



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

NÚMERO 3 | AÑO 2 | 2009

CUADERNOS DE DIFUSIÓN

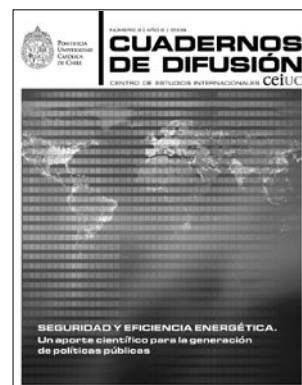
CENTRO DE ESTUDIOS INTERNACIONALES **ceiUC**



SEGURIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA
Un aporte científico para la generación
de políticas públicas

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
EDITORIAL	6
Desarrollo pleno de las energías renovables en Chile: SEGURIDAD ENERGÉTICA, PROSPERIDAD ECONÓMICA E INNOVACIÓN INDUSTRIAL por José Etcheverry	12
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y CULTIVOS AGRÍCOLAS la experiencia de Europa y el potencial para Chile por Felipe Kaiser	31
LA CRISIS CHILENA una oportunidad para implementar un modelo sustentable para el futuro desarrollo del sector energético por Rafael Friedmann	41
ESCENARIO ENERGÉTICO DE CHILE discusión de una estrategia de suministro de energía para el futuro por Eduardo Figueroa Karlström	51
LA UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS y otros desechos para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos por Carlos M. Monreal	82



INTRODUCCIÓN

El análisis de la «seguridad energética» nos enfrenta a un problema de carácter político-estratégico que se relaciona con asuntos vitales para el país, que deben enfrentarse desde el ámbito político. En Chile, pese a los esfuerzos, no se ha producido un proceso ordenado, racional y sistemático que lleve a una respuesta coherente de todas las partes involucradas.

Ello resulta grave dadas las carencias que tenemos y porque, más allá de los megawatts o el dióxido de carbono involucrado, este problema tiene incidencia en la seguridad de Chile como nación y como estado. Esto se debe a que la falta de energía frena nuestro desarrollo, limita las posibilidades de crecimiento, compromete la competitividad de una economía abierta al mundo que enfrenta una crisis y posterga la solución para aquellos que tienen carencias básicas.

Al hablar de energía estamos refiriéndonos a una de las herramientas fundamentales que permitirán el logro de los objetivos de un país. Esas metas se hacen más complejas y urgentes al encontrarnos en un escenario global cada vez más incierto.

El Chile del Bicentenario al cual aspiramos pareciera más complejo de alcanzar. En lo interno, lo que se ha puesto en juego es la cohesión social; el crecimiento alto, sostenido y sustentable; el desarrollo (educación, trabajo, innovación, emprendimiento, seguridad y derrota de la pobreza) y la inversión en ciencia y tecnología. Por su parte, en lo externo está la incapacidad para desarrollar la segunda fase de implementación de los tratados internacionales. Tampoco hemos madurado el concepto ni aprovechado el potencial de los encadenamientos productivos con economías a las cuales exportamos mayoritariamente commodities.

Adicionalmente, y como factor básico, en este cercano bicentenario de la independencia de muchos países de América Latina es vital enfatizar un objetivo prioritario: la mantención de la paz regional. Ese es hoy, aunque la mayoría no lo perciba, el mayor activo de nuestra región, dado que nuestro continente es el único que la posee en la actualidad. Seguridad nacional implica hoy que cada país y la región vivan en paz. Hacerlo exige desarrollar capacidades que eviten la conflictividad dentro de los estados, manteniendo un nivel disuasivo que permita construir relaciones armónicas en una vecindad lamentablemente inestable.

La energía también incide en ello. Por una parte, no poseerla genera focos de inestabilidad, pobreza, desigualdad, criminalidad y problemas de cohesión social. Por otra, usarla como arma de presión geopolítica puede generar conflictos en lugar de provocar acuerdos. Desde esa perspectiva, la energía es la que permite un nivel alto, sostenido y sustentable de crecimiento, lo que lleva a un estado hacia el desarrollo pleno. Bien usada conduce a procesos de integración. Por el contrario, al usarla como elemento de presión e intervención aleja la posibilidad de construir asociatividad y cooperación.

Algunas cifras que reflejan este vínculo energía-desarrollo: nuestro PIB per cápita es de 12.500 dólares y el promedio de los países de la OCDE es de 35.000 dólares, cifra indicadora de un país desarrollado. Las previsiones nacionales estiman que el año 2033 podríamos alcanzar ese nivel. Sin embargo, para hacerlo se requiere crecer a tasas que exigen una capacidad instalada cerca de 30.000 megawatts, muy diferentes a los actuales 13.000 megawatts con que contamos. Allí radica la demanda a satisfacer: un requisito para el desarrollo con las implicancias políticas y estratégicas ya reseñadas.

¡No hay duda: crecimiento y energía están indisolublemente unidos! Sin embargo, los chilenos al parecer no lo percibimos así. De habernos dado cuenta nuestro actuar habría sido y sería diferente. Por el contrario, no visualizamos a tiempo los aspectos antes reseñados. Se reaccionó y hoy se visualiza una política al respecto y se encuentra en trámite la creación del Ministerio de Energía. Adicionalmente, lejos de unirnos para encontrar soluciones, se potencian las visiones confrontacionales y descalificatorias entre actores llamados a enfrentar un problema común.

En consecuencia, si requerimos tener seguridad energética es necesario que en el país se mantengan los aspectos positivos de nuestro sistema: responsabilidad del sector público como regulador y un sector privado productor, generador y distribuidor, con rangos de libertad. Sin embargo, ambos actores necesitan de una visión que adecúe su actuar a tiempos de incertidumbre con crisis energética o, al menos, una brecha excesiva entre la oferta y la demanda. El modelo funcionó muy bien para los tiempos de certeza, pero no es el adecuado para los tiempos actuales.

Lo primero, y donde pareciera que hay consenso, es la definición de un objetivo a nivel país, que podríamos sintetizar como «obtener seguridad energética a través de la definición e implementación de una matriz, que dé satisfacción a nuestra demanda en forma diversificada, oportuna, a precios que mantengan nuestra competitividad y que sea viable como asimismo respetuosa del medio ambiente. Adicionalmente desarrollar programas de ahorro energético que limiten la demanda».

Para contribuir a tal propósito el Centro de Estudios Internacionales de la Pontificia Universidad Católica de Chile, junto al Ministerio de Relaciones Exteriores y la Corporación Chile Todos organizó entre el 14 y el 18 de abril de 2008 un seminario para tratar estos temas. Convocamos a chilenos radicados en el extranjero que por su formación y actividad son autoridades mundiales en las variables más significativas que estimamos el país debería enfrentar. Las jornadas académicas se unieron a entrevistas y talleres con autoridades sectoriales, ministros y parlamentarios. También tuvieron oportunidad de reunirse y conocer el sector privado, sus proyectos e inquietudes.

Hoy, a través de este Cuaderno de Difusión –que patrocina la Honorable Cámara de Diputados a través de su presidencia–, damos cuenta de temas tales como biomasa, energía renovable y eficiencia energética, todos los cuales son vitales en el desarrollo de una política de Estado en relación a tan vital asunto.

Asumir en esa dimensión los problemas energéticos es la única forma de actuar que dará seguridad en un sentido amplio. En este tema, lamentablemente, se probó el axioma que «cuando algo es urgente y no se ha previsto, es demasiado tarde para planificar». Sin embargo, se ha asumido el problema. Incluso se podría transformar en una oportunidad para Chile. Hacer realidad dicho enfoque exige estar basado en ciertos pilares que lamentablemente, por ahora son muy débiles.

Se sintetiza en los siguientes imperativos: coordinación efectiva y roles claros del sector público y privado; enfrentar el déficit con criterio de emergencia; una visión estratégica y prospectiva; aportes y recursos internacionales para superar la brecha financiera y tecnológica; esquemas de producción y distribución diversificados y eficientes capaces de superar barreras y crisis; matrices energéticas diversificadas definidas por el mercado; y voluntad política para mirar el tema desde el enfoque de un mundo globalizado con vocación de complementación, con un cambio de visión desde la lógica del antagonismo y el aislacionismo a la asociatividad orientada a generar seguridad a los países y

las regiones. Adicionalmente, dar el salto del cambio de paradigma energético desde ya, lo que transformaría a Chile en un país que, sin tener recursos fósiles, sería proveedor de energías nuevas incluyendo una capacidad de producción industrial de tecnologías asociadas a ellas. Lo anterior, separando las soluciones para suplir el déficit, que tienen un acotado aporte, y el futuro mediano, donde se le abren grandes espacios.

Concluyendo: la clase política, las élites y los gobiernos deben asumir que para estar seguros, tanto en lo interno como en lo externo, y mantenernos alejados de los conflictos que estremecen el mundo, el tema energético debe ser asumido con una mirada de políticas de Estado. Definir estas políticas públicas permitiría salvar la situación actual y transformaría la crisis en una oportunidad.

Chile, un país con amplios y diversos recursos energéticos renovables subexplotados (tanto los tradicionales como la hidroelectricidad, cuanto los nuevos como la fotovoltaica, geotérmica, eólica, maremotriz, y otros), puede ser capaz de producir para sí y, dada la aplicación de ciencia, tecnología e iniciativa empresarial, podría llegar a ser proveedor de nuevas energías para otros; así como transmisores de energías provenientes de otros productores hacia mercados lejanos; generadores de sistemas de partes y piezas para nuevas fórmulas de generación y plataforma de servicio que apoyaran logística e incluso financieramente los procesos productivos radicados en nuestro país. De esta forma podríamos entrar en el mercado de la energía, aún sin ser productores de petróleo o gas. Adicionalmente, puede ser una importante fuente de empleos y actividades productivas para pequeñas y medianas empresas en el ámbito de un país de servicios. Se podría sintetizar en un clúster de energías renovables.

Un enfoque de esta naturaleza, sin duda, es complejo pero absolutamente posible. Hacerlo realidad implica dar un salto cultural de Chile y los chilenos. Esta es una apuesta que requiere decisión política, un proyecto de país y exige elevar el nivel de preparación y eficiencia.

Los contenidos de este Cuaderno de Difusión constituyen un aporte a esa visión. El trabajo del CEI UC, asociado a diferentes organismos públicos y privados, continuará buscando definir opciones para enfrentar un tema vital para el desarrollo de Chile, mantener y acrecentar su competitividad aún en tiempos de crisis y así lograr dar el salto que lleve a la solución de problemas que subsisten en el tiempo los cuales sin contar con energía suficiente, a tiempo, segura y a precio conveniente se transforma en una utopía.

JUAN EMILIO CHEYRE
Director del Centro de Estudios Internacionales UC



En abril de 2008 se recibió en esta Universidad y en diferentes organismos nacionales a cinco destacados chilenos residentes en el extranjero, expertos en energía y cuyos importantes aportes se publican en esta revista. Ellos fueron invitados a participar en el «1er Seminario internacional sobre seguridad y eficiencia energética. Un aporte científico para la generación de políticas públicas», organizado por el Ministerio de Relaciones Exteriores, el Centro de Estudios Internacionales de la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Corporación Cultural Chile Todos.

Las conferencias que los invitados dictaron en esta casa de estudios, en la Universidad de La Serena, en la Cámara de Diputados ante la Comisión de Energía, en Corfo y ante el Ministro de Relaciones Exteriores tuvieron un valor extremadamente importante para cooperar en la comprensión y difusión del tema energético que ya se está tratando en forma habitual y cotidiana.

De la lectura de sus ponencias, de sus exposiciones y de las extensas conversaciones sostenidas con académicos, estudiantes universitarios, autoridades políticas y técnicas de diferentes grados de influencia en la toma de decisiones y por nuestras propias conclusiones, se comentan a continuación algunas de las opiniones y conceptos vertidos por ellos, más allá de las publicaciones que se editan en esta revista. Dichas opiniones se fueron dando en forma espontánea durante la participación con los diferentes profesionales, debido a la gran experiencia que poseen a nivel internacional, no sólo en el campo de las políticas públicas del área de la energía, sino que además en el plano técnico en que ellos han cooperado a implementar en diferentes países y que exponen y publican normalmente en el ámbito académico de sus respectivas universidades.

Los expertos invitados coincidieron en que, en materias medioambientales, nos enfrentamos a problemas que podemos generalizar en tres factores que se estiman vitales:

1. El «calentamiento global», que está provocando el «cambio climático», cuyas consecuencias aún son impredecibles, según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
2. La necesidad de los países de alcanzar un «desarrollo sostenible», es decir, permitir su crecimiento a los mismos o mayores niveles que los obtenidos en la actualidad, sin contaminar y afectar el medio ambiente, objetivos que se encuentran plasmados en el United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) y en el Protocolo de Kioto.

3. La «crisis energética» a la cual se ve enfrentado el mundo y, por cierto, Chile. Los combustibles fósiles alcanzaron en tiempos muy recientes altos niveles de precios nunca antes vistos y nadie es capaz de predecir que dicha situación no se vuelva a presentar en el futuro. Cada vez es más difícil conseguir que dichos recursos no pongan de manifiesto la interdependencia que puede afectar las relaciones entre los Estados. Por otra parte, se concluyó que existe la certeza de que la energía eléctrica producida mediante combustibles fósiles es la que está favoreciendo el fenómeno del cambio climático, lo que ha provocado que muchos países hayan optado por diversificar sus matrices energéticas, incorporando a ellas el desarrollo de proyectos de energías renovables no convencionales (ERNC) y desarrollando campañas de educación de cambio de hábitos para el uso eficiente de la energía a nivel de la población. A su vez, y en forma evidente, se ha provocado la reactivación de la industria nuclear de potencia o nucleoelectricidad, lo que ha implicado que cada vez sean más los Estados que optan por este tipo de energía.

Todos los países están sometidos a grandes presiones y se encuentran abocados a tomar decisiones para disminuir la contaminación medioambiental que amenaza la salud y el desarrollo, buscando soluciones viables que permitan disminuir su dependencia, ampliando y diversificando sus matrices energéticas.

La escasez de agua producirá el agotamiento de los suelos agrícolas, se están perdiendo y sobreexplotando grandes bosques, la contaminación del aire y del agua está afectando a numerosas zonas de la tierra y el logro de mejores niveles de vida sin destruir el medio ambiente es un reto que se plantean no sólo los científicos y expertos, sino que también los líderes políticos y la población misma. Sin duda es posible afirmar entonces que estos son factores geoestratégicos que afectan la seguridad mundial y la seguridad de todas las naciones sin excepción.

Chile no cuenta con los suficientes recursos energéticos derivados de los hidrocarburos, por tanto se importa un considerable porcentaje (cerca al 98 por ciento). Es así como podemos afirmar en forma empírica que, en un mundo interdependiente, la energía constituye un factor que gravita enormemente en las relaciones interestatales y nos reafirma que en un mundo globalizado los países se dividen en quienes poseen estos recursos y los que se encuentran sometidos a un alto grado de dependencia energética, como es el caso de Chile.

Existe una estrecha correlación entre los niveles de crecimiento económico y el nivel de crecimiento disponible de energía. Podrá ser discutible si la cifra de crecimiento debe ser la misma o no, pero lo que no es discutible es que el país que no cuenta con energía suficiente para crecer, detiene su desarrollo y puede producir graves trastornos tanto a nivel nacional como internacional.

Es un hecho que la energía afecta a la seguridad de Chile. Al menos hasta ahora, es un país energéticamente dependiente. Es un hecho, además, que las naciones vecinas son independientes y que el país no posee un desarrollo industrial ni de profesionales que permitan sustentar en el corto plazo el desarrollo de la generación eléctrica mediante la energía nuclear. Es así como muy recientemente en Chile se está logrado elaborar o generar una institucionalidad legal, pero aún no existen los incentivos ágiles para los diferentes estamentos sociales, que le permitan al país avanzar más velozmente en un desarrollo energético sustentable. Cabe preguntarse entonces: ¿a qué riesgos estamos sometidos o cuáles son los riesgos que podríamos enfrentar en el futuro?

Se estima que son varios. Sin embargo, podemos resaltar sin temor a equivocarnos que algunos de dichos riesgos son:

- La alta dependencia de naciones vecinas.
- La inestabilidad y el bajo crecimiento económico.
- El bajo nivel de desarrollo social e industrial.
- La inestabilidad política internacional.
- La posible generación de conflictos.
- El comprometimiento de los objetivos que se derivan del interés nacional.

Chile debe, como prioridad de Estado, establecer y resolver las capacidades internas y el grado de dependencia externa, a objeto de desarrollar nuevas fuentes de energía disminuyendo los riesgos de dependencia internacional. Es decir, debe diversificar su matriz energética haciendo uso de todos los recursos posibles que ofrece la ciencia y la tecnología.

Para ello, Chile debe reforzar los mecanismos institucionales y jurídicos que permitan desarrollar las ERNC y, eventualmente, la nucleoelectricidad, como también reforzar los mecanismos e incentivos no sólo en el ámbito del ahorro y uso eficiente de la energía, sino que, además, el desarrollo de políticas públicas que contribuyan a la aceptación del tema energético como un compromiso de todos los chilenos y no como la búsqueda de un efecto de inmediatez política. Se debe comprender que la decisión de optar por diferentes tipos de energías no es un modelo de discusión político partidista, sino una necesidad de desarrollo del país. Ello, como una continua búsqueda de soluciones que aprovechen las capacidades geográficas naturales, bajo un concepto de desarrollo sustentable que no comprometa a las generaciones futuras. Esto dice relación con el compromiso adquirido en tratados, acuerdos y protocolos firmados y ratificados por Chile y a su compromiso de no contribuir al calentamiento mundial. Se

debería, por tanto, ir paulatinamente desestimando la generación mediante el uso de combustibles fósiles en la medida que los sistemas de generación limpia se vayan implementando y que la matriz energética nacional se vaya diversificando convenientemente.

Si bien existe consenso en la necesidad de diversificar nuestra matriz sobre la base de la integración de sistemas de producción de energía renovable, no es menos cierto que actualmente, y en el corto plazo, la cantidad de generación posible versus el requerimiento nacional es menor a la deseada y no se percibe que exista una solución factible y real en el corto plazo. Necesariamente, Chile necesita contar hacia el año 2020 con el doble de su actual capacidad instalada. Por lo tanto, deberá entonces pensar en sistemas de generación masiva de energía no convencional, que permitan dar la confianza y la tranquilidad necesaria que requiere el crecimiento del país.

Chile debería, por consiguiente:

- Continuar aprovechando al máximo los recursos hidrológicos de la zona sur y austral e ir desarrollando las capacidades de las cuencas y hoyas hidrológicas inexploradas de la zona central del país.
- Implementar al máximo el desarrollo de las ERNC, especialmente de aquellas para las cuales existen potencialidades naturales como son la energía solar, geotérmica, mareal y eólica, así como buscar la forma de desarrollar tecnologías de producción mediante biomasa y biocombustibles. De esa forma Chile podría transformarse en un país referente a nivel mundial en este tipo de energías.
- Generar incentivos no sólo para innovadores, emprendedores e industriales que desarrollen las ERNC, sino que para los ciudadanos que, mediante el uso de información y tecnologías disponibles, contribuyan al ahorro y uso eficiente de la energía.
- Generar políticas públicas que permitan fortalecer los marcos jurídicos y regulatorios para el desarrollo de la energía en todas sus formas y que no comprometan su sostenibilidad.
- Si bien nuestros expositores no se mostraron proclives al desarrollo nuclear, se estima atingente, dada la realidad nacional y a las resoluciones adoptadas por el gobierno, continuar con los estudios tendientes a definir como país un posible desarrollo nucleoelectrico, para acrecentar la disponibilidad energética de una manera segura y no contaminante, recurriendo a la cooperación internacional que permita que el Estado pueda adoptar resoluciones en esta área. Cerca de cuarenta países consideran la energía nuclear como una opción válida y otros veinte se encuentran en procesos de evaluación y de proyectos en diferentes etapas. No existirían por tanto razones tecnológicas para que Chile no resuelva su postura respecto de este tipo de generación.

- Desarrollar con urgencia planes de capacitación de profesionales, tanto en Chile como en el extranjero, en materias afines a la generación eléctrica, ya sea ésta de métodos convencionales o no convencionales de energías renovables y nucleares. La preparación de jóvenes en postgrados de tecnologías energéticas en sus diferentes formas y especialidades es fundamental y no será una pérdida de esfuerzos, dinero o expectativas. Por el contrario, serán un gran aporte científico y tecnológico, ya que se obtendrían profesionales capacitados para desempeñarse en cualquier ámbito de la industria y del conocimiento.

Nuestro país debería, además:

- Continuar estimulando proyectos e inversiones hidroeléctricas en la zona centro sur y austral para generar una mayor integración y conectividad del territorio nacional, presentándose, por tanto, desde el punto de vista geopolítico, beneficios adicionales al valor de la energía.
- Mantener un adecuado equilibrio entre la energía hidroeléctrica y térmica a objeto de asegurar el abastecimiento en las épocas secas, más aún considerando los importantes cambios climáticos que están ocurriendo en el mundo. También hay que continuar buscando nuevas opciones para posibilitar el desarrollo de todas las energías renovables no convencionales (ERNC), especialmente la geotérmica, eólica, solar y mareal, a pesar de que ellas, hasta ahora, no sean un aporte considerable en volumen y participación de la matriz energética nacional.
- Considerar los aspectos legales y regulatorios sobre aquellos aspectos medioambientales que podrían complicar o retardar innecesariamente los proyectos de inversión. Una vez que los inversionistas cumplan las exigencias que se definan y aquellas que ya son parte del sistema nacional, no debieran ser abortadas por agentes externos corriendo el riesgo que se afecten los costos financieros o que el proyecto mismo fracase.
- Permitir que el potencial hidroeléctrico de la zona austral contribuya en forma segura al abastecimiento energético del Sistema Interconectado Central (SIC) y, eventualmente, se exporte energía a Argentina, permitiéndose una integración con nuestro vecino país, disminuyendo la dependencia internacional y logrando resultados positivos de integración. Del mismo modo, promover la integración energética regional.
- Buscar posibilidades y alternativas de «equilibrios de intercambio energético» con países vecinos, cambiando la histórica visión bilateral hacia una visión multilateral y de regulaciones supranacionales. Basado en ello, estudiar la posibilidad de exportar las capacidades que se generen en el sur del país y que puedan quedar disponibles de los sistemas energéticos nacionales. Ello requerirá de reglas operacionales y de un marco jurídico adecuado.

- Asumir un rol de liderazgo en la exploración geotérmica, en la definición y estructuración de los mapas de vientos y, en general, en el uso de todos los tipos de energía con el fin de diversificar al máximo la matriz energética nacional y no dejar aquello sólo en manos del sector privado, cumpliendo en este campo el rol subsidiario que le corresponde.
- Implementar las políticas públicas de eficiencia energética, para que ellas sean consideradas como un recurso adicional a la matriz energética nacional.
- Considerar la creación de un organismo regulador y fiscalizador de la actividad nuclear en forma independiente, buscando asociaciones y alianzas internacionales en instrumentos políticos y técnicos que posibiliten la materialización de estudios y definiciones en los cuales participe la comunidad, tendiente a la aceptación o rechazo de esta tecnología por parte de ésta.

Como conclusión general se estableció que es necesario dictar políticas públicas que incentiven a las personas a invertir en conservación y ahorro de energía y a tomar conciencia de la crisis energética que se vive. También es necesario establecer incentivos que permitan, por ejemplo, que las personas inviertan en sus viviendas en energía solar para calentar agua y obtener calefacción disminuyendo su inversión de las contribuciones que se pagan anualmente al fisco. Del mismo modo se debe incentivar la inversión privada o particular en pequeñas centrales eólicas, solares y mareales, que le den energía a casas o poblados aislados rurales, ribereños o insulares. El Estado, dando el ejemplo, debe implementar normas para la construcción habitacional, ya sea de interés público y del ámbito social o bien de interés privado, pero que tiendan en forma efectiva al ahorro y conservación de la energía.

Finalmente, no se pueden dejar de mencionar comentarios que los conferencistas invitados realizaron insistentemente, tales como que si a nivel de gobierno se continúa implementando y autorizando la generación por medio de centrales a carbón y de hidrocarburos, que harán subir notablemente las emisiones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) por habitante en los próximos años, Chile pasará a constituirse en uno de los países más contaminantes del mundo, donde se percibe que se privilegian criterios económicos por sobre aquellas consideraciones medioambientales. Al respecto, el 87 por ciento de la generación eléctrica de Chile, entre el año 2010 y 2012, se realizará utilizando carbón, transformándonos en el país con mayores emisiones de CO₂ en América Latina y, posiblemente, el segundo a nivel mundial.

Lo anterior hará que países desarrollados efectúen presiones y exigencias medioambientales cada vez mayores que afectarán de manera negativa nuestros acuerdos comerciales.

ÁLVARO GUZMÁN VALENZUELA
 Ingeniero Politécnico e Ingeniero Nuclear
 Consejero de la Corporación Cultural Chile Todos.

JOSÉ ETCHEVERRY, es doctor en Geografía y Estudios Ambientales por la Universidad de Toronto. Experto en Energía renovable, cambio climático y desarrollo sustentable, es analista y consejero de David Suzuki, uno de los científicos más destacados en esta área en Canadá.
jose@davidsuzuki.org

DESARROLLO PLENO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN CHILE

SEGURIDAD ENERGÉTICA, PROSPERIDAD ECONÓMICA E INNOVACIÓN INDUSTRIAL¹

Introducción

El paradigma que actualmente domina la generación y distribución de electricidad en Chile está creando problemas graves que comprometen la estabilidad y seguridad energética de nuestro país. Esta situación no solamente incluye grandes desafíos estratégicos a corto y mediano plazo, debido a la carencia nacional de reservas de los combustibles fósiles que son hoy comúnmente utilizados para generar electricidad (como, por ejemplo, el gas natural), sino que además involucra varios otros problemas estratégicos y socioeconómicos muy serios. Por ejemplo, los graves costos sociales de los varios tipos de con-

taminación directamente relacionados con la quema de combustibles fósiles y los serios problemas de salud que éstos causan crean retos constantes que no pueden seguir siendo descontados o ignorados. La encrucijada energética de Chile incluye también problemas adicionales en relación a la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y también con respecto a la volatilidad que caracteriza los precios de todos los combustibles no renovables. Además, el constante crecimiento de la demanda mundial de energía ya está creando una fuerte competencia internacional para asegurar el acceso nacional

¹ El autor agradece la valiosa ayuda de traducción de Ana Maria Mejía.



y local a fuentes de energía no renovable. Esta competencia solo puede verse intensificada a medida que estos recursos empiecen a escasear, lo cual en el caso del petróleo y el gas natural es preocupante, especialmente vislumbrado en un futuro bastante próximo.

Estos desafíos proporcionan grandes incentivos para innovar y desarrollar rápidamente fuentes locales más viables de energía que permitan que todos los usos estratégicos de ésta puedan ser sostenidos al corto, mediano y largo plazo, para así proteger y aumentar la prosperidad de Chile. Es importante recalcar otro contexto socio-energético importante que tampoco puede seguir siendo ignorado para siempre. Cerca de mil seiscientos millones de personas que habitan mayoritariamente en las zonas rurales de países en

vía de desarrollo carecen de los múltiples beneficios que implica el tener electricidad (Martinot et al. 2002; Posorski et al., 2003; Macias, 2007; UN-Energy, 2005). La mayoría de estos hogares y aldeas sin electricidad están situados en áreas remotas, lejos de caminos y centros urbanos, lo cual hace muy difícil y altamente costoso la expansión de redes eléctricas convencionales y el acceso a este insumo esencial. Para complicar una situación ya muy precaria, el acceso a otras formas de energía, tales como los combustibles de fuentes fósiles (comúnmente usados para el transporte o para la preparación de alimentos y calefacción) resulta ser mucho más costoso en estas áreas comparándolas con las zonas urbanas. Un punto positivo que conviene subrayar es que si Chile puede utilizar sabiamente sus ventajas

comparativas² para maximizar plenamente su capacidad en el tema de las energías renovables (a través de estrategias inteligentes de innovación), esto no sólo garantizará la seguridad energética del país, sino que además permitirá que Chile, en el futuro próximo, pueda contribuir a solucionar problemas mundiales serios que seguirán afectando a miles de comunidades que hoy ya viven con graves problemas energéticos permanentes. Lógicamente esta estrategia energética también permitirá que nuestro país reciba los beneficios asociados con una participación activa en uno de los mercados más grandes del siglo XXI.

Para visualizar las oportunidades de Chile relacionadas al establecimiento de una estrategia de innovación industrial basada en las energías renovables es importante considerar el caso de España. En cerca de una década, España se ha transformado en un líder mundial en el tema que exporta exitosamente tanto conocimiento ('know-how'), como tecnologías eólicas y solares. Los programas de innovación de España también han ayudado directamente a su población a través de la creación de nuevos empleos para 188 mil personas que hoy trabajan activamente en sus competitivas industrias de energía renovable.

Este capítulo busca contribuir respuestas prácticas al tema de cómo Chile puede implementar un paradigma nuevo basado en las energías renovables, para así solucionar los problemas energéticos del país y también para obtener mejores condiciones de salud pública, nuevas industrias, creación de empleos, menos contaminación y más prosperidad económica. El capítulo empieza con una reseña literaria enfocada en las principales ventajas relacionadas con la utilización de las energías renovables y una descripción del estado actual del uso de estas energías a nivel mundial. La primera sección busca proporcionar información básica sobre las tecnologías claves que se

discutirán en secciones posteriores, para luego proporcionar un breve análisis de los usos más prometedores de las energías renovables en Chile. El capítulo incluye un breve resumen de los principales mecanismos que han sido utilizados exitosamente en los países líderes cuya experiencia demuestra cómo se puede fomentar la implementación de sistemas de energía renovable, el desarrollo de personal capacitado y la creación de las condiciones de mercado necesarias para el establecimiento de industrias. El capítulo finaliza recalando lecciones claves provenientes de la literatura en el tema, las cuales informan sobre recomendaciones prácticas para que Chile pueda transformarse rápidamente en un líder mundial en el desarrollo de las energías renovables.

Ventajas y estado actual de las energías renovables

Esta sección provee un resumen de las principales ventajas relacionadas con la utilización de tecnologías contemporáneas de energía renovable, tales como los sistemas solares, turbinas eólicas y aplicaciones modernas en el uso de biomasa. A pesar de que la utilización a gran escala de sistemas hidroeléctricos y de biomasa tradicional (por ejemplo, en las formas de la leña y desechos agrícolas, como el estiércol, que son usados en muchas zonas rurales para la calefacción y la preparación de alimentos) son componentes importantes en la mezcla global de energía y pueden ser definidas técnicamente como fuentes de energía renovable. Estas fuentes no serán objeto de análisis en este capítulo debido a que su expansión involucra una variedad de problemas y restricciones geográficas y, además, porque, particularmente en el caso de la biomasa tradicional, esta opción sólo provee una variedad limitada de servicios energéticos.

2 Chile tiene acceso a los recursos solares y geotérmicos más poderosos del cono sur. Además, su geografía le permite acceso preferencial a muchas de las fuentes de energía renovables modernas (como la biomasa, eólica y mareomotriz) las cuales pueden ser combinadas e interconectadas con las represas hidroeléctricas que ya existen, usando redes inteligentes para así crear una matriz eléctrica altamente fiable y limpia. La gran variedad de recursos de energía renovable que Chile posee permiten el desarrollo de una gran variedad de aplicaciones técnicas que posibilitan proveer fuentes limpias de energía para la minería, para desalinizar agua de mar, para el transporte eléctrico (autónomo y público), la electrificación de islas y poblados en localidades aisladas, para el bombeo de agua para agricultura y purificación de aguas contaminadas, la calefacción de viviendas y edificios públicos y para la electrificación de centros de telecomunicaciones, clínicas y escuelas rurales.



1. Ventajas de las energías renovables

Las energías renovables representan ventajas claves en materia ambiental y social en comparación con los combustibles fósiles, pues sus usos a gran escala resultarán en una reducción significativa en emisiones de GEI (Goswami, 2007; Manish et al., 2006). Además de esta importancia crucial para la mitigación del cambio climático, las energías renovables también poseen gran potencial para ayudar en la protección de los ecosistemas marinos del planeta. Estudios recientes indican que

la quema de combustibles fósiles está añadiendo cantidades significativas de dióxido de carbono a los océanos, lo que a su vez está haciendo que éstos se vuelvan más ácidos, lo que tiene implicaciones devastadoras para la vida marina (Cao et al., 2007; Doney, 2006; Ruttiman, 2006). Adicionalmente, el reemplazo de combustibles fósiles por energías renovables puede contribuir a solucionar una amplia variedad de otros problemas relacionados con la contaminación, los cuales se encuentran resumidos en la Tabla 1.1.

TABLA 1.1. FORMAS DE CONTAMINACIÓN CAUSADAS POR LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES. (Adaptado de Goldemberg, 2004, p.8 y Harvey, 2006)

Forma de contaminación
* COMBUSTIBLE ARROJADO A LOS OCÉANOS
* EMISIONES DE AZUFRE A LA ATMÓSFERA
* ÓXIDO NITROSO FLUYENDO HACIA A LA ATMÓSFERA
* EMISIONES DE PARTÍCULAS A LA ATMÓSFERA
* EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO HACIA LA ATMÓSFERA
* EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO HACIA LOS OCÉANOS

El reemplazo de combustibles fósiles por fuentes de energía renovables es una solución esencial para obtener niveles más bajos de contaminación que, por ende, también ofrece una variedad de beneficios para la salud humana (por ejemplo, menor incidencia en problemas respiratorios como el asma, así como problemas cardiacos y pulmonares, varios tipos de cáncer, desórdenes en el sistema reproductivo y desarrollo infantil). El uso extensivo de fuentes de energía renovable también permite reducir las grandes cantidades de agua que se utilizan actualmente en las industrias de los combustibles fósiles y nucleares. Scheer (2007) describe cómo el 75 por ciento del agua utilizada en Alemania y el 50 por ciento en Estados Unidos se destina para satisfacer las demandas de plantas termoeléctricas (que ocupan uranio o combustibles fósiles para generar electricidad). Además de competir por el uso de agua con otras industrias importantes (como, por ejemplo, la

agricultura) y la contaminación térmica causada por la descarga regular de grandes cantidades de agua caliente en ríos y lagos, las industrias de carbón y de otros combustibles fósiles usan grandes cantidades de agua para una gran variedad de usos (por ejemplo, para el lavado del carbón, para procesar el petróleo bituminoso y para incrementar la presión necesaria para la extracción de petróleo).

Una ventaja adicional de las energías renovables es que pueden ayudar a reemplazar el uso de la energía atómica y, de esta manera, son útiles para reducir los graves riesgos asociados con los desperdicios radioactivos que son rutinariamente creados por este tipo de energía (por ejemplo, durante los ciclos de minería de uranio y una vez que los combustibles nucleares son usados para generar electricidad)³. Charman (2006) estima que para 2035, los reactores nucleares en Estados Unidos generarán 105 mil toneladas de desper-

3 Para más información consulte Winfield, M. et al (2006). Nuclear Power in Canada: An Examination of Risks, Impacts and Sustainability. Calgary: Pembina Institute. Para obtener una copia de este reporte visite www.pembina.org

dicios altamente radioactivos. Charman también subraya que hasta ahora ninguna jurisdicción ha solucionado de manera exitosa el problema de los desperdicios altamente radioactivos producidos por los reactores nucleares de la primera generación. Más preocupante aún es que ningún país ha comenzado planes para la construcción de sistemas viables para el manejo de desperdicios radioactivos, lo cual es una estrategia esencial para los planes de expansión de nuevas plantas atómicas adicionales. Duplicar la capacidad atómica mundial requeriría la construcción, cada cuatro años, de un depósito permanente de tratamiento de desechos radioactivos, de un tamaño similar a aquel que está en construcción en Yucca Mountain, en Estados Unidos, para tratar los desperdicios nucleares adicionales (Charman, 2006, p.18). En lugar de seguir ese sendero energético tan controversial, países como España, Alemania y Suecia están desarrollando en la actualidad una variedad de fuentes de energía renovable y han establecido planes para cerrar paulatinamente sus generadores atómicos.

Las energías renovables ofrecen además importantes beneficios en materia de seguridad energética, en la medida en que muchas de las fuentes de energía renovable no poseen costos relacionados al uso de combustible (por ejemplo, la energía solar y eólica usan un 'combustible' gratuito para proveer electricidad) o involucran, en el caso de la biomasa, fuentes de combustible que pueden ser obtenidas de manera local y a través de diferentes recursos (por ejemplo, productos agrícolas y forestales).

El poder controlar completamente, y por varias décadas, los costos de las fuentes de 'combustible' (por ejemplo el viento, el sol, la producción de insumos de biomasa) para la generación de electricidad proporciona claras ventajas para la planificación económica y para la planeación estable de suministros. En contraste, los costos de los combustibles fósiles y del uranio están dominados por precios caracterizados por frecuente

volatilidad y alto crecimiento, lo cual es característico de insumos que están experimentando creciente demanda en el mercado, competencia y múltiples presiones globales para garantizar su suministro.

Aleklett (2006) denota que la demanda mundial de petróleo está cerca a los 80 millones de barriles al día y generalmente se pronostica que la demanda crecerá a 121 millones de barriles por día para 2030. Flavin (2006) indica que esos niveles de demanda diaria van a ser muy difíciles de satisfacer, pues durante la década pasada la producción de petróleo ha disminuido en 33 de los 48 países productores de petróleo más grandes. Estas realidades ayudan a entender el hecho de que la seguridad energética está ganando gran popularidad como una ventaja competitiva importante y está siendo directamente conectada en países como EE.UU. y México⁴ al uso de sistemas de energía renovable, especialmente en términos de protección contra incrementos en los precios de los combustibles fósiles, la volatilidad de los mercados de energía no renovables y las interrupciones en el suministro de energía (Goldemberg, 2004; El Bassam y Maegaard, 2004; Mallon, 2006; Sheer, 2007).

La seguridad energética de países como Chile, que cuentan con reservas insignificantes de combustibles fósiles, crea un constante desafío para desarrollar estrategias nuevas que permitan no sólo satisfacer los requerimientos energéticos de la nación, sino que, al mismo tiempo, permitan crear mercados domésticos nuevos que favorezcan la innovación industrial y la creación de nuevas fuentes de empleo.

Otra ventaja importante directamente relacionada a la implementación de fuentes de energía es la disminución en la dependencia energética en cadenas de suministro políticamente inestables, como son las que caracterizan la industria de las fuentes de energía fósil. Goldemberg (2004) demuestra que cerca de dos terceras partes de los recursos petroleros mundiales están en el Medio

4 El presidente Obama ha declarado públicamente que su administración se va enfocar en el desarrollo de las energías renovables como estrategia de independencia energética y para la creación de empleos. El presidente Calderón también ha declarado públicamente que el desarrollo de las energías renovables es una de las principales estrategias de su gobierno y forma parte integral de su estrategia de cambio climático.



Oriente, principalmente en la región del Golfo (en Irán, Irak, Kuwait, Qatar, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes Unidos); más aún, se espera que estos seis países incrementen su participación en el suministro mundial de petróleo del 27% al 53% para el año 2010.

Darley (2004) recalca que la mayor parte de las reservas de gas natural que quedan en el planeta están altamente concentradas en pequeñas zonas geográficas, las cuales son enumeradas aquí en

orden de importancia: la región del Cáucaso (Rusia, Irán, Turkmenistan, Uzbekistan, Kazajstán y Azerbaiján); el Golfo Pérsico (las mayores reservas están en Qatar y Arabia Saudita y hay considerables reservas en los Emiratos Árabes Unidos e Irak); y África (Algeria, Nigeria, Egipto y Libia). Adicionalmente, el Mar Sur Chino puede contener igualmente altas reservas de gas natural (Darley, 2004).

TABLA 1.2. PRINCIPALES RESERVAS DE GAS Y PETRÓLEO A NIVEL MUNDIAL (reproducido de BP Statistical Review Data disponible del sistema administrativo de energía de los Estados Unidos en www.eia.doe.gov/emeu/international/oilreserves.html)

País	Reservas de Gas Natural (Billones de pies cúbicos)	País	Reservas de petróleo Convencional (Miles de millones de Barriles)
1. RUSIA	1.688	1. ARABIA SAUDITA	264
2. IRÁN	944	2. IRÁN	137
3. QATAR	910	3. IRAK	115
4. ARABIA SAUDITA	244	4. KUWAIT	102
5. EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	213	5. EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	98
6. ESTADOS UNIDOS	204	6. VENEZUELA	80
7. NIGERIA	185	7. RUSIA	74
8. ALGERIA	162	8. LIBIA	39
9. VENEZUELA	152	9. NIGERIA	36
10. IRAK	112	10. ESTADOS UNIDOS	30
CANADÁ	56	CANADÁ*	17
MÉXICO	15	MÉXICO	14
TOTAL MUNDIAL	6.359	TOTAL MUNDIAL	1.201

Nota.

