Por otro lado, el logro de una proporción de 10% de fuentes de energía renovables establecida como meta mundial para 2010, ya es una realidad en América Latina. Esto se logró principalmente mediante la construcción de enormes presas hidroeléctricas. Cerca de 26% de los energéticos de ALC provienen de fuentes renovables, y 15% de esa energía es hidroeléctrica, según la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (Economic Commission for Latin America and the Caribbean, ECLAC). Renovable no significa sustentable, aseguran los activistas y expertos que desean ver menos presas colosales y más regulación en el uso de leña (que representó 5.8% de la energía consumida en la región en 2002) y en los incentivos para el desarrollo de fuentes no convencionales.

Argentina, que depende en gran medida del gas natural, es el único país de la región con menos de 10% de fuentes de energía renovables; y cuatro naciones se encuentran en la zona crítica de 10 a 20%: México, Ecuador, Venezuela y Chile. En el otro extremo están Paraguay, Honduras, Haití y El Salvador, cuyas matrices energéticas poseen más de 80% de fuentes de energía renovables. Pero ni siquiera en este grupo todo es positivo. Paraguay depende casi por completo de la energía hidroeléctrica, mientras que Honduras, Haití, El Salvador, Nicaragua y Guatemala dependen en alto grado de la leña. Aunque Costa Rica genera 99% de su electricidad mediante fuentes energéticas renovables, la proporción renovable total de la matriz energética del país es de alrededor de 25 por ciento.

En los últimos años, las empresas automotrices han diseñado motores con flexibilidad de combustible capaces de consumir gasolina, etanol o varias mezclas de estos, y están trabajando en modelos “trivalentes” que también puedan funcionar con gas natural. Brasil produce anualmente más de 2 500 000 vehículos con flexibilidad de combustible (capaces de funcionar con cualquier proporción de etanol y gasolina). Hoy, Brasil cuenta con 700 000 a 800 000 vehículos que funcionan con gas natural, cifra que sólo supera Argentina.

En Cuba, la matriz energética tiende hacia el desarrollo de energéticos sustentables. Cuba dependió excesivamente del petróleo soviético hasta principios de la década de 1990. El colapso de la Unión Soviética interrumpió el suministro y hundió

a Cuba en una crisis energética. A partir de entonces, este país se dedicó a desarrollar sus propios recursos petroleros, planes de conservación de energía e investigaciones sobre fuentes de energía renovables. No obstante, Cuba aún depende del petróleo, que representa 56.1% de su suministro energético primario total (TPES). Las fuentes energéticas renovables representan apenas 37.9% y se basan principalmente en subproductos de la caña de azúcar (34.5%), que por lo general se usan en procesos de combustión de baja eficiencia.

Otro punto que vale la pena considerar es que, dado el meteórico aumento del precio del petróleo crudo, la sustitución de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables no sólo se debe impulsar en ALC, sino en todo el planeta. En tal escenario, algunos países no tendrán las condiciones necesarias para producir todos los energéticos (sobre todo biocombustibles) que requieren para cubrir sus necesidades internas. Por lo tanto, tendrán que buscar proveedores externos e incluso trasladar sus industrias a lugares donde la energía sea más económica. Por consiguiente, la generación de energéticos renovables en ALC no sólo significa un futuro más sustentable, sino una valiosa oportunidad económica.

Sin embargo, los debates sobre recursos energéticos se deberán efectuar siempre en paralelo a cuestiones ambientales como las emisiones de gases de invernadero, en particular las de dióxido de carbono.