Canadá y México se incluyen para un propósito comparativo.

* Las cifras de reservas de petróleo de Canadá se refieren únicamente al petróleo convencional como es usualmente reportado por BP Statistical Review Data y World Oil. Sin embargo, el Oil & Gas Journal estima que la reserva total de petróleo de Canadá es de 5,2 miles de millones de barriles de crudo convencional y condensado y de 174,0 miles de millones de barriles en las reservas de petróleo bituminoso (los 'tar sands' de Alberta).⁵

5 Para más información acerca del petróleo bituminoso de Alberta consulte www.oilsandswatch.org

FIGURA 1.1.

RESERVAS MUNDIALES COMPROBADAS DE PETRÓLEO CONVENCIONAL (derivado de BP Statistical Review Data disponible del sistema administrativo de energía de los Estados Unidos en www.eia.doe.gov/emeu/international/oilreserves.html)

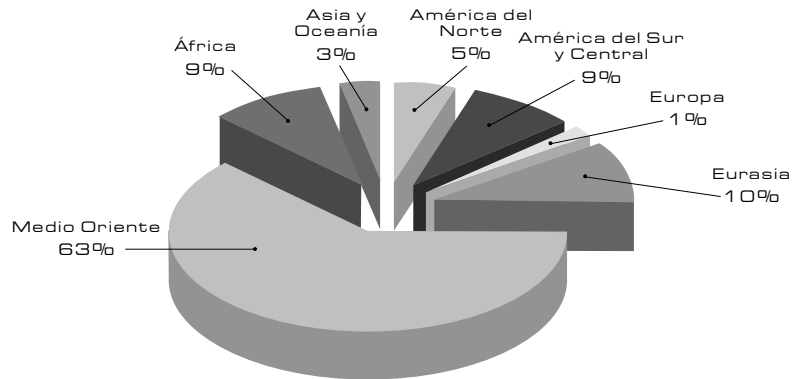
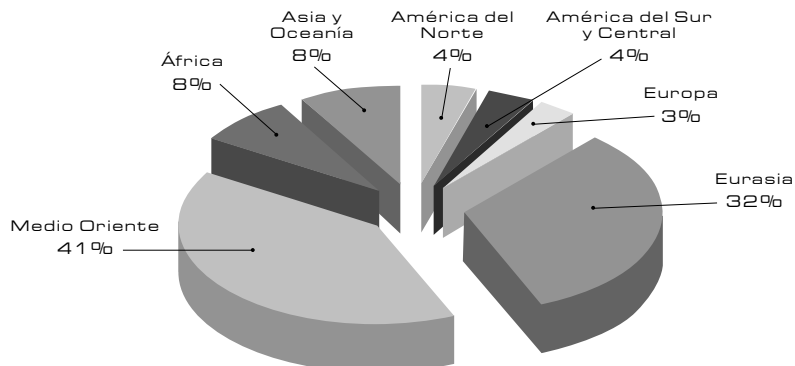


FIGURA 1.2.

RESERVAS COMPROBADAS MUNDIALES DE GAS NATURAL CONVENCIONAL (derivado de BP Statistical Review Data disponible del sistema administrativo de energía de los Estados Unidos en www.eia.doe.gov/emeu/international/oilreserves.html)



La concentración de la mayoría del petróleo y el gas natural disponible en el planeta en pocas regiones geográficas (Tabla 1.2 y Figuras 1.1. y 1.2) ha creado ya conflictos armados para asegurar el acceso a estas reservas estratégicas, como han sido las dos guerras del Golfo (Klare, 2006). Adicionalmente, las inmensas distancias que separan a los productores de los consumidores implican cadenas de suministro de energía muy largas y complicadas, que demandan miles de ki-

lómetros de oleoductos y rutas de suministro que no pueden ser protegidas en su totalidad y, por lo tanto, son susceptibles de ser fáciles puntos débiles para aquellos elementos que buscan generar trastornos políticos y económicos (Sheer, 2007). Además de beneficios en asuntos de seguridad energética, las energías renovables también representan importantes beneficios socioeconómicos, por ejemplo, en términos de generación de empleos. La mayoría de las industrias de energías



renovables necesitan mayor número de mano de obra, comparada con los requerimientos laborales de los sectores de combustibles fósiles y de energía atómica. Esta es una realidad que constituye una opción muy atractiva para la generación de empleos a través del desarrollo de las energías

renovables. Actualmente cerca de 2,5 millones de personas están empleadas en el sector de la energía renovable (REN21, 2007). En países líderes como España y Alemania más de 436 mil personas trabajan en las industrias de energía renovable⁶.

TABLA 1.3. EMPLEOS DIRECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA (Goldemberg, 2004).

Sector energético	Empleos	Empleos - año
	Año /MTOE* (producción de combustible)	/ Terawatt-hora (producción de combustible + generación de energía)
PETRÓLEO	396	260
PETRÓLEO (EN ALTAMAR)	450	265
GAS NATURAL	428	250
CARBÓN	925	370
NUCLEAR	100	75
LEÑA		733 - 1067
HIDROELÉCTRICAS		250
MINI- HIDROELÉCTRICAS		120
ENERGÍA EÓLICA		918 - 2.400
ENERGÍA FOTOVOLTAICA		29.580 - 107.000
BIOENERGIA (PROVENIENTE DE CAÑA DE AZÚCAR)		3.711-5.392

*MTOE = million tonnes of oil equivalent

2. Sectores claves en las industrias de energía renovable

En 2005 las energías renovables produjeron el 16 por ciento del total de la energía primaria a nivel mundial y el 19 por ciento de la electricidad mundial, mayoritariamente por medio de grandes plantas hidroeléctricas y en menor escala a través de otras fuentes de energía renovable tales como el viento, la biomasa, la energía solar, geotermal y pequeñas plantas hidroeléctricas (Martinot et. al., 2007). A fines de 2007, las fuentes de energía renovable (excluyendo las grandes plantas hidroeléctricas) continuaron su rápido creci-

miento y ya representan cerca del 5 por ciento de toda la capacidad energética instalada en el mundo (aproximadamente 240 gigawatts) y están ya satisfaciendo el 3,4 por ciento de la generación de energía global (REN21, 2007).

Los costos de las tecnologías de energía renovable están disminuyendo en la medida que la capacidad instalada y el conocimiento ('know-how') incrementan. La Tabla 1.4 provee un resumen muy general de los diferentes costos de las tecnologías de energía renovable y la tabla 1.5 presenta la contribución de las energías renovables en el sector energético mundial.

6 Para más información vea la página del International Feed-In Cooperation www.feed-in-cooperation.org

TABLA 1.4. COSTOS Y TENDENCIAS EN ENERGÍA RENOVABLE (adaptado de Martinot, 2006)

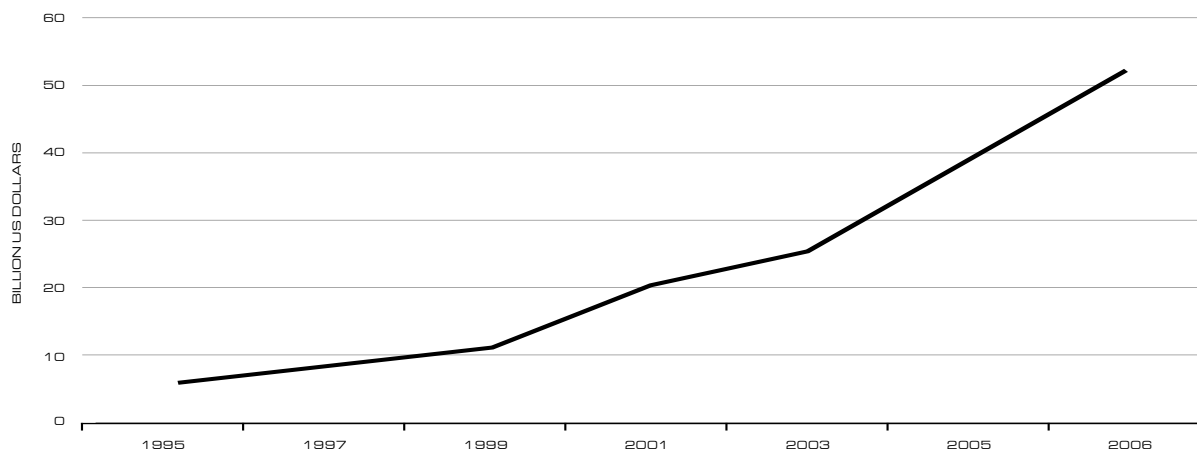
Tecnología	Costo típico de la energía (centavos de dólar por kWh)	Tendencia de costos
GENERACIÓN ELÉCTRICA:		
GRANDES HIDROELÉCTRICAS	3-4	Estable
PEQUEÑAS HIDROELÉCTRICAS	4-7	Estable
EÓLICA (EN LOS MEJORES LUGARES)	4-6	Disminuyendo entre 12-18% con cada duplicación de la capacidad instalada mundial
EÓLICA EN ALTAMAR	6-10	Mercado mundial todavía pequeño pero se vislumbran grandes expansiones en Europa y Norte América
BIOMASA	5-12	Estable
ENERGÍA GEOTÉRMICA	4-7	Disminución modesta desde 1970s
SOLAR PV EN TECHOS	20-40	Módulos están disminuyendo en un 20% por cada duplicación de la capacidad instalada global, los costos de componentes de sistemas también en disminución
ENERGÍA SOLAR TERMAL (EN LOS MEJORES LUGARES)	12-18	Disminuyendo de 45 centavos plantas instaladas en 1980s por kWh para las primeras
CALEFACCIÓN Y CALENTAMIENTO DE AGUA:		
CALOR DE BIOMASA	1-6	Estable
CALENTADOR DE AGUA SOLAR	2-25	Estable o disminución moderada debido a la escala, materiales, calidad de los materiales, calidad en general
CALOR GEOTERMAL	0.5-5	Disminución modesta desde 1970s
BIO-COMBUSTIBLES:		
ETANOL	25-50 centavos por litro	Disminuyendo en Brasil (caña de azúcar) pero incrementando en Estados Unidos (maíz)
BIODIESEL	40-80 centavos por litro	Se espera que disminuya a 35-70 centavos por litro post-2010 para la soya y el canola (rapeseed), estable en cuanto a aceite de desechos (~25 centavos por litro)
ENERGÍA RURAL		
MINI- HIDROELÉCTRICAS	5-10	Todos los costos
MICRO- HIDROELÉCTRICAS	7-20	Generalmente
PICO- HIDROELÉCTRICAS	20-40	Estable a
GASIFICADORES DE BIOMASA	8-12	Moderadamente
PEQUEÑAS TURBINAS DE VIENTO	15-30	Disminuyendo con
TURBINA DE VIENTO DOMÉSTICA	20-40	Mejoras en
MINI-RED A ESCALA DE ALDEA	25-100	Tecnología, escala y
SISTEMA SOLAR DOMÉSTICO	40-60	suministro de infraestructura

**TABLA 1.5. CAPACIDAD ELÉCTRICA RENOVABLE 2007 (GW)** (fuente REN2 1, 2007).

Tecnología	Total mundial	Países en vías de desarrollo	EU-25	China	Alemania	EE.UU.	España	India	Japón
ENERGÍA EÓLICA	93	10.1	48.5	2.6	20.6	11.6	11.6	6.3	1.6
PEQUEÑA HIDROELÉCTRICA	71	49	12	44	1.6	3.0	1.7	1.7	3.5
BIOMASA	44	24	8	2.0	1.7	7	0.5	1.5	> 0.1
ENERGÍA GEOTÉRMICA	9.5	4.7	0.8	~ 0	0	2.8	0	0	0.5
SOLAR FOTOVOLTAICA-RED	7.8	~ 0	3.1	~ 0	2.8	0.3	0.1	~ 0	1.6
SOLAR TERMAL ELÉCTRICA	0.4	0	~ 0	0	0	0.4	~ 0	0	0
GENERACIÓN MAREO-MOTRIZ	0.3	0	0.3	0	0	0	0	0	0
CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA RENOVABLE (EXCLUYENDO GRANDES HIDROELÉCTRICAS)	204	88	73	49	27	25	14	10	7
PARA COMPARAR:									
GRANDES HIDROELÉCTRICAS	773	340	115	80	7	95	17	n/a	45
TOTAL DE LA CAPACIDAD ELÉCTRICA	4.300	1.500	710	510	130	1.060	78	n/a	280

De acuerdo con una evaluación del estado mundial de desarrollo de las industrias de energía renovable (REN21, 2007), cerca de 66 billones de dólares fueron invertidos durante 2007 en sistemas de energía renovable (excluyendo proyectos

de grandes hidroeléctricas). La figura 1.3. muestra el crecimiento exponencial que la inversión en energías renovables ha experimentado desde 1995, cuando sólo 6 billones de dólares eran invertidos en el sector.

FIGURA 1.3.**INVERSIÓN ANUAL MUNDIAL EN ENERGÍAS RENOVABLES 1995-2006** (fuente: REN2 1, 2007).

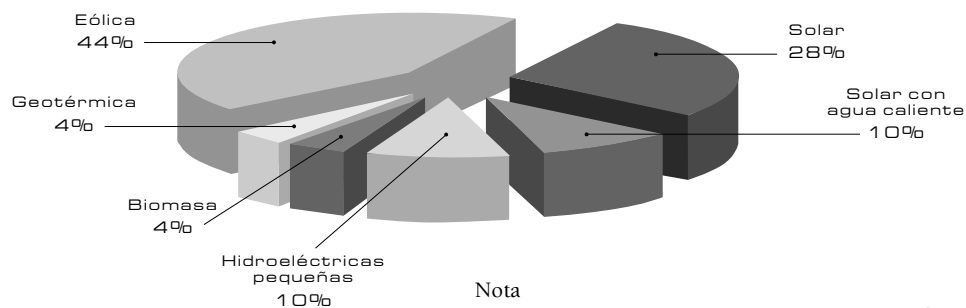
Nota

Estas cifras no incluyen las inversiones en proyecto hidroeléctricos de gran escala.

La proporción mas grande en materia de inversiones está dirigida a las tecnologías de energía

solar y eólica, como lo muestra la figura 1.4 a continuación.

FIGURA 1.4.
INVERSIÓN GLOBAL EN ENERGÍA RENOVABLE EN 2006 (fuente: REN21, 2007).



Nota
Las aplicaciones de biomasa y geotermal se refieren aquellas que producen calor y energía.

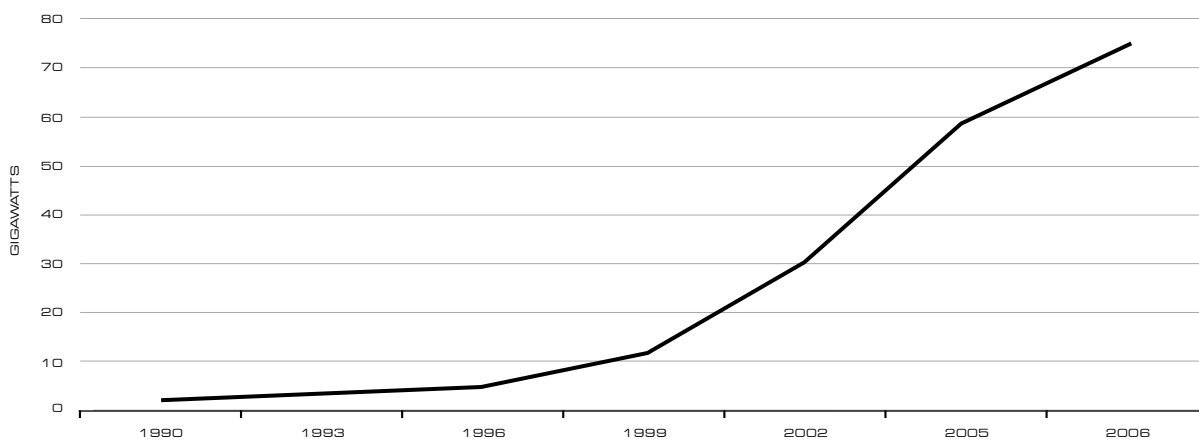
Los segmentos de la industria de energía renovable con mayor crecimiento son las energía eólica, solar termal y solar fotovoltaica (FV). El mercado global de la energía eólica ha venido creciendo a una tasa del 30 por ciento por año durante la última década (REN21, 2007). Con respecto al segmento solar térmico, Weis et al. (2007) señala que los mercados mas dinámicos a nivel mundial son China, Australia, Nueva Zelanda y Europa. España en particular se esta transformando en un líder mundial en usos solar-térmicos para la generación de electricidad.

La tasa anual de crecimiento promedio de la tecnología solar termal entre 1999 y 2005 fue de 22 por ciento para China y Taiwán, 18 por ciento

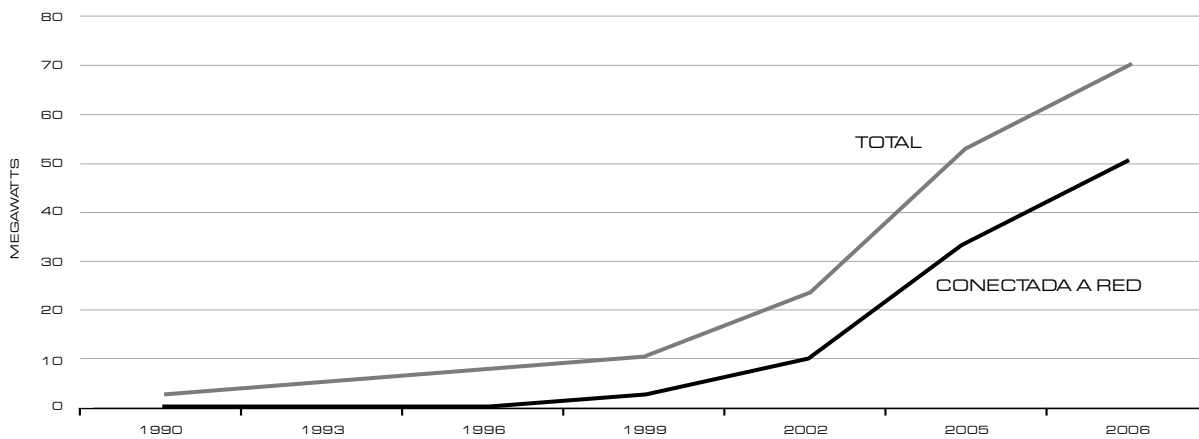
para Australia y Nueva Zelanda y 15 por ciento para Europa (Weis et al., 2007, p.4). La Agencia Internacional de Energía y su Programa de Sistemas de Energía Fotovoltaica (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, IEA PVSP) revela una tasa de crecimiento anual acumulado de capacidad instalada de los sistemas fotovoltaicos (FV) de 4 por ciento y 80 por ciento entre los países que participan en el IEA PVPS e identifica a Alemania como el líder a nivel mundial (IEA PVSP, 2006, p.4)⁷.

Las Figuras 1.5 y 1.6 que aparecen a continuación muestran las diferentes tendencias en la instalación y la totalidad de la capacidad instalada de dos tecnologías claves en materia de renovables.

FIGURA 1.5.
CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA EÓLICA 1990-2006 (fuente: REN21, 2007).



7 Entre los países miembros de la IEA PVSP están: Australia, Austria, Canadá, Dinamarca, Francia, Alemania, Israel, Italia, Japón, Corea, México, los Países Bajos, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Reino Unido, y los Estados Unidos de América.

**FIGURA 1.6.****CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA 1990-2006** (fuente: REN 21, 2007)

3. Redes inteligentes para avanzar el uso de las energías renovables

Avances en áreas complementarias a la energía renovable como la informática, telecomunicaciones, modelos computarizados para el pronóstico del clima, materiales avanzados, estrategias de conservación y eficiencia permiten hoy crear redes inteligentes de electricidad las cuales son esenciales para optar por alternativas más viables para satisfacer las necesidades energéticas de Chile. La implementación de estrategias de redes inteligentes requiere políticas ambiciosas que permitan la innovación y que garanticen la participación activa de emprendedores y diversos grupos de la sociedad chilena. El desarrollo de redes de tecnología inteligente permiten el pro-

nóstico instantáneo ('just-in time') de recursos eólicos y solares, lo cual posibilita asegurar que fuentes de energía renovable intermitentes sean utilizados a su máximo potencial. Otras estrategias de red inteligente incluyen medidas para lograr mayor penetración de generación a través de plantas de ciclo combinado (por ejemplo, para reforzar y complementar fuentes de energía renovable intermitentes); coordinación entre represas hidroeléctricas y generación eólica; y desarrollo de centrales de bombeo hidroeléctrico. Aunque estas tecnologías y opciones todavía no son de uso general en Chile, están siendo por lo menos teóricamente más ampliamente entendidas y muchas jurisdicciones ya las están implementando⁸.

FIGURA 1.7.

EJEMPLO DE RED INTELIGENTE (las plantas de ciclo combinado permiten apoyar un recurso renovable intermitente y al mismo generar calefacción para edificios o industria).



⁸ Por ejemplo, la Comunidad Europea ha creado el grupo Smart Grids (www.smartgrids.eu) y la provincia de Ontario, Canada ha creado el Smart Grids Forum el cual puede ser analizado en: http://www.ieso.ca/imoweb/marketsandprograms/smart_grid.asp

Otras opciones nuevas para almacenar energía, que son cruciales para suministrar soluciones técnicas prácticas para asegurar la disponibilidad de generación eléctrica de acuerdo con la demanda (y para solucionar el tema de la intermitencia de las fuentes de energía renovables y para mejorar la calidad en el servicio de energía), han sido

menos exploradas pero también forman parte esencial de una estrategia de redes inteligentes. Soluciones prácticas que permitan almacenar la electricidad generada con sistemas de energía renovable son también esenciales para facilitar el transporte con vehículos eléctricos desde automóviles hasta trenes de alta velocidad.

FIGURA 1.8.

RED INTELIGENTE (turbinas proporcionan electricidad limpia para diferentes medios de transporte).



La siguiente sección provee un resumen de la situación actual referente a varias opciones para almacenar electricidad.

4. Estatus de tecnologías para el almacenamiento de energía

Los sistemas de almacenamiento son cruciales para permitir el uso a larga escala de las fuentes de energía renovables. Sauer (2006) señala que las tecnologías de almacenamiento son esenciales para ayudar a evitar apagones (por ejemplo, cuando la generación de energía es menor que la cantidad consumida), para minimizar la construcción de infraestructura adicional de transmi-

sión, para evitar la inversión en plantas de energía, para las necesidades de alta demanda, para usar más eficientemente los sistemas térmicos energía y para acumular energía térmica (por ejemplo, durante el día para la noche o durante el verano para el invierno). Particularmente, las opciones de almacenamiento en el sector eléctrico se pueden dividir en sistemas con baterías y sistemas sin baterías. Las tablas 1.6 y 1.7 a continuación proveen una lista de estas opciones y un resumen de sus principales aplicaciones (en instalaciones conectadas a la red eléctrica o aisladas)⁹.

9 Aunque un análisis detallado de los sistemas de almacenamiento va mas allá del enfoque de este capítulo, es importante recalcar que todas las opciones de almacenamiento necesitan ser diseñadas e implementadas cuidadosamente para asegurar que su uso no tenga efectos perjudiciales para la salud. Por ejemplo, el uso de las baterías de plomo requiere que se tomen las medidas necesarias para que una vez usadas sean recicladas de manera apropiada o desechadas de manera segura (por ejemplo, el uso de depósitos monetarios y centros de reembolso es un sistema que proporciona un incentivo económico para el reciclaje de baterías de plomo).

**TABLA 1.6. SISTEMAS DE BATERÍA** (adaptado de McDowall, 2006, y Perrin, 2006).

Tipo de batería	Principales opciones	Ejemplos para su aplicación	Estado
CONVENCIONAL	Plomo, Ni-Cd, Ni-MH	Mini redes híbridas descentralizadas de energía renovable y sistemas domésticos de energía renovable	Comercial
LITIO	Li-ion, Li-polymer, Li-metal polymer, Li-S	Aplicaciones de energía renovable (ej. Sistemas de refuerzo para sistemas solares PV)	Demostraciones comerciales
ALTAS TEMPERATURAS	Na-S, Na-NiCl	Aplicaciones de red (ej. Seguimiento de alta demanda, refuerzo para las fuentes de energía renovable intermitentes)	Demostraciones comerciales (Na-S Japón Na-NiCl Ontario)
FLUJO (FLOW)	Vanadium redox, Zn-Br	Aplicaciones de red	Vanadium Demostraciones comerciales (Japón, Irlanda) Demostraciones Zn-Br demo.

TABLA 1.7. SISTEMAS SIN BATERÍAS (Adaptado de McDowall, 2006, y Perrin, 2006).

Tecnología de almacenamiento	Principales opciones	Ejemplos para su aplicación	Estatus
FLYWHEELS	Matrices individuales e integradas. Súper conductores de alta temperatura (HTSC)	Equilibrio de cargas, regulación de frecuencia y estabilización, usos urbanos	Demostraciones comerciales (ej. California y NY)
ELECTRIC DOUBLE-LAYER CAPACITORS	Súper/ultra capacitors Symmetric/asymmetric	Estabilización de la frecuencia de red, soporte local de generación reactiva	Demostración
ALMACENAMIENTO DE GRAN ESCALA	Reservas hidroeléctricas	Reservas y altas cargas	Comercial
CENTRALES DE BOMBEO HIDROELÉCTRICO	Reservas hidroeléctricas	Reservas y altas cargas	Comercial
AIRE COMPRIMIDO	a. Opciones centralizadas: Almacenamiento subterráneo (acuíferas, cavernas), Almacenamiento térmico b. Aplicaciones Descentralizadas de incrementar capacidad de generación en la red.	Proporciona en a + b balance de fuentes de energía renovable como la energía eólica reduce la necesidad b. Demostraciones en zonas rurales	a. Demostraciones Comerciales (ej. Servicios domiciliarios municipales en Iowa)
HIDRÓGENO	Electrolisis y celdas de combustible (fuel cells)	Transporte y aplicaciones eléctricas	Demostraciones comerciales

Una gran variedad de estrategias de almacenamiento pueden también ser usadas para apoyar el despliegue de sistemas de energía renovables en las aplicaciones de calefacción y refrigeración. Los beneficios ambientales, sociales y económicos en estas áreas son muy significativos (por ejemplo, en la Comunidad Europea se estima que actualmente un 50 por ciento de la demanda final de energía se destina a calefacción y refrigeración, principalmente en edificios. ESTTP, 2006). Varias opciones en términos de materiales pueden ser usadas para el almacenamiento térmico, por ejemplo: agua, suelo, concreto, materiales que pueden cambiar fácilmente de fase (en temperaturas medias y altas), sistemas de almacenamiento móviles o estacionarios y materiales termo-químicos como los metales hídricos (Sauer, 2006). El almacenamiento térmico es esencial para incrementar de manera significativa el uso extensivo de la energía solar para aplicaciones como calefacción de casas y edificios y generación de agua caliente. Los sistemas de almacenamiento térmico son igualmente útiles para incrementar la eficiencia de sistemas de generación de energía basados en combustibles fósiles (cuando son combinados con plantas de calor y energía) y para la acumulación de muchos flujos significativos de calor que los diferentes tipos de industria genera y que en la actualidad se desperdician (menos de 500 grados Celsius). Más aún, las técnicas de almacenamiento son un apoyo esencial para sistemas nuevos de energía renovable como las plantas solares térmicas para generación eléctrica. Todavía se requiere un ma-

yor grado de investigación en el tema de almacenamiento térmico para poder bajar los costos y aumentar la densidad de almacenamiento para materiales (y sistemas), para así permitirle al sector energético incrementar exponencialmente el uso de fuentes de energía renovable de manera global y mejorar la eficiencia de los sistemas de generación térmica (Schossig, 2006). Uno de los estudios más recientes en el tema de análisis de costos para las tecnologías de almacenamiento (Sauer y Kowal, 2007) concluye que el cálculo de estos es complejo y son altamente variables con su contexto específico. En general los costos de los sistemas de almacenamiento son bastante dependientes de parámetros financieros como costos de capital y precios energéticos locales¹⁰. Aunque las tecnologías de energía renovable están avanzando rápidamente y están creciendo a nivel mundial, su aplicación generalizada en Chile requerirá la implementación de mecanismos para desarrollar mercados domésticos fuertes que favorezcan el desarrollo de la capacidad tecnológica del país.

Ventajas comparativas de Chile

Muchas de las tecnologías que hoy pueden ser utilizadas ampliamente en Chile han evolucionado especialmente en la última década (por ejemplo, la generación eólica y solar). Chile posee recursos envidiables para una gran variedad de fuentes de energía renovable (eólica, geotermia,

FIGURA 1.9.

COMBINACIÓN INTELIGENTE DE RECURSOS (foto del centro de control de energías renovables, cortesía de Red Eléctrica de España).



¹⁰ Sauer y Kowal (2007) estiman que es todavía difícil lograr precios en el almacenamiento de electricidad menores a 5 centavos de euro por kWh, precios por encima de 10 centavos de euro por kWh deberían ser considerados inaceptables.



Requisitos para transformarse en un líder mundial en las energías renovables

biomasa y solar) y ya cuenta con una infraestructura hidroeléctrica amplia que puede ser combinada con recursos renovables intermitentes para lograr una matriz energética limpia y viable.

El uso masivo de la energía solar es particularmente prometedor en Chile debido a la existencia de uno de los mejores recursos solares en el mundo. Chile además ya posee una infraestructura gubernamental fuerte que puede ser aumentada para crear mecanismos efectivos para el desarrollo de los mercados domésticos de energía renovable.

La experiencia de los países que hoy lideran mundialmente en el desarrollo de las energías renovables claramente indica que es esencial establecer un compromiso político y social fuerte que permita adoptar metas ambiciosas y sistemas de apoyo innovadores, estables y de larga duración. Estos sistemas son esenciales para asegurar una inversión seria y duradera de recursos económicos que permitan el establecimiento y desarrollo de un mercado doméstico sólido, que facilite la captura de beneficios sociales amplios. La Figura 1.10 resume tres componentes esenciales para asegurar el desarrollo sustentable de un mercado doméstico de energías renovables.

FIGURA 1.10.
ESTRATEGIAS ESENCIALES PARA EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.



1. ARTs (tarifas avanzadas para las energías renovables)

Los sistemas de primas o tarifas son también conocidos en inglés como advanced renewable tariffs (ARTs), renewable energy payments y electricity feed-in laws (y en el caso de la provincia de Ontario en Canadá como standard offer contracts). Estos sistemas de apoyo básicamente garantizan a largo plazo un pago por kWh ('feed-in tariff' o FIT) por la electricidad generada por diferentes sistemas de energía renovable. Originalmente fueron empleados en California y después fueron adaptados en Dinamarca y Alemania (y más recientemente en España) y han impulsado a estos países a sus posiciones de liderazgo¹¹.

Recientemente Ragwitz et al (2008) han publicado un resumen que explica claramente los elementos básicos para diseñar un sistema efectivo de primas, basado en la experiencia de los veinte países de Europa que ya están utilizando este sistema de mercado que apoya a los productores de energía renovable. Las ventajas claves de los sistemas ART es que impulsan el involucramiento de una diversidad de participantes en el mercado (agricultores, cooperativas, pequeñas y medianas empresas, municipalidades, sector público) y proveen la estabilidad económica necesaria para atraer inversionistas y fabricantes. Los sistemas de FITs/ART pueden ser diseñados para atraer tecnologías específicas, en lugares especí-

11 Para más detalles ver la página del International Feed-in Cooperation: www.feed-in-cooperation.org.

ficos. Un sistema eficiente de FIT/ART permite que los pagos por kWh sean revisados periódicamente para asegurarse que el mercado doméstico se está desarrollando saludablemente y las metas nacionales de energía renovable están siendo alcanzadas a costos razonables. Un sistema efectivo de FIT/ART requiere que las reglas y el sistema de pago por kWh sean transparentes y fáciles de comunicar. Los sistemas FIT/ART requieren una fuente estable de recursos (usualmente un pequeño porcentaje de todas las ventas de electricidad) y revisión periódica de los logros tecnológicos (por ejemplo anualmente) para hacer ajustes necesarios.

2. Acceso a financiamiento

La crisis económica está generando esencialmente un problema de liquidez en el sistema bancario y financiero (Díaz, 2008). Este problema claramente perjudica y dificulta el acceso al financiamiento necesario para desarrollar proyectos y para adquirir sistemas individuales y requiere la implementación de estrategias prácticas por parte de todos los niveles de gobierno. El Estado claramente puede jugar roles directos e indirectos para facilitar el desarrollo de sistemas nuevos de financiamiento que permiten incrementar el acceso a préstamos con interés bajo o sin interés, para que, de esta manera, emprendedores, pequeñas empresas y cooperativas, entre otros, puedan participar activamente en el mercado doméstico de las energías renovables.

3. Recursos humanos y capacitación

El tercer componente clave para lograr el establecimiento de un paradigma energético más sostenible en Chile requiere el desarrollo de programas innovadores de R&DD y capacitación en todos los niveles educativos del país¹². Esta estrategia es esencial para garantizar la existencia de profesionales y técnicos bien capacitados en el diseño, instalación y manutención de proyectos y sistemas de soporte adecuados para las energías renovables. Una buena estrategia de capacitación requiere además medidas para incrementar

rápidamente la familiarización de la población chilena con este nuevo paradigma. Este último aspecto es esencial para que el paradigma de las energías renovables pueda establecer raíces fuertes y duraderas en nuestro país.

El entendimiento (y la difusión pública) de las múltiples ventajas que el paradigma de energía sustentable puede proveer a Chile es esencial para desarrollar una nueva cultura energética arraigada en la conservación, la eficiencia energética y el desarrollo pleno de las energías renovables. Una estrategia esencial para empezar esta transición es crear iniciativas para 'entrenar a los entrenadores', lo cual se puede materializar rápida y efectivamente por medio del establecimiento de programas de intercambios entre nuestro país y los países que lideran en el tema de las energías renovables (Alemania, Dinamarca, España)¹³.

Conclusión y recomendaciones

Este capítulo provee una discusión de la múltiples ventajas sociales, ecológicas y económicas que Chile puede obtener si se compromete a desarrollar plenamente sus grandes recursos de energía renovable. El capítulo provee un resumen del estado actual de las principales tecnologías que permiten el aprovechamiento de las energías renovables y una breve sinopsis de tres estrategias esenciales para lograr liderazgo en el tema. Estas estrategias forman parte fundamental de los sistemas de apoyo diseñados para fortalecer el desarrollo de las industrias de energía renovable en los tres países que hoy lideran en el tema (Alemania, Dinamarca y España).

Chile puede solucionar su crisis energética y, al mismo tiempo, puede crear nuevos empleos y transformarse en un líder mundial en el mercado de las energías renovables. Esta transición hacia la seguridad energética requiere una fuerte voluntad política para que nuestro país implemente los siguientes pasos:

12 R&DD = Research, Development and Deployment.

13 El gobierno actual de Chile ha tomado ya pasos prácticos en esta dirección con el establecimiento de acuerdos de colaboración con California y Canadá los cuales dan una buena pauta para futuros convenios.



1. Adopción de metas ambiciosas para el desarrollo de todas las opciones de energía renovable que existen en el país.
2. Implementación de medidas legales que le den prioridad al desarrollo de las energías renovables en todo el territorio nacional.
3. Implementación de un sistema justo y estable de pago preferencial (feed-in tariffs) para remunerar toda la electricidad que es generada con diferentes tecnologías de energía renovable.
4. Creación de un sistema financiero que permita el acceso a préstamos sin interés para el financiamiento de equipos de energía renovable.
5. Implementación de un programa nacional de capacitación en energías renovables que permita establecer programas educacionales y sistemas de energía renovable en las instituciones educacionales de Chile y que facilite vínculos de colaboración educacional práctica con los centros líderes en el tema.

Estas estrategias permitirán que se desarrolle rápidamente una matriz energética sofisticada y limpia la cual permitirá no sólo resolver los problemas energéticos actuales de Chile, sino que además garantizara la prosperidad a mediano y largo plazo de nuestro país.

Referencias

- Aleklett, K. (2006). «Oil: a bumpy road ahead». *World Watch*, 19 (1), 10-12.
- Cao, L.; Caldeira, K. and Jain, A. (2007). «Effects of carbon dioxide and climate change on ocean acidification and carbonate mineral saturation». *Geophysical Research Letters*, 34, L05607, doi:10.1029/2006GL028605.
- Charman, K. (2006). «Brave nuclear world: radiation, reliability, reprocessing and redundancy». *World Watch*, 19 (4), 12-18.
- Darley, J. (2004). «High Noon for Natural Gas: The New Energy Crisis». *White River Junction*, Vermont: Chelsea Green
- Díaz, R. (2008). «The Importance of Feed In Tariffs to Attract Financial Resources». *Presentation delivered at the 6th Workshop of the International Feed-in Cooperation* (Brussels, November 3-4 2008). Para obtener una copia: www.feed-in-cooperation.org
- Doney, S. (2006). «The dangers of ocean acidification». *Scientific American*, 294 (3), 58-65.
- El Bassam, N. and Maegaard, P. (2004). «Integrated Renewable Energy for Rural Communities: Planning Guidelines, Technologies and Applications». *Amsterdam: Elsevier*.
- ESTTP (2006). «Solar Thermal Vision 2030». *Brussels: European Solar Thermal Technology Platform*. Para obtener una copia: www.esttp.org/cms/upload/pdf/Solar_Thermal_Vision_2030_060530.pdf
- Flavin, C. (2006). «Over the peak». *World Watch*, 19 (1), 16-18.
- Goldemberg, J. (2004). «The Case for Renewable Energies». *Thematic Background Paper published for the International Conference for Renewable Energies, Bonn 2004* (renewables 2004). Para obtener una copia: www.renewables2004.de
- Goswami, Y. (2007). «Energy: the burning issue». *Renewable Energy Focus*, 8 (1), 22-25.
- Harvey, L.D.D. (2006). «Uncertainties in global warming science and near-term emission policies». *Climate Policy*, 6 (5), 573-584.
- IEA PVPS (2006). «Trends in Photovoltaic Applications: Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2005». *No city specified: International Energy Agency*. Para obtener una copia: www.iea-pvps.org
- Macias, E. (2007). «An alliance for renewables: private sector involvement in rural electrification». *Renewable Energy World*, 10 (1), 103- 105.
- Mallon, K. (2006). «Renewable Energy Policy and Politics: A Handbook for Decision-Making». *London: Earthscan*.
- Manish S., Indu R. Pillai, and Rangan Banerjee. (2006). «Sustainability analysis of renewables for climate change mitigation». *Energy for Sustainable Development*, X (4), 25-36.
- Martinot, E., A. Chaurey, D. Lew, J. Moreira, and N. Wamunkonya. (2002). «Renewable energy markets in developing countries». *Annual Review of Energy and the Environment*, 27, 309-348.

- Martinot, E. (2006). «Renewable energy gains momentum: global markets and policies in the spotlight». *Environment*, 48 (6), 26-43.
- Martinot, E., Dienst, C., Weiliang, L., and Qimin, C. (2007). «Renewable energy futures: targets, scenarios, and pathways». In press, *Annual Review of Environment and Resources*.
- McDowall, J. (2006). «Implementation of storage with renewables - industry status». *Presentation delivered during the First International Renewable Energy Storage Conference (IRES I) organized by Eurosolar and the World Council for Renewable Energy Gelsenkirchen, Germany October, 30th/31st 2006*.
- Perrin (2006). «Summary and conclusions about electrical storage». *Presentation delivered during the First International Renewable Energy Storage Conference (IRES I) organized by Eurosolar and the World Council for Renewable Energy Gelsenkirchen, Germany October, 30th/31st 2006*.
- Posorski, R., Bussmann, M., and C. Menke (2003). «Does the use of Solar Home Systems (SHS) contribute to climate protection?». *Renewable Energy*, 28 (7), 1061-1080.
- REN21 «Renewable Energy Policy Network». (2007). *Renewables 2006 Global Status Report*. Washington DC: Worldwatch Institute. Para obtener una copia: www.ren21.net
- Ragwitz, M. et al. (2008). «Evaluation of different feed-in tariff design options». *Best practice paper for the International Feed-In Cooperation* (2nd edition, update by October 2008). No city: Fraunhofer Institute. Para obtener una copia: www.feed-in-cooperation.org
- Ruttiman, J. (2006). «Sick seas». *Nature*, 442 (August 31), 978-980.
- Sauer, D. (2006). «The demand for energy storage in regenerative energy systems». *Presentation delivered during the First International Renewable Energy Storage Conference (IRES I) organized by Eurosolar and the World Council for Renewable Energy Gelsenkirchen, Germany October 30th/31st 2006*.
- Sauer, D. and Kowal, J. (2007). «Detailed cost calculations for stationary battery storage systems». *Presentation delivered during the Second International Renewable Energy Storage Conference (IRES II) organized by Eurosolar and the World Council for Renewable Energy Bonn, Germany November 19-21 2007*.
- Schossig, P. (2006). «Conclusions on thermal storage». *Presentation delivered during the First International Renewable Energy Storage Conference (IRES I) organized by Eurosolar and the World Council for Renewable Energy Gelsenkirchen, Germany October, 30th/31st 2006*.
- Scheer, H. (2007). «Energy Autonomy». *London: Earthscan*.
- UN-Energy. (2005). «The Energy Challenge for Achieving the Millennium Development Goals». New York: United Nations. Para obtener una copia: www.undp.org/pei/pdfs/UNEnergy.pdf
- Weiss, W.; Bergman, I. and Faninger, G. (2007). «Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2005». *Gleisdorf, Austria: IEA Solar Heating and Cooling Programme*. Para obtener una copia: www.iea-shc.org/publications/statistics/IEA-SHC_Solar_Heat_Worldwide-2007.pdf



AUTOR

FELIPE KAISER, es doctor en Ciencias Agrícolas, especializado en Bioenergía (biogás), por la Universidad Técnica de Munich. Actualmente es jefe de proyectos y laboratorio en el Department of Biogas Technology and Residues Management, del Institute for Agricultural Engineering en el Bavaria State Research Center for Agriculture.
felipe.kaiser@lfl.bayern.de

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y CULTIVOS AGRÍCOLAS

LA EXPERIENCIA DE EUROPA Y EL POTENCIAL PARA CHILE

Introducción

La producción de energía renovable a través del uso de biodigestores permite el eficaz ahorro de recursos naturales. Para la agricultura, la tecnología de biogás tiene beneficios claves, como el almacenamiento sencillo de abono orgánico y la reducción de olores, de óxido nitroso y de emisiones de metano. Además, el estiércol líquido pre-tratado por digestión anaeróbica puede sustituir la fertilización mineral en el campo. En lugar de almacenar simplemente los estiércoles y restos orgánicos por medios estándares, se puede utilizar la tecnología de digestión anaeróbica para la producción de energía (electricidad y calor) y, tras esta fermentación, mejorar el valor

del residuo como fertilizante. La digestión anaeróbica favorece activamente los ciclos de nutrientes de los cultivos y la utilización descentralizada de sustancias orgánicas. De este modo, los agricultores que operen un biodigestor conseguirán una nueva posición en la sociedad al producir no sólo alimentos, sino también energía. Después de una visión general de los procesos y tecnologías de la digestión anaeróbica, el presente escrito presentará los marcos regulatorios que favorecen esta tecnología en Europa y se dará un ejemplo de estudio de potencial para la agricultura chilena.

La tecnología del biogás

El biogás es un producto del metabolismo de bacterias metanogénicas que participan en la descomposición de tejidos orgánicos en ambiente húmedo y carente de oxígeno. Dependiendo del tejido orgánico a descomponer o fermentar, el contenido de metano del biogás puede variar de un 50 por ciento hasta un 70 por ciento. Este proceso fermentativo es también dependiente de la temperatura y acidez del sistema. En la agricultura se utilizan biodigestores de concreto cerrados herméticamente con cubiertas plásticas, con temperatura controlada y con sistemas de agitación que permiten la homogenización del sustrato a fermentar. Para la producción de energía eléctrica a partir de biogás se utilizan motores a combustión especialmente diseñados para tal efecto y se acoplan con generadores eléctricos. En su comienzo la producción de biogás en Alemania se basaba principalmente en la fermentación de desechos orgánicos de la agricultura, como los estiércoles. Hoy en día la producción se basa principalmente en la fermentación de cultivos. De hecho, algunos agricultores están utilizando nuevas tecnologías que permiten fermentar

cultivos sin la necesidad de mezclarlos con estiércoles (sistemas de monofermentación).

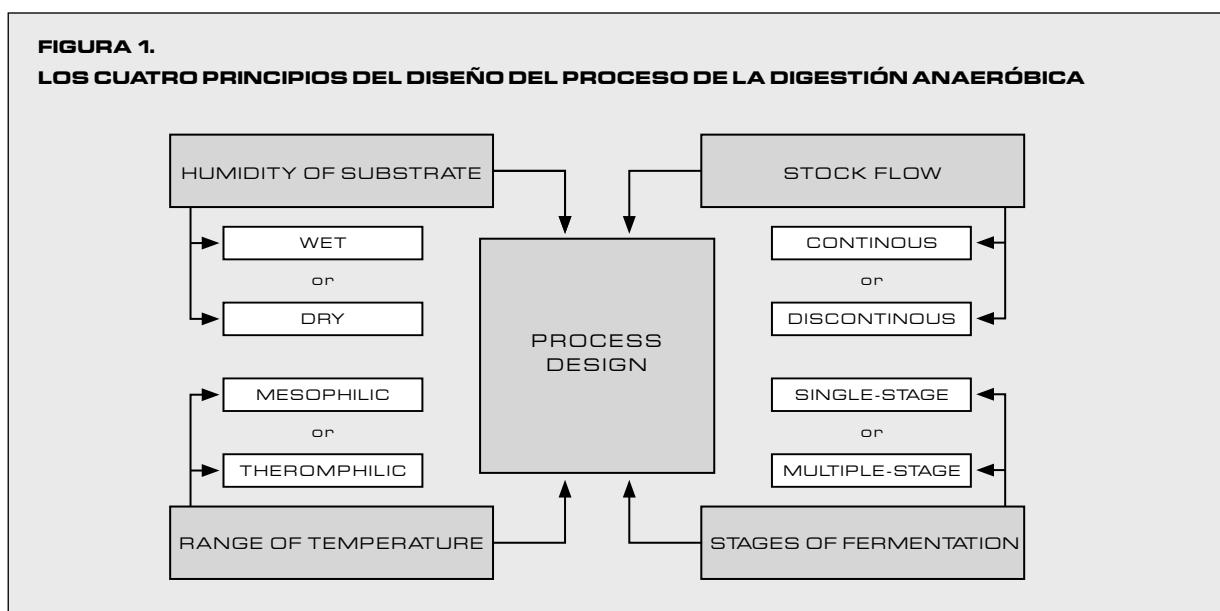
1. Bases bioquímicas

La digestión anaeróbica consiste en la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso bioquímico produce un gas llamado biogás, que se compone principalmente por metano y dióxido de carbono. El proceso ocurre en los siguientes cuatro pasos:

- a. Hidrólisis: largos polímeros son degradados por enzimas a aminoácidos y azúcares simples.
- b. Acidogénesis: aminoácidos y azúcares simples son degradados a ácidos grasos volátiles, principalmente acetato.
- c. Acetogénesis: degradación de ácidos grasos volátiles a acetato e hidrógeno.
- d. Metanogénesis: acetato e hidrógeno son convertidos a metano y dióxido de carbono.

2. Procesos y tecnología

El diseño del proceso de la digestión anaeróbica se caracteriza por cuatro principios que se grafican en la figura 1:





FOTOGRAFÍA: FARM SANCTUARY / FLICKR.COM

En el proceso de digestión anaeróbica se distinguen generalmente dos rangos de temperatura:

- a.** Temperatura mesofílica desde 25 a 42 grados celcius.
- b.** Temperatura termofílica desde 50 a 60 grados celcius.

La mayoría de los biodigestores agrícolas son operados a temperatura mesofílica. Temperaturas termofílicas son utilizadas en biodigestores centralizados de mayor escala, donde el residuo utilizado requiere de mayor seguridad higiénica. El modo de alimentar el biodigestor puede ser de forma continua o discontinua. En el sistema discontinuo de batch, el material fresco es alimentado en conjunto con un inóculo al interior de un reactor. Durante los primeros dos a tres días el material es aireado para subir su temperatura. En las siguientes dos a tres semanas el material es degradado anaeróbicamente. Al inicio de la degradación la curva de producción de biogás

presenta una curva creciente, alcanzando su máxima producción entre los días 10 y 14 de degradación. En los siguientes días la producción disminuye aproximadamente a la mitad y luego permanece constante por un tiempo. Para compensar esta producción desigual se utilizan tres a cuatro biodigestores en forma paralela, pero con una alimentación desfasada para obtener en conjunto una producción estable en el tiempo. Este sistema es muy poco común en biodigestores agrícolas.

Otra forma de alimentación discontinua es el sistema de almacenaje. Este sistema combina el biodigestor con un estanque de acumulación en un solo estanque. Este sistema es alimentado lentamente con material fresco (estiércol en general) según la cantidad producida diariamente. La ventaja de este sistema es el bajo costo, pero, por otro lado, el costo energético para mantener el biodigestor a una temperatura óptima es muy

alto en comparación con la baja producción de este sistema.

Los sistemas de acumulación continua (ACF) son los más utilizados en el ámbito agrícola. En estos el material fresco es bombeado al biodigestor a medida que es producido. El residuo del biodigestor es removido ocasionalmente según la necesidad de fertilización requerida. Cuando no existe requerimiento de fertilización, el residuo es almacenado en un estanque que también está cubierto y que tiene también la capacidad de almacenar biogás.

Otro sistema muy utilizado es el de flujo continuo. En este sistema el material fresco es bombeado al interior del biodigestor y el mismo volumen es eliminado, manteniendo un volumen de llenado continuo. Este sistema es alimentado una a dos veces por día y en los biodigestores de mayor escala la alimentación puede llegar a ocurrir a cada hora.

Existen muchos tipos de biodigestores y sistemas de homogenización como se puede observar en la figura 2:

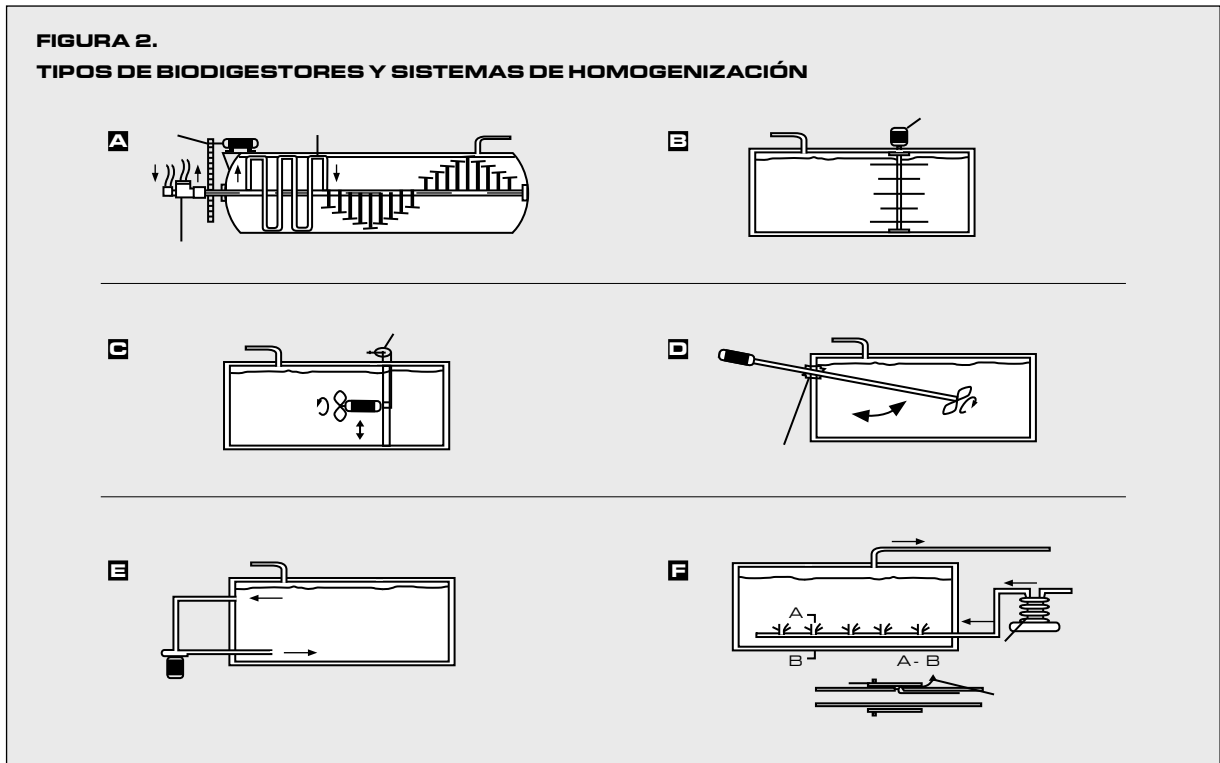
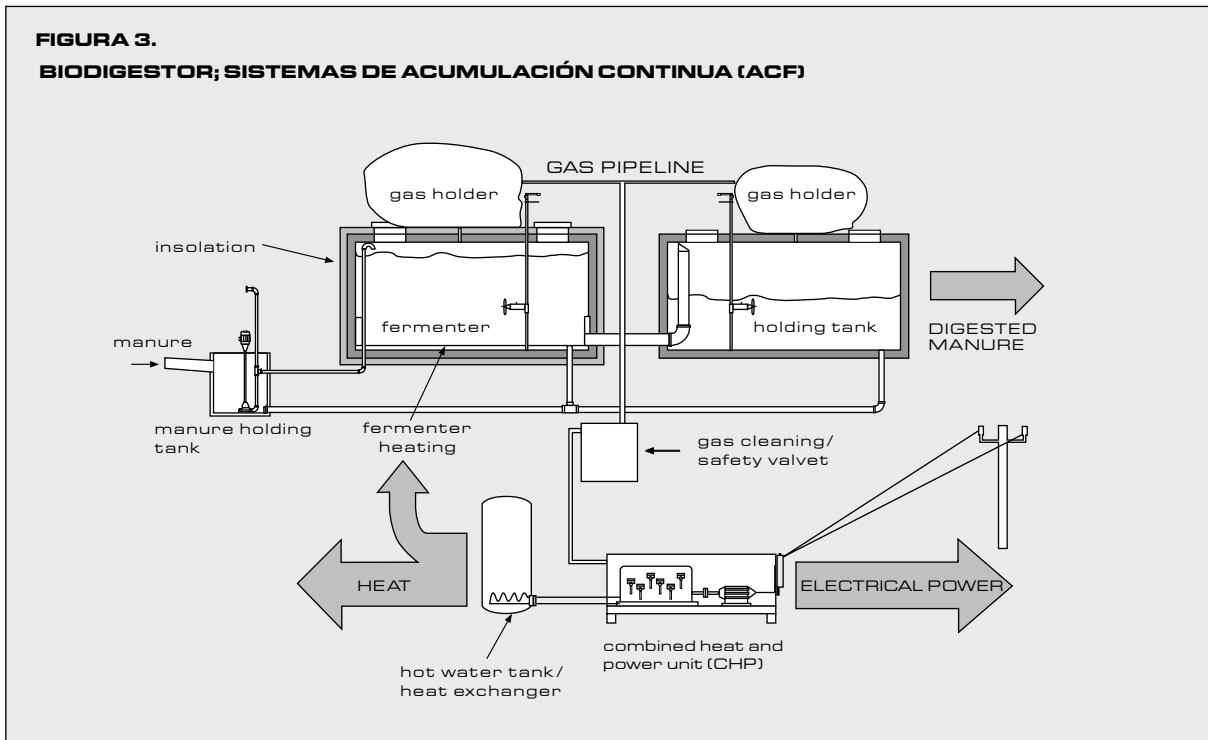




FIGURA 3.
BIODIGESTOR; SISTEMAS DE ACUMULACIÓN CONTINUA (ACF)



Un biodigestor está compuesto por más que un reactor. En general se identifican tres elementos principales (figura 3):

- a. Unidad de producción que incluye el sistema de recolección de la materia fresca y el biodigestor.
- b. Unidad de almacenaje de biogás y tratamiento de biogás.
- c. Equipos que utilizan el biogás y el residuo del biodigestor como fertilizante.

Existen un sinnúmero de diseños para cada uno de estos elementos. Algunos de los más comunes son descritos a continuación. El biodigestor puede tener un diseño horizontal o vertical. El diseño horizontal tiene como ventajas ser un sistema muy eficiente en el uso de la energía, ya que permite calentar y homogenizar con un mismo elemento. En este sistema el material fresco es introducido por un extremo y paralelamente se elimina el mismo volumen por el otro extremo sin que se mezclen los sustratos. De este modo se obtienen altos rendimientos en la producción

de biogás. Por razones técnicas y económicas se construyen hasta un volumen máximo de entre 200 a 800 metros cúbicos.

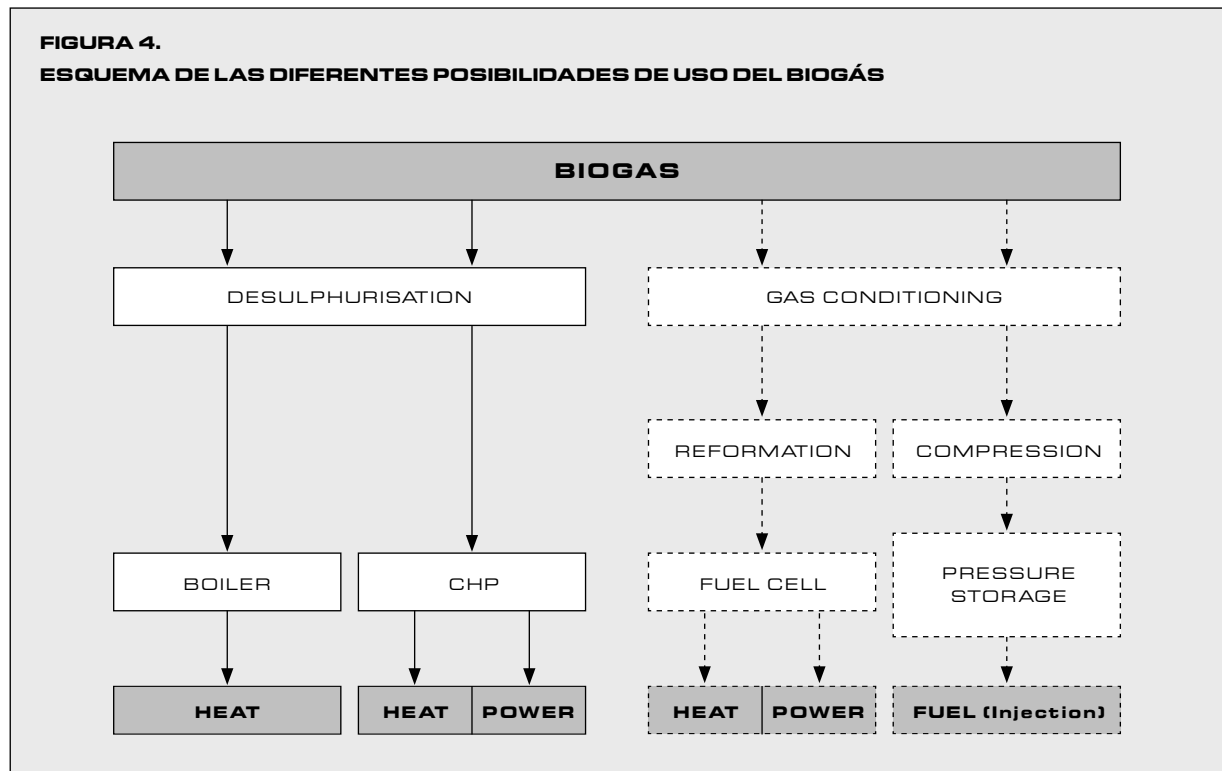
Para biodigestores de tamaño mayor a 800 metros cúbicos se utiliza el diseño vertical. Estos son construidos generalmente de concreto y en forma cilíndrica por motivos estructurales. La ventaja de este diseño es la relación volumen/superficie y que las pérdidas termal son reducidas. La desventaja de este sistema es el no poder asegurar un tiempo de retención hidráulica para los sustratos, ya que el material fresco es homogenizado con el degradado y no existe un control del material eliminado.

Una vez que el biodigestor funciona correctamente es necesario controlar la calidad del biogás producido. Generalmente es necesario desulfurar el biogás para evitar la corrosión del motor a gas y la emisión de dióxido sulfuroso tras la combustión. En los biodigestores agrícolas se realiza la desulfuración con un sistema biológico, el cual consiste en introducir en muy bajo volumen oxígeno para que éste reaccione con el

azufre y precipite en la fase líquida, eliminándose así del gas. La cantidad de oxígeno requerido se traduce a una inyección de aire en una relación de un 2 a 6 por ciento del biogás producido, dependiendo de la concentración de hidrógeno sulfurado presente en el biogás. En biodigestores de mayor escala se encuentran estanques biológicos de desulfuración externos al biodigestor.

La utilización más común del biogás en Europa es en motores a gas (CHP) con un generador eléctrico incorporado. En el caso donde la venta de energía eléctrica no es posible se utiliza el biogás como combustible para calderas. En el caso de biodigestores pequeños, en los cuales la po-

tencia instalada no supera los 100 kilowatts, se utilizan motores combinados. Estos motores utilizan entre un 8 a un 10 por ciento de diesel para la ignición, lo que permite poder utilizar biogás de menor calidad (menor porcentaje de metano). Para el caso de biodigestores de gran producción de biogás existen motores especialmente acondicionados que permiten una mejor eficiencia eléctrica. A futuro, la celda de combustible para biogás puede ser una alternativa económicamente eficiente. O también, según la legislación local, se podrá introducir al sistema de gas natural tras una purificación para aumentar el contenido de metano al nivel de éste (figura 4).





El marco regulatorio

Para establecer en forma satisfactoria la tecnología de digestión anaeróbica se requieren dos requisitos:

- a. Factibilidad económica.
- b. Factibilidad legal.

Un proyecto de digestión anaeróbica será realizado sólo si el análisis económico demuestra que la inversión tiene un retorno favorable en un tiempo razonable y que las condiciones legales en la localidad sean favorables para el proyecto. Como los proyectos de digestión anaeróbica son de sistemas complejos, que interactúan con diferentes leyes, normas y regulaciones, es necesario tener la claridad si el proyecto será aprobado o no por las autoridades.

El estudio de la factibilidad económica debe comprobar la rentabilidad, analizando los costos de desarrollo del proyecto, equipamiento técnico y costos de producción. Por el lado de los ingresos se deben considerar la venta de energía, el reemplazo en los costos de fertilización y la posible venta de bonos de equivalentes de dióxido de carbono (CO₂).

El desarrollo de la tecnología de digestión anaeróbica comienza usualmente por el entusiasmo y la iniciativa de personas interesadas en sus beneficios ecológicos. Una vez que los biodigestores pilotos funcionan correctamente se debe convencer a los políticos de sus beneficios públicos. Un argumento importante dentro de los beneficios públicos, que justifica la inversión en tecnología de biogás, es no sólo el aporte a la agricultura sustentable, sino también a los efectos positivos en las economías rurales de cada región.

Una vez establecida la tecnología de digestión anaeróbica en un país, los productores comienzan a buscar sustratos adicionales de todo tipo de desecho orgánico que les permita aumentar su producción de biogás. En algunos países el ingreso adicional generado por el retiro de este tipo de desecho ha asegurado la rentabilidad de estos sistemas.

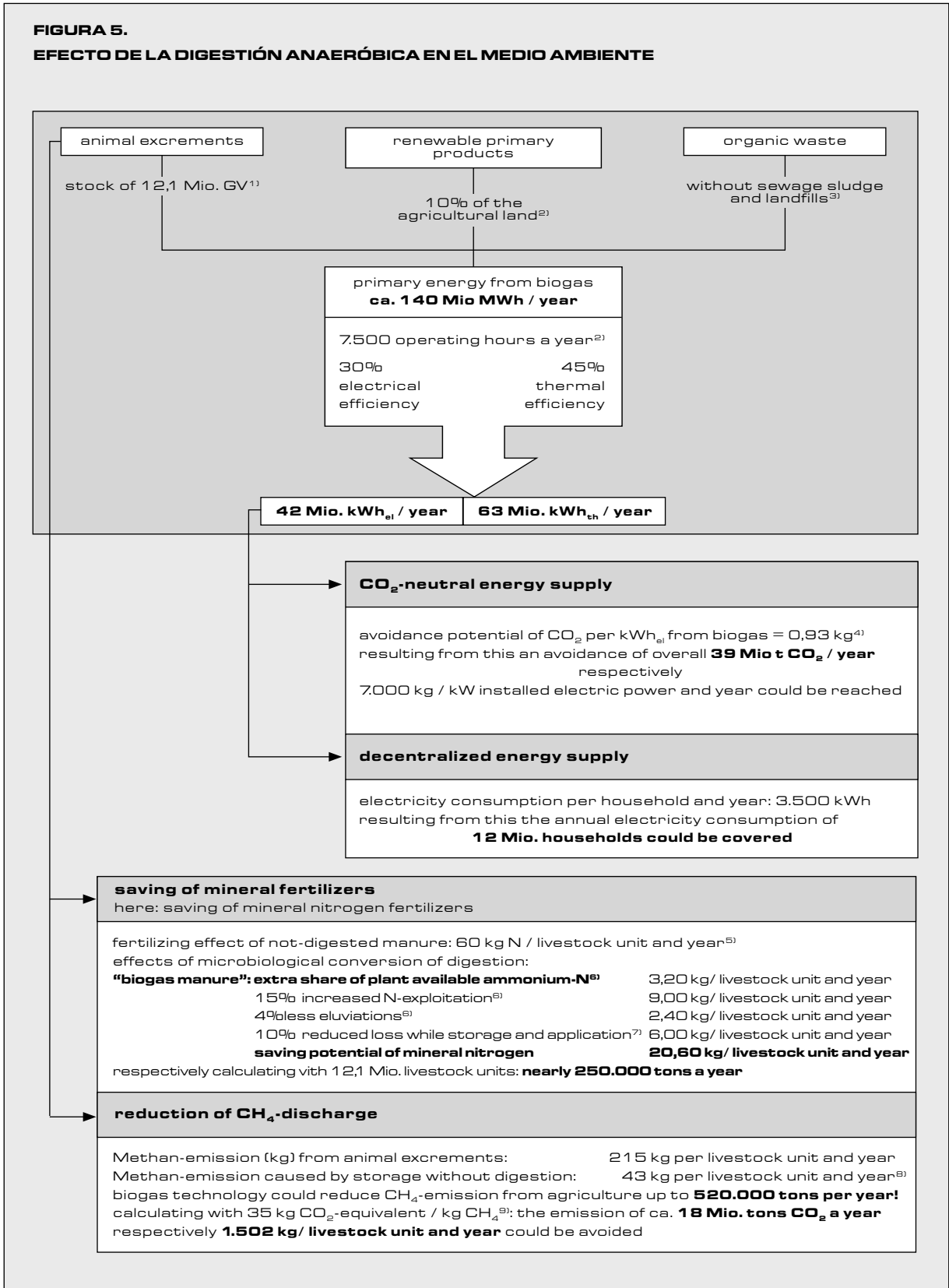
Sin embargo, esta doble fuente de ingresos no ha sido suficiente en otros países para asegurar una rentabilidad del sistema frente al alto costo de inversión que varía desde cien mil hasta un par de millones de euros, dependiendo del tamaño y del nivel técnico del biodigestor. En estos países se ha concluido que el mejor sistema de compensación es la bonificación en el precio de venta de la energía eléctrica. Por supuesto que este precio debe reflejar los costos reales de producir esta energía renovable.

Además de la factibilidad económica, el exitoso desarrollo de la digestión anaeróbica depende fuertemente de los marcos regulatorios legales. La digestión anaeróbica se ve envuelta en la legislación de manejo de residuos, en la de emisiones al medio ambiente y en la ley eléctrica, como también en la de planificación y seguridad de construcción. Hasta hoy en día, la digestión anaeróbica no es un sistema común en el manejo de residuos orgánicos y, por lo general, las normas y regulaciones deben ser adaptadas para este sistema e incluso en algunos casos deben ser creadas.

Para este último punto son claves los aspectos de medio ambiente e higiene que envuelven a la digestión anaeróbica. Para tal efecto se creó una red de información a nivel europeo para la digestión anaeróbica. La AD-Nett (www.ad-nett.org) ha reunido una base de datos de los distintos países para intercambiar esta información. La digestión anaeróbica tiene un alto potencial respecto al manejo de desechos y producción de energía renovable en toda Europa y es de esperar que el futuro legislativo esté en manos de la legislación comunitaria y no en los países en forma individual.

Un cálculo de los efectos ambientales producidos por el uso de digestión anaeróbica se ejemplifica para el caso de Alemania en la figura 5.

FIGURA 5.
EFFECTO DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN EL MEDIO AMBIENTE





Los beneficios de la producción de biogás en la agricultura

1. Energía eléctrica

En Europa, y especialmente en Alemania, la producción de energía eléctrica a partir del biogás producido en la agricultura está en una fase de importante expansión. Día a día son más los agricultores alemanes que ven en la producción de biogás una alternativa productiva frente a los bajos precios de los productos agrícolas debido a la globalización del mercado. Esto ha permitido que algunas zonas tengan autoabastecimiento de energía eléctrica completa.

2. Sustitución de gas natural

El biogás producido en la agricultura puede ser refinado a calidad de gas natural. Para ello se debe eliminar el dióxido de carbono presente y llevar la concentración de metano por sobre 96 por ciento en su contenido. La tecnología existente es variada para realizar este proceso y en Alemania se están construyendo las primeras plantas para inyectar biogás a la red de gas natural. En este sentido, Suecia ya cuenta con estaciones de servicios para automóviles a gas donde es posible llenar el estanque del auto con biogás. Es más, los suecos cuentan con el primer tren a biogás, el cual inauguraron a comienzos de 2008.

3. Producción de calor y sus usos agrícolas

Durante el proceso de combustión del biogás para la producción de energía eléctrica a través de un generador se produce calor que puede ser utilizado para numerosos fines. De la energía contenida en el biogás, sólo un 35 por ciento es transformada a energía eléctrica y un 45 por ciento es calor utilizable. En zonas agrícolas esta energía calórica puede ser utilizada para dar valor agregado a otros productos o puede ser vendida como tal a la industria de la zona. En Alemania el uso más frecuente de la energía calórica producida es su venta a queserías, lecherías y destilerías, entre otras, o como calefacción para invernaderos, establos, hogares, etc.

4. El residuo de un biodigestor como bio-fertilizante

El residuo de un biodigestor es un sustrato estable, ya que no contiene materia orgánica y contiene todos los minerales de los substratos con los cuales se ha alimentado el biodigestor.

5. Beneficios medioambientales

La producción de energía eléctrica a partir de biogás permite sustituir combustibles fósiles y, por lo tanto, favorece la disminución de concentración de gases efecto invernadero.

Durante su producción es posible eliminar patógenos presentes en los estiércoles, evitando la contaminación de aguas subterráneas. Además, al degradar la fase orgánica del sustrato fermentado el residuo de un biodigestor no presenta olores al ser aplicado como fertilizante.

6. Beneficios económicos

Como se indicó anteriormente, es posible lograr autoabastecimiento eléctrico para el productor y el mayor porcentaje de la producción se puede vender a la empresa distribuidora de la zona.

La energía calórica producida durante el proceso puede ser utilizada también para autoconsumo y venta.

Otro beneficio económico es el ahorro en fertilizante, que puede permitir tener un ciclo cerrado de minerales sin la necesidad de comprar fertilizantes minerales.

7. Beneficios sociales

El sistema de producción de biogás en la agricultura permite la descentralización de la producción eléctrica, pudiéndose producir en sectores rurales que hoy en día no cuentan con abastecimiento eléctrico.

La producción de biogás en la agricultura permite ciclos cerrados productivos y, por lo tanto, contribuye al sistema de producción limpia y aumenta el grado de sustentabilidad de la agricultura.

Como se puede concluir, el producir biogás tiene un sinnúmero de beneficios, ya que existen diferentes alternativas para su uso.

El biogás en Europa

La comisión europea de energías renovables ha puesto como meta el aumentar la contribución de estas energías de un 6 por ciento hasta un 12 por ciento entre los años 1995 y 2010. La energía producida por biomasa debe aumentar por lo tanto de 44,8 millones de toneladas de petróleo equivalente a 135 en el mismo período. Como en sólo algunos países se han logrado progresos importantes en la materia, existen muchos obstáculos para la totalidad de los países de la comunidad. Estos incluyen vacíos legales en el incentivo económico para las energías verdes y las nuevas restricciones en los marcos legislativos del manejo de residuos.

Países como Dinamarca, Alemania, Austria y Suecia han liderado en estos últimos años la promoción de mecanismos para fomentar la tecnología de biogás.

En Alemania se encuentran en operación unos cincuenta biodigestores CAD y aproximadamente cuatro mil biodigestores agrícolas. Este gran número de biodigestores se debe a la ley de energías renovables que se implementó en abril del año 2000 y se mejoró en agosto del año 2004. Esta ley no solo obliga a la empresa distribuidora de electricidad a comprar la energía producida, sino que fija un precio por veinte años según la potencia eléctrica instalada en el biodigestor (tabla 1).

TABLA 1. PRECIO DE VENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA A TRAVÉS DE BIOGÁS EN €/KWH.

INSTALLED CAPACITY OF THE PLANT	<150 kW _e	150 - 500 kW _e	500 - 5 MW _e	> 5 MW _e
BASE	0,115	0,099	0,089	0,084
ENERGY CROP BONUS	0,06	0,06	0,04	
HEAT BONUS	0,02	0,02	0,02	0,02
TECHNOLOGY BONUS	0,02	0,02	0,02	

El punto más importante de la nueva ley alemana es el bono por uso de cultivos agrícolas, el cual ha permitido mejorar en forma importante la rentabilidad de los biodigestores agrícolas. Se estima que para el año 2010 se encuentren en funcionamiento más de cuatro mil 500 biodigestores agrícolas, con una potencia eléctrica instalada sobre los mil megawatts.

El potencial del biogás en Chile

El cultivo que presenta la mayor producción de metano por hectárea es el maíz, con producciones que fluctúan entre cuatro mil y ocho mil metros cúbicos de metano por hectárea, dependiendo de la variedad, temperatura ambiental, precipitaciones, etc.

Al maíz lo siguen las praderas anuales, con producciones entre dos mil 500 y seis mil metros cúbicos por hectárea. Las praderas naturales presentan producciones entre mil 500 y cinco mil metros cúbicos por hectárea. Dentro de los

cultivos industriales la remolacha presenta producciones de alrededor de cinco mil 500 metros cúbicos de metano por hectárea.

Los últimos estudios en Alemania se han dirigido a establecer el potencial productivo del ensilaje de planta completa en cereales como el trigo, el triticale y el centeno, llegando a producciones de más de seis mil metros cúbicos de metano por hectárea.

Como se puede observar, las fluctuaciones son grandes y por lo mismo es preciso establecer el potencial productivo con estudios específicos para cada zona del país.

Si, por ejemplo, se calcula con una producción promedio de seis mil metros cúbicos de metano por hectárea para la superficie triguera de la novena región de la Araucanía (240.000 hectáreas), sería posible producir 5.019.840 megawatts hora de energía eléctrica, lo que correspondería a una potencia bruta instalada de 627,5 megawatts. Esto equivale a un quince por ciento de la potencia bruta instalada termoeléctrica del sistema interconectado central (SIG) a 2007.



RAFAEL FRIEDMANN, es jefe del grupo de evaluación de Eficiencia Energética de Clientes en la Pacific Gas and Electric Company. Es doctor en Energía y Recursos por la Universidad de California, Berkeley. Ha recibido numerosos grants y premios. rfriedmann@aol.com

LA CRISIS CHILENA

UNA OPORTUNIDAD PARA IMPLEMENTAR UN MODELO SUSTENTABLE PARA EL FUTURO DESARROLLO DEL SECTOR ENERGÉTICO

Introducción

La actual crisis energética por la que atraviesa el sector eléctrico chileno presenta una gran oportunidad para cambiar el esquema de desarrollo de la misma e impulsar uno basado en el uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de los variados y amplios recursos renovables con los que cuenta el país. De paso, se deberá afianzar la gobernanza pública sobre el sector, para asegurar que matices de sustentabilidad socio-ambiental sean agregadas a las actuales económicas. Se presenta, asimismo, la oportunidad de impulsar la creación y desarrollo de grandes mercados de eficiencia energética y energías renovables, proveyendo nuevas oportunidades de empleos y posibles exportaciones al resto de la región latinoamericana.

Este trabajo presenta la experiencia californiana en la instauración de un esquema de desarrollo sustentable del sector eléctrico basado primeramente en el uso eficiente de la energía y complementado con recursos renovables y tecnologías más limpias para el suministro eléctrico. La intención es describir aspectos del esquema californiano que podrán dar pautas a considerar para su implementación en Chile.

Primero, se abordan las lecciones aprendidas en California con la promoción del uso eficiente de la energía. Se describe brevemente las políticas públicas del Estado californiano que dan prioridad al uso eficiente de la energía y los protocolos e incentivos que se dan a entes privadas para aplicarla. En seguida se describen las razones por

las cuales las compañías eléctricas privadas llevan a cabo una amplia gama de programas para promover el ahorro y uso eficiente de la energía entre sus usuarios. Se sigue con una descripción de los programas que conforman el portafolio de programas para la promoción e implementación de eficiencia eléctrica. Finalmente, se discuten aspectos del esquema californiano que podrían ser de especial interés a Chile.

¿Qué aprendimos en California?

La experiencia de California ha mostrado que la promoción del uso eficiente de la energía eléctrica es de las mejores opciones para lograr un desarrollo sustentable de este sector, que obviamente es crucial para el desarrollo económico y social. Esto se debe a que el ahorro es:

- Barato: cuesta menos de tres centavos por kilowatt-hora y es de rápida implementación.
- Da tiempo para introducir nuevas tecnologías de suministro.
- Hace más factibles las tecnologías renovables.

Pacific Gas & Electric Company (PG&E) y California están cosechando los frutos de más de tres décadas de programas enfocados en promover el ahorro. Para lograr esto, los entes de gobierno sobre el sector deben:

- Instaurar políticas adecuadas para apoyar el desarrollo de infraestructura y de un mercado de eficiencia energética y de tecnologías renovables.
- Elaborar una política energética y capacidad técnica para examinar opciones de suministro y de demanda, así como tecnológicas e institucionales. Estas políticas deben de ser de

- largo plazo y asegurar la gobernanza social.
- Internalizar externalidades socioeconómicas.

Resultados de una política de impulso al uso eficiente de la energía

A continuación detallamos más algunos de los logros que se han obtenido en California gracias a los programas para promover el ahorro.

Las compañías eléctricas de California llevan más de 32 años promoviendo el uso eficiente de la energía. A lo largo de este trayecto, se han logrado importantes ahorros a costos menores a 0,03 dólares por kilowatt-hora. Estos ahorros se han conseguido tanto a través de la implementación de programas para educar e incentivar la producción -la compra de equipos y servicios más eficientes, por ejemplo-, como vía normas de eficiencia mínima y códigos que buscan mejorar la eficiencia en la construcción de edificios.

Las figuras 1 y 2 muestran los ahorros obtenidos en el periodo entre 1975 y 2003 tanto en energía como en potencia eléctrica. Vemos que a lo largo de estas tres décadas, California ha evitado consumir más de 40 terawatt-hora (15% del consumo en 2003) y reducido el crecimiento de la demanda eléctrica en 12 gigawatt-hora (22% de la demanda máxima en 2003, equivalente a 24 termoeléctricas de 500 MW cada una) con una inversión correspondiente al 1% de la factura eléctrica (unos 4,5 mil millones de dólares). Casi la mitad de este ahorro ha sido a través de normas de eficiencia mínima para equipos eléctricos y códigos de construcción eficiente. La otra mitad ha sido con una variedad de programas de educación e incentivos para la producción y compra de equipos y servicios de eficiencia energética.



FOTOGRAFÍA: ERICA MARSHALL / FLICKR.COM

FIGURA 1.
AHORROS ANUALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS PROGRAMAS, NORMAS Y CÓDIGOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALIFORNIA

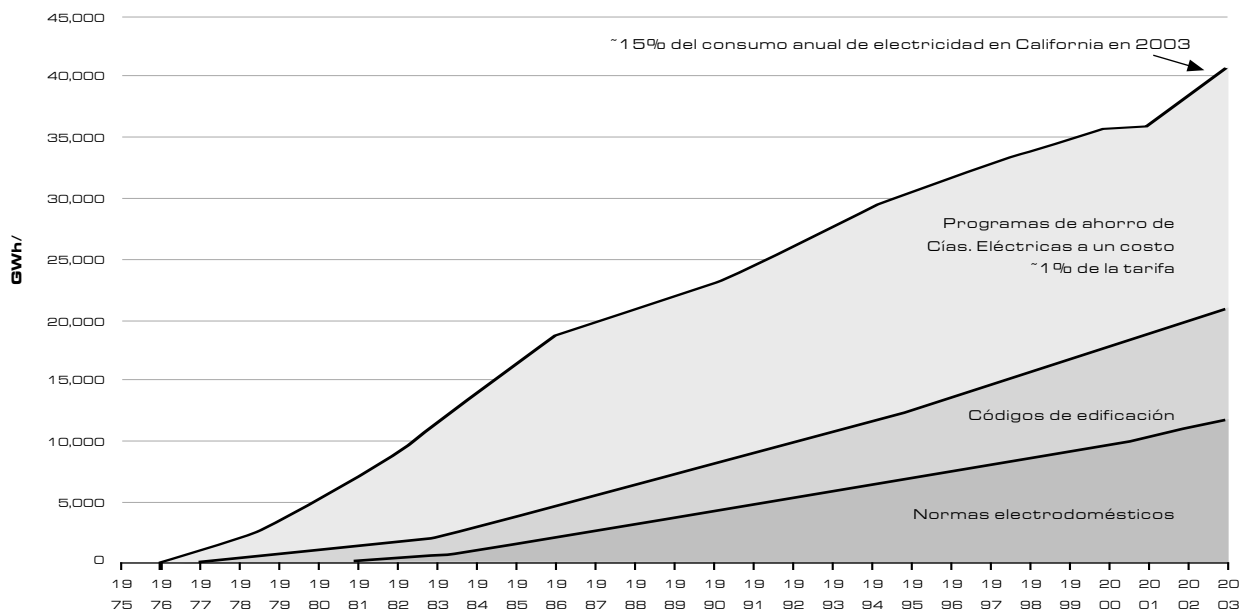
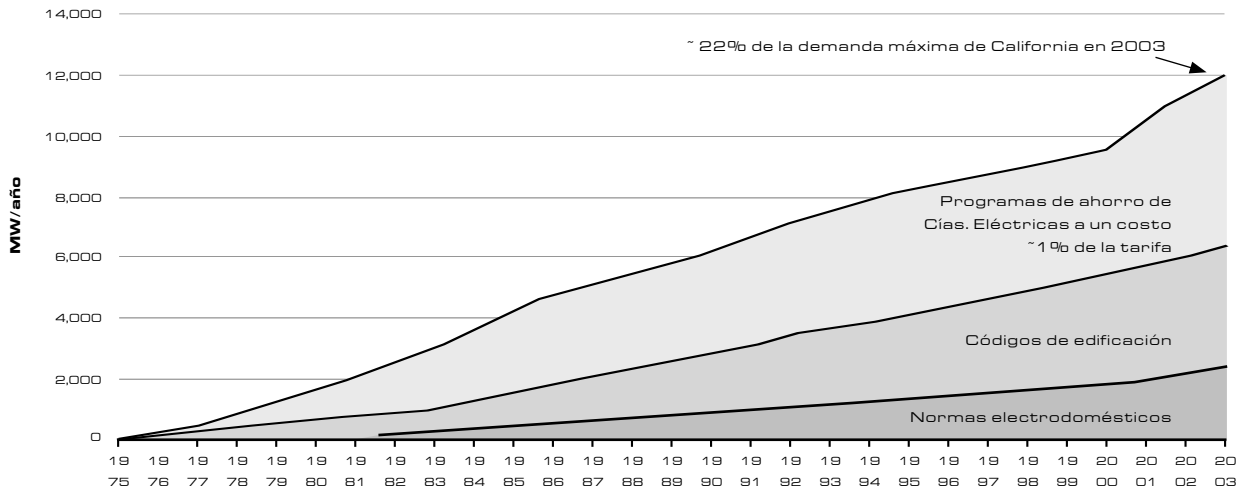


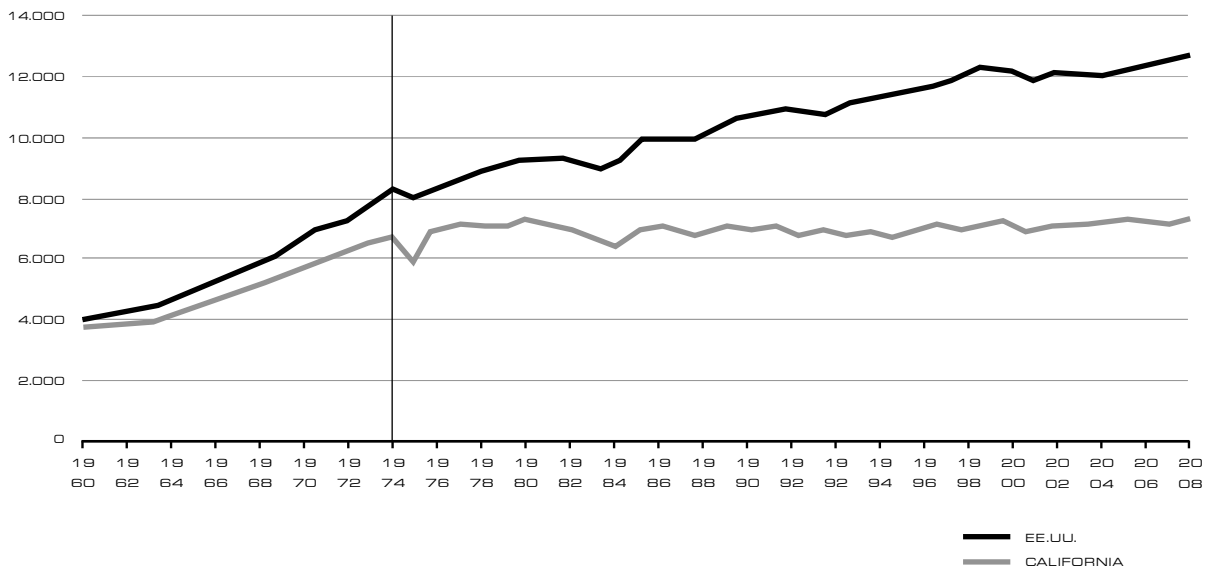
FIGURA 2.
AHORROS ANUALES DE DEMANDA ELÉCTRICA DE LOS PROGRAMAS, NORMAS Y CÓDIGOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALIFORNIA



Los resultados de todos estos esfuerzos también quedan claramente demostrados en el crecimiento del consumo per cápita de California en comparación con el resto de los Estados Unidos. En la figura 3 podemos apreciar como de 1974 a la fecha, el consumo de electricidad per cápita en

California se ha mantenido constante en unos siete mil kilowatt-hora por persona al año. En contraste, el del resto de los Estados Unidos ha aumentado en un 50%, alcanzando casi los doce mil kilowatt-hora por persona al año.

FIGURA 3.
CONSUMO ELÉCTRICO PER CÁPITA DE CALIFORNIA Y LOS ESTADOS UNIDOS





Políticas públicas para promover la eficiencia energética

Estos ahorros se lograron gracias a políticas públicas que crearon un marco para incentivar a las compañías suministradoras del servicio de electricidad a promover el uso eficiente de energía por sus usuarios. En el proceso se ha ido creando un mercado de servicios y equipamientos eficientes que es cada vez más sofisticado y de mayor capacidad de gestión.

Tres políticas públicas han sido esenciales para lograr esto:

1. Normas de eficiencia mínima para equipos y códigos de construcción eficiente con sus métodos de pruebas;
2. «Decoupling»: un mecanismo bajo el cual se aseguran los ingresos de la compañía suministradora del servicio eléctrico sin que estos dependan de sus ventas de electricidad; e
3. Incentivos a los accionistas de las compañías suministradoras para que la tasa interna de retorno sobre las inversiones para promover el ahorro y uso eficiente de energía sea similar e incluso mayor a la tasa interna de retorno en inversiones para suministrar electricidad.

Estas políticas son parte crucial de un marco que rige y sienta la pauta sobre la gobernanza pública del desarrollo del sector energético. Aspectos cruciales de la política pública buscan asegurar el futuro desarrollo económico con cuidado del medio ambiente, tanto local como global. Mitigar las emisiones de cambio climático es parte esencial del actual apoyo estatal a las acciones para promover el uso eficiente de la energía. Esto se aúna a la preocupación por minimizar el costo a la sociedad de los insumos energéticos.

Los principales entes reguladores del sector energético en California han impulsado el ahorro y uso eficiente de la energía como principal estrategia para el futuro desarrollo del sector energético. En el Plan de Acción Energética (Energy Action Plan), elaborado por la California Public Utilities Commission (CPUC, ente que regula tarifas, incluyendo el cobro para bienes públicos que provee fondos a las compañías suministradoras y comercializadoras para promover

el ahorro) y la California Energy Commission (CEC, ente que regula la construcción de nuevo suministro y hace estudios de prospectiva), se plantea un orden para el suministro eléctrico en el cual se da prioridad al uso eficiente de la electricidad, seguido de programas para reducción de la demanda máxima, el suministro a base de recursos renovables y la generación «limpia» (generalmente ciclo combinado a gas natural y posiblemente más adelante otras con captura del carbono¹). Más recientemente, la CPUC publicó el Energy Efficiency Strategic Plan, donde sienta las pautas a seguir al año 2020 en la promoción del uso eficiente de la energía en California. La intención es que, vía el uso eficiente de la energía, California aumente el suministro basado en recursos renovables para lograr las metas de reducción de emisiones de gases invernadero estipuladas tanto en la ley AB32 como en los planes del gobernador, que requieren una reducción de estas en un 20% para 2020 y un 80% a 2050 en comparación a las emisiones de 1990.

¿Por qué las compañías suministradoras privadas impulsan el ahorro?

Aparte de las tres políticas públicas recién descritas, las compañías eléctricas privadas en California tienen al menos seis razones claves por las cuales buscan impulsar el ahorro y uso eficiente de la energía entre sus usuarios. Aunque la importancia relativa de estas varía según las circunstancias, todas son relevantes en un momento dado. Estas son:

- Los usuarios quieren ahorrar: entre los californianos cunde una fuerte conciencia pública por el medio ambiente e interés en la economía familiar. Esto se traduce en una preocupación por adoptar medidas que hagan más eficiente el uso energético y existe una clara preferencia por buscar información confiable para lograr esto con la compañía eléctrica.

1 Carbon Sequestration

- Ayuda a reducir el crecimiento de la demanda y los impactos de incrementar el suministro: al reducir el crecimiento en la demanda, se logra mitigar la necesidad de refuerzo al sistema de suministro actual. Hay gran reticencia de los usuarios a la construcción de más suministro.
- La eficiencia energética es más barata de lograr que aumentar el suministro: en California y muchas otras jurisdicciones en los Estados Unidos, el ahorro cuesta menos de unos tres centavos por kilowatt-hora, mucho menos que el suministro, que cuesta más del doble.
- Reduce la necesidad de aumentar las tarifas y las facturas energéticas: como sale mucho más barato el ahorro que el nuevo suministro, con el ahorro se evita aumentar tanto las tarifas como las facturas a usuarios. El aumento en la eficiencia energética permite reducir situaciones donde hay subsidios tarifarios sin que esto impacte el importe final de la tarifa.
- Libera capital para otros proyectos de infraestructura: al costar menos que el suministro actual, la promoción de la eficiencia libera capital que se puede utilizar para otras necesidades de la empresa, tanto bienes de capital como salarios o réditos a los accionistas.
- Ayuda a lograr el compromiso ambientalista de la empresa: cada día hay más interés por parte de empresas privadas en ser vistas como socialmente conscientes y, especialmente, preocupadas por mejorar el medio ambiente. Ante el esperado costo a emisiones de carbono, toda empresa que este emitiendo CO₂ deberá buscar minimizar tales emisiones.

Descripción de los programas para promover el ahorro y uso eficiente de la energía

Los programas actuales de promoción del uso eficiente de la energía aprovechan la experiencia ganada a lo largo de más de tres décadas y de la infraestructura de mercado lograda durante este tiempo. Estos han evolucionado conjuntamente con la evolución del contexto en el cual desarrollan sus actividades. Aquello requiere de un constante ajuste para asegurar que los programas sigan

vigentes y den mejores resultados a menor costo. Hay cuatro principales barreras que los programas de promoción de la eficiencia energética buscan solventar. Estas son:

1. Conciencia: es decir, que el usuario sepa que puede ahorrar;
2. Existencia: que se fabriquen productos y/o ofrezcan servicios más eficientes;
3. Visibilidad: que estos productos y servicios se puedan encontrar fácilmente; y
4. Economía: que los productos y servicios eficientes sean viables económicamente.

Estas cuatro barreras se presentan en diferentes matices y niveles de importancia a lo largo de todos los mercados que se buscan influir. Lo importante es encontrar la mejor mezcla de intervenciones para resolver las barreras en cada mercado que se busca incrementar la eficiencia.

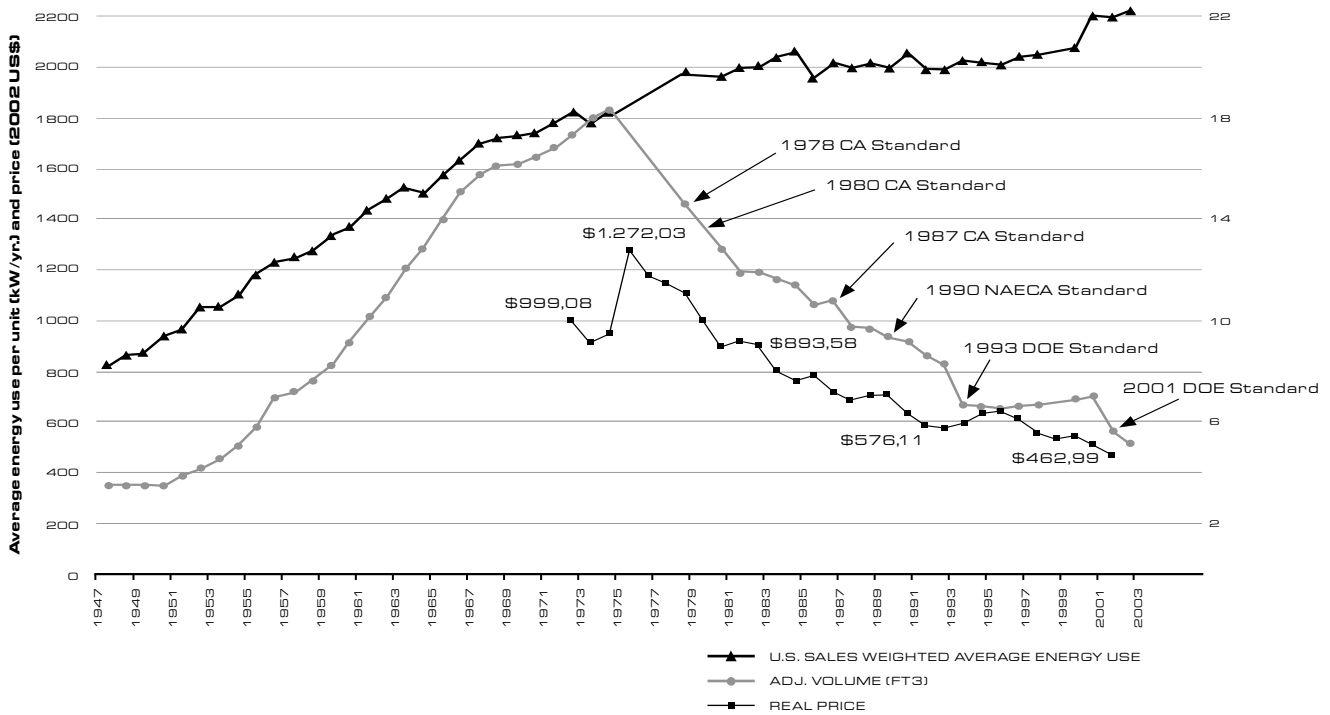
Como se dijo anteriormente, hay dos principales esfuerzos enfocados en lograr aumentar la eficiencia con la que los californianos utilizan la energía. Estos son las normas de eficiencia mínima y códigos de construcción eficiente y los programas para la promoción del uso eficiente y el ahorro entre los usuarios de la energía.

Las normas de eficiencia mínima y los códigos de construcción eficiente son principalmente elaboradas por la CEC, con el apoyo de una variedad de expertos en la academia, la industria y las compañías eléctricas. Las normas de eficiencia generalmente son federales, a menos que se permita que una norma estatal rija bajo el «Title 20». Los códigos de construcción eficiente («Title 24») son estatales y son vigilados a nivel condado/ciudad.

La figura 4 muestra cómo se ha reducido el consumo de los refrigeradores domésticos desde 1975 aún y cuando el volumen ha aumentado de un promedio de 18 pies cúbicos a 22 pies cúbicos y el precio de los mismos ha disminuido en casi dos tercios. Esto se ha logrado en un principio con normas estatales y más recientemente con normas nacionales de eficiencia mínima, que han sido elaboradas en conjunto con los fabricantes y, en parte, en base a los productos que estos han ido fabricando para aprovechar incentivos que las compañías suministradoras dan por los equipos más eficientes.



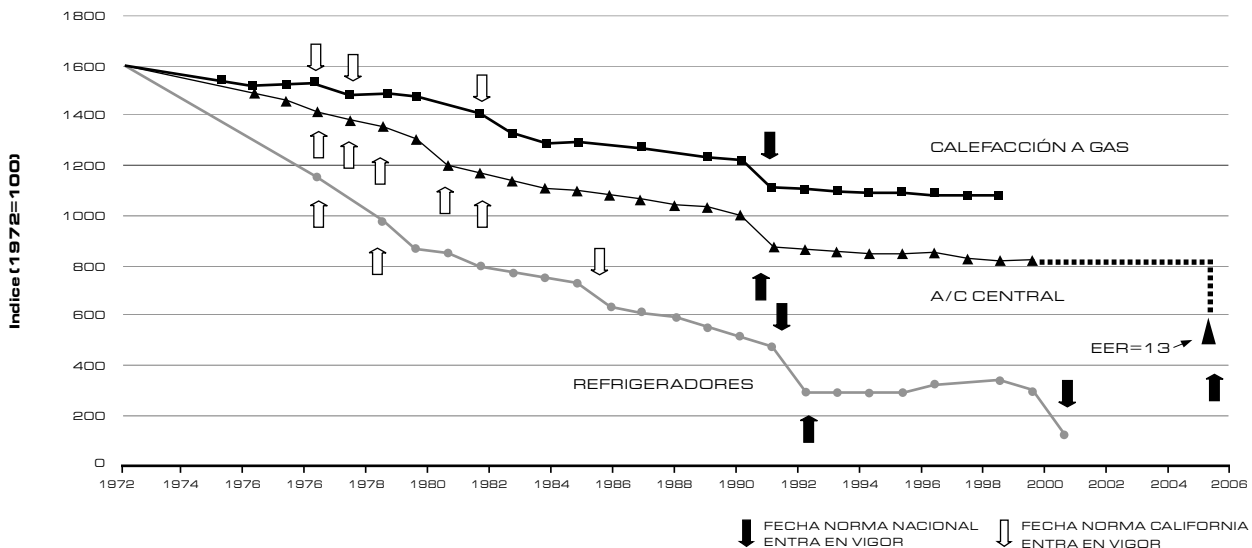
FIGURA 4.
CONSUMO DE ENERGÍA DE REFRIGERADORES EN EL TIEMPO Y PRECIO DE LOS MISMOS



La figura 5 muestra el impacto que han tenido las normas de tres equipos domésticos sobre el consumo energético máximo permitido a lo largo del tiempo. Apreciamos una disminución del 75% para refrigeradores, 40% para equipos de

aire acondicionado y de un 25% para calefacción a gas. En un principio la normatividad fue impulsada por California y, más recientemente, las normas nacionales son las que rigen.

FIGURA 5.
NORMAS DE EFICIENCIA PARA TRES EQUIPOS DOMÉSTICOS (fuente: S. Nadel, ACEEE, en ECEEE 2003 Summer Study, www.eceee.org)



Además de las normas de eficiencia mínima y códigos de construcción eficiente, California impulsa el ahorro y uso eficiente de la energía entre usuarios con programas administrados por las compañías suministradoras de energía. La CPUC aprobó un cargo en la tarifa que provee fondos para estos programas. En el periodo entre 2006 y 2008, estos fondos rebasaron los 2,1 mil millones de dólares. A continuación se describe brevemente como PG&E está administrando el portafolio de casi mil millones de dólares en su franquicia de servicio.

La estrategia actual de PG&E para ahorrar energía en el contexto actual está basada en las siguientes tres bases:

1. Enfoque en el usuario: Se desarrolla un esquema de mercadeo y ventas «a la medida», es decir, buscando ofrecer lo que cada usuario necesita. Se provee al usuario un paquete integrado de opciones para mejorar la eficiencia energética a través de medios idóneos a cada usuario. Se monitorea la satisfacción de usuarios y contrapartes con los programas para asegurar que estos sigan vigentes.
2. Colaboración continua con los «stakeholders»: se llevan a cabo una variedad de foros continuamente con las contrapartes interesadas para asegurar la coordinación de esfuerzos. Esta coordinación busca en la medida posible que los programas sean idénticos a lo largo de California.
3. Planificación estratégica continua: el portafolio de programas es revisado continuamente para asegurar que siga alineado al contexto del mercado. Se hacen ajustes para asegurar que se cumplan las metas de ahorro.

Para lograr amplia cobertura a lo largo de la región geográfica de servicio, el portafolio de programas para impulsar el ahorro de PG&E usa tres principales canales de implementación: 1. Programas de PG&E; 2. Programas administrados por terceros; y 3. Programas apoyados en gobiernos locales y el Estado.

El portafolio de programas incluye educación, información, mercadeo, auditorías energéticas, apoyo técnico, incentivos monetarios, demostración de tecnologías emergentes y apoyo a normas y códigos de eficiencia.

El portafolio también se divide en programas enfocados en el mercado masivo (principalmente residencial y pequeño y mediano comercio) y mercados específicos. Estos se describen brevemente a continuación:

- Mercado masivo: aquí se busca impulsar el ahorro entre usuarios residenciales y de pequeño y mediano comercio e industria. El programa busca motivar a que el mercado de menudeo ofrezca una gran variedad de productos y servicios más eficientes a estos usuarios. Se apoya en campañas de educación vía los medios de comunicación masiva. La intención es que los usuarios compren equipos más eficientes. Para algunos equipos (como las lámparas compactas fluorescentes, los motores eléctricos eficientes y los equipos de aire acondicionado), los incentivos son pagados a los fabricantes o mayoristas. De esta forma se logra abatir el precio a menudeo de estos equipos así como promover su mercadeo a lo largo y ancho del territorio de servicio. Gracias a este esquema, PG&E logro promover la compra de unas cincuenta millones de lámparas compactas fluorescentes en el periodo 2006-2008.
- Mercados específicos: en estos programas se busca adecuar el paquete de programas a las necesidades de un mercado específico para maximizar la cantidad de acciones que tomará un usuario (generalmente comercial o industrial grande). Ejemplos de los mercados específicos son: agricultura y procesamiento de alimentos; manufactura e industria pesada; hospedaje; médico; alta tecnología; escuelas y universidades; comercial grande e institucional; y nueva construcción residencial. Para cada uno de estos mercados se prepara un conjunto de servicios idóneos que cubren las necesidades específicas de cada segmento de mercado. Se enfoca en los usuarios más grandes o con operaciones de gran alcance que tienen enormes potenciales de ahorros. El mercadeo es específico a cada industria o segmento comercial y se logra a través de comunicaciones de PG&E, asociaciones industriales o comerciales y variedad de eventos (trade shows) de los mismos. El plan es que el usuario sólo tenga que lidiar con una persona



para acceder a todos los servicios (auditorías energéticas, apoyo técnico, incentivos) y, de esta forma, maximizar los ahorros en cada predio y/o compañía.

Para el periodo 2009-2011 se planea seguir con un esquema similar al actual. Los fondos destinados a este esfuerzo a nivel estatal aumentarán a más de cuatro mil millones de dólares. También se aprovechará el emergente interés por grandes actores en los mercados (multinacionales), que buscan posicionarse como «verdes» y «ambientalistas». Con el tiempo será cada vez más factible usar los fondos públicos y el portafolio de programas de ahorro y uso eficiente en conjunto con esfuerzos aún más grandes llevados a cabo por grandes entes de los mercados. Se pasará de ser el meollo del impulso y adopción de la eficiencia a ser simplemente el «aceite» que lubrica la maquinaria, es decir, un catalizador de las acciones llevadas a cabo por grandes empresas y así lograr que el impulso al ahorro y uso eficiente se convierta en «business as usual». Esto también requerirá de una adecuación del marco regulatorio a esta nueva realidad contextual.

Lecciones para Chile

La primera lección es que hay que situarse en el contexto actual chileno para poder definir políticas y acciones a seguir y así lograr un desarrollo del sector eléctrico más sustentable. El actual esquema ha usado fuentes tradicionales de abasto (generación con hidroelectricidad y combustibles fósiles, en su mayoría importados), dejando que los mercados definan precios y las inversiones para cubrir el crecimiento de la demanda.

La actual crisis de suministro eléctrico está forzando a la sociedad en su conjunto a reexaminar el esquema actual y ampliar las opciones para el futuro desarrollo del sector energía. El paradigma actual presenta el problema de la constante necesidad de aumentar el suministro de energía, es decir, más energía equivale a progreso. Un mejor paradigma busca maximizar los servicios y productos que la sociedad requiere con el mínimo consumo e inversiones en el sector energético. Chile puede encontrar un esquema que contem-

ple y promueva una diversificación más amplia en la que se incluyan nuevas fuentes (especialmente basadas en renovables), así como se dé un fuerte impulso al aprovechamiento del gran potencial de ahorro y uso eficiente de la energía para abatir la demanda de ésta. Con la crisis actual, este es el momento para abrir el espacio de discusión, tocando no sólo acciones de demanda y suministro, sino que también examinando el rol del Estado y cómo ejercer una gobernanza más efectiva que asegure la internalización de externalidades y a la vez incentive el desarrollo sustentable de este sector, motor de toda economía.

Los mercados de recursos renovables de suministro y/o del ahorro y uso eficiente de la energía son todavía relativamente inmaduros en Chile. Por ende, será necesario desarrollar políticas públicas para apoyar el desarrollo de estas dos opciones, para que al ir madurando vayan ampliando la sustentabilidad del sector. Con la promoción del ahorro y uso eficiente, Chile no sólo ahorrará en la compra de insumos e inversiones en suministro, sino que también ganará tiempo que permitirá adquirir recursos renovables más económicos. Con el impulso al desarrollo de generación con recursos renovables, de los cuales Chile cuenta con abundancia, tanto en cantidad como en diversidad (sol en el norte; viento, mareas y olas a lo largo del litoral; geotermia a lo largo del país) se logrará desarrollar un parque de suministro basado en recursos propios, dejando atrás una dependencia en insumos importados. No sólo se ahorrarán los capitales destinados a la importación de combustibles fósiles, sino que también se podrá desarrollar una nueva industria de equipos y servicios de energías renovables que proveerán nuevos empleos y exportaciones. Para fomentar la evolución de un mercado de eficiencia energética, Chile deberá tomar al menos las siguientes acciones:

- Llevar a cabo estudios de potencial de ahorro y uso eficiente.
- Establecer un marco de planeación integrada de recursos, donde se incluyan tanto el suministro como abatir la demanda.
- Sentar un marco regulatorio que asegure al menos un trato equitativo a opciones de suministro y de demanda.

- Establecer mecanismos de despacho eléctrico que incluyan a todos los recursos e internalicen externalidades.
- Promover la investigación, desarrollo y demostración de equipos y servicios de eficiencia energética y/o generación con recursos renovables.
- Asignar recursos para apoyar el desarrollo inicial de mercados de servicios y equipos de eficiencia energética y/o renovables.
- Establecer protocolos en las compras del Estado que den prioridad al ahorro, la eficiencia y que consideren el costo total durante la vida útil en vez de solo el precio inicial.
- Evaluar continuamente el desenvolvimiento de los mercados de eficiencia energética y de recursos renovables, así como el desarrollo del sector energía para adecuar programas, políticas y esquemas de desarrollo futuro al contexto cambiante.

Conclusión

Chile, al igual que California, ha vuelto a entender durante esta última crisis que la electricidad es una necesidad básica. Con los programas de promoción al ahorro (que lograron disminuir en alrededor de un 10% del consumo nacional en forma inmediata), Chile también comprobó, como lo ha hecho California por más de tres décadas, que el ahorro y uso eficiente de la energía es una enorme opción de rápida implementación. Con una planeación más detallada y mayor apoyo público, las opciones del uso eficiente de la energía, así como un desarrollo del suministro basado en fuentes renovables nacionales, podrán reeditar grandes ahorros al país y crear nuevas fuentes de empleo y mercados de exportación.



AUTOR

EDUARDO FIGUEROA

KARLSTRÖM, es doctor en Ciencias por la Universidad de Uppsala, en Suecia. Hoy es senior scientist en SAAB AB, donde se desarrolla proyectos para incrementar el uso de energía eléctrica en aviones modernos. Es autor de muchas publicaciones científicas y de varias patentes industriales.

ESCENARIO ENERGÉTICO DE CHILE

DISCUSIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA EL FUTURO

Nunca antes en la historia de la humanidad la demanda de energía en el planeta fue tan grande como lo es hoy, y en el futuro será aún mayor:

Para enfrentar este desafío debemos ser capaces de una respuesta a nivel global, regional, nacional, empresarial e institucional y aún a nivel personal.

Resumen

En el siguiente artículo se hace un análisis general del escenario energético de Chile, incluyendo aspectos generales del suministro energético global actual y las expectativas dentro de las próximas décadas, para luego analizar las posibilidades en el mundo y, en particular, para Chile. A su vez, se discuten las posibles incidencias del suministro en el futuro inmediato, los distintos escenarios y las alternativas posibles.

La discusión general de las formas de suministro o de las posibles acciones a tomar se enmarcan dentro de un esquema de desarrollo sustentable para el país y se hacen algunas sugerencias de cómo abordar esta problemática.

Introducción

La demanda creciente de acceso a la energía, los cambios climáticos globales y el carácter limitado de las fuentes de energía van a impactar cada vez más fuertemente y a todo nivel al planeta y a cada país. Existen por ello numerosos documentos que recomiendan tomar medidas ahora para estar preparado contra los riesgos y dificultades previsibles en el futuro próximo.

1. El escenario energético de Chile y del mundo

¿Dónde estamos? ¿Hacia donde marchamos? Una ponderación rápida de las muchas fuentes de información existentes muestran que:

- Las demandas globales para todas las formas

de energía experimentarán una tasa de crecimiento estimado de más de un 57 por ciento durante los próximos 25 años

- Alrededor del año 2030, el 56 por ciento del consumo global de energía estará concentrado en Asia.
- La demanda total de electricidad en Estados Unidos se prevé que crecerá en al menos un 40 por ciento hasta el año 2030.
- Se estima que una generación de potencia por sobre la existente de más de 300 plantas (1.000MW) será necesaria para satisfacer el crecimiento en la demanda de energía eléctrica para el año 2030 en Estados Unidos solamente.
- Actualmente el 50 por ciento de la generación eléctrica en Estados Unidos se basa en el uso de combustibles fósiles (carbón, derivados del petróleo, etc.), mientras que el 85 por ciento de las emisiones de gases de incidencia climática global (efecto de invernadero) resultan de actividades que usan energía que consumen formas de combustibles fósiles (básicamente transporte y tráfico de vehículos). Esta situación es similar en la mayoría de los países desarrollados¹.

Cabe preguntarse entonces: ¿Cuál será la incidencia de esto en el costo de las inversiones para países como Chile? ¿Cuál será el verdadero acceso al mercado de fabricación de generadores y plantas? Cabe suponer que las consecuencias de este escenario serán evidentemente tan dramáticas que no sólo van a incidir en la vida cotidiana, sino en el estilo de vida de cada uno de nosotros.

Un análisis más amplio nos hará concluir que si tal es el panorama para los Estados Unidos de Norteamérica, al menos una demanda similar se notará en los otros países desarrollados. Evidentemente la demanda será también muy grande de parte de todos los otros países, fundamentalmente aquellos de economías emergentes.

La inferencia inmediata de esta situación es que escasamente existe capacidad instalada para satisfacer en tan corto plazo un nivel de demanda de fabricación de generadores de potencia. Una alta demanda y una baja capacidad de fabrica-

ción conllevan un alza significativa de costos, por lo que debieran existir ya planes de inversión y convenios que tiendan a asegurar acceso a capacidad de generación dentro de los próximos 25 años.

Para una economía emergente como la chilena, en franco proceso estratégico de incrementar el valor agregado de sus exportaciones, es evidente que una alza en los precios de la energía a causa de su escasez, creciente demanda y limitaciones en el suministro es un problema grave. El impacto en la industria nacional y en la sociedad en general tendrá que llevar a consecuencias poco aceptables en un contexto expansivo de la economía. Tal impacto se reflejara irremediamente en:

- Una significativa reducción de utilidades a causa de alzas en los costos de producción y operación.
- Una depleción significativa de los volúmenes de venta de productos cuya producción hace uso significativo de energía.
- La pérdida de los niveles actuales de competitividad en sectores que hacen uso intensivo de la energía para su gestión.
- Perturbaciones en las cadenas de suministros en la medida que subcontratistas llegan a ser incapaces de mantener niveles de costos, caen en falencia en contratos, etc.

Recientes eventos históricos nos han demostrado además que las consecuencias de catástrofes climáticas, terremotos, cambios en centros de actividad económica, eventos políticos y actos de terrorismo, entre otros, no son eventos especulativos de escaso valor, sino, por el contrario, realidades objetivas de nuestra vida contemporánea. Toda planificación estratégica seria debe, por consiguiente, considerar los riesgos de eventos como estos. Por ejemplo, no es necesario entrar en los detalles de la reducción del suministro de gas a Chile o de lo que puede pasar en Venezuela o Bolivia.

Chile tiene definitivamente limitadas fuentes de recursos energéticos nacionales. Como resultado de ello, el país debe importar una parte muy significativa, sino mayoritaria, de sus necesidades. Existe además un bajo nivel de diversificación en

1 Fuentes: Annual Energy Outlook (DOE/EIA-0383(2007)); International Energy Outlook 2007 (DOE/EIA-0484(2007)); Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2005 (April 2007) (EPA 430-R-07-002)



FOTOGRAFÍA: MAXY MILIANO / FLICKR.COM

las formas de producción de energía en el país, lo cual incide negativamente en la creciente dependencia en las importaciones de energía, particularmente de gas natural. Como es sabido esto no ha carecido de consecuencias. En abril de 2004, Argentina comenzó a restringir las exportaciones de gas natural a Chile, con cortes que redujeron el suministro en casi un 50 por ciento de los volúmenes contratados en algunos días. Irremediablemente, Chile, a su vez, debió tomar acciones reactivas en su política energética que, antes de las restricciones a la importación, había asumido un mayor uso de gas natural y de las importaciones de esta fuente de energía desde Argentina. Chile se ha visto así forzado a buscar otras fuentes de gas natural, como gas natural licuado (GNL) o de gas de otros países.

En 2005 Chile mostró un crecimiento real del

producto interno bruto (PIB)² en un 6,3 por ciento, evidenciando una continuidad en el crecimiento experimentado en 2004 (6,2 por ciento). El rápido crecimiento de los precios para las exportaciones de minerales, especialmente cobre, son reconocidos internacionalmente como el principio motor de la alta tasa de crecimiento en Chile. La Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco, de propiedad estatal) es la explotación minera de cobre más grande del mundo. Aun cuando el cobre y otros recursos minerales constituyen el pilar central de las exportaciones, el comercio de otros productos no tradicionales - como los forestales, agropecuarios y del mar- han mostrado un crecimiento considerable en los últimos dos decenios. Pese a significativos esfuerzos, Chile no tiene aún una exportación basada mayoritariamente en productos industriales de

2 El PIB se calcula como el valor de la producción total final de todos los bienes y servicios producidos en un año dentro de las fronteras de un país. PNB es el PIB más los ingresos que reciben los residentes en el extranjero, menos los ingresos de los reclamados por no residentes.

alto valor agregado. La diversificación de exportaciones es de central importancia para el país, al mismo tiempo que la importancia de la refinación electrolítica del cobre requiere de acceso a la electricidad a precio estable. Un cambio dramático en las tarifas energéticas o en la demanda internacional del cobre pueden rápidamente cambiar los indicadores de la economía nacional limitando así toda otra posible política de expansión en lo social, educacional, implemento de infraestructuras, etc.

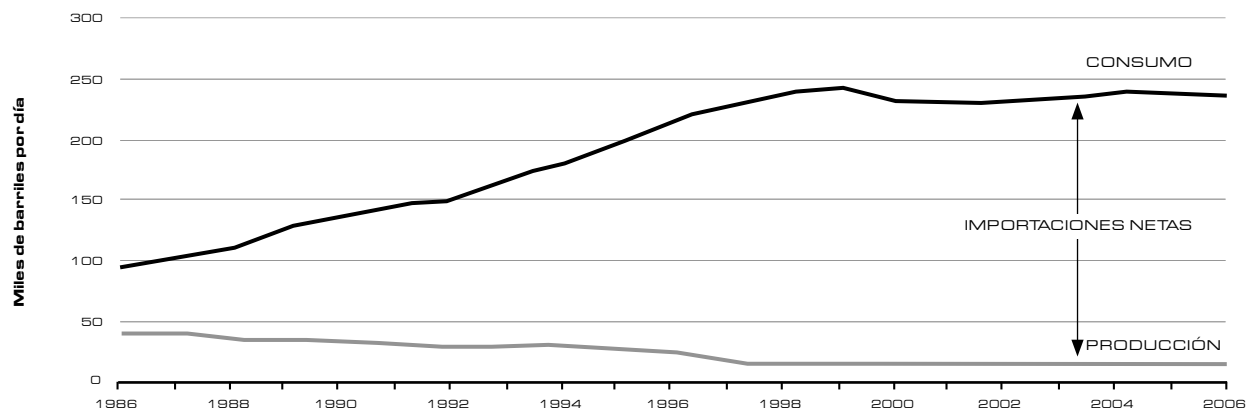
2. El gas y el petróleo en Chile

Chile cuenta con muy limitadas reservas en pozos petrolíferos y su capacidad de producción es también muy limitada. De acuerdo al Oil and Gas Journal (OGJ), Chile tenía reservas verificadas de 150 millones de barriles de petróleo crudos en enero de 2006. Esta es una cifra muy baja considerando la planificación a futuro. Además, la producción nacional de petróleo es muy limitada. Esta alcanzó escasamente a alrededor de 15.100 barriles por día (bbl/d) durante el 70 por ciento de 2006 (cifras disponibles, extrapoladas aquí a alrededor de 21.600 bbl/d anualmente). Por otro lado, el consumo de combustibles implicó una demanda diaria estimada en 238.000 bbl/d de petróleo durante el mismo periodo (extrapoladas aquí a alrededor de 340.000 bbl/d anualmente). La capacidad de producción de petróleo del país se limita a tan solo un 6,3 por ciento de la demanda real.

La región de Magallanes es la única zona productora de petróleo crudos en el país. La estatal Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) controla y maneja estos recursos, que constan de un total de 23 pozos. Se trata, sin embargo, de pozos con una producción ya en declinación. Además, los esfuerzos prospectivos mostrados resultaron infructuosos hasta ahora. Por otra parte, la Comisión Nacional de Energía (CNE) mantiene los principios reguladores, de fiscalización y de control del sector del petróleo.

Así entonces, el país parece no poder aumentar su tasa de producción nacional, por lo que la necesidad de las importaciones sólo puede crecer aumentando consecuentemente el nivel de dependencia en las importaciones. Este es un punto de importancia central para una planificación estratégica de un suministro nacional adecuado. Debe añadirse que otro aspecto importante es desde donde se importa. La mayoría de las importaciones de petróleo provienen de Argentina, Brasil, Angola y Nigeria, donde algunos de estos países no pueden ser vistos como los más estables y garantes de suministro continuo. La ENAP es la única productora y refinadora en el país. En 1990, ENAP formó una subsidiaria internacional, Sipetrol, con la ambición de buscar acceso a producción en el exterior que pudiese contribuir a balancear la declinante producción nacional. Sipetrol ha logrado varias inversiones en el exterior, en países productores tales como Argentina, Colombia, Ecuador, y Egipto.

FIGURA 1.
DIAGRAMA COMPARATIVO DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CRUDOS Y DERIVADOS DEL PETRÓLEO EN CHILE EN LAS DOS ÚLTIMAS DÉCADAS





2.1 Oleoductos y refinadoras

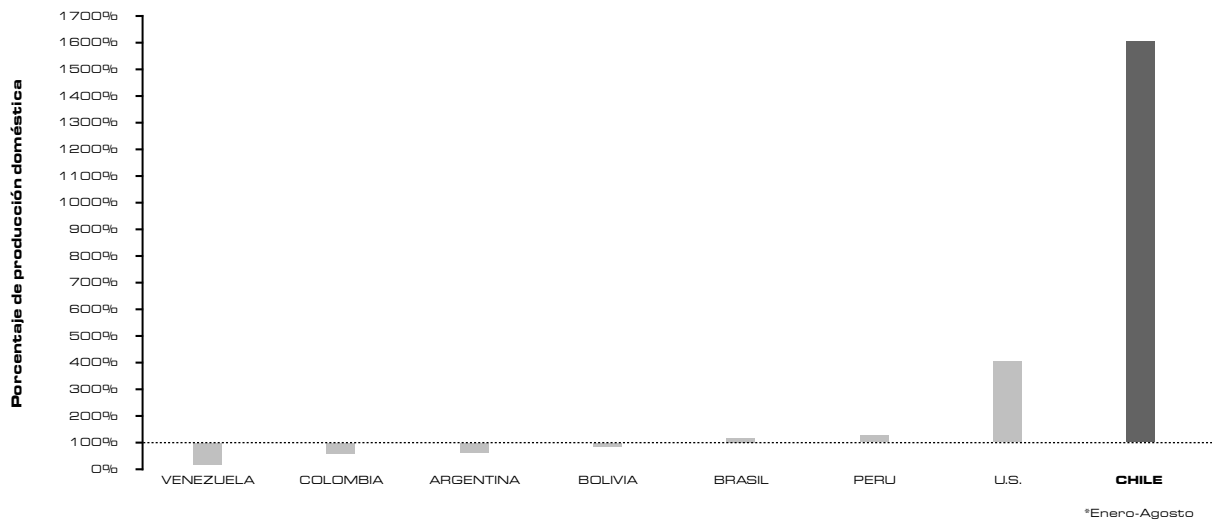
Sonacol opera la red de transporte nacional de crudos. Esta compañía cuenta con una extensa red de oleoductos, interconectando pozos de producción con refinadoras o centros de consumo. La compañía también opera una flota de barcos tanques. Chile tiene dos líneas transandinas de tuberías para la importación de petróleos, con una capacidad de 115.000 bbl/d que importan desde Argentina, además de la línea Arica-Sica, desde Bolivia.

De acuerdo al OJ, Chile tiene una capacidad de refinar 226.800 bbl/d de petróleos crudos (por debajo de una demanda estimada en 238.000 bbl/d). El país cuenta básicamente con tres refinadoras, todas operadas por ENAP. La más importante, con una capacidad de 113.400-bbl/d, sería la refinadora de Bío Bío. Aún cuando ENAP ha estado expandiendo su capacidad refinadora mediante significativas

inversiones, el problema está en que Chile consume aproximadamente 1.570 por ciento más de su capacidad de producción de petróleos. Esta es definitivamente una situación muy difícil, ya que el país pasa en la práctica a depender exclusivamente de las importaciones para su suministro, con todas las incidencias que esto conlleva para el desarrollo armónico de una economía creciente, afectando a absolutamente todos los sectores de la economía nacional que dependen del petróleo.

Las implicancias de esto no son responsabilidad exclusiva ni hoy ni menos en el futuro de sólo las autoridades, sino de organizaciones, instituciones, individuos, etc. Es interesante analizar el grado de dependencia de las importaciones en el nivel del consumo interno. El diagrama siguiente muestra que la situación de los países vecinos es indiscutiblemente muy superior a la de Chile.

FIGURA 2.
DIAGRAMA COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONSUMO DE PETRÓLEOS Y SUS DERIVADOS EXPRESADO COMO FRACCIÓN DE LA PRODUCCIÓN INTERNA



Fuente: EIA Short Term Energy Outlook

El escenario evidenciado en la figura 2 hace evidente que existe a todo nivel una necesidad urgente de crear un alto grado de conciencia y participación en las medidas tendientes a economizar y optimizar el uso de la energía. Es evidente que es necesario que exista una

clara conciencia de la necesidad de abordar el desarrollo de estrategias y políticas a nivel continental, regional, nacional, institucional, educacional y empresarial e incluso también a nivel deportivo, doméstico e individual.

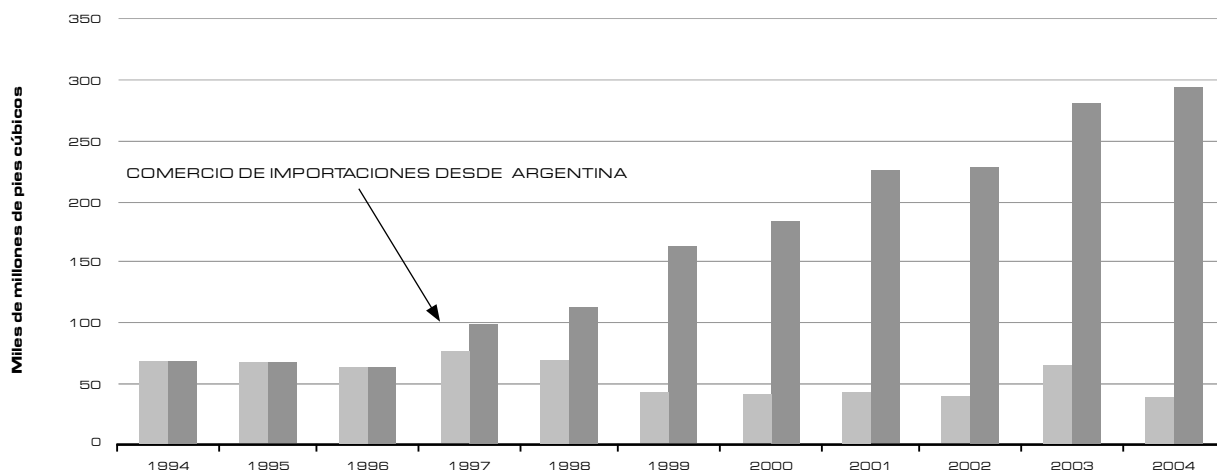
2.2 El gas natural

Chile depende de importaciones para casi la totalidad de su demanda de gas natural. El OGJ informa que Chile tenía 99.109 billones de metros cúbicos (Bm³) de reservas propias de gas natural a enero de 2006. La escasa producción nacional sólo alcanzaba a 1.090 millones de metros cúbicos (Mm³) en 2004. Aún cuando la ENAP en Chile ha tratado vigorosamente de encontrar nuevas reservas los esfuerzos, no ha logrado mostrar resultados significativos.

Como se ha mencionado, Chile ha aumentado en forma increíble su dependencia del gas natural a partir de 1996-1997, pese a o a causa

de sus muy limitadas reservas propias. Estratégicamente esto refleja una política energética que se evidencia como una de las más erradas medidas de suministro estratégico de energía para el país. Chile venía exhibiendo un consumo restringido, debido a su bajo nivel de producción, donde el gas natural alcanzaba a un 8 por ciento del consumo energético total en 1996 (Total Energy Consumption: TEC). A partir de 1996-97 se nota un aumento del consumo interno, con ello también un aumento de la demanda de energía. Internacionalmente se incrementó además el grado de conciencia en los efectos en el medioambiente a lo que Chile no es ajeno.

FIGURA 3.
DIAGRAMA COMPARATIVO DE LA DÉCADA 94-04 ENTRE EL CONSUMO Y LA PRODUCCIÓN INTERNA DE GAS NATURAL (para convertir a m³ multiplique por 0,0283).



Fuente: EIA international Energy Annual

Tal escenario en el consumo de gas natural en Chile evidencia circunstancias que muestran la implementación de una política reactiva sin gran significado estratégico, al unilateralmente promocionar una apertura a la importación en gran escala del gas natural desde Argentina a partir de 1997. Desde entonces el consumo interno de gas natural ha crecido a un promedio de alrededor de un 22 por ciento anual, llegando a cubrir un 26 por ciento

del TEC en 2004. Esta tendencia debió haber sido tempranamente observada, dando lugar a una revisión de las políticas de suministro estratégico de energía, que incrementaran la diferenciación del suministro y estimularan el ahorro de energía, así como una revisión de las medidas de control y regulación para asegurar un crecimiento armónico y sostenido. Cabe agregar que Chile es un país con una exportación creciente, pero todavía próxima



a materias primas y productos básicos. Un desarrollo deseable implica un estímulo de la producción industrial de más alto valor agregado, lo que a su vez supone un acceso a fuentes estables y competitivas de suministro energético.

2.3 Gaseoductos

En relación al sistema doméstico, la ENAP opera el sistema y circuito de tuberías de distribución de gas natural que conecta los campos de producción de Magallanes a los mayores centros de transporte o consumo.

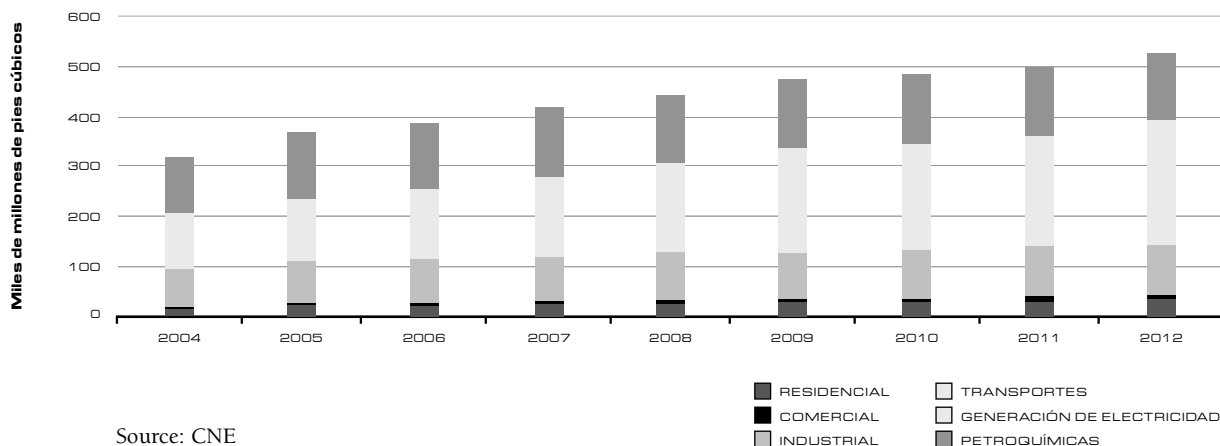
En cuanto a los gaseoductos de importación, hay siete sistemas que interconectan a Chile con su proveedor definitivamente mayoritario: Argentina. Todos fueron construidos durante la década del noventa. Tres de ellos cubren la región Austral: Tierra del Fuego, El Cóndor-Posesión y Patagonia suministran metanol a las plantas operadas por Methanex, uno de los consorcios mundiales más grandes productores de metanol. Paradojalmente, sin embargo, Methanex exporta la mayor parte del metanol producido a los Estados Unidos y Asia. Por otra parte, las plantas de Methanex han sufrido fuertemente las consecuencias del suministro irregular del gas natural importado desde Argentina (véase la figura 4), lo que ha concluido en la necesidad de cerrar o interrumpir algunas operaciones de plantas.

En el Norte Grande, las tuberías de gas de la compañía GasAtacama van desde Cornejo, en Argentina, a Mejillones, en Chile. La compañía es de propiedad de Endesa y de CMS (Estados Unidos) y posee cerca de 935 kilómetros en las tuberías de GasAtacama, suministrando 8,5 millones de m³/día (Mm³/d) a su planta de Nopel. En el norte también opera a razón de 7,1 Mm³/d NorAndino, de propiedad de la compañía Belga Tractebel, con tuberías que corren paralelas a GasAtacama. En la región central, opera con unos 470 kilómetros de tuberías, con una capacidad de transporte de 8,8 Mm³/d, la compañía GasAndes, principalmente de propiedad de Total, conectando Neuquén, en Argentina, con Santiago, en Chile.

También en la región central Gasoducto del Pacífico cuenta con 530 kilómetros, conectando Neuquén al Chile central. Sus propietarios mayoritarios son TransCanada, El Paso y Gasco y entregan 9,6 Mm³/d. Ellos suministran a distribuidores municipales y a plantas termoeléctricas operadas a gas natural.

En abril de 2006, la compañía Gasoducto del Pacífico entregó un estudio de impacto al medioambiente para una propuesta de expansión de su sistema de gaseoductos a fin de extender sus operaciones, interconectando la línea troncal central con la planta de potencia Campanario en Cabrero.

FIGURA 4.
EL DIAGRAMA MUESTRA EL CRECIMIENTO SECTORIAL DEL CONSUMO DE GAS NATURAL PARA EL PERIODO 2004-2012.



Source: CNE

Durante los últimos años Argentina ha interrumpido el suministro de gas a Chile. Particularmente en 2004, Argentina cayó en una crisis energética que la forzó a cerrar o disminuir el flujo de gas natural. Desde entonces el flujo se ha visto reducido considerablemente, variando entre un 20 a un 50 por ciento debajo de los volúmenes contratados, incluso con interrupción total del suministro en ocasiones, por ejemplo durante dos semanas en agosto de 2006. Por añadidura, Argentina ha introducido un alza tributaria a las exportaciones del 20 al 45 por ciento, además de alzas de precios. Es fácil imputar a Argentina de incumplimiento de contratos o interrupciones de suministro, sin embargo es el derecho soberano de Argentina de dar prioridad en primera instancia a su propia demanda interna. Los problemas estructurales en el sector energía de Argentina muy probablemente van a continuar siendo una fuente de perturbaciones en el suministro para Chile y por ello es Chile el que debe diferenciar su suministro y elaborar estrategias que aseguren un suministro estable (para un estudio de la situación en Argentina véase, por ejemplo, «Argentina Country Analysis Brief»).

2.4 Gaseoductos en construcción

Naturalmente, a causa de las interrupciones en el suministro y con una infraestructura en necesidad de gas natural, Chile ha buscado opciones a su suministro. Además de las posibilidades del gas licuado, otros gaseoductos de importación de gas se han considerado. Por ejemplo, Suez Energy Internacional, una subsidiaria de la compañía belga Tractebel Inc., ha realizado estudios para una posible conexión de gaseoducto entre el norte de Chile y el proyecto Camisea, de Perú. Tal proyecto implicaría 1.497 kilómetros de tubería entre Pisco, Perú, y Tocopilla, Chile, con una capacidad instalada de transportar 22,9 Mm³/d. Adicionalmente, tal proyecto permitiría eventualmente, mediante una interconexión con GasAtacama y NorAndio, una potencial exportación desde el Perú a Argentina, ello como parte de algunos planes publicitados de

un anillo energético o de un Gaseoducto Sudamericano. Existe la opinión técnica de que tal anillo de gaseoductos con una longitud de más de 3.000 kilómetros ofrece dificultades de operación además de demandar un nivel de inversión muy alto, lo cual hace que plantas de gas licuado sean más rentables que estos planificados circuitos de gaseoductos. Esta sería una razón más a considerar en una planificación estratégica adecuada y racional de planes de suministro seguro de energía para el país.

2.5 Gas natural licuado (GNL)

Como alternativa al gas natural, Chile ha iniciado la importación de GNL a fin de independizarse algo de su dependencia de Argentina. En febrero de 2006, ENAP aceptó una oferta de BG Group para la construcción de una planta regasificadora de GNL en las cercanías de Quinteros. La construcción fue iniciada en 2006 y se espera que entre en operaciones en 2009, con una capacidad de producir alrededor de 9,3 Mm³/d. La ENAP cuenta ya con contratos de suministro de GNL con distribuidores mayoristas.

Existe información de que en 2006 CODELCO eventualmente habría iniciado el desarrollo de un terminal de importaciones de GNL en el norte de Chile a fin de facilitar el suministro a consumidores industriales. La empresa Suez aparentemente también habría considerado ya en 2006 la posibilidad de invertir en facilidades portuarias para la importación de GNL. El estado actual del desarrollo de tales propuestas de inversiones no ha podido ser identificado en la literatura disponible.

3. El carbón en Chile

La mayor parte del consumo del carbón en Chile es debido a su uso para la generación de electricidad. Chile tiene reservas recuperables de carbón de 1.300 millones de toneladas cortas (MMST). En 2004, el país se consumió 5,7 MMST, mientras que la producción fue de solo 0,4 MMST. La producción doméstica de carbón se encuentra centrada en Lota y Coronel y, en menor escala, en la zona del extremo sur, en Tierra del Fuego. El país tiene dos minas operadas por la Empre-



sa Nacional del Carbón (Enacar) y la Compañía Carbonífera San Pedro de Catamutún (CCSPC), respectivamente.

El consumo del carbón ha tendido a fluctuar durante el periodo de auge en el uso del gas natural, ya que el sector energético utiliza tal combustible en gran parte sólo como alternativa a otras fuentes primarias de energía. Es muy probable entonces que el consumo de carbón mostrará un aumento en las estadísticas de los años recientes y próximos, especialmente a partir de la falencia de suministro de gas natural.

Pese a su producción interna, el país importa carbón ya que su propio suministro es insuficiente. Por ejemplo, en 2004 la mayoría de las importaciones de carbón procedían de Australia, pero también de Indonesia y Colombia.

4. Electricidad

La mayor parte del suministro de electricidad proviene de energía hidroeléctrica, aun cuando la importancia de las fuentes térmicas convencionales crece continuamente. En 2004, Chile tenía una capacidad instalada total de generación de electricidad de 10,7 Giga watts. En el mismo año, el país produjo 50,9 billones de kWh (Bkwh) de electricidad, mientras que el consumo alcanzó a 49,1 Bkwh. La mayor parte de la electricidad consumida en Chile proviene de generación hidroeléctrica, la que en la estadística de 2004 alcanzó al 43 por ciento del consumo total. Es evidente que la contribución de fuentes térmicas convencionales ha crecido rápidamente desde el inicio de las importaciones de gas natural de Argentina desde finales de 1990.

4.1 Organización del sector eléctrico

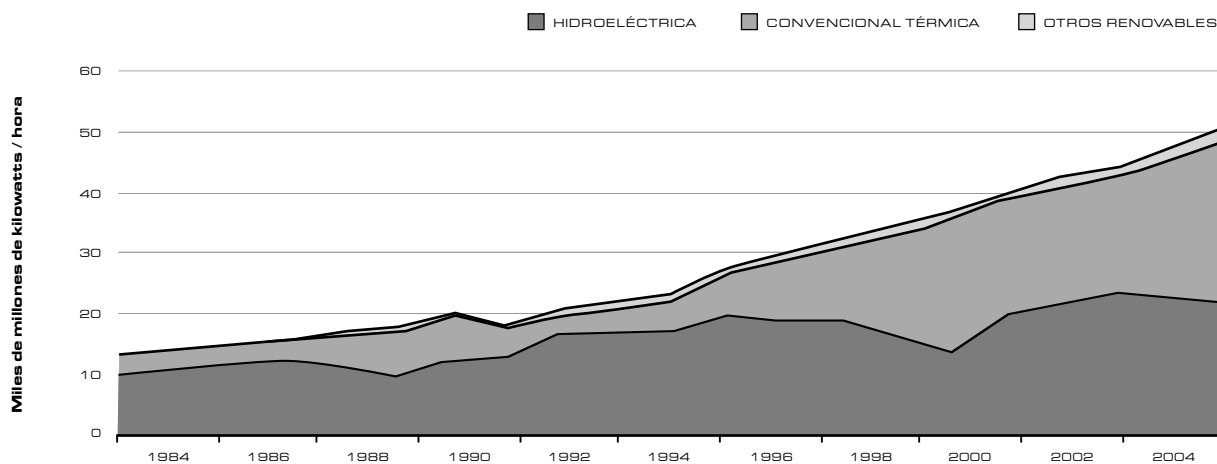
El sector eléctrico fue privatizado en Chile en la década de 1980. Desde entonces la generación, transmisión y distribución se en-

cuentran en manos de consorcios y capitales privados. La Comisión Nacional de Energía es principalmente el organismo de regulación gubernamental en Chile del sector eléctrico, junto con el Ministerio de Economía. Existe aparentemente la decisión política de formar un Ministerio de la Energía dentro de algún futuro próximo. Esto es sin duda de gran significación para un sector de tan vital importancia para el país.

Chile tiene cuatro sistemas eléctricos: el Sistema Interconectado Central (SIC), que atiende a la parte central del país; el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que atiende a las regiones mineras del desierto en el norte; y los sistemas de Aysén y Magallanes, que proporcionan electricidad a una fracción pequeña del área total del extremo sur del país. Estos sistemas son prácticamente autónomos, ya que las distancias entre los cuatro hacen que una integración sea extraordinariamente difícil. Sería, sin embargo, deseable contar con formas avanzadas de control y manejo de redes que permitan análisis detallados de cambios de impedancia, de nuevas cargas y de caídas de subestaciones, entre otros, a fin de mantener un recurso de valor estratégico en el manejo moderno de redes.

Además, en una política diferenciada que permita la integración a la red de pequeños productores, se requiere del análisis continuo del acoplamiento y caída de sus producciones. Transelec controla casi toda la red de transmisión nacional que sirve a los cuatro sistemas. En 2006, Hydro-Québec vendió su participación mayoritaria en Transelec a un consorcio de inversionistas privados, por lo que no se ha podido estudiar a fondo el sistema actual de tenencia la red de transmisor del país.

FIGURA 5.
DISTRIBUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DE CHILE, SEGÚN EIA



Fuente: EIA internacional Energy Annual

De los cuatro sistemas de electricidad, el más grande es el SIC, ya que cubre los principales centros de población en torno a Santiago y atiende así en más del 90 por ciento a clientes domiciliarios. En el SIC, el actor más importante es Enersis, de propiedad mayoritaria de la española Endesa. Enersis tiene participaciones de control de la mayor empresa de generación y en la más grande empresa de distribución, Chilectra, que atiende a alrededor de la mitad de la población de Chile.

A diferencia de la gran cantidad de consumidores domésticos en el SIC, el SING sirve a la mayoría de los grandes clientes industriales, principalmente empresas mineras las regiones del norte. También a diferencia de la SIC, la gran mayoría del suministro de energía eléctrica del SING proviene de fuentes térmicas, principalmente alimentadas a gas natural importado de Argentina. La mayor compañía de generación en el SING es Electroandina, de propiedad de Tractebel y Codelco.

4.2 Energía hidroeléctrica

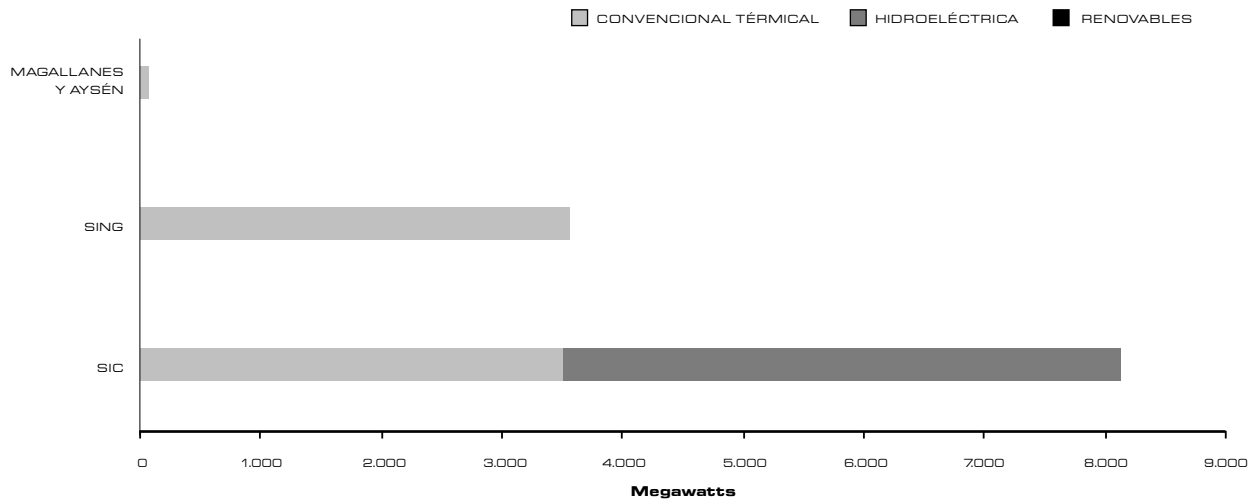
La energía hidráulica ha sido históricamente

la principal fuente de energía primaria en la generación de electricidad en plantas hidroeléctricas. Las sequías, sin embargo, periódicamente han reducido la producción hidroeléctrica, causando escasez de suministro y apagones. A esto se puede agregar que por la naturaleza de las hoyas hidrográficas de Chile el suministro hidroeléctrico está compelido a mostrar significativas fluctuaciones anuales, resultando así en una fuente de suministro difícilmente confiable en tiempos de variación climática. El rol de la energía hidráulica ha ido disminuyendo a medida que a partir de 1990 se ha intensificado la construcción de plantas termoeléctricas basadas en la combustión de gas natural.

Después de haber sido demorada en varios años por la oposición de residentes locales y activistas ambientales, la planta Ralco de Endesa de energía hidroeléctrica, en el río Bio Bio, comenzó a funcionar en septiembre de 2004. Ralco es la mayor planta de energía en Chile, con una capacidad de generación de 570 megavatios (MW), que en 2004 se decidió ampliar a una capacidad de 690 MW.



FIGURA 6.
CAPACIDAD INSTALADA EN CHILE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN CADA REGIÓN Y POR TIPO DE GENERACIÓN. Aún cuando Aysén tiene generación hidroeléctrica, su contribución es marginal



Fuente: CNE

La crisis del suministro de gas natural desde Argentina ha actualizado y revitalizará otros proyectos de energía eléctrica en Chile, en particular de energía hidroeléctrica. La compañía generadora de electricidad de Colbún anunció en noviembre de 2004 la construcción de 70 MW de una planta hidroeléctrica en el río Laja. La planta de Quilleco, la que recibió aprobación reglamentaria y financiera de 80 millones de dólares ya en 1999, entró en operaciones a fines de 2007. Se caracteriza por ser una planta de generación usando aguas de pasada, no de embalse, al igual que la planta de aguas arriba de Rucúe, con la cual comparte características similares de volumen de agua y construcción. Tanto la central Rucúe como la central Quilleco están en la descarga del lago Laja, lo cual les permite aumentar su producción en años secos, como consecuencia del mayor uso del agua embalsada en dicho lago. Colbún también está desarrollando la planta de Chiburgo (19 MW) y Hornitos (55 MW). Endesa tiene previsto terminar la planta Palmucho, de 32 MW, que trabajará en con-

junto con la empresa del servicio de Ralco, en el segundo semestre de 2007. La australiana Pacific Hydro y la noruega SN Power Invest están desarrollando la planta hidroeléctrica La Higuera, de 155 MW, en el río Tinguiririca, programada para completarse en 2008.

4.3 Plantas térmicas convencionales

Las fuentes térmicas convencionales, sobre todo aquellas a gas natural, han llegado a ser cada vez más importantes para el suministro de energía eléctrica como una manera de reducir la susceptibilidad a las fluctuaciones estacionales propias de la energía hidroeléctrica. En el circuito SIC, las fuentes térmicas convencionales responden por aproximadamente el 50 por ciento del suministro total de electricidad, mientras que en el SING constituyen la casi totalidad de la oferta.

Existen numerosos proyectos de plantas de energía eléctrica que dependen del desarrollo de gaseoductos para Chile. Colbún maneja un proyecto de planta termoeléctrica: Candelaria, de 250 MW, con una técnica de turbinas de ciclo combinado a gas natural (CCGFT).

Endesa tiene previsto completar su planta CCGFT de San Isidro, cerca de Santiago, que produciría 370 MW. Cruz del Sur, un fondo de capital privado, comenzó en abril de 2006 la construcción el proyecto Campanario, de 120 MW, una planta generadora de electricidad alimentada con gas natural en la zona central de Chile, la que también tendrá la posibilidad de operar con petróleo diesel. Cruz del Sur adquirió el proyecto de Innergy Holdings, un distribuidor local de gas que había decidido no seguir adelante con esta iniciativa.

Algunos proyectos previstos, sin embargo, se han retrasado. Por ejemplo, AES Gener, una subsidiaria de AES Corp. con base en Estados Unidos, solicitó la aprobación a principios de 2005 para construir una planta CCGFT de 740 MW en Totihue, al sur de Santiago. Sin embargo, una combinación de la oposición local a la planta y la incertidumbre sobre el futuro suministro de gas natural obligaron a la empresa a postergar el proyecto y la situación actual es desconocida. Muchas de la plantas en vías de construcción o como proyectos contemplan la posibilidad de usar alternativamente el gas natural o petróleo.

Debido a la crisis en el suministro de gas natural, las centrales eléctricas alimentadas a carbón han recibido una atención renovada. A principios de 2006, Guacolda (de propiedad mayoritaria de AES) recibió la aprobación para una planta de 200 MW. AES también recibió en agosto de 2006 la aprobación para expandir en 250 MW el servicio de 340 MW de Ventanas. Otras empresas que han manifestado interés en la construcción de nuevas plantas de carbón son BHP Billiton (300 MW), Endesa (350 MW) y Suez (400 MW).

A más largo plazo, el gas natural licuado podría ser otra fuente importante de combustible primario para la generación de electricidad. ENAP tiene previsto desarrollar una central eléctrica a gas licuado en las cercanías de su refinadora Aconcagua. Endesa también ha declarado que el proyecto de San Isidro será alimentado desde un posible terminal de gas licuado natural de importación.

5. Fuentes renovables

Las fuentes renovables de suministro energético contribuyen sólo con una fracción ínfima a la producción total de electricidad en Chile. Existen algunas plantas eólicas instaladas y al parecer hay varias más planificadas, sin embargo no hay datos detallados al respecto. Las plantas eólicas se caracterizan por una producción intermitente, lo que conduce a problemas reactivos de acople a la red, de armónicos, de regulación de frecuencia, etc. En general, el costo de inversión es del orden de 1.400 dólares por kW, con un potencial de ROI de entre 8 y 10 por ciento en condiciones óptimas, lo que supone una velocidad media de los vientos del orden de 8 a 10 m/s.

Solo recientemente ha surgido un relativamente débil interés por potenciales de la geotermia. Geotérmica del Norte, un consorcio de ENAP y Enel, comenzó un trabajo prospectivo en 2001. En 2006 Geotérmica del Norte solicitó una concesión para desarrollar y explotar fuentes geotérmicas en El Tatio, en el norte de Chile. Chile Wireless Energy anunció hace algún tiempo un débil plan de construir tres estaciones eólicas de 5 MW, al mismo tiempo que Endesa anunció planes de instalar una planta eólica de 10 MW.

Otras formas de energía, como la solar o el uso de olas y mareas como fuentes primarias para la producción de electricidad, no parecen ser explotadas en Chile. Otras fuentes como la de los digestores orgánicos es aún incipiente y aparentemente sólo existen intentos pilotos al respecto.

Se dice que las leyes No. 19940 y No. 20018 constituyen instrumentos en los cuales se cifran expectativas positivas para el desarrollo de generación eléctrica a partir de fuentes de energía primaria renovables no convencionales. Existen, sin embargo, dos barreras tradicionales al respecto: primero, los altos costos iniciales de inversión y, segundo, la elección de tecnología más adecuada. Las preguntas al respecto son ya conocidas:

- ¿Qué tecnologías de las energías renovables, aplicaciones y modelos de negocio son más prometedores?
- ¿Cómo pueden satisfacer los servicios públicos legislativos y reglamentarios mandatos de las necesidades de cambios de manera más eficiente?



- ¿De qué forma los consumidores valoran las alternativas de suministros desde fuentes energías renovables?
- ¿Cómo pueden los servicios públicos explorar las oportunidades de mercado de consumo de energía valorando la opción de las energías renovables?

5.1 El medio ambiente

Tanto la intensidad en el uso de la energía como en las emisiones de dióxido de carbono son próximos a los niveles medios del cono sur. La dependencia de Chile de la energía hidroeléctrica y gas natural como fuentes de energía han tendido de alguna manera a mantener las emisiones de dióxido de carbono relativamente bajas, con una concentración mensurable de dióxido de carbono cercana a la media regional. Las principales amenazas al medio ambiente en Chile son la contaminación atmosférica a causa del transporte y las emisiones industriales, la contaminación de aguas por ausencia de tratamiento de aguas industriales residuales, la deforestación y la erosión del suelo.

La contaminación del aire en Santiago es el más evidente y grave problema ambiental en Chile. Por ello debiera existir un fuerte estímulo al uso de combustibles alternativos en Chile el sector de la industria y el riguroso controles de emisiones vehículos así como de estímulo a los sectores energéticos.

En 2005, el producto interno bruto (PIB) real creció en Chile a 6,3 por ciento, continuando el fuerte crecimiento experimentado en 2004 (6,2 por ciento). El extraordinario auge en los precios de las exportaciones de minerales, especialmente en el cobre, ha sido el princi-

pio motor de la alta tasa de crecimiento experimentado en Chile. De propiedad estatal, la minería del cobre, principalmente a través de la empresa estatal Corporación Nacional del Cobre (Codelco), constituye el bloque productor más grande del mundo en lo que respecta a este mineral. Si bien el cobre y otros minerales siguen siendo los pilares de las exportaciones de Chile, el comercio de otros productos no tradicionales, tales como los productos forestales, agrícolas y del mar, han crecido considerablemente en las últimas dos décadas.

Como resultado de sus recursos energéticos nacionales limitados, el país debe importar la mayor parte de sus necesidades energéticas. La creciente dependencia en las importaciones de energía, particularmente en gas natural, no ha sido sin consecuencias para Chile. En abril de 2004, Argentina comenzó a restringir las exportaciones de gas natural a Chile, con una reducción de casi el 50 por ciento de los volúmenes contratados, aunque no en forma continua, al menos durante algunos días. Chile, a su vez, comenzó a reconsiderar su política energética, que, con anterioridad a las limitaciones impuestas a las importaciones desde Argentina, ya había establecido una estrategia prioritaria en el uso del gas natural en la generación de electricidad. En cuanto a esto, lo más importante es que Chile ha comenzado a buscar otras fuentes de gas natural, tales como gas natural licuado (GNL) o la instalación de gaseoductos desde otros países. Esto hay que sumarlo al hecho de que las exportaciones son todavía mayoritariamente de productos de bajo nivel tecnológico agregado.

ALGUNAS CIFRAS SOBRE EL USO DE LA ENERGÍA

RESERVAS DE PROBADAS DE PETRÓLEOS (ENERO 1, 2006 EST)	150 millones de barriles
PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO (2006 EST)	15.100 barriles por día (22 por ciento como crudos)
CONSUMO DE PETRÓLEO (2005 EST)	238.000 barriles por día
CAPACIDAD DE REFINACIÓN DE CRUDOS (2006 EST)	226.8000 barriles por día
RESERVAS PROBADAS DE GAS NATURAL (2006 EST)	99.110 millones de m ³
PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL (2004 EST)	1.090,2 millones de m ³
CONSUMO DE GAS NATURAL (2004 EST)	8.461,1 millones de m ³
RESERVAS RECUPERABLES DE CARBÓN (2003E)	1.301,8 millones de toneladas cortas
PRODUCCIÓN DE CARBÓN (2004E)	0,4 millones de toneladas cortas
CONSUMO DE CARBÓN (2004E)	5,7 millones de toneladas cortas
CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (2004E)	10,7 GW
PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (2004E)	50,9 miles de millones de kWh.
CONSUMO DE ELECTRICIDAD (2004E)	49,1 miles de millones kWh
CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA (2004E)	1,2x10 ¹⁵ Btu o 1,2 Cuatrillones de Btus De los cuales: petróleo (41%), gas natural (26%), hidroelectricidad (18%), carbón (12%), otros renovables (1%), nuclear (0%)
CONSUMO TOTAL PER CÁPITA DE ENERGÍA (2003E)	69,8 millones Btus
INTENSIDAD DE LA ENERGÍA (2004E)	5,982.7 Btu per \$2000-PPP**

PANORAMA MEDIOAMBIENTAL

EMISIÓN DE CO ₂ A CAUSA DE LA ENERGÍA (2003E)	53,8 millones de toneladas métricas De las cuales: petróleo (51%), gas natural (26%), carbón (22%)
EMISIÓN DE CO ₂ PER CÁPITA (2003E)	3,4 toneladas métricas
INTENSIDAD DEL CO ₂ (2004E)	0,3 toneladas métricas/miles de \$2000-PPP**
HECHOS EN EL MEDIO AMBIENTE	Amplia deforestación, erosión Explotación minera contaminante Contaminación atmosférica industrial Contaminación atmosférica por vehículos Contaminación de aguas de superficie Contaminación de aguas subterráneas Contaminación por desagües

** Las cifras PIB de las estimaciones de OCDE están basadas en la tasa de cambios de la paridad de la capacidad compra (purchasing power parity) PPP.

Las estadísticas del consumo total de energía incluye petróleo, gas natural seco, carbón, hidroeléctrico, nuclear, geotérmico, solar, eólico, dentro energía, y perdidas energía eléctrica por distribución.

Las estadísticas del consumo de energía provenientes de Fuentes renovables se basan en los datos de la Internacional Energy Agency (IEA) e incluyen potencia hidroeléctrica, solar, eólica, de mareas, geotérmica, biomasa sólida y productos animales, biomasa gaseosa y líquida, desechos y basuras industriales y municipales. La distribución sectorial del consumo de la energía y las emisiones de carbonos están también basadas en cifras de la IEA.


GAS NATURAL EN CHILE EN 2005

Unidad: TJ - en términos de valor básico calorífico bruto (gross calorific value basis)

	TJ	%	%
PRODUCCIÓN	82.250	25,1	
DE OTRAS FUENTES	0		
IMPORTACIONES	245.627	74,9	
EXPORTACIONES	0		
OTROS	0		
SUMINISTRO DOMESTICO TOTAL	327.877	100,0	
TRANSFORMACIÓN TOTAL	126.144	38,5	
PLANTAS ELÉCTRICAS	126.144		
PLANTAS TÉRMICAS	0		
REFINERÍAS DE PETRÓLEO	0		
OTRAS TRANSFORMACIONES	0		
SECTOR ENERGÉTICO	8.121	2,5	
PÉRDIDAS POR DISTRIBUCIÓN	19.875	6,1	
CONSUMO TOTAL FINAL	173.737	52,9	
INDUSTRIA	150.496		86,6
TRANSPORTE	1.434		0,8
RESIDENCIAL	16.066		9,1
AGRICULTURA Y FORESTAL	2.149		1,2
PESCA	0		0
OTROS NO ESPECIFICADOS	0		0
USOS NO ENERGÉTICOS	0		0
		100,0	100,0

* Contenido energético de los gases están expresados en terajoules (TJ) en términos del valor básico calorífico bruto (gross calorific value basis).

INDICADORES BÁSICOS Y DERIVADOS, Chile, datos de 2005

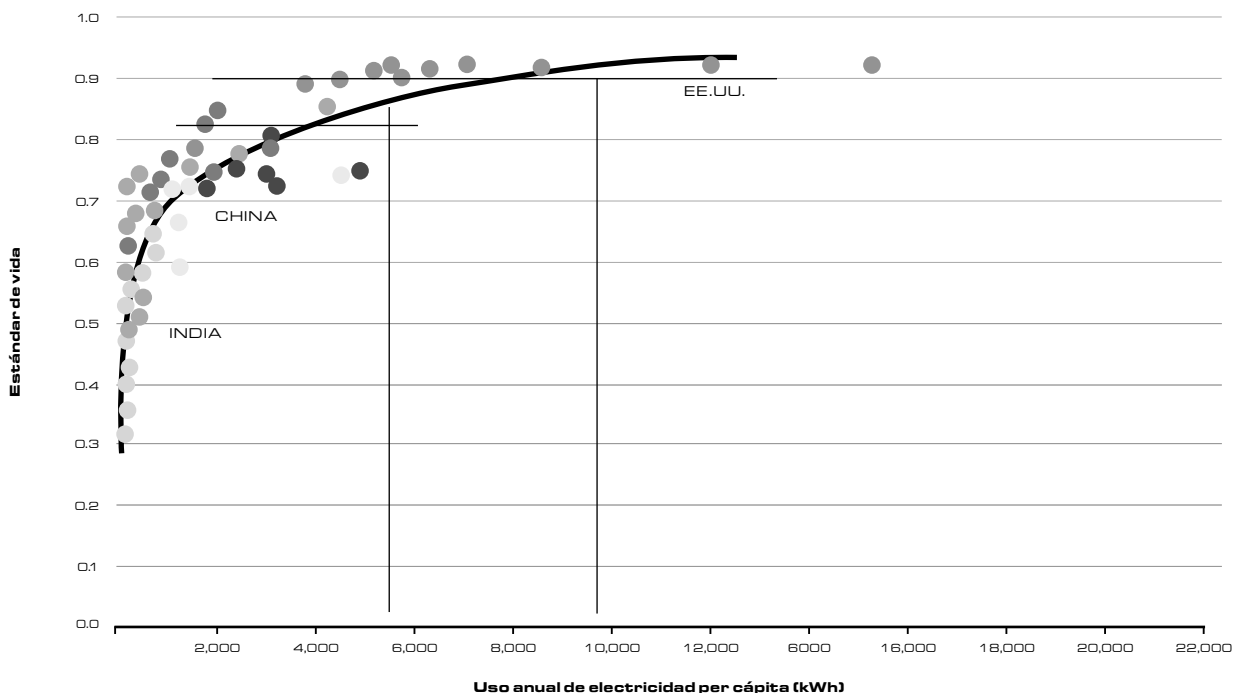
1.1 Indicadores básicos		1.2 Indicadores derivados	
POBLACIÓN (MILLONES)	16,30	TPES/POBLACIÓN (TOE/CÁPITA)	1,81
PIB (MILES DE MILLONES 2000 US\$)	93,22	TPES/GDP (TOE/MILES 2000 US\$)	0,32
PIB (PPP) (MILES DE MILLONES 2000 US\$)	174,35	TPES/GDP (PPP) (TOE/MILES 2000 US\$ PPP)	0,17
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA (MTOE)	9,12	CONSUMO DE ELECTRICIDAD / POBLACIÓN (KWH/CÁPITA)	3.074
IMPORTACIÓN NETA (MTOE)	22,01	CO ₂ /TPES (T CO ₂ /TOE)	1,98
TPES (MTOE)	29,57	CO ₂ /POBLACIÓN (T CO ₂ /CAPITA)	3,60
CONSUMO DE ELECTRICIDAD* (TWH)	50,10	CO ₂ /GDP (KG CO ₂ /2000 US\$)	0,63
EMISIÓN DE CO ₂ ** (MT DE CO ₂)	58,62	CO ₂ /GDP (PPP) (KG CO ₂ /2000 US\$ PPP)	0,34

TPES Suministro primario total de energía.
 GDP Gross Domestic Product: PNB.
 PPP Purchasing Power Parity (PPP)
 LPG Gas de petróleo liquidificado
 NGL Gas natural liquidificado
 TCE Tonelada de equivalente en carbono
 TOE Tonelada de equivalente en petróleo

* Producción total bruto + importaciones - exportaciones- pérdidas por transmisión/distribución

** Emisión total de CO₂ como resultado de la combustión de combustibles. Las emisiones han sido calculadas usando los balances energéticos de la IEA con métodos que fueron revisados 1996 en líneas de guía de IPCC.

FIGURA 7.
LA FIGURA TOMADA DE LA INTERNET MUESTRA LA CORRELACIÓN ENTRE CONSUMO ANUAL PER CÁPITA DE ELECTRICIDAD Y ESTÁNDAR DE VIDA, DE ACUERDO AL ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO



Reflexiones acerca de una política energética y desarrollo sostenible

El consumo anual de kWh/habitante o per cápita ha sido utilizado como un indicador del estándar de vida de los países. En Chile el promedio per cápita alcanza hasta donde se puede estimar a alrededor de 3.020 kWh por año per cápita. Otros cálculos publicados estiman este nivel de consumo más próximo a los 4.000 kWh por año per cápita, lo que daría un índice del estándar de vida o de desarrollo humano de 0,867. Esto posiciona a Chile en la 40° posición entre 177 países del mundo (véase «The Human Development Index»). Esto es interesante ya que para aumentar el índice de estándar de vida será necesario dar una muy alta importancia al suministro energético: doblando el consumo eléctrico actual se lograría elevar el estándar de vida a 0,89. Esto es muy alto naturalmente, pero no imposible de lograr.

El desarrollo sostenible es hoy en día una necesidad irrefutable y global. Por ello constituye un marco básico de toda estrategia de desarrollo y, por extensión, de las estrategias de suministro energético de los países. Consecuentemente, los países tienden a establecer marcos legales e institucionales para consolidar estrategias de desarrollo que conlleven un crecimiento económico en equidad social haciendo uso razonable de sus recursos naturales.

Se ha informado, sin embargo, en la literatura que en algunos países se perciben problemas estructurales inherentes a la implementación de políticas de desarrollo sostenible dentro del marco de estructuras tradicionales. Como resultado de varios análisis, se detectan faltas significativas de coordinación entre diferentes acciones políti-



cas y administrativas implementadas por las instancias encargadas de la definición y aplicación de ellas.

Además de la mencionada falta de integración orgánica entre distintas instancias, se muestran también otros factores que definitivamente parecen ir en contra de políticas para un desarrollo sostenible verdaderamente eficiente. Entre ellas se muestran evidentemente una insuficiencia de debate público y de coordinación cooperativa entre los actores oficiales, las fuerzas económicas y la sociedad civil a escala local, regional y nacional. Refiriéndose al marco de experiencia europea, es evidente que se necesitan aportes excepcionales para integrar y consolidar políticas del medio ambiente en coordinación con estrategias de desarrollo sostenible que armonicen metas ambientales, sociales y económicas a largo plazo.

El sector energético desempeña naturalmente un papel de importancia fundamental en el desarrollo económico. Sin embargo, al mismo tiempo es aparente que en muchos países el sector energético que comprende la extracción, producción, transporte y uso de la energía, no marcha en consonancia con estrategias que restrinjan o estimulen acciones limitantes de efectos contaminantes y de emanación de gases de efecto invernadero (NOx, COx, halógenos, etc.).

Existe una variedad de informes de diversas investigaciones en Europa que comprueban que la problemática energética y su impacto negativo sobre otras áreas de la economía, sociedad y el ambiente se origina en parte en la dificultad que tienen los gobiernos para adoptar una perspectiva a largo plazo en la planificación y utilización de los recursos energéticos, así como en la definición de políticas coherentes entre sí. Por ejemplo, las situaciones derivadas de crisis en el suministro y oferta de energía llevan a la aplicación de soluciones contingentes a corto plazo que invariablemente originan problemas en conflicto con estrategias ambientales. Por otra parte, las soluciones a largo plazo dan lugar a una confrontación estratégica con objetivos de políticas establecidas en otras áreas (ambiente, finanzas, macroeconomía), dando así lugar a oportunidades de integración armónica de objetivos.

Así entonces, parece altamente recomendable en-

marcar un programa de política energética para el desarrollo sostenible claramente coordinado con todas las instancias relevantes en forma amplia y que abarque el conjunto de las actividades sectoriales necesarias para integrar políticas y planificación estratégica con principios económicos, sociales y ambientales del desarrollo sostenible. Un programa como tal requiere de un análisis y evaluación crítica y continua de casos reales de integración de la política energética con el desarrollo sostenible. Al mismo tiempo es importante realizar jornadas de sensibilización y de diálogo político en cada uno de los sectores en juego. El objetivo sería desarrollar las capacidades de todos los actores para que cooperen en la formulación y ejecución de una política energética que sea compatible con los principios de competitividad, responsabilidad social y protección del medio ambiente.

Una política y estrategia de suministro energético correctamente implementada, en coordinación con objetivos de desarrollo sostenible, debiera mostrar resultados en:

- Uso eficiente de la energía y crecimiento económico.
- Evolución de las políticas de comando y control y aquellas basadas en instrumentos de desarrollo sostenible.
- Implementación armónica de vínculos claves entre la política energética y el ambiente.
- Implementación y transferencia tecnológica adecuada a un uso racional de la energía y la protección de bienes públicos.
- Desarrollo continuo de responsabilidad social y desarrollo sostenible avanzado.
- Control sobre posibles conflictos políticos relacionados con la distribución y utilización de recursos energéticos cada vez más escasos.

Sugerencias para una estrategia de eficacia energética

La eficacia energética es el uso moderado, económicamente eficaz y ecológica y socialmente soportable de las energías. Eso significa un cambio de costumbres de producción, transporte y consumo de energía, especialmente en la utilización

de métodos y de materiales más adaptados (mejor aislamiento de los edificios, por ejemplo).

Las estrategias de eficacia energética concentran sus tareas en torno a tres cuestiones centrales:

- Cambio básico de enfoque: el uso de la energía se discute a menudo como el aporte de petróleo, madera, carbón, energía eólica, etc., mientras que en realidad el problema central está en satisfacer en forma óptima las necesidades de los individuos, de las empresas y de las organizaciones relativas a calefacción, electricidad, cocción y fabricación de materiales, entre otros. Consecuentemente, hay que fomentar programas de formación y de educación para centrar las políticas energéticas eficientes, no las exigencias de producción sino la satisfacción de las necesidades energéticas requeridas por el desarrollo sostenible y la calidad de vida (aquí hay que enfatizar la importancia de identificar la demanda, optimizar la eficacia a nivel del usuario, minimizar las pérdidas por transporte y generar lo necesario).
- Promover la implementación de medios financieros adaptados: la realización de proyectos (construcción de edificios, puesta a nivel de infraestructuras de transportes, etc.) con una preocupación por la eficacia energética implica, en general, una inversión suplementaria con respecto a un proyecto clásico. Es necesario entonces concebir mecanismos de financiación adaptados e incitar su uso.
- Implementar los medios institucionales y humanos necesarios: para crear los servicios necesarios así como los organismos encargados de promover políticas de eficacia energética, ya sea a nivel nacional, regional como institucional (educación, transferencia de tecnología, etc.) se requiere de medios institucionales y humanos bien entrenados y capacitados. Quizás incluso se debe promover a escala mundial (por ejemplo, la creación de una agencia mundial para la eficacia energética que garantice transferencia de tecnología a bajo costo, usando para ello el PPP: 'Polluters pay Principle', que implica que los países desarrollados debieran pagar más).

La gestión energética a nivel empresarial e institucional

Ya hemos señalado que el problema de la energía en el mundo y en Chile en particular es un desafío que debemos ser capaces de enfrentar a nivel global, regional, nacional, empresarial e institucional y aún a nivel personal. En el contexto de tal desafío los empresarios y directores de distintas organizaciones tienen un papel de extrema importancia que jugar, en la medida que las gestiones de estas instituciones son dependientes y hacen uso de un recurso nacional para lograr sus objetivos y beneficios económicos.

Ética y moralmente no basta con pagar por el consumo: es también obligación de ellos velar por un consumo optimizado, racional y compatible con ordenanzas del medioambiente. Es más, al término de la gestión deben todavía considerar en sus presupuestos los medios económicos necesarios para sanear y restituir los posibles impactos al medio ambiente de la totalidad de la gestión y desmantelado de instalaciones.

Aquí cabe aventurar una postura audaz desde el punto de vista filosófico. En la categoría de instituciones y organizaciones cabe destacar a las fuerzas armadas, organizaciones que generalmente gozan de una parte significativa del presupuesto nacional como recursos de operación anual. Ellas están destinadas a proteger la nación y en términos objetivos deben hacerlo permanentemente, es decir, en tiempos de paz en primera instancia, en tiempos de crisis y, aunque ojalá que nunca tengan que hacerlo, también en tiempos de guerra. El estado deseable para la nación es naturalmente el estado de paz y, por consiguiente, deben también en tal periodo ponerse al servicio de la nación para abordar una situación crítica como la de un suministro estratégico de energía que garantice el estado deseable de la nación, vale decir el de los tiempos de paz con un desarrollo democrático.

Cabe esperar entonces un rol activo y estratégico de las fuerzas armadas en la planificación estratégica de asegurar un acceso a la energía que garantice el desarrollo armónico y sostenido de la nación, a fin de consolidar los tiempos de paz, de desarrollo y de bienestar de un país que busca integrarse al mundo moderno industrializándose.



se, desarrollando todos sus sectores y luchando activamente por preservar lo más valioso de su territorio conservando el medio ambiente.

Para tal objetivo de empresas e instituciones existen una variedad de modelos que pueden usarse para encontrar estrategias adecuadas. Aquí sólo se discute un posible modelo: el de análisis de escenarios.

1. El uso de escenarios para la planificación

La planificación estratégica empresarial e institucional hace uso frecuente de una técnica que se ha dado en llamar la técnica de escenarios. En esencia, se trata de hacer el futuro más tangible mediante un análisis de lo que podría darse en el mañana a partir de diferentes decisiones tomadas en el presente. Esto supone, naturalmente, un muy buen entendimiento de lo que sucede en el presente. Analizando el posible efecto energético y ecológico en la gestión empresarial se puede decir que -considerando los cambios observables en la economía mundial y nacional, los cambios presentes y predecibles en materias de políticas de regulación y control de lo relacionado con polución y la influencia en los cambios climáticos del planeta, en creciente grado de conciencia global al respecto, etc.- las siguiente cuatro posibilidades han sido ampliamente publicitadas internacionalmente en cuanto a lo que dice relación con la verdadera influencia económica para las empresas e instituciones:

- El mundo puede seguir en la misma dirección que muestra con el presente nivel de consumo de energía manteniendo niveles adecuados en materias control del medio ambiente y de cambios climáticos.
- El mundo puede llegar a sufrir las serias consecuencias de un cambio significativo y profundo en lo que dice relación con la economía, la distribución geopolítica y el centro de gravedad con respecto al acceso y a uso real de la energía.
- El mundo muestra un desarrollo que, en grandes líneas, es una continuidad de lo que experimentamos en la actualidad, pero que es abatido a corto plazo por eventos muy severos que inducen una desestabilización del sistema actual y sus reglas, con consecuencias imprevistas para empresas e instituciones.

- El mundo evoluciona a un sistema que demanda decisiones empresariales e institucionales muy cautelosas e inteligentes, así como cuidadosas inversiones en todo lo que diga relación con el uso de la energía, sus implicancias en el medio ambiente y los riesgos de incidencia en los cambios climáticos y en donde las decisiones son tomadas con suficiente antelación a las consecuencias e implicancias económicas.

La toma de acciones que ahora pueden efectuarse para mantenerse en negocios en el futuro pueden ser analizadas a la luz de estos cuatro escenarios. Las implicancias de las medidas a tomar en términos de costos, cambios de giro e inversiones, entre otras, serán completamente distintas dependiendo del escenario elegido.

Se puede aseverar que internacionalmente crece la preocupación de los empresarios y jefes de organizaciones en lo concerniente al acceso a la energía para garantizar a futuro las operaciones exitosas del giro de negocios. En uno de los trabajos multinacionales que involucró a empresarios de grandes consorcios, éste condujo a la identificación de objetivos estratégicos muy interesantes. En primera instancia existe consenso en el sentido de que toda empresa debe mantener su propia estrategia de suministro energético y un plan de consumo económico y racional, en muchos casos incluso acompañados de una política institucional o empresarial activa de uso racional, eficiente y ecológicamente compatible con objetivos bien definidos y medibles de limitación de la polución ambiental. Los siguiente cinco objetivos estratégicos han ganado consenso internacionalmente a fin de prepararse para el futuro:

1. **Consideración, manejo y control de los principios de la eficiencia energética:** desarrollo de una cultura de eficiencia energética desde niveles ejecutivos a funcionarios mediante la nominación y la delegación con poderes ejecutivos a un director de energía y a su equipo, establecimiento de objetivos ambiciosos, que requieran medidas y continuidad en el control de la eficiencia energética con responsabilidad, acompañadas de premios y estímulos a resultados medibles en toda la organización.

2. **Desarrollo una visión amplia y de largo**

alcance en materias de inversiones y decisiones estratégicas en lo concerniente a la energía: hacer que toda decisión relevante de la empresa o institución se haga pensando en el costo de la energía, su uso y su suministro seguro para la eficacia del giro (por ejemplo, inversiones, elección de tecnología, elección del lugar para la industria, acceso y transporte del personal, etc.). Consideración en forma eficiente y a largo plazo un uso adecuado de la energía en inversiones contra un retorno de capital a corto plazo pero inseguridad en el suministro. Considerar cuidadosamente la significación total del uso de la energía no sólo en la operación interna, sino incluyendo subcontratistas y abastecimiento de partes y materias primas, así como todo el camino de sus productos y servicios hasta el consumidor.

3. **Investigación de la transformación del giro de actividades buscando oportunidades en la forma de manejo, adquisición y uso de la energía:** enmarcar estratégicamente el uso de la energía como una palanca de cambios y crecimiento positivo dentro del giro de la organización y no sólo como un costo. Hacer del valor estratégico del uso de la energía una materia de carácter innovador y agresivo en la obtención, desarrollo y propaganda de productos y servicios ofrecidos mostrando resultados transparentes y públicos que demuestren un uso eficiente y sostenido.
4. **Preparar estrategias contingentes para enfrentar escenarios emergentes en el futuro:** reconsiderar aspectos específicos y concretos de un futuro factible, incluyendo cambios substanciales de variaciones en precios y fallas prolongadas en el suministro, cambios climáticos dramáticos y catástrofes, incrementos tributarios o incentivos relacionados al uso eficiente de la energía o a castigos por emisiones no permitida de de polución. Manejar activamente la exposición a riesgos y desarrollar planes efectivos de acción para tomar control total de eventos futuros. Mantener un control continuo de posibles cambios tributarios, legislativos, de control, etc.
5. **Tomar medidas en forma personal como lí-**

der: los directores y empresarios pueden y deben tomar una variedad de medidas tendientes a racionalizar o ganar eficacia en el uso de la energía a corto, mediano y largo plazo. No importa tanto si las medidas son tomadas a nivel individual, en forma corporativa, en el consejo directivo o en forma vertical dentro de empresas o instituciones, lo importante es que como líder sea esta una realidad evidente y con resultados objetivos.

Naturalmente se puede discutir mucho al respecto, sin embargo el ejemplo anterior vale como elemento a considerar por quienes corresponda, a modo de ejemplo de tareas posibles. Chile tendrá que encontrar sus propios caminos en forma autónoma y aquí no se pretende sugerir que solo se copien resultados foráneos. Lo importante es que el sector empresarial, industrial e institucional tome conciencia de la complejidad de la problemática y de la importancia de tomar acciones.

¿Una estrategia energética nacional independiente o acoplada a las necesidades regionales?

Es evidente que el proceso contemporáneo de globalización conlleva irremediamente la formación de constelaciones regionales defensivas. El ejemplo más próximo de ello está en el mercado común europeo. La Unión Europea sostiene regularmente un intenso debate en el seno de la comisión para definir una estrategia energética común. La necesidad identificada es la de definir estrategias es una consecuencia de la aparición manifiesta y evidente de grandes desafíos entre los que se pueden identificar:

- La dependencia energética.
- El inevitable agotamiento dentro de pocas décadas de recursos básicos (carbón, petróleo, gas, uranio) sobre los que se basan los suministros energéticos actuales.
- Los impactos ambientales de tales formas de suministro energético, especialmente el desafío ante los cambios climáticos, que aparecen como la gran amenaza que enfrenta la civilización industrial.

Estas son también amenazas que pueden perci-



birse en Latinoamérica, quizás con una incidencia no solo económica muy grande sino también con un costo social de magnitudes.

El suministro energético global actual enfrenta una serie de desafíos que no son nuevos, sino que son válidos ya desde hace unas décadas. Los modelos de suministro energético de los países industrializados se enfrentan a una serie de desafíos que ya existían, pero que últimamente se han mostrado con toda su crudeza y han reactualizado el debate energético. El valor de este debate puede decirse que no está sólo en el logro de nuevas políticas, sino en la toma de conciencia a nivel continental, nacional e individual de la magnitud del problema de suministro y abastecimiento hoy y a futuro.

La interrupción en el suministro de petróleo y de gas impuestos por Rusia durante el mes de diciembre de 2006, en pleno invierno europeo, ponen de manifiesto un problema endémico de la Comunidad Europea: una dependencia energética extraordinaria que impone limitantes en su capacidad de actuar políticamente y que, por ser contingente, conduce a una política exterior que a menudo contradice los valores fundamentales que constituían la base del malogrado proyecto de Constitución para Europa.

La dependencia energética alcanza a aproximadamente el 50 por ciento de la energía primaria consumida en Europa (en algunos países el 85 por ciento, como es el caso de España, por lo que es interesante seguir el desarrollo de sus políticas de suministro) y conlleva así una hipoteca política y económica. Por añadidura, esto se agudiza a mediano y largo plazo a medida que se acrecienta la tasa de agotamiento de recursos no renovables. Hay que tener, por consiguiente, muy en cuenta el agotamiento de los recursos no renovables sobre los que se basa el modelo energético actual de los países industrializados.

Al examinar la estructura de consumo energético de Europa, al igual que en la OCDE, se constata una gran dependencia del petróleo y sus derivados. Esta llega a ser extrema en países como España, en que el 52 por ciento de la energía primaria procede del petróleo. Este hecho es en sí bastante grave, dado que los recursos petroleros en Europa son limitados y satisfacen solo una fracción de la demanda. Es claro que resulta po-

sitivo avanzar hacia una menor dependencia de un recurso tan importante como el energético, ya que la autonomía política se verá beneficiada por ello. Además, una economía sedienta de petróleo como la actual está sujeta a los avatares de su precio, lo que irremediablemente motivará que más de alguien busque la garantía del suministro por medios quizás no respetables cuando el petróleo sea escaso.

El cambio climático es otro de los desafíos acoplado al modelo energético actual y, en particular, el modelo europeo. Hay una acumulación de evidencias de que el clima está cambiando y pocos ponen en duda este hecho. Las pruebas acumuladas hacen que el debate sobre si el clima cambia o no esté ya superado: el retroceso de los glaciares, la fusión de los hielos del Polo Norte, la aparición de especies vegetales y animales en latitudes donde antes no estaban, la sucesión de altas temperaturas atmosféricas y marítimas (2006 fue el año más cálido de la historia) y la sucesión de sequías en algunas zonas del planeta y de lluvias torrenciales en otras, entre otras. Éstas son sólo algunas de ellas. Además, el aumento global de la temperatura en alrededor de ~1 grado Celsius desde 1950 no deja ya lugar a dudas.

Los aumentos de temperaturas se correlacionan perfectamente con el aumento de la concentración de gases de invernadero en la atmósfera, los que han aumentado en alrededor de un 40 por ciento respecto a los valores de la época preindustrial, antes de que se empezaran a quemar combustibles fósiles. Estas cifras están bien documentadas en, por ejemplo, los informes periódicos del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Ya nadie duda que la causa del aumento de la concentración de gases de invernadero en la atmósfera se debe a la acción humana. Aún si así no fuese, la prudencia más básica debería motivar a los responsables de las políticas energéticas a tomar medidas que reduzcan las emisiones de gases de invernadero y a los ciudadanos a limitar consumos que generen estos gases.

La incertidumbre científica esta ya reducida a la dinámica y la magnitud del cambio climático. Los modelos climáticos actuales se esfuerzan en incluir la enorme complejidad de los fenómenos con interacciones múltiples entre el aire, el mar,

la orografía, los seres vivos, la tectónica de planeta, etc. Irremediablemente tales modelos son imperfectos y entregan sólo predicciones muy aproximadas, con gran incertidumbre. Por ello se habla de rangos de aumento de temperatura a esperar en los próximos decenios dado determinado aumento de polución global. Se especula también en riesgos inesperados que podrían darse por encima de un aumento de 2 grados Celsius sobre las temperaturas actuales. La antedicha complejidad hace difícil pronósticos exactos de las consecuencias del cambio climático, por lo que solo se obtienen predicciones aproximadas y rangos de posibles efectos. Sin embargo, todo indica que, si las temperaturas aumentan entre 2 y 6 grados, las consecuencias serán catastróficas. Recientemente se hizo público un «Informe Stern», elaborado por Nicholas Stern, asesor sobre economía del cambio climático del gobierno británico. El informe, aún cuando discutido por algunos científicos, muestra un posible escenario futuro con el que nos podríamos enfrentar si no cambia el nivel actual de polución y uso de la energía. La conclusión económica evidente es que los costos debidos al cambio climático serán mucho más altos que cualquier medida imaginable para evitarlo.

A causa evidente de la infraestructura y configuración social existentes, son indudablemente los países del tercer mundo y sus habitantes los que más van sufrir (y es posible que ya estén sufriendo) a causa de los cambios climáticos. Éstos se dan en forma de catástrofes climáticas, huracanes, sequías o lluvias torrenciales, etc., lo que conlleva disminución en cosechas y recursos alimenticios, destrucción de equilibrios ecológicos y erosión, entre otros fenómenos.

Ante todos estos problemas, la Comisión Europea ha decidido proponer una serie de medidas comunes que, como se verá más adelante, tendrán dificultades para ser aplicadas. Estas medidas habrán de conducir a una nueva revolución industrial. El documento de la propuesta europea «Análisis estratégico de la política energética de la UE», de 2006, incluye un plan de acción y aplicación de medidas necesarias para que la Unión Europea logre un nuevo objetivo estratégico. El plan de acción comprende, entre otras, las siguientes medidas concretas:

- Elaborar un informe sobre la aplicación por los estados miembros del mercado interior del gas y la electricidad y sobre los resultados de un estudio acerca de la situación de la competencia en estos dos sectores. En este caso, la comisión tropieza con la negativa de algunos países como Francia a liberalizar su sector energético.
- Un plan sobre las interconexiones prioritarias en las redes eléctricas y del gas de los estados miembros, para que la red europea sea una realidad.
- Propuestas para fomentar una producción sostenible de electricidad a partir de combustibles fósiles, aún cuando cabe preguntarse cómo puede ser sostenible una producción basada en unos combustibles que se agotarán en un horizonte de unas pocas décadas.
- Iniciativas para promover las energías renovables en el transporte, particularmente los biocombustibles.
- Análisis de la situación de la energía nuclear en Europa y reapertura del debate en torno al uso de la energía nuclear.
- Una agenda de trabajo con miras a un futuro plan estratégico europeo en materia de tecnologías energéticas.

De forma inteligente, sensata y saludable, la Comisión impulsa medidas de ahorro y eficiencia energéticas. Informes recientes de la Comisión Europea muestran que el ahorro total alcanzara a un 20 por ciento de la energía consumida para 2020. Esta cifra no parece muy audaz y sí realizable, teniendo en cuenta que muchos países de la Unión Europea parten de una deplorable situación en materia de ahorro y eficiencia. Por ejemplo, en España, Ecologistas en Acción calcula que se puede ahorrar un 35 por ciento de electricidad.

La Comisión Europea se ha propuesto dar un impulso substancial a las energías renovables. El plan actual establece como meta que el 12 por ciento de la energía primaria sea de origen renovable ya en 2012 y se pretende elevar este porcentaje a entre el 20 y el 25 por ciento para el 2020, basándose en el incremento de los aportes de la energías solar, eólica, hidráulica y la biomasa.

La suma de estas medidas, incluyendo todos los sectores (entre otros el transporte y en particular



a la aviación como fuentes de emisión de CO₂), se espera que conduzcan a una reducción de emisiones de al menos 20 por ciento en 2020. Existe, sin embargo, la voluntad política de ir más allá y se propone fijar como objetivo una reducción de las emisiones del 30 por ciento de aquí a 2030 y de entre 60 y 80 por ciento de aquí a 2050.

Similares estrategias y políticas debieran promoverse en el continente sudamericano en la certeza de que los resultados tendrán grandes implicancias nacionales. Los continentes más pobres debieran mantener una política mucho más agresiva para con los países desarrollados, dado que son estos los que han contribuido en forma más substancial a los fenómenos globales. Ya se sabe que esto es, sin embargo, un deseo más que una posibilidad objetiva, a la luz de, por ejemplo, el acuerdo de Kioto.

La energía nuclear como opción

En la actualidad, la energía nuclear aporta sólo el 6 por ciento de la energía primaria que se consume en el mundo. Esta cifra es del 10 por ciento en Europa. Hay que clarificar, sin embargo, que ella contribuye con una producción que alcanza al 30 por ciento de la electricidad consumida en Europa y al 17 por ciento en el mundo.

El debate energético es un tema que se torna muy sensible cuando se discute la energía nuclear. Sin embargo, no existe de hecho forma más limpia de producción que la nuclear. Es más, esta es la forma más elegante de producir energía en donde se expresa en forma magistral todo el ingenio humano, que ha logrado entender y gobernar las formas más intrínsecas de la materia. Los defensores de esta fuente de energía se ven en la actualidad limitados a un marketing público y a presiones políticas con un objetivo primario de conseguir una prolongación de la vida en uso de las centrales actualmente en funcionamiento, junto con buscar un relanzamiento de programas nucleares en franco retroceso desde hace algunos años (durante 2006 se cerraron ocho centrales nucleares en Europa, incluyendo la de Zorita, en Guadalajara. Además se cerraron plantas en Bulgaria, Reino Unido y Eslovaquia).

Dado que, en general, no se considera la gestión de los residuos radiactivos, sencillamente porque no se sabe cuál será el coste final de aquélla y dado que, además, las inversiones están parcial o totalmente amortizadas, su explotación produce grandes beneficios. No es de extrañar entonces que sea natural trazar como objetivo fundamental la prolongación de la vida de las plantas existentes. El kilovatio/hora nuclear resulta competitivo comparado con otras fuentes una vez que la central está amortizada, en buena medida porque no se consideran todos los costos de producción de la energía.

El único evento positivo en Europa en lo nuclear es la construcción de un nuevo reactor en Olkiluoto (Finlandia). Sin embargo, tal proyecto ha sufrido excepcionalmente por su carestía y su complejidad. En efecto, en la fase actual de construcción, el proyecto acumula ya un retraso de dos años que supone un costo adicional de unos 600 millones de euros sobre el presupuesto inicial.

La energía nuclear, en efecto, no emite prácticamente gases de efecto invernadero, pero está lejos de ser la solución a los problemas energéticos de la Unión Europea. Sin embargo, aquí se acaban sus ventajas, porque la energía nuclear no procura independencia energética, puesto que casi todo el uranio que se consume en la UE es importado, si bien se enriquece en Francia e Inglaterra y los elementos combustibles se fabrican en el seno de la UE.

Por otra parte, la energía nuclear no es un sustituto del petróleo en casi ninguno de sus usos, dado que sólo una pequeña parte de éste se usa para producir electricidad, pero las únicas alternativas a la energía nuclear, si queremos evitar cambios climáticos, son la inversión en energías limpias y el ahorro energético.

La energía nuclear presenta varios inconvenientes graves que la desaconsejan como alternativa viable. El más complejo es la gestión de residuos radiactivos de alta actividad, sustancias peligrosas activas durante centenas de años y para las que no existe aún solución satisfactoria, pese a esfuerzos de investigaciones avanzadas. De hecho, esta investigación ha dado más bien disgustos a los impulsores de la energía nuclear, puesto que se ha publicado recientemente en Nature que los contenedores de almacenamiento a largo

plazo sólo garantizan que los residuos estén a buen recaudo durante 1.400 años, en lugar de los 241.000 años teóricamente necesarios.

Los graves accidentes como el de Harrisburg (Estados Unidos) en 1979 o el de Chernóbil, junto con un gran número de otros accidentes menos importantes como el de Vandellós en Tarragona en 1989 o el de Tokaimura en Japón en 1999, han puesto de manifiesto otro de los inconvenientes graves de la energía nuclear: el peligro de graves accidentes. La industria nuclear responde a esto con el desarrollo de nuevos modelos de reactores hipotéticamente más seguros.

Entraríamos en el campo de la especulación filosófica para decidir qué niveles de seguridad son admisibles: aunque la probabilidad de que ocurra un accidente sea pequeña, éste puede llegar a ser tan terrible que es mejor no correr riesgos. Por otra parte, los desarrollos en seguridad repercuten negativamente en el precio.

La energía nuclear no es renovable ya que el combustible nuclear, el uranio, también es finito y finalmente se agotará. Es difícil saber con exactitud para cuánto tiempo queda uranio en la Tierra, pero algunas estimaciones cifran en unos 100 años la duración de las reservas al ritmo de consumo actual. Según el precio del petróleo aumenta o el uranio se vaya agotando, su precio dejará de ser, como ahora, un gasto menor en la producción nuclear: el precio del uranio se ha multiplicado por nueve en seis años (pasó de costar US\$ 7.1/libra en 2001 a costar US\$ 65.5/libra en 2006). Para que esta fuente de energía contribuyera significativamente a disminuir el efecto invernadero debería aumentar su participación en un factor de cinco o seis, lo cual equivaldría a reducir la duración de las reservas de uranio a 20 años y a multiplicar al mismo tiempo por cinco o seis la cantidad de residuos y el riesgo de accidente.

Estos datos muestran que la energía nuclear no puede ser considerada como una opción de futuro. No hay que olvidar que la mera construcción de una central supone una gigantesca inversión (de más de 3.000 millones de euros) y, por lo tanto, un gigantesco negocio. Por todos estos motivos, el Parlamento Europeo no ha respaldado el uso de la energía nuclear y deja a los estados miembros sus propias decisiones sobre esta fuente

de energía.

En Chile la alternativa está definitivamente vedada al menos por un plazo de 20 a 30 años, aún en el caso que se hagan esfuerzos extraordinarios. Su implementación no solo supone la adquisición, instalación y puesta en marcha de una planta. Se requiere de una infraestructura muy compleja de expertos y recursos técnicos, así como de un equipo de expertos no sólo en el manejo, sino en el control y soporte de una planta como tal. Es muy difícil imaginar un escenario distinto a la luz de la experiencia y el conocimiento que se tiene internacionalmente de las posibilidades en Chile.

Las dificultades para alcanzar una estrategia común

Las dificultades para alcanzar una estrategia energética común no es solo un problema de Latinoamérica. También la gran diversidad de políticas energéticas europeas imposibilitan una estrategia común. Francia, con una compañía de generación de electricidad estatal (Electricité de France), convive con España, que tiene un suministro liberalizado en el que la producción de electricidad está en manos de empresa privadas sujetas a las leyes del mercado. Existen países claramente nucleares como Francia junto a otros como Italia, que decidieron abandonar la energía nuclear a finales de los ochenta. Por otra parte Alemania mantiene un programa de cierre de centrales nucleares. Suecia ha cerrado una de sus centrales nucleares, la más próxima a Dinamarca, en parte por ser la más antigua pero también como parte de una política de buen vecino.

La flora de políticas energéticas debiera armonizarse llevando a todos los países a un consenso a fin de encontrar estrategias armónicas y coordinadas a escala continental. Tal meta se ve aún poco viable.

Al mismo tiempo, Suecia logra cumplir los objetivos de Kioto con creces (se le permitió aumentar sus emisiones en un 4 por ciento y las ha reducido en un 3,5 por ciento) y, por otro lado, Finlandia está lejos de cumplir con el Protocolo de Kioto (se le permitió mantener constantes sus emisiones y ya las ha aumentado en un 14,5



por ciento). Alemania (objetivo de reducción del 21 por ciento frente a una reducción conseguida de solo el 17 por ciento) prácticamente cumple con Kioto; Francia, en cambio (aumento del 0 por ciento permitido frente a una reducción del 0,8 por ciento) e Inglaterra (reducción del 12,5 por ciento fijada y 14,3 por ciento de reducción conseguida) cumplen a un totalmente con el Protocolo de Kioto. En cambio España está francamente lejos (aumento del 49 por ciento frente a un 15 por ciento de aumento permitido). Cifras tan dispares reflejan los muy distintos esfuerzos realizados por esos países. La situación mesurable en Latinoamérica debe mostrar un panorama similar y, al igual que en Europa, la polución no reconoce fronteras y se propaga sin barreras aduaneras o políticas.

Las metas europeas de reducción de emisiones, aun cuando todavía tímidas ya que el Protocolo de Kioto es insuficiente, resultan de gran valentía en un escenario en el que las metas de reducción de Estados Unidos o China son muy inferiores y en franco conflicto con el acuerdo de Kioto. El efecto sinérgico de estas metas es que ellas permitirán el desarrollo de tecnologías y la adecuación de modelos energéticos a una menor dependencia de los combustibles fósiles, lo que otorgará una cierta ventaja a la Unión Europea en un mundo con escasez de tales combustibles. Es aquí en donde políticas de estímulo de todo tipo ganan un valor enorme como elemento estratégico de cambio energético y desarrollo ecológicamente compatible.

El desafío más grande que se debe abordar es el de la disminución de la dependencia del petróleo y sus derivados. Esto no es simple, está distribuido por sectores y fuertemente vinculado al volumen del transporte (un 95 por ciento se basa en el petróleo y sus derivados y alcanza al 31 por ciento del consumo en la UE). La agricultura, a causa de mecanización, es también gran consumidora de combustibles. Al mismo ritmo del crecimiento de la unificación europea se producirá una mayor dinámica de intercambio de personas y mercancías, por lo que el transporte seguirá en aumento y con ello las necesidades de más petróleo. Un escenario similar cabe esperar en Latinoamérica a medida que evolucione hacia mercados más intensos, flujos más altos de personas,

producciones más altas en la agricultura, etc. Para alcanzar objetivos de independencia energética y de disminución de emisiones, Europa ha comenzado a actuar también en forma selectiva en distintos sectores. La introducción de bio-combustibles es un ejemplo, aún cuando es evidentemente imposible mantener niveles actuales de transporte basados en bio-combustibles. Los terrenos necesarios para cultivos serían muy grandes: sólo España necesitaría un millón de hectáreas para satisfacer un porcentaje modesto de las necesidades del transporte. Evidentemente no se puede concebir que el desarrollo de bio-combustibles sea la solución única. Al mismo tiempo que es imprescindible tomar medidas para reducir el transporte motorizado e incrementar el transporte público colectivo. Lo mismo debe ser parte de estrategias en Latinoamérica. Además, debiera ser evidente que la diferenciación es mandataria como componente básica de estrategias modernas de suministro.

Hay que reconocer que la estructura económica de la UE no ayuda a que el modelo energético cambie. Existen sectores empresariales y económicos interesados en mantener el actual estatus quo, aun cuando también hay fuerzas económicas que trabajan activamente por el cambio. Por ejemplo, la industria automotriz y de la construcción, tanto de viviendas como de infraestructuras de transporte, son dos sectores que generan gran demanda energética y simultáneamente son dos motores de la economía, especialmente en España, donde el papel de la construcción es ya proverbial. Sin una política fuerte y un estímulo razonable, Latinoamérica no va a conseguir acoplar al sector empresarial privado a los esfuerzos nacionales de uso eficiente, razonable y que contribuya a mejorar el medioambiente.

Finalmente, la tendencia liberalizadora de la UE es un gran obstáculo para alcanzar el objetivo de construir un modelo energético sostenible que procure autonomía a la Unión. El camino hacia ese modelo será siempre más fácil si los poderes públicos tienen el control sobre los mecanismos de producción, transporte y consumo de energía que si se dejan éstos en manos de la iniciativa privada. En lugar de arbitrar complicadas medidas legales y financieras, los gobiernos podrían actuar directamente sobre el modelo energético.

Quizá Chile necesita considerar también un arbitrio más riguroso de las políticas energéticas del país e incluso buscar formas de acción común en el cono sur.

No hay que olvidar que una extrema dependencia en las fuentes hidráulicas puede igualmente ser nefasta para un suministro que garantice un desarrollo armónico del país. Ya en 1997 se produjo una suerte de crisis en el suministro de energía eléctrica a causa de una prolongada sequía que hizo que las sensibles hoyas hidrográficas características de Chile pusieran de manifiesto ya los riesgos de una dependencia unilateral en una fuente mayoritaria de suministro.

El hecho de que el presidente de Argentina, Néstor Kirchner, anunciara la limitación de las exportaciones de gas argentino con el fin de paliar el déficit energético que afectaba a su país no puede ser causa de crítica a su gestión como gobernante. Aún cuando la medida golpeó duramente a Chile, lo que hay que ponderar es que Chile recibía el 70 por ciento de las exportaciones, mientras que Brasil obtenía el 20 por ciento y Uruguay un 10 por ciento. Hay que agregar que más del 18 por ciento del sistema eléctrico chileno depende del gas y que más del 95 por ciento de ese gas provenía justamente de Argentina.

Lo que es estratégicamente más grave es que los planes de desarrollo eléctrico propiciado y aprobado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) eran casi exclusivamente basados en centrales a gas, lo que habría aumentado la dependencia a más de un 30 a un 35 por ciento al presente.

No hay que dejarse impresionar por una reducción en el suministro de gas natural de 2 millones 300 mil metros cúbicos de gas por día, lo que afectó fundamentalmente al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) con 1 millón 600 mil metros cúbicos y al Sistema Interconectado Central (SIC) con 700 mil metros cúbicos por día. El afectado por este déficit de suministro es indudablemente el SING, que depende en un 60 por ciento de este combustible para operar. Las autoridades han intentado restarle gravedad a la crisis, argumentando que el suministro está asegurado sustituyendo el gas por petróleo, petcoke o carbón. Pero la situación no es tan simple: el uso de otros combustibles fósiles aumenta sustancialmente el costo de la generación y por otro

lado es más contaminante.

El problema del aumento de los costos no es de una menor ganancia para las empresas, porque no van a tener pérdidas; el problema es que ésta va a ser traspasada a los usuarios mediante un aumento de las tarifas.

El conflicto más serio se puede observar en la forma de tratar el impacto ambiental de la operación de plantas con potencial contaminante. Aquí se ha podido observar que, aún cuando se hacen serios esfuerzos de analizar el impacto ecológico de inversiones en nuevas plantas termoeléctricas, el estudio parece terminar en tan solo una ponderación del impacto en términos de toneladas de uno u otro agente tóxico. Lo importante es que el verdadero impacto ecológico debe ser seguido de un plan de impacto económico de las acciones preventivas que los empresarios operadores de plantas deberían implementar.

El estudio de impacto ecológico no es completo ni digno de aceptación si no está acompañado de un plan de inversiones y estrategias para evitar completamente, o al menos hasta donde la tecnología actual lo haga posible, el impacto total de la planta. Esta es la esencia del principio 'polluter pays principle', es decir, el que ensucia, paga. Es el empresario responsable de una planta el que debe asumir la totalidad de los gastos necesarios durante la entera operación de la misma y, luego, durante su desmantelamiento final, para garantizar en forma transparente, de libre acceso público y en todo momento, la ejecución de acciones destinadas a restituir el impacto al medio ambiente de las operaciones. La violación de este principio debiera ser materia de legislación penal a causa de los potenciales daños a la salud ciudadana y del medio ambiente.

Los antecedentes de la crisis

El sistema de abastecimiento eléctrico de Chile comprende cuatro subsistemas: el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING); el Sistema Interconectado Central (SIC); el Sistema Aysén y el Sistema Magallanes. De estos cuatro subsistemas, el SIC y el SING cubren más del 80 por ciento de la demanda total de suministro de energía



eléctrica del país. Las principales fuentes de generación están basadas en principios hidroeléctricos o por combustión de gas natural o carbón.

El desarrollo del SING está básicamente diseñado para satisfacer las necesidades eléctricas de la gran minería de la I y II regiones. La producción está centrada en plantas termoeléctricas basadas en la combustión del gas natural y ahora en forma creciente del carbón. La rápida introducción de centrales termoeléctricas de ciclo combinado a base de principalmente el gas natural importado desde Argentina produjo un significativo crecimiento en la oferta de energía eléctrica. Consecuentemente, las plantas basadas en la combustión del carbón presionaron para utilizar el petcoke (un residuo bastante tóxico derivado del petróleo) como insumo energético, buscando una forma de bajar sus costos de producción y así competir con las centrales a gas.

El SIC, por su parte, cubre desde la III región hasta Chiloé y muestra la mayor capacidad de generación y consumo a nivel nacional. Al igual que en el SING, la introducción del gas natural y el uso de centrales termoeléctricas de ciclo combinado cambiaron fuertemente este sistema en 1997. Así entonces, en los últimos años, el consumo de energía primaria y el consumo eléctrico han aumentado a una razón mucho más alta que el PIB. Hay que agregar al cuadro general que se había dado en términos comparativos una caída prolongada en el precio de la energía al consumidor, causada en gran parte por el incremento masivo del uso de gas natural. Por ejemplo, en el caso del SING en aproximadamente una década el precio bajó en términos adquisitivos equivalentes a un tercio de lo que costaba en 1985. En cambio, para el SIC la caída del precio al consumidor fue de alrededor de un 10 por ciento. Así, el bajo costo del gas resultó negativo a causa del freno resultante al incentivar a la inversión en la generación a partir de otras fuentes. Esto, acoplado a una falencia de políticas públicas para un desarrollo energético armónico e integrado ha resultado de capital importancia en la generación de la extrema y creciente dependencia de Chile para con el gas importado. Además, durante el mismo periodo la sólida economía nacional ha dado lugar a una masificación de procesos intensivos en el uso de la energía en el sector comercial e

industrial y en especial en minería, con técnicas de electrotécnicas de refinación del cobre.

Otro elemento importante en la estrategia de suministro energético del país son los subsidios estatales que benefician a los compradores de hidrocarburos como insumo básico para la generación de energía eléctrica. Es aparentemente la idea del gobierno que con una política de excepción del pago de aranceles a las importaciones de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural) se estimula una continuidad en el suministro energético del país. La experiencia internacional por otra parte demuestra que toda política proteccionista es inhibidora de otras iniciativas, en este caso de todo posible desarrollo de comercialización competitiva de formas alternativas de suministro energético. No es así paradójico que estas políticas vayan básicamente en desmedro de los ciudadanos y de políticas de suministro energético alternativo y sostenible mientras que subvencionan el gran capital. La introducción de formas alternativas de uso de la energía en el sector de la vivienda, por ejemplo, necesita de niveles de capital inicial que no pueden ser absorbidos por un sector privado con baja capacidad de inversión (colectores solares, estanques aislados, distribución aislada de agua caliente, bombas térmicas, etc.).

La extrema dependencia en las exportaciones del cobre con una alta demanda de energía eléctrica generada con recursos importados y no renovables, junto a una incipiente diferenciación de las exportaciones, deja al país en una situación de extrema vulnerabilidad, por lo que es previsible una creciente problemática en torno al suministro de energía eléctrica. Este problema, en razón del grado de dependencia infraestructural generado por las inversiones hechas en plantas generadoras, tiene un carácter mucho más orgánico y estructural del que se podría imputar a las posibles disminuciones e interrupciones del suministro de gas natural que pudieran decretar las autoridades argentinas. De hecho, la política argentina sólo precipitó un problema que irremediablemente se tendría que dar más temprano que tarde. Casi el 95 por ciento del abastecimiento de gas proviene de Argentina. De esto, la fracción mayoritaria del suministro de gas natural a la zona central de Chile proviene de Neuquén,

Proyectos

que es la fuente con más años de explotación de Argentina. Sólo esto ya indica una escasa planificación estratégica por parte de los estamentos responsables de una seguridad nacional en esta materia. Por añadidura, varios informes en los últimos años indican que la vida útil de los yacimientos de la zona de Neuquén es limitada a no más de 10 a 15 años, lo que ya en 1997 delataba que esto implicaría grandes problemas de abastecimiento entre 2007 y 2010 para Chile si éste no diferenciaba su suministro.

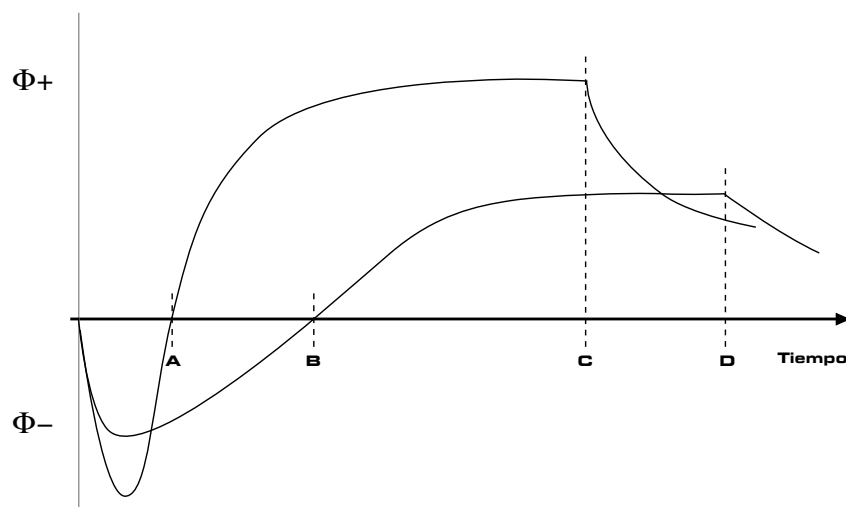
Una vez más por la vía de la evidencia experimental queda claro que, aún cuando el gas natural es y podía ser una fuente importantísima de suministro energético, no puede jamás constituirse en pilar fundamental o único de la generación eléctrica en Chile, aún cuando exista un plan continental o del cono sur de un anillo de suministro de gas. Así entonces las tareas de desarrollo de una diferenciación en el suministro energético por parte de los sectores en donde esto sea factible son de extrema importancia para el país. El pretender encontrar en una forma optativa una solución definitiva a los problemas de suministro de energía para el país es así muy poco realista.

El manejo de proyectos es una tarea que no solo requiere de una buena dirección del personal: uno de los ámbitos más relevantes es la de la planificación en el tiempo del presupuesto del proyecto. El flujo de capitales es siempre negativo en la etapa inicial y se trata de ejecutar el proyecto a fin de invertir el flujo de capitales, lograr el *brake-even* y conseguir un flujo positivo estable a fin de asegurar utilidades.

Aún cuando trivial, esto tiene una importancia muy grande para la dirección de proyectos, ya que una etapa prolongada de trabajo retarda la consecución del *brake-even* como es el caso de B con respecto a A en la figura. El área total negativa con respecto a la positiva, así como la duración en operación del proyecto hasta C o D, tienen también su implicancia en la consecución de un resultado final positivo.

Un estudio de esta naturaleza, así como un estudio acabado de las consecuencias ambientales con sus implicancias económicas, deben ser entregados al público consumidor o a particulares que adquieran soluciones tecnológicas en el campo de la energía, como puede ser el caso de una planta solar, eólica o hidroeléctrica en forma de inversión privada.

FIGURA B.
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FLUJO DE CAPITALES EN EL CURSO DE UNA INVERSIÓN COMO POR EJEMPLO UN PROYECTO EÓLICO O SOLAR. Véase el texto para detalles





Reflexiones, sugerencias de soluciones y propuestas alternativas

También es importante que el inversionista tenga claro que el impacto al medio ambiente tiene un costo y tiene además una implicancia en el tiempo total de duración de las inversiones. El costo termina cuando se han pagado todos los derechos, multas o demás a causa de polución generada y, finalmente, cuando la planta ha sido desmantelada, sus efectos saneados y los desechos correspondientemente manejados.

Un sistema bien implementado debiera ser mandatario para poder conceder estímulos de carácter económico como bonificaciones, reducciones tributarias, créditos subvencionados, etc. Esto conlleva demandas especiales a los profesionales que ofrezcan servicios en el sector de la energía. Debiera generarse rápidamente algún mecanismo de certificación o registro de actores autorizados que garanticen un paquete completo de servicios al inversionista en soluciones energéticas de modo que éstas den un resultado garantizado de disminución de demanda al servicio establecido de suministro eléctrico o de otra forma de energía (gas, gas licuado, etc.).

En soluciones optativas, como por ejemplo la de digestores orgánicos, habrá que considerar que un solo centro generador de desechos orgánicos del sector no puede ser suficiente. Habrá que evaluar costos de transportes y cuando estos sean analizados se podrá comprobar que por sobre una determinada distancia el impacto ecológico del transporte a más de sus costos pueden llegar a convertir esta alternativa en antieconómica o sencillamente más contaminante de lo que se espera. Los costos de manejo de desechos y operación deben considerarse cuidadosamente en el flujo total de capitales.

El mismo análisis se puede hacer para colectores solares. A los costos actuales de una posible producción nacional, estos serán cada vez menos rentables a medida que los costos de instalaciones hacia el extremo sur se analizan cuidadosamente. Una vez más hay que enfatizar el valor de análisis de costos y flujos de capitales en forma muy cuidadosa.

Evidentemente la gran pregunta es cómo superar la vulnerabilidad energética de Chile. En un evento que tiene como objetivo enfocar en el tema de seguridad y eficiencia energética se puede bien decir que una política correcta debiera comprender las siguientes áreas:

1. Hacer extensos esfuerzos para aumentar el uso eficiente de la energía a todo nivel y en todos los sectores. Esto requiere de un programa elaborado por sectores y que verdaderamente optimice el uso de la energía en forma medible. Así, debieran existir planes para el sector habitacional, industrial, transportes (aéreos, terrestres, marítimos, etc.), telecomunicaciones y servicios, entre otros. Algunos ejemplos de medidas pueden ser:
 - La certificación del consumo energético de las viviendas.
 - La implementación de estímulos coordinados en el uso eficiente de la energía en la Industria
 - Control y certificación del consumo de vehículos.
2. Un incremento en la seguridad en los suministros sólo puede lograrse con una reducción de la dependencia en las importaciones o en la dependencia de suministro de una fuente única. Una forma de lograrlo es mediante la diferenciación máxima de las formas de suministro de energía. Ello requiere identificar fuentes de consumo, evaluar formas posibles de suministro alternativo (técnico, económico, LCCA, etc.) e implementar formas de energías renovables que muestren un grado de madurez tecnológico adecuado (technology readiness level alto). Algunas de estas formas son las siguientes:
 - a. Uso de bombas térmicas.
 - b. Uso de plantas eólicas.
 - c. Uso de colectores solares térmicos y fotovoltaicos.
 - d. Uso de fuentes geotérmicas (corrosión) y uso de aguas calientes industriales.

- e. Procesos termodinámicos de Rankine en generación.
 - f. Biomasa y digestores orgánicos.
 - g. Alcoholes a partir de desechos agrarios.
3. Analizar en la infraestructura existente la posibilidad de adecuar las plantas a más de un tipo de combustible y buscar la continuidad en la generación mediante el suministro operativo de combustibles primarios (gas/carbón, petróleo/carbón, etc.).
 4. Intensificar la prospección de soluciones nacionales convencionales, como, por ejemplo, nuevas plantas hidroeléctricas, cogeneración, etc.
 5. Intensificar los esfuerzos prospectivos de nuevos pozos petrolíferos.
A priori se puede decir que al hablar de producción diferenciada, se puede estimar que fuentes energéticas no convencionales debieran tener un potencial de generación en Chile en el rango de unos pocos kWe hasta MWe. La eficiencia varía de una técnica a otra así como el carácter continuo o intermitente asociado a cada posible capacidad de generación. Por ello hay que hacer estudios de factibilidad técnica y económica completos y avanzados exigiendo alta responsabilidad de los expertos.
 6. Hay que hacer estudios avanzados de las posibilidades de interconexión de redes con la implementación de sistemas avanzados de planificación, control y monitoreo. Esto debe implementarse con estrategias de integración a una red de distribución de la capacidad de generación de, por ejemplo, plantas geotérmicas distribuidas, plantas eólicas, plantas hidroeléctricas menores, etc.
 7. Debieran existir estrategias elaboradas de suministro que en caso crítico permitan controlar la distribución selectiva del consumo. Por ejemplo, máxima prioridad a hospitales y otros cuidados básicos del sector de la salud, controlar la prioridad de la industria productiva en un rango razonable en horarios de trabajo normal, restringir el uso de electricidad por el sector habitacional durante horas de trabajo (tarifas diferenciadas), etc.

Un riesgo previsible es la proliferación de «expertos» en soluciones energéticas. Hay que insistir en la necesidad de una intensificación del aprendizaje y de una consolidación del conocimiento científico y tecnológico de modo que las soluciones implementadas tengan un alto grado de garantía y certificación. No se puede permitir que en esta etapa crítica del país se abuse del pequeño inversionista que arriesga capitales sin tener garantías centrales de que los actores del sector de la energía no entreguen resultados. El libre mercado es definitivamente insuficiente como alternativa para enfrentar los problemas energéticos. Es necesario crear no sólo verdaderos incentivos, sino que también un marco regulador y de control que estimule a superar los niveles de aprendizaje de tecnologías y soluciones modernas bajo formas profesionales de responsabilidad. En tal escenario no debiera desestimarse incluso el castigo a la falencia en la responsabilidad profesional.

Asegurar el acceso a un desarrollo armónico y sustentable del país en el mediano y largo plazo, ayudar en forma efectiva a disminuir las emisiones de carbono a la atmósfera e implementar soluciones estratégicamente correctas y eficientes de suministro energético no son tareas fáciles.

Reflexiones finales

Naturalmente no se puede esperar que una presentación como la aquí entregada sea exhaustiva en los análisis, sugerencias y proposiciones. El objetivo ha sido más bien el de entregar una visión amplia de las posibilidades de un suministro energético adecuado y diferenciado para el país, señalar lo que se ve como alternativas plausibles, ecológicamente compatibles y realizables a corto plazo y en un contexto mundial en donde el acceso a tecnología para producir energía va a lograr niveles de demanda extraordinarios a causa de la evolución de distintas regiones del globo.

Evidentemente Chile necesita tomar medidas urgentes y es aquí en donde el conocimiento adquirido en años de trabajo en el exterior, los contactos con fábricas, tecnologías y organizaciones, así como con universidades y centros de investigación hacen que el acceso a la información y



la tecnología moderna sea más fácil y pueda así ser implementada en forma más rápida y eficiente para Chile. Es mi esperanza que esta modesta contribución abra un fluido canal de comunicación que haga accesible distintas posibilidades para iniciar tareas más concretas que aporten soluciones específicas para el país.

Agradecimientos

La elaboración de este documento ha sido posible merced al estímulo y entusiasmo inagotable recibido de parte de la organización ChileTodos. La labor realizada por esta organización merece mi más alto respeto y mi profunda gratitud y aprecio. Nombrar a todos es arriesgar olvidar a alguien. Quisiera, sin embargo, expresar a la Sra. Sima Nisis de Rezepka mi más sincera gratitud y afecto por lo que ella representa y en el convencimiento que ella sabrá transmitir a todos los que hicieron del encuentro una exitosa realidad mi gratitud y aprecio.

Quiero también agradecer el destacado papel de la Pontificia Universidad Católica de Chile que, mediante la gestión del Sr. Director del Centro de Estudios Internacionales, Dr. Juan Emilio Cheyre así como del personal a su digno cargo, contribuyeron a hacer de este encuentro una posibilidad y un éxito.

Entiendo que el Ministerio de Relaciones Exteriores ha también contribuido a hacer posible este encuentro. Mi amplio reconocimiento también por su contribución y atención al evento. Finalmente agradezco a mis empleadores SAAB AB, Saab Aerosystems, Linköping, por permitirme ausentarme de mis tareas ordinarias para poder participar en el evento.

Referencias

- De Paula, Gabriel. «El control sobre los recursos naturales, la seguridad y el conflicto en los países de América del Sur». *Centro Argentino de Estudios Internacionales*, www.caei.com.ar; pp1-123 (2006)
- De Paula, Gabriel. «La evolución del conflicto por los recursos; un análisis desde los tiempos de la colonia hasta el presente

en América del Sur». *Centro Argentino de Estudios Internacionales*, www.caei.com.ar; working paper No. 3 (2005).

- Figueroa de la Vega, Francisco. «El mercado del gas natural en Venezuela», pp. 49-112 en *OLADE-CEPAL-GTZ*, Los mercados del gas natural en la comunidad Andina: desarrollo y perspectivas de integración (2001).
- Frères, Christian & Sanahuja, José Antonio, Ed. «América Latina y la Unión Europea. Estrategias para una asociación necesaria» Barcelona, Ed. Icaria, (2006)
- Friedman, T. «La primera ley de la Petropolitica». http://fp-es.org/indice_articulos/index_indice_jun_jul_2006.asp
- Isbell, Paul. «El gas: una cuestión conflictiva en América Latina». *ARI*, Nr. 48, pp 1-7, (2006)
- Internacional Crisis Group. «El incierto camino de las reformas en Bolivia». *Informe sobre América Latina*, Nr. 18, 3 de julio de 2006.
- Rebolledo, Andrés. «La nueva integración: gaseoducto sudamericano». *Foro*, Vol.: Sept., pp 22-24, (2005)
- Wagner, Allan. «Hacia una visión estratégica andina de la integración energética regional». *Intervención del Secretario General de la Comunidad Andina en la III Reunión del Consejo de Ministros de Energía, Electricidad, Hidrocarburos y Minas de la CAN*, Lima, 14 de julio de 2005.
- Zapater Duque, Esther. «La Unión Europea y la cooperación energética internacional» (2002).
- «Argentina Country Analysis Brief». <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/Argentina/NaturalGas.html>.
- «The Human Development Index». *Going beyond income*, Chile; http://hdrstats.undp.org/countries/country_fact_sheets/cty_fs_CHL.html
- «IPCC: Intergovernmental Panel on Climate». Changes: <http://www.ipcc.ch/>.
- «El informe Stern» elaborado por Nicholas Stern: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm

CARLOS M. MONREAL. es doctor en Microbiología de Suelos y Bioquímica por la Universidad de Alberta, Canadá. Es investigador y science advisor en el Eastern Cereal and Oilseed Research Centre de Agriculture and Agri-Food Canada. monrealc@em.agr.ca

LA UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS Y OTROS DESECHOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA, BIOCOMBUSTIBLES Y BIOPRODUCTOS

Resumen

Este artículo discute el uso de los residuos de biomasa no alimenticia (por ejemplo, desechos de animales, rastrojo de cultivos, desperdicios de alimentos y desperdicios municipales) para la producción de energía, biocombustibles y bioproductos. Actualmente el mundo afronta retos sin precedentes en materia de energía, medio ambiente y condiciones sociales, que influyen en la producción, suministro e incremento de precios en los alimentos y las fuentes de energía fósiles. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE), los combustibles fósiles suministran el 80 por ciento de la energía global (o 487 exajoules) y la biomasa representa la fuente de energía renovable más importante, proveyendo alrededor de un 9% (45 exajoules) de este total.

Para el año 2020, es posible que el 21 por ciento de las necesidades eléctricas a nivel mundial sea cubierto por la biomasa. Para el año 2050, el potencial de producción de energía por biomasa puede estar en un rango de hasta 400 exajoules, cuando el total de energía requerida a nivel mundial sea de un rango de hasta 1400 exajoules. La agricultura puede contribuir de una manera significativa a la producción de bioenergía a partir de la conversión de residuos agrícolas sin comprometer la producción, suministro o precios de los alimentos. Este artículo trata sobre el uso de tecnologías de punta para la cogeneración de energía con digestión anaerobia y combustión de residuos de biomasa como alternativas para producir bioenergía para hogares, comunida-



des, granjas e industria. También se discuten las tecnologías y equipos de gasificación y pirólisis, para la producción de biocombustibles y bioproductos en biorefinerías a partir de los residuos agrícolas, forestales y municipales. Dentro de los beneficios de la producción de bioenergía y biocombustibles está la seguridad alimentaria y energética, la bioseguridad, la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), la conservación de la calidad de suelo, agua y aire, y el fortalecimiento de economías rurales, agrícolas y forestales.

La investigación, el diseño e implementación de políticas públicas y la inversión de los recursos adecuados en investigación y desarrollo lograrán promover y estimular la producción de energía renovable limpia basada en el uso de la biomasa, para reducir así la dependencia energética en fuentes fósiles.

Energía, suministro de alimentos y medio ambiente

La sociedad humana y la vida en el planeta se entrelazan y se encuentran en un punto crítico. Hoy en día el mundo depende los combustibles de origen fósil para cubrir más del 80 por ciento de sus necesidades de energía. Estamos afrontando amenazas y retos sin precedentes en materia de producción y suministro de energía, e incremento en los precios de productos alimenticios y fuentes de energía fósiles, los cuales están asociados con la dependencia de nuestras economías en estas fuentes de energía y el aumento del precio del petróleo a nivel global. Una amenaza importante con consecuencias sociales es el cambio climático relacionado con el incremento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera y la pobre de calidad del aire debido a sustancias contaminantes también concentradas en ella. Globalmente hablando, la alta concentración de CO₂ es causada mayoritariamente por la quema de combustibles fósiles y en una menor medida por el cambio de actividades en el uso de la tierra.

Sin embargo, las sociedades humanas pueden usar los conocimientos adquiridos, experiencia e innovación para crear nuevas oportunidades

que aseguren una mejor calidad de vida para las generaciones presentes y futuras. Dentro de este contexto, la agricultura moderna puede jugar un papel primordial en la construcción de sociedades sostenibles, mediante la producción de alimentos y la producción y utilización de biomasa no alimenticia para la generación de energía, combustible y bioproductos, reduciendo así nuestra dependencia en combustibles fósiles. Este artículo define como biomasa de fuente no alimenticia aquella proveniente de residuos tales como el estiércol y purines de origen animal, animales muertos, residuos de cultivos y forestales, desperdicios alimentarios y basuras sólidas municipales. Por el contrario, la biomasa de fuente alimenticia es aquella que proviene de granos y es utilizada para el consumo humano y animal.

Alimentos y energía una aproximación integral a la agricultura

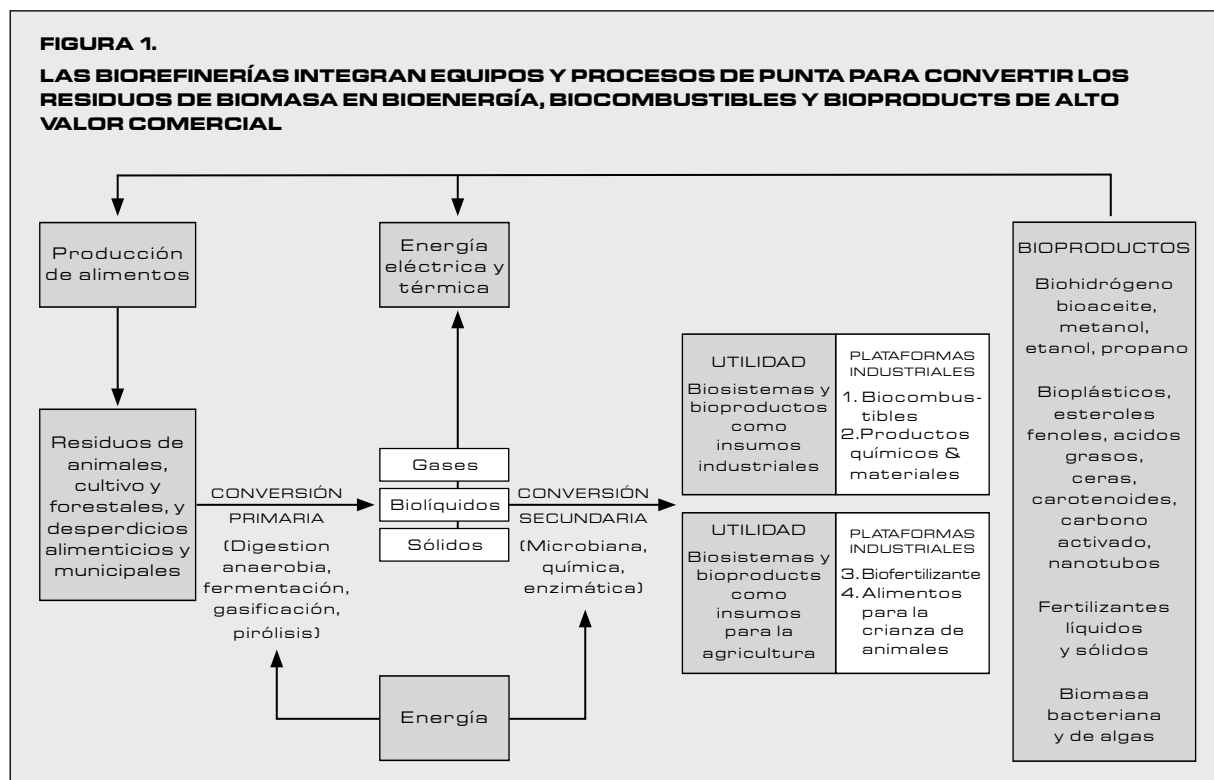
A principios del siglo XX la mayoría de las fuentes de energía y productos industriales provenían de biomasa. Por ejemplo, Henry Ford usaba etanol en su motor original, y el motor de Rudolph Diesel funcionaba con aceite de maní. Sólo a partir de 1920 el petróleo se convirtió en el combustible dominante en los sectores del transporte e industrial. Por más de ocho décadas nuestras economías se han apoyado en el petróleo como una fuente de energía económica y confiable. Sin embargo, la dependencia en la costosa energía fósil se está convirtiendo en un factor limitante para muchas economías emergentes y desarrolladas.

La agricultura ha venido afrontando retos significativos a medida que va adoptando nuevos e intensivos sistemas de producción para poder cumplir con la demanda de productos de bajo costo que le exige la sociedad. Históricamente, los agricultores y trabajadores del campo han adoptado prácticas que cambian y flexibilizan las condiciones económicas de producción con el objeto de maximizar las ganancias. A pesar de estos esfuerzos, y con el objeto de asegurar la competitividad del sector agrícola en el escenario mundial, la mayoría de los gobiernos en países desarrollados otorgan altos subsidios a este sec-

tor. En la actualidad, los nuevos avances en ciencia y tecnología pueden ayudar a implementar y adoptar medidas que integren la producción de alimentos en granjas con la instalación de biorefinerías en áreas rurales y así crear productos agrícolas con valor agregado, reduciendo entonces la necesidad de subsidios.

La agricultura goza de una posición única para poder satisfacer tanto las necesidades alimenticias como el suministro de energía en granjas, comunidades rurales, ciudades y en los sectores de transporte e industrial. La agricultura moderna y las comunidades rurales pueden adoptar

tecnologías de punta para producir alimentos y convertir la biomasa de residuos en energía renovable limpia, biocombustibles y bioproductos. La integración de los procesos de producción de alimentos con la instalación de biorefinerías en comunidades rurales, a diferentes escalas, ayudará a asegurar la alta competitividad de la agricultura y el acceso a bioproductos y subproductos agrícolas en mercados regionales y globales (figura 1). Por último, la producción integral de alimentos, biomasa, fibra y madera pueden hacer de la agricultura y la industria forestal el nexo para una nueva y sostenible revolución industrial.



Biomasa y producción de energía

La biomasa es una forma de energía solar almacenada en la materia orgánica de cultivos agrícolas, árboles y otras plantas, así como en la materia animal. Cuando las plantas crecen, la fotosíntesis usa la energía del sol para convertir dióxido de carbono atmosférico en carbohidratos, celulosa

y otras moléculas. En los ecosistemas, cuando las plantas y animales mueren, y en presencia del oxígeno, el proceso de descomposición de materia orgánica libera la energía almacenada en la planta o los tejidos animales más la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera para cerrar un



FOTOGRAFÍA: ATCONC / FLICKR.COM

ciclo que es neutro desde el punto de vista de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Por su parte, los humanos han convertido la biomasa en energía mediante su quema, para producir calor, para cocinar y más recientemente para su uso en procesos industriales durante miles de años. La biomasa es una materia prima versátil que puede usarse para la producción de energía eléctrica y termal, así como para la fabricación de biocombustibles para medios de transporte y bioproductos que se utilizan como materia prima en varias industrias como la química y farmacéutica. En la actualidad, la producción de calor y electricidad puede ser impulsada con biomasa, o través de la mezcla de biomasa con fuentes fósiles de combustible, proporcionando así una fuente confiable, eficiente y más limpia de energía. Existe una amplia variedad de fuentes de biomasa para la energía, que incluye pastos, cultivos para la energía, residuos agrícolas y forestales y los desperdicios de alimentos y municipales, los cuales son subproductos de la vida moderna. El

uso de la biomasa para generar energía no genera emisiones de carbono y puede, por lo tanto, realizar una contribución significativa para reducir las emisiones de GEI.

En general, la biomasa tiene el potencial de contribuir al suministro y seguridad energética. La Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que al comienzo de esta década el suministro de energía a nivel mundial era dominado por combustibles fósiles (388 exajoules [EJ] por año), con una contribución mucho menor de la energía nuclear (26 EJ) y la hidroeléctrica (28 EJ). La biomasa genera cerca de 45 ± 10 EJ, convirtiéndose en la fuente más importante de energía renovable. De acuerdo con la AIE, el potencial promedio de la biomasa como fuente de energía es de 200 a 400 EJ a nivel mundial y puede alcanzar hasta 1.100 EJ en el año 2050. Este potencial energético de la biomasa depende de factores que van desde la disponibilidad de residuos y tierra de menor calidad para cultivar plantas dedicadas a la producción energética, hasta unos escenarios

más optimistas donde la agricultura intensiva se concentra en regiones con clima óptimo y suelos de mejor calidad. La AIE estima que la demanda total de energía primaria (involucrando combustibles fósiles, fuentes de energía renovable y nuclear) podría variar entre 800 EJ y 1.400 EJ para el 2050.

En promedio, en la mayoría de los países industrializados la biomasa contribuye con menos del 10 por ciento del suministro total de energía. En algunos países desarrollados como Suecia, la proporción aumenta entre un 20 y 30 por ciento. Cerca de un 18,4 gigawatts (GW) de electricidad fueron instalados en países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), lo cual es cerca de un 1 por ciento del total de la capacidad de generación de energía en el año 2000. La fundación World Wide Fund for Nature (WWF) afirma que la biomasa puede suministrar el 9 por ciento de la demanda de energía primaria global y el 24 por ciento de la electricidad requerida a nivel mundial para el año 2020. Actualmente, y en términos relativos, el uso de la biomasa proveniente de cultivos y desperdicios animales genera seis veces más energía que los sistemas solares, geotermales y eólicos en Estados Unidos. En 2002, la biomasa suministró cerca del 47 por ciento de toda la energía renovable consumida en los Estados Unidos. De acuerdo con la WWF y la Asociación de Biomasa Europea (European Biomass Association), los países industrializados tienen más de 1.500 millones de hectáreas de cultivos y bosques, de las cuales cerca de 460 millones de hectáreas son tierras cultivables. Si un promedio de 1,25 millones de hectáreas de tierra cultivable fuera convertida en cultivos para la energía, la biomasa podría producir un 15 por ciento de la energía requerida en los países de la OCDE. Esta cantidad de hectáreas representa tan solo un poco más del 2 por ciento del total de la tierra en los países industrializados.

Es indispensable que dentro de las estrategias nacionales de energía renovable se cuente con evaluaciones objetivas y cuantitativas para determinar las oportunidades presentes y futuras de producción y conversión sostenible de biomasa, bioenergía, biocombustibles y bioproductos. Estas evaluaciones deben realizarse a nivel na-

cional, regional y local y deben tener en cuenta factores como el clima, los suelos, la geografía y la población entre otros factores. Es muy posible que la producción sostenible de biomasa como fuente de energía pueda alcanzarse con cambios modestos en el uso de la tierra y prácticas agrícolas y forestales. La agricultura juega un papel muy importante en la bioenergía y la bioseguridad en la medida en que es un gran productor de biomasa y residuos derivados de cultivos, cría de animales y procesamiento de alimentos. Este tipo de bio-economía genera nuevas oportunidades para los agricultores, trabajadores de la tierra y empresarios, y permite además el continuo y seguro abastecimiento de alimentos para los consumidores en el planeta.

Cogeneración de energía a partir de la conversión primaria de la biomasa

La cogeneración de energía o la producción combinada de electricidad y calor (Combined Heat and Power, CHP) se define como la producción de dos tipos de energía -comúnmente eléctrica y termal- a partir de una sola fuente de combustible. La cogeneración es una forma eficiente de recuperar calor y generar electricidad. En la agricultura, el tipo de combustible único puede ser el biogás, producido por la digestión anaerobia, o singas, producido a través de la gasificación o la combustión directa de la biomasa agrícola de fuente no alimenticia. El biogás es una mezcla de gases compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono. La gasificación de la biomasa produce singas, que es una mezcla de gases con contenido variables de metano, monóxido de carbono e hidrógeno. La cogeneración de energía a través de la gasificación de biomasa es un proceso práctico y alternativo, aunque no es objeto de discusión en este artículo.

Por ejemplo, la integración de digestión anaerobia para la producción de biogás con la producción de calor y electricidad en un sistema de cogeneración puede representar un ahorro importante en los gastos de producción de energía total en una granja dedicada a producción de carne o leche. En la actualidad, los avances tecnológicos en



los motores de combustión limpia de petróleo, así como las turbinas a gas y sistemas de recuperación del calor junto a sistemas de control, hace que la cogeneración sea práctica y económica para pequeñas y grandes aplicaciones de generación de energía en granjas o zonas rurales.

La digestión anaerobia (DA)

Este es un proceso biológico que ocurre naturalmente y es usado para el tratamiento de una amplia gama de desechos agrícolas, municipales e industriales. La digestión anaerobia (DA) es un proceso de producción neto de combustible y energía. El biogás es un combustible producido durante la DA mediante las bacterias metanogénicas, que descomponen los materiales orgánicos principalmente en ecosistemas y ambientes desprovistos de oxígeno. Un grupo numeroso de bacterias median en los procesos bioquímicos que convierten la biomasa en biogás. En términos generales, la materia orgánica compleja es hidrolizada en compuestos orgánicos simples como azúcar y aminoácidos por un grupo de bacterias «solubilizadoras». Otro grupo de bacterias convierte estas moléculas simples en dióxido de carbono, hidrógeno, amoníaco y ácidos orgánicos como el ácido acético. La conversión final catalizada por las bacterias metanogénicas involucra la conversión de estos ácidos orgánicos en biogás compuesto mayoritariamente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

El biogás producido por la DA contiene entre 60 y 70 por ciento de CH_4 , 20 y 25 % de CO_2 , y el resto consiste de hidrógeno (H_2) e impurezas como el ácido sulfhídrico (H_2S). El biogás puede ser utilizado como combustible en lugar de ser liberado a la atmósfera. El alto contenido de metano hace de éste una fuente excelente de energía renovable para reemplazar al gas natural y otros combustibles fósiles, y de esta manera ayuda a reducir las emisiones de GEI y otros contaminantes en la atmósfera. El biogás es usado típicamente en calderas y en motores de combustión interna o generadores de turbina para producir electricidad y calor. Las instalaciones de DA que producen biogás utilizan la electricidad y el calor localmente y el excedente eléctrico se exporta a

la red de energía eléctrica. La DA también produce un efluente con alto contenido de amoníaco y un subproducto sólido con alto contenido de fósforo. El efluente se puede utilizar como un biofertilizante de alto grado y el componente sólido se puede usar como un biofertilizante de menor grado nutricional para los cultivos.

Existen diferentes tipos de equipos de tratamiento anaerobios y los avances en estas tecnologías ocurren a medida que el interés en la misma se incrementa. Las tecnologías existentes varían en términos de extensión de tiempo requerida para el tratamiento de la biomasa (por ejemplo, residuos animales y de cultivos, residuos sólidos alimenticios y municipales), el tamaño, la configuración y la complejidad de los reactores, así como de la temperatura de la digestión. En general, un sistema de digestión aerobia consiste en un reactor, un componente para el manejo del biogás, otro para la producción de energía (cogeneración) y otro para almacenar la biomasa digerida. Las tres configuraciones más comunes para la digestión anaerobia son: laguna cubierta, flujo y tapón, y mezcla completa.

Las tecnologías de DA están disponibles comercialmente en Europa, Norte América, Asia y otros países para el tratamiento de los residuos a gran escala. La India y China han desarrollado equipos y tecnologías para granjas de menor escala. En general, los costos por animal para el establecimiento y operación de sistemas de tratamientos anaerobios disminuyen en operaciones de mayor escala. La economía de escala para la producción de biogás y energía a partir de los desechos de la ganadería podría ser mejorada con una mayor densidad de animales por granja, con áreas de producción intensiva construyendo instalaciones de tratamiento centralizadas y aceptando una variedad de residuos orgánicos provenientes de mataderos, la industria alimenticia y de desperdicios municipales.

Es posible producir bioenergía a partir de la utilización del biogás como combustible en países y regiones que cuentan con la disponibilidad de estiércol, otras fuentes de biomasa y desperdicios. Por ejemplo, en Canadá la producción anual de estiércol y purines de animales es de 160 millones de toneladas (Mt) y la proveniente de los residuos de cultivo es de 18 Mt. Cabe destacar que

solo una porción de estas cantidades (50 a 70 por ciento) queda disponible para su conversión en bioenergía, debido a pérdidas existentes durante la colecta y almacenamiento de los residuos. Los datos experimentales obtenidos en una planta de demostración piloto instalada en un «feedlot» de Alberta, muestra que el estiércol de 7.500 cabe-

zas de ganado alimentado diariamente al digestor produjo 66 m³ de biogás por m³ de estiércol, con un tiempo de retención hidráulica de 14 días. El promedio de producción de electricidad fue de 6.400 MW horas y 8.100 MW horas de energía térmica al haber operado dicha planta durante 350 días al año (figura 2).



HIGHMARK RENEWABLES INC.

FIGURA 2.

COGENERACIÓN DE BIOENERGÍA EN UN FEEDLOT DE ALBERTA, CANADÁ.

Este digestor opera a 55°C para convertir el estiércol animal en biogás y biofertilizante

La mayor parte de la electricidad en esta planta piloto fue exportada a la red eléctrica. Cerca del 30 por ciento de la energía termal producida fue usada para mantener el proceso de digestión anaerobia a 55 grados Celsius (termófilo), inclusive con temperaturas ambientales de 30 a 40 grados Celsius bajo cero en el invierno (<http://www.highmark.ca>). También se estimó que la reducción anual de la emisión de GEI fue de 6,3 Mt de CO₂, asociadas con el desplazamiento de fuentes de combustible fósil requeridas para producir cantidades equivalentes de energía. Esta última estimación no incluyó el potencial de reducción de las emisiones de GEI relacionado con: a) el reciclaje y desplazamiento de fertilizantes sintéticos por el biofertilizante; b) el aumento de la captura del carbono atmosférico en la materia orgánica del suelo y las reducciones en la emisión de óxido de nitrógeno (N₂O) de los suelos cultivados después de que el estiércol digerido es adicionado a las tierras cultivadas; y c) el evitar las emisiones de metano por el estiércol almacenado en lagunas, pilas o estanques. Hay otras tecnologías basadas en procesos de digestión anaerobia efectuada a 35 grados Celsius (mesófilo) y 22 grados Celsius (psicrófilo) que también están disponibles comercialmente

en países del continente americano, tal como lo hace HBS Energía en Chile y Bioterre en Canadá (<http://www.bioterre.com/>).

La cogeneración de energía a través de la producción de biogás está en diferentes etapas de desarrollo alrededor del mundo. En Canadá, el ministerio de agricultura y alimentos de Ontario (Ontario Ministry of Agriculture and Food, OMAF) estima que entre cinco y diez sistemas de DA para granjas podrían ser implementados en Ontario dentro de los próximos dos años y que más del 10 por ciento de todas las instalaciones de ganadería en Ontario podrían tener estos sistemas dentro de los próximos quince a veinte años. Predicciones similares se han hecho para el resto de Canadá, particularmente en la provincia de Alberta, donde hay una producción ganadera intensa. Dentro de las próximas décadas se anticipa que la digestión anaerobia será la opción de tratamiento del estiércol en un 60 por ciento de las nuevas instalaciones de ganadería y será remplazada en un 25 por ciento de las instalaciones ya existentes. Para el año 2025 la utilización de biogás en las granjas podría contribuir significativamente en la distribución de energía. En la actualidad, muchos países hacen esfuerzos para mejorar y crear nuevas tecnologías de procesa-



miento para reducir el costo de las tecnologías de DA.

En Alemania, la producción de bioenergía ha tenido un crecimiento sin precedentes debido especialmente a políticas gubernamentales. Miles de nuevos empleos han sido creados y relacionados con la producción de bioenergía a través de plantas de biogás y cogeneración de energía en base a la DA. Un interés similar en la DA existe en países de la Unión Europea, Estados Unidos, Argentina, Brasil, India, China y en aquellos integrantes del grupo de países llamado Metano al Mercado (Methane to Markets, www.methanetomarkets.org). La producción de bioenergía proveniente de biomasa agrícola en países como Chile aparece como una industria naciente y puede ofrecer grandes oportunidades para ayudar a tratar temas como su dependencia en combustibles fósiles y la actual crisis de escasez de energía. Algunos países, incluyendo Chile, ya han establecido objetivos específicos para alcanzar niveles de producción de energía renovable para los años 2010, 2020 y 2050.

Combustión de la biomasa

La conversión de la biomasa en electricidad ha sido realizada tradicionalmente mediante la combustión directa, seguida de un ciclo de vapor. La producción de bioenergía puede usar residuos orgánicos como combustible junto a calderas de recuperación, sistemas de turbinas a vapor para convertir diferentes fuentes de biomasa en electricidad y calor. Existen numerosas tecnologías de caldera para producir la combustión de la biomasa, incluyendo hornos de pila, calderas con encendido a fogón, calderas con encendido por suspensión y calderas de estrato fluidificado.

En los hornos de pila, la biomasa se coloca en montones en un horno y la combustión se realiza con la ayuda del aire que proviene de la parte inferior y superior de los montones. Esta tecnología es de combustible flexible y requiere un diseño muy simple, pero el sistema tiene una baja eficiencia y poco control de la combustión. Las calderas con encendido a fogón incluyen un sistema de alimentación de combustible el cual coloca una capa de combustible en una rejilla

relativamente pequeña y distribuida en forma más uniforme que en los hornos de pila. Estos tipos de calderas poseen rejillas fijas inclinadas y rejillas transportadoras por vibración, las cuales tienen sus ventajas y desventajas. En la rejilla fija inclinada, la biomasa se quema a la medida que el desplaza hacia abajo por la inclinación. En calderas con rejilla fija se es difícil controlar el proceso de combustión y hay un riesgo de avalancha del combustible. Las calderas con rejilla móvil y vibradora poseen una mejor combustión y el combustible es alimentado en un lado de la rejilla. La eficiencia en el proceso de quema de la biomasa es también mayor que con la rejilla inclinada fija debido a la pequeña capa de combustible depositada en la rejilla. En la caldera con rejilla vibradora, el combustible es alimentado de manera uniforme en toda la rejilla debido a su movimiento de sacudida. Como este tipo de rejilla tiene menos partes móviles que la rejilla transportadora, su costo de mantenimiento es menor. El proceso de combustión está siendo mejorado continuamente y en muchos casos es posible crear térmicamente bajas emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Las calderas con encendido por suspensión alcanzan altas eficiencias de hervor debido a que el combustible se dispara en pequeñas partículas cuando ellas son puestas en la caldera. Este sistema es comparable con la tecnología de la pulverización del carbón, pero la biomasa requiere un tratamiento intensivo antes de ser usada como combustible. Las calderas de estrato fluidificado aceptan una variedad de fuentes de combustible y la eficiencia en la combustión es bastante alta. En estos sistemas, la alta velocidad del aire de combustión que proviene de la parte inferior de la caldera hace que las partículas de combustible se agiten y hagan burbujas. Una de las ventajas de este sistema es que el proceso de fluidificación es su requerimiento de bajo capital para producir electricidad a escalas modestas (menos de 20MWe). Este sistema de fluidificado tiene una mejor eficiencia en la quema de carbono y de absorción de gases ácidos. Estos sistemas pueden controlar las emisiones de NO_x mediante la combustión a bajas temperaturas y reducir las emisiones de óxido de azufre (SO_x) cuando se encienden en forma conjunta con combustibles

fósiles (por ejemplo, carbón). Una de las desventajas de este sistema es la alta capacidad de ventilación requerida para proporcionar el aire fluidificado.

En el pasado, las plantas de energía en base a biomasa eran vistas como una forma para deshacerse de materia orgánica, lo que resultó en la instalación de plantas de baja eficiencia. En las últimas décadas, y debido a las presiones que ha generado el incremento en los precios de combustibles fósiles, se han desarrollado plantas más eficientes para su combustión. Este nuevo desarrollo tecnológico permite que la eficiencia de combustión de la biomasa sea similar a la que presentan los nuevos sistemas de combustión basados en el uso de combustibles fósiles. De acuerdo con la Asociación Europea de la Industria de la Biomasa (European Biomass Industry Association) la combustión directa de la biomasa sólida incluye sistemas que varían desde pequeñas estufas caseras (1 a 10 kW) hasta grandes calderas usadas en plantas de energía y cogeneración-CHP (más de 5 MW). Las calderas pequeñas incluyen sistemas de 10 a 50 kW utilizados principalmente en hogares para calefacción. Las calderas de tamaño mediano (50-150 kW) se utilizan en unidades multifamiliares o en sistemas de calefacción de edificios. Las grandes calderas (150 a 1 MW) se usan en la generación de calor a nivel distrital.

Plantas que utilizan la combustión de biomasa a escalas mayores de 10 MWe operan en Norte América y en los países europeos del norte. Por ejemplo, un estudio de veinte plantas de biomasa ubicadas en Estados Unidos, Canadá y Finlandia muestra que la capacidad asociada de instalación de generación de electricidad varía entre 10 a 50 MWe y la cantidad de electricidad generada anualmente desde estas plantas está en un rango de 53 a 560 GWh. Estas plantas han sido construidas para proveer energía a fábricas, industrias manufactureras y áreas urbanas y utilizan los residuos forestales, agrícolas y de madera como combustibles. Las plantas de biomasa con co-combustión de carbón alcanzan niveles de calor equivalentes a un poco menos de 11.000 Btu/kWh en la porción de combustible de biomasa, comparada con los 9.818 Btu/kWh producidas por solamente el carbón. Una ventaja del proceso de co-combustión de la biomasa con

fuente fósil de combustible es el establecimiento de estaciones generadoras de electricidad de gran escala (más de 100 MWe), en lugares donde hay un acceso limitado a las fuentes de biomasa.

Actualmente, la combustión de residuos agrícolas, forestales y municipales contribuye a la producción de bioenergía en la industria de pulpa y papel, del acero y aluminio, invernaderos y también para áreas residenciales. En Canadá y Estados Unidos, la combustión de residuos agrícolas como el pasto para o erguido (*Panicum virgatum*), el cual produce gran cantidad de biomasa, solo o combinado con otras fuentes de biomasa ha despertado interés entre la industria de invernaderos y en granjas individuales. El establecimiento y la demostración de plantas pilotos para la producción de bioenergía en base a la combustión de biomasa de tamaño pequeño y grande son claves para el desarrollo de esta industria en áreas rurales. Estas plantas de bioenergía ayudan también a compensar las emisiones de gases de efecto invernadero producto del consumo de electricidad derivada del uso de combustibles fósiles. Estas plantas generadoras de energía entregan los mismos beneficios asociados con la «energía distribuida», suministrando electricidad a áreas rurales o tradicionalmente remotas.

El aumento de la capacidad de cogeneración de bioenergía en base a biomasa requiere cantidades de producción adicional de esta materia prima. Una opción para aumentar la cantidad requerida de materia prima es mejorando la eficiencia de secado y densificación de la biomasa antes de su combustión. Igualmente, los residuos forestales que se dejan en el suelo forestal y los residuos de los cultivos agrícolas que quedan después de las cosechas en las tierras cultivadas son recursos importantes de combustibles. En general, la biomasa y los residuos de desperdicios son considerados fundamentalmente para uso local como combustibles con bajas densidades de energía comparados con los combustibles líquidos. Es así que los costos de transporte de la biomasa se vuelven significativos más allá de los treinta kilómetros y son usualmente prohibidos más allá de los 160 kilómetros. En cambio, las comunidades con fácil acceso a fuentes de biomasa se pueden beneficiar enormemente de las tecnologías de cogeneración para suplir la demanda de energía



calórica y eléctrica. La tasa de adopción de estas tecnologías se puede incentivar y aumentar mediante el establecimiento de plantas piloto en varias regiones de los países para dar suficiente confianza a los consumidores, varios niveles de gobierno, agencias reguladoras, proyectos de desarrollo e instituciones financieras y aseguradoras.

Es evidente que muchos sectores de la economía se beneficiarán de las tecnologías modernas de combustión para la bioenergía. En las áreas con menos abundancia de biomasa agrícola y forestal, la co-combustión con otras fuentes de biomasa (por ejemplo, residuos de desperdicios sólidos municipales) pueden ser alternativas viables para suplir parte de la energía industrial. Dentro de los beneficios económicos de la co-combustión se incluyen bajos costos operacionales y una mayor seguridad en materia energética. Obviamente, y desde un punto de vista de sostenibilidad ambiental, las plantas de energía en base solo al uso de la biomasa son preferibles. Los sistemas de combustión flexibles de biomasa adquieren importancia en regiones geográficas que tienen a su disposición un rango variado de residuos agrícolas y forestales y otras fuentes como los residuos municipales, grano destilado o biomasa con alto contenido de lignina. Hoy en día, los sistemas avanzados de energía basados en el uso de biomasa deben cumplir con altas eficiencias de conversión y límites estrictos de emisión de gases a la atmósfera.

Biocombustibles

producidos por la conversión de biomasa agrícola

Plantas, granos, aceites y los residuos animales y municipales son las fuentes principales de biomasa para la preparación de biocombustibles. Los biocombustibles pueden ser producidos a partir de la biomasa por fermentación enzimática, procesos microbianos y procesos físico-químicos. Actualmente en países como Canadá y los Estados Unidos la mayoría de los biocombustibles (por ejemplo, etanol y biodiesel) son derivados de granos de maíz, canola, soja y aceites animales. En Europa, se ha estimado que el consumo

compartido de biocombustible fue cerca del 1,8 por ciento en 2006, pero puede crecer rápidamente debido a la legislación de Unión Europea (UE). En enero de 2007 la Comisión Europea publicó un mapa de proyección para la energía renovable, el cual establece una meta de uso en el transporte del 10 por ciento de biocombustibles para el año 2020. Por otro lado, el gobierno canadiense acaba de aprobar una regulación que requiere que la gasolina contenga en promedio un 5 por ciento de combustible renovable (por ejemplo, etanol) para el año 2010. El gobierno de Estados Unidos (EE.UU.) ha establecido los estándares obligatorios de combustible (Mandatory Fuels Standard, MFS) que requieren 35 billones de galones (132 mil millones de litros) de combustibles renovables y alternativos para 2017. Esta última meta es casi cinco veces mayor que la meta fijada en la misma ley para el año 2012. Para el año 2017 el sistema MFS de Estados Unidos ayudará a reemplazar en un 15% el uso anual de gasolina proyectado.

Se considera que Brasil es el líder en la producción de biocombustibles y tiene la primera economía sostenible en la producción del etanol a partir de la caña de azúcar. Este país es el segundo productor de biocombustible y el mayor exportador de etanol a nivel mundial. En 2006, Brasil produjo 16,3 mil millones de litros (4,3 billones de galones líquidos), lo que representa un tercio de la producción mundial de etanol y un 42 por ciento del total de etanol usado como combustible a nivel mundial. Este país ha decidido aumentar su producción de etanol al doble para la próxima década. En Brasil, la producción de etanol de caña de azúcar es de 7.500 L/ha versus 3.000 L/ha a partir del grano de maíz en Estados Unidos.

Todo plan nacional o internacional para incrementar la producción de biocombustible de granos o caña de azúcar requiere la conversión de una parte de la tierra agrícola que hoy es destinada a la producción de alimentos para la producción de cultivos de energía. Esto último debe ser acompañado además de un incremento significativo en el uso eficiente de fertilizantes y en un mayor rendimiento de cultivos para prevenir consecuencias adversas en materia ambiental (por ejemplo, el aumento en las emisiones

de GEI, contaminación del agua por exceso de nutrientes) y en materia social (por ejemplo, la escasez de alimentos y aumento en sus precios). Por lo tanto, la producción sostenible de alimentos y de biomasa para combustible deben ser consideradas conjuntamente incluyendo análisis de niveles de riesgo asociados con fallas en la producción de cultivos y suministro de alimentos debido a condiciones climáticas adversas, como también bajo escenarios de cambio climático. Hoy, la producción de etanol a partir de granos es considerada como uno de los factores que afecta la escasez de alimentos y el aumento de sus precios, especialmente cuando condiciones climáticas adversas han afectado grandes extensiones de tierra productoras de granos en Ucrania, Estados Unidos y Australia en 2007.

Un estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía (AIE) indica que el uso de la biomasa como combustible puede reducir las emisiones de GEI a la mitad para el año 2050. Para esa fecha, el uso de combustible a partir de la biomasa estaría al mismo nivel que se encuentra el actual uso del petróleo. La mitad de dicho nivel de biomasa provendría de residuos y otros subproductos orgánicos y la otra mitad provendría de cultivos para la energía plantados en tierras de baja calidad. Este último escenario considera unas 150 millones de hectáreas de tierra, lo cual es alrededor de un cuarto de la tierra cultivable de Estados Unidos. Claramente, la disponibilidad de tierra para cultivos dedicados a la producción de fuentes de energía es un factor limitante para la cantidad de biocombustible que se pueda producir. El Grupo 37 de la AIE informó recientemente que en una hectárea de tierra se puede cultivar suficiente biomasa para producir una cantidad de biocombustible que sirva para el transporte de un automóvil por varios miles de kilómetros. Por ejemplo, un automóvil podría movilizarse por 67.000 Km/ha utilizando el biometano, 23.000 Km/ha utilizando el biodiesel y 22.000 Km/ha utilizando bioetanol.

Es claro, que toda política racional sobre la producción de los biocombustibles debe estar basada en la maximización de la cantidad de energía producida por hectárea para minimizar el conflicto potencial entre el uso de la tierra para alimentos y el uso de igual superficie de tierra

para la producción de cultivos para la energía. Igualmente deberán formularse estrategias a nivel local, regional, nacional e internacional para fomentar y apoyar el aumento de la producción de biocombustible a partir de residuos de biomasa. A medida que esto ocurra, nuestra sociedad deberá favorecer el desarrollo de nuevas fuentes de cultivos con alto rendimiento de residuos y con un uso bajo y más eficiente de insumos como son los fertilizantes, herbicidas, plaguicidas e irrigación. La producción de alimentos utiliza hoy altas cantidades de insumos los cuales pueden tener efectos adversos en el medio ambiente y salud. Será necesario mejorar sustancialmente la eficiencia de uso de estos insumos para evitar o reducir la contaminación ambiental con el uso más intenso de ellos en la producción de biocombustibles.

Producción de etanol a partir de la celulosa

Los avances científicos y tecnológicos durante la última década han creado nuevas oportunidades para la producción de biocombustible de fuentes no alimenticias. Estos avances incluyen una fermentación enzimática eficiente de la celulosa, la gasificación y pirólisis de residuos agrícolas y forestales, madera y basuras municipales. El uso de residuos agrícolas, forestales y municipales como fuentes para la producción de biocombustibles debería contribuir significativamente a una economía sostenible y una vida de mejor calidad en nuestro planeta. Los residuos de biomasa están disponibles en forma amplia alrededor del mundo.

Se espera que la producción y suministro de etanol continúen derivándose de granos hasta el año 2010, cuando la celulosa pudiera convertirse en una materia prima alternativa a dichos granos. Se espera que en Canadá la producción convencional de etanol basada en granos alcance la cantidad de 1.400 millones de litros para 2010. También se proyecta un mayor número de plantas capaces de producir 1.500 millones de litros de etanol a partir de la celulosa en 2025. En comparación a los granos, la utilización de biomasa con alto contenido de celulosa para la producción de etanol tiene un bajísimo costo ambiental



y no entra en competencia con la producción de granos para consumo humano. Iniciativas industriales recientes demuestran que mediante la construcción de una planta comercial que operará en el occidente de Canadá antes de 2010, se podrá producir anualmente 150 millones de litros de etanol a través de la fermentación enzimática del rastrojo del trigo (www.iogen.ca). Los residuos forestales de maderas blandas pueden igualmente fermentarse para convertirse en etanol o transformarse en productos químicos en biorefinerías. En Westbury, Quebec (en el oriente del Canadá), se están construyendo plantas de demostración a escala comercial para producir 5,7 millones de litros de etanol proveniente de madera urbana tratada con creosota a través del proceso de la gasificación. Esta última planta comenzará a funcionar en el otoño de 2008 (www.enerkem.com). Enerkem junto a Greenfield Ethanol y la municipalidad de la ciudad de Edmonton en Canadá, acaban de firmar un acuerdo por 25 años para construir la primera planta en el mundo para producir anualmente 36 millones de litros de biocombustibles (metanol y etanol) a partir de la gasificación de las basuras municipales sólidas clasificadas. La tecnología propiedad de Enerkem es capaz de producir 360 litros de etanol a partir de una tonelada de material seco, lo que equivale a conducir un vehículo por una distancia aproximada de 2.500 kilómetros. Otras materias primas que pueden utilizar esta última tecnología son las maderas de demolición y tratadas, rastrojo de trigo, residuos forestales y basuras municipales. Se estima que los biocombustibles producidos en esta planta contribuirán a reducir las emisiones de GEI en más de 6 millones de toneladas métricas en la provincia de Alberta dentro de los próximos 25 años. Lo último es equivalente a remover 12.000 autos de las calles cada año.

Es necesario y posible reducir los costos de producción del etanol aún más a través del apoyo de programas de investigación y desarrollo. La innovación juega un papel muy importante en el desarrollo de catalizadores biológicos y químicos eficientes para la conversión de la biomasa en materiales valiosos y combustibles renovables. Los sistemas de biocombustibles basados en la conversión enzimática, hidrólisis química y

procesos físico-químicos deberán coexistir en las biorefinerías para convertir las fuentes de celulosa con lignina (por ejemplo, residuos forestales y agrícolas) en azúcares y alcoholes. Se espera que la investigación ayude a desarrollar y mejorar los nuevos procesos biológicos, químicos y termoquímicos, así como nuevos equipos que ayudarán a aumentar la eficiencia y a reducir los costos de producción.

Producción de bioaceites a través de la pirólisis

La pirólisis es un proceso termoquímico que puede convertir la biomasa a líquidos (bioaceites), gas sintético y biochar. Este último es un subproducto altamente carbonizado. El proceso de conversión se realiza en una cámara de reacción entre 450° y 500 °C en ausencia de oxígeno y la materia orgánica volatilizada se condensa en un líquido (bioaceite), el cual puede ser utilizado como combustible o fuente de compuestos químicos de alto valor comercial. Estos compuestos químicos sirven de materia prima a la industria farmacéutica, química, de alimentos, nutracéutica y cosmética.

El proceso de conversión de biomasa puede ser optimizado para la maximización en la producción de bioaceites, biochars o gases sintéticos dependiendo del tipo de proceso pirolítico y composición química de la biomasa. Los bioaceites son producidos a partir de una variedad de residuos orgánicos incluyendo los agrícolas y forestales y las basuras sólidas municipales. Otras materias primas no-alimenticias para la producción de bioaceites incluyen los residuos de plantas con alto contenido de lignina, desechos de granos secos obtenidos de los destilados de granos de maíz para producir alcoholes etílicos, los subproductos sólidos secos de los digestores anaerobios y también los residuos de cultivo. La producción de bioaceites y sus subproductos a través de la pirólisis de los residuos provenientes de la producción avícola, ganadera y de los residuos sólidos municipales son una estrategia de utilización alternativa de la biomasa a los procesos de composteo, incineración y despojo de materiales orgánicos en vertederos municipales

y sanitarios.

En comparación con la biomasa original, los bioaceites tienen densidades de energía más altas -y menores costos de transporte-, así como características de combustión más predecibles. Los bioaceites y el gas sintético pueden ser utilizados en turbinas, tal como lo ha demostrado la corporación Orenda Aerospace, quien ha operado su turbina de 2,5 MW con un bioaceite (<http://www.dynamotive.com>). Sin embargo, la utilización de bioaceites en motores de combustión interna requiere de un refinamiento de estos líquidos a combustibles de alto octanaje. La pirólisis de la biomasa y la re-pirólisis del bioaceite pueden producir gases no condensables como el etileno, propano y propeno. La composición química y valor energético de los bioaceites varían de acuerdo con su fuente original. Los bioaceites tienen un alto contenido calórico de entre 17 y 20 MJ/Kg, valores similares a los del propano. Muchos bioaceites pueden tener contenido más bajo de nitrógeno y azufre que el petróleo. La producción de un bioaceite de calidad uniforme requiere un tratamiento de las fuentes de biomasa que incluyen el secado, la reducción del tamaño de las partículas y la homogenización de la biomasa, especialmente si estas son mezclas heterogéneas. El secado de la materia es también importante para producir bioaceites sin agua.

Los sistemas de pirólisis pueden ser diseñados y manufacturados a la escala deseada. Los sistemas pequeños de pirólisis que son capaces de procesar ≤ 1 tonelada diaria de biomasa se acomodan mejor a las granjas agrícolas pequeñas (<http://www.advbiorefineryinc.ca>). Los equipos pequeños pueden ser transportados hasta donde se al-

macena la fuente de biomasa y son especialmente útiles cuando la cantidad disponible de biomasa es baja. La ventaja de equipos pequeños para producir bioaceite es la densificación energética de la biomasa en las mismas premisas agrícolas, en lugar de despachar la biomasa en su forma sólida de baja densidad. La distancia económica para el transporte de los bioaceites es típicamente de 8 a 10 veces mayor que el de la viruta de madera o rastrojos de cultivo. Los sistemas de pirólisis de mayor tamaño son aptos para granjas y comunidades rurales con requerimientos mayores de producción energética y procesamiento de desechos orgánicos. El desarrollo e implementación de estándares específicos técnicos para el bioaceite por parte de agencias reguladoras de gobierno harán que la producción y uso de los bioaceites sean más atractivos en un futuro cercano.

Algunas compañías canadienses que están a la vanguardia en las tecnologías para la producción de aceites pirolíticos han desarrollado equipos y procesos con aplicación industrial. Un proceso de pirólisis termal rápido se aplica para producir bioaceites a partir de la madera y para el refinamiento de petróleo (www.ensyn.com). Otra compañía con tecnología propia utiliza un proceso de pirólisis rápido para convertir desperdicios secos de biomasa forestal en bioaceites, de forma de generar electricidad y calor o productos químicos de alto valor comercial (www.dynamotive.com). Una tercera compañía desarrolla y comercializa plantas transportables de pirólisis rápida utilizables para la generación de combustible y productos químicos en operaciones forestales y granjas agrícolas pequeñas (figura 3) (www.advbiorefineryinc.ca).

En la actualidad, el bioaceite producido a través



ADVANCED BIOREFINERIES INC.

FIGURA 3.
UNA PLANTA DE PIRÓLISIS PORTÁTIL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOACEITES, GAS SINTÉTICO Y BIOCHAR A PARTIR DE LA CONVERSIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS



de pirólisis derivado del estiércol de pollo ha sido probado en quemadores para la calefacción en granjas de animales. Es necesario que nuestra sociedad apoye la investigación y desarrollo para que la tecnología de pirólisis de la biomasa siga avanzando. Por ejemplo, la estabilización y el refinamiento del bioaceite permitirán su uso como un combustible de alta calidad para motores de combustión interna. La aplicación del hidrotratamiento y nanocatálisis podrían producir un combustible de alta calidad para el transporte a partir de los bioaceites crudos. Vale la pena destacar que en el proceso de refinamiento de algunos bioaceites obtenidos de residuos agrícolas con alto contenido de nitrógeno (como el estiércol de pollo) se puede también llegar a recuperar el nitrógeno y otros elementos nutritivos como el fósforo y azufre, los cuales pueden ser reciclados en tierras cultivables. Desde un punto de vista social, la producción y uso de los bioaceites provee nuevas oportunidades de trabajo y desarrollo económico para las comunidades rurales. Desde un punto de vista ambiental, la pirólisis de la biomasa contribuye a reducir las emisiones de GEI y protege los recursos naturales de suelo, agua y aire al evitar su contaminación con un exceso de nutrientes, agentes biológicos y compuestos químicos que pueden estar contenidos en los estiércoles y otros desperdicios.

Biorefinerías

Se puede definir una biorefinería como una instalación que integra equipos y procesos de conversión primaria y secundaria de la biomasa para producir energía eléctrica y térmica, biocombustibles y bioproductos con valor agregado (Figura 1). El concepto de biorefinería es análogo a las refinerías de petróleo, las cuales producen múltiples combustibles y productos derivados. Así como las refinerías de petróleo, las biorefinerías son vistas como instalaciones industriales que convierten una variedad de biomasa en diferentes tipos de bioproductos. Mediante los bioproductos y sus derivados, la biorefinería toma ventaja de las condiciones físicas y químicas de la biomasa para maximizar el valor de ésta mediante el cambio de una mezcla de los bioproductos

terminados para adecuarse al dinamismo de las condiciones del mercado. En las biorefinerías, la extracción secundaria y los procesos de separación y síntesis son esenciales para la producción y comercialización de compuestos químicos de alto valor comercial.

La Figura 1 indica que la bioenergía y biocombustibles tales como hidrógeno, metanol, etanol, propano y otros compuestos químicos de alto valor -como el polihidroxibutirato (polímero para la fabricación de bioplásticos), fenoles y ceras- representan ejemplos de los productos finales de una biorefinería. La Figura 1 muestra que la biomasa de algunos de los agentes biológicos que catalizan reacciones secundarias de conversión (por ejemplo, bacterias y algas) pueden ser utilizados como alimentos en la producción animal. Otros bioproductos terminados con uso potencial en la agricultura y el medio ambiente incluyen a los biofertilizantes y biochars para ser usados como fertilizantes de liberación lenta o enmiendas de suelos agrícolas o forestales. El establecimiento de las biorefinerías lleva como consecuencia un aumento de la seguridad energética, la diversificación necesaria para una bioeconomía sostenible y la reducción de emisiones perjudiciales para el medio ambiente. De acuerdo con el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (National Renewable Energy Laboratory) en Estados Unidos, las biorefinerías industriales han sido identificadas como la ruta más prometedora para la creación de nuevas bio-empresas domésticas.

La investigación y desarrollo juegan un papel esencial en el desarrollo y uso de equipos y procesos innovadores utilizados en las biorefinerías. Investigadores en laboratorios de gobierno y universidades están desarrollando procesos de conversión secundaria para explotar la energía y propiedades físico-químicas contenidas en los sólidos, líquidos y gases obtenidos durante la conversión primaria de la biomasa (Figura 1). Por ejemplo, la Figura 4 indica que los bioaceites derivados por pirólisis del estiércol de pollo contienen más de 500 compuestos químicos, muchos de ellos utilizados como insumos por la industria química, farmacéutica y cosmética. Esfuerzos realizados por científicos en los laboratorios de investigación del Ministerio de Agricultura y Agroalimentos del Canada, en conjunto con

la Universidad de Ottawa y la Universidad de Rostock en Alemania, se enfocan en la caracterización química de estos compuestos como también en el desarrollo de procesos de extracción,

separación y purificación de algunos de los compuestos con alto valor comercial presentes en el bioaceite (Figura 5).

Otros ejemplos de procesos de bioconversión

FIGURA 4.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA DE MASA DE UN BIOACEITE DERIVADO DE LA PIRÓLISIS DEL ESTIÉRCOL DE AVE. CADA LÍNEA VERTICAL REPRESENTA UN COMPUESTO ÚNICO.

Varios compuestos en estos bioaceites tienen un alto valor comercial (Investigación realizada por C.M. Monreal en laboratorio de Agriculture and Agri-Food Canada, 2008)

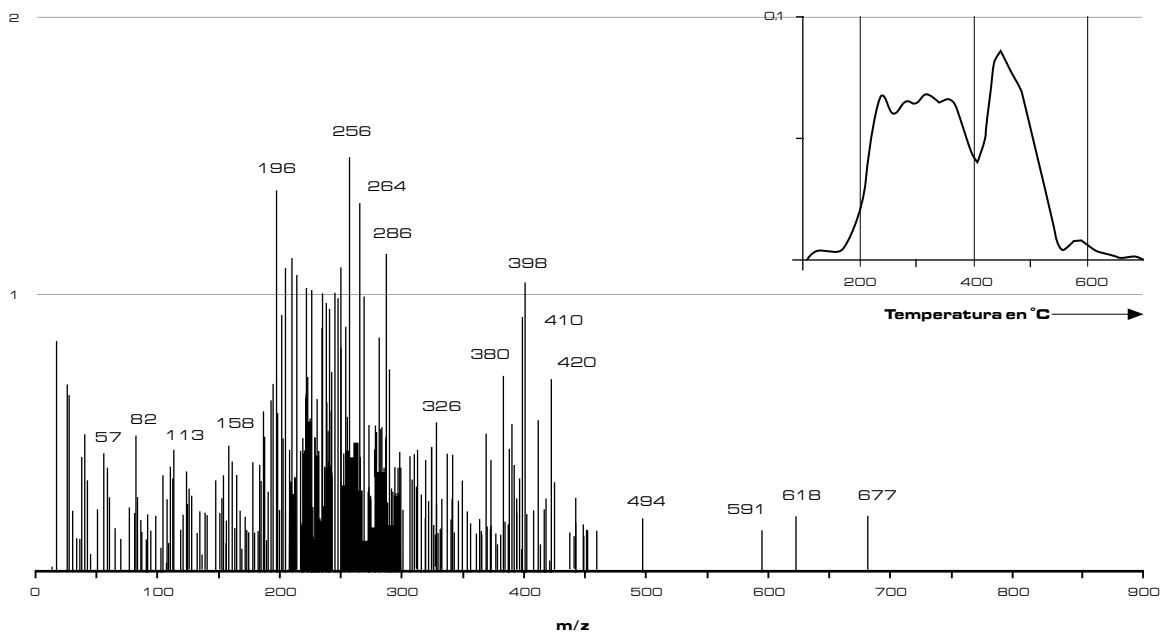


FIGURA 5.

SE UTILIZAN VARIAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA RECUPERAR, SEPARAR Y PURIFICAR LOS COMPUESTOS QUÍMICOS CON VALOR AGREGADO DE LOS BIO-ACEITES. UNA DE ESTAS TÉCNICAS ES LA CROMATOGRFÍA DE COLUMNA. (Investigación realizada por C.M. Monreal en laboratorio de Agriculture and Agri-Food Canada, 2008)



secundaria de los residuos agrícolas tienen que ver con la utilización de las bacterias metanotróficas para convertir el gas metano en metanol, un biocombustible, y una variedad de productos químicos. El metano, un GEI, es un componente del biogás producido por la digestión anaerobia y también del gas sintético producido por la gasificación o pirólisis de residuos orgánicos. El metano también se produce en los vertederos municipales en forma abundante. Los procesos de conversión biológicos y químicos del metano a productos comerciales con valor agregado son parte de lo que se denomina la economía del metanol. Las bacterias metanotróficas y metilotróficas pueden ser utilizadas para convertir el metanol a polímeros como el polihidroxibutirato (PHB) o el polihidroxialcanoato (PHA), los cuales son utilizados en la producción de plásticos biodegradables. Otros investigadores también están desarrollando vías para convertir el recurso biomasa en productos útiles, usando avances en la genética de las plantas para desarrollar cultivos diseñados especialmente para uso en biorefinerías.

Existen algunas grandes industrias que ya están produciendo y utilizando tecnologías y bioproductos provenientes de la biorefinería. Por ejemplo, la corporación Toyota Motor fabrica plásticos a partir de las papas dulces o batatas y otros cultivos para su uso en componentes de automóviles. Dupont ha desarrollado una familia de polímeros hecha de azúcares derivados del maíz (1,3-propanediol, PDO) que puede utilizarse en fibras y plásticos.

Beneficios asociados con la bioenergía, biocombustibles y bioproductos

En general, la adopción de tecnologías y procesos de conversión de los residuos agrícolas, forestales y municipales para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos protege la salud de los humanos, los recursos naturales (suelo, agua y aire) y la vida silvestre, así como también contribuye a reducir los insumos químicos para la producción de alimento y fibra. Dentro de los

beneficios claves para el medio ambiente se incluye la reducción de emisión de GEI (como las emisiones de CO₂), debido a la sustitución de fuentes de energía fósiles por las renovables para producir electricidad, calor y combustibles alternativos en base a la biomasa no alimenticia.

La protección a los seres humanos y la vida silvestre se da mediante la conversión de los estiércoles animales a formas energéticas y bioproductos diversos. Esta conversión permite reducir el riesgo de contaminación del agua y aire con patógenos como el E. Coli 0157, la Salmonella y Campylobacter, así como por la adición excesiva de nitrógeno y fósforo de los estiércoles a los suelos cultivables. La conversión de la biomasa a productos útiles ayuda en prevenir la contaminación del agua con sustancias provenientes del estiércol animal que interrumpen el sistema endocrino o que crean resistencia a los antibióticos, lo cual contribuye a mejorar el nivel de bio-seguridad tanto en las zonas rurales como urbanas.

Subproductos derivados de la conversión primaria de residuos de biomasa, como el biochar, permiten el reciclaje de nutrientes en los suelos cultivados. En forma adicional, el uso del biochar como enmienda o reparador de suelos ayuda a la captura del carbono atmosférico en los suelos agrícolas (lo cual ayuda a la reducir las emisiones netas de GEI), mejorando la fertilidad y previniendo la erosión de suelos. El biochar también puede ser transformado en carbón activado para la filtración de contaminantes en las aguas y la retención de metales pesados originados en los desechos de la industria minera. Los beneficios económicos y sociales asociados con la conversión de los residuos ya han sido descritos en las secciones anteriores de este artículo.

Políticas públicas y actores claves

El desarrollo de fuentes de biomasa y la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos a partir de ella requiere de políticas públicas claras y esfuerzos complementarios de muchos actores. Dentro de los actores claves que influyen en la adopción de tecnologías innovadoras se cuenta a los proveedores de tecnologías; va-

rios niveles de gobierno (nacional, regional, municipal); investigadores e ingenieros de gobierno, universidades y sector privado; asociaciones de agricultores y trabajadores del campo; cooperativas; fondos de inversión de capital y compañías de seguros. La participación de los productores agrícolas junto a los productores y distribuidores de electricidad y biocombustibles son esenciales para el éxito de nuevas políticas nacionales.

La adopción de tecnologías innovadoras para la conversión de biomasa y su adopción en granjas o zonas rurales depende de numerosos factores, como, por ejemplo, la disposición de capital para inversión, la rentabilidad, la disponibilidad de biomasa o residuos, el tamaño de la granja y la diversidad en los sistemas de producción, suelos y factores climáticos. Igualmente, la adopción de estas tecnologías es afectada por otros factores tales como los riesgos económicos y la capacidad de los programas de transferencia tecnológica para adaptar las nuevas tecnologías a condiciones regionales y locales.

Es importante establecer políticas conducentes a la producción de alimentos integrada con la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos. Todos los niveles de gobierno, a través de leyes y estándares regulatorios, pueden facilitar la producción y el uso de la biomasa para la producción de energía renovable. Se deben formular políticas públicas claras y estables de acuerdo con las realidades nacionales y regionales junto con estándares reguladores o guías para la producción, manejo, tratamiento y conversión de residuos agrícolas, forestales y de otro origen. Las leyes nacionales o provinciales que tratan el tema de las energías renovables - como las aprobadas en Alemania, Chile, la Unión Europea y las provincias de Ontario y Alberta en Canadá- apuntan a crear nuevos caminos para la sostenibilidad. Estas leyes establecen objetivos temporales para la producción de bioenergía y biocombustibles como un porcentaje dentro de la producción total de ellos. Estas leyes son efectivas porque usualmente establecen un precio mínimo para la energía renovable, que garantiza una tasa de retorno para los inversionistas en un periodo específico. La recuperación del costo de estas políticas se puede hacer a través de los

precios mínimos garantizados distribuidos entre todos los consumidores. El segundo elemento importante incluido en estas leyes es que las mismas aseguran el acceso de la electricidad renovable en la red de energía. Ejemplos de medidas que favorecen la adopción de tecnologías para la producción de bioenergía incluyen las medidas tributarias, como aquellas que permiten la deducción de costos de capital de inversión asociados con la producción de bioenergía, la entrega de incentivos económicos para el establecimiento de plantas piloto y una asignación adecuada de recursos para programas de investigación y desarrollo.

Conclusiones

1. La biomasa residual de origen agrícola y forestal junto a los desechos municipales son materia prima para producir energía eléctrica y térmica, biocombustibles y bioproductos. Las tecnologías y procesos innovadores existentes junto con la producción y uso de los residuos no alimenticios contribuyen a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles.
2. La producción y la conversión de los residuos agrícolas y otros residuos contribuyen a la seguridad alimentaria y energética y bioseguridad en países y regiones. Además, contribuyen a reducir las emisiones de GEI y conservan la vida silvestre y los recursos de suelo, agua y aire.
3. Las biorefinerías permiten una producción integrada de bioenergía, biocombustibles y bioproductos, apoyando de esta manera la sostenibilidad de las comunidades rurales y de nuevas industrias que sean la base de la bioeconomía.
4. El apoyo a la investigación y la implementación de estrategias y políticas públicas diseñadas de acuerdo a la realidad de los países y regiones permitirá la producción de bioenergía, biocombustibles y productos comerciales a partir de la conversión de residuos agrícolas y de otras fuentes.



Referencias

Ejemplos de referencias consultadas

- *International Energy Agency*. 2007. «Potential contribution of bioenergy to the world's energy demand» (<http://www.idahoforests.org/img/pdf/PotentialContribution.pdf>).
- *Natural Resources Canada*. 2002. «Discover the Production and Uses of Biogas» (Bioenergy Series #3).
- Olah, G. A. 2005. «Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy». *Angewandte Chemie International Edition*. Vol. 44(18): 2636-2639.
- *Renewable Fuels Association*. 2007. «Industry Statistics: annual world ethanol production by country» (<http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/#E>).
- Schnitzer, M.I., Monreal, C.M. and G. Jandl. 2008. «The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis». III. «Analyses of chicken manure, biooils and char by pyrolysis-field ionization mass spectrometry (Py-FIMS) and of biooils by pyrolysis-field desorption mass spectrometry (Py-FDMS)». *J. Env. Sci. and Health Part B* 43:1, 81 - 95. (<http://dx.doi.org/10.1080/03601230701735185>).
- *United States Department of Energy*. 2002. «Vision for bioenergy and biobased products in the United States».
- http://www.climatevision.gov/sectors/electricpower/pdfs/bioenergy_vision.pdf
- World Bank. 2008. «Biofuels: the promises and the risks». In: *World Development report*. Pp 70-71.
- (http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2008/Resources/2795087-1192112387976/WDR08_05_Focus_B.pdf)

Otros enlaces en Internet

- *European bioplastics*. 2006. «Welcome to European bioplastics». (<http://www.europeanbioplastics.org>)
- «Food and Agricultural Organization of the United Nations». 2006. *Introducing the International Bioenergy Platform (IBEP)*.
- (<http://esa.un.org/un-energy/pdf/FAO%20Bioenergy%20platform.pdf>)
- «Global Bioenergy Partnership». 2005. *A white paper*. 50 pages. (http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/docs/WhitePaper-GBEP.pdf)
- *National Renewable Energy Laboratory*. 2000. «Lessons learnt from existing biomass power plants». (www.nrel.gov/docs/fy00osti/26946.pdf)
- *World Wildlife Fund*. 2004. «A biomass blueprint to meet 15 % of OECD electricity demand by 2020». Prepared by the Imperial College London and Center for Energy Policy and Technology (<http://assets.panda.org/downloads/biomassreportfinal.pdf>).

**CUADERNOS
DE DIFUSIÓN**
CENTRO DE ESTUDIOS INTERNACIONALES **ceiUC**



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

CUADERNOS DE DIFUSIÓN

CENTRO DE ESTUDIOS INTERNACIONALES **ceiUC**

VICERRECTORÍA ADJUNTA
DE INVESTIGACIÓN Y DOCTORADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE