



INER

Instituto Nacional de
Eficiencia Energética y
Energías Renovables

ANÁLISIS DE LAS OPORTUNIDADES DE

I+D+i

**EN EFICIENCIA ENERGÉTICA
Y ENERGÍAS RENOVABLES
EN ECUADOR**

Un enfoque desde el sector académico

2016

Con el apoyo de:



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementada por

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



INER

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) es un Instituto Público de Investigación (IPI) creado por Decreto Ejecutivo No. 1048 y puesto en vigencia con la publicación en el Registro Oficial No. 649, del 28 de febrero de 2012.

El INER tiene como misión generar conocimientos e innovación en el ámbito de la eficiencia energética y energías renovables para la sociedad, mediante el desarrollo y transferencia de tecnología, la investigación científica y el fortalecimiento de capacidades locales; contribuyendo a la toma de decisiones orientadas al cambio de matriz productiva, la diversificación de la matriz energética y la mitigación del cambio climático.

Ñaquito N35-37 y Juan Pablo Sanz, Edif. Colegio de Economistas de Pichincha, piso 4
Quito, Ecuador
www.iner.gob.ec





Foto: www.flickr.com/photos/sandialabs/5857419288/in/album-72157622745855769/

GIZ

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH es una empresa federal que opera en todo el mundo y asiste al Gobierno de la República Federal de Alemania en su labor para alcanzar sus objetivos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible. La GIZ ofrece soluciones con proyección de futuro para el desarrollo político, económico, ecológico y social en el mundo globalizado, y fomenta reformas y procesos de cambio complejos, incluso bajo condiciones difíciles. Su objetivo es la mejora sostenible de las condiciones de vida de las personas.

El presente documento se realizó dentro del Fondo de Estudios y Expertos y con el apoyo del Programa Biodiversidad, Cambio Climático y Desarrollo Sostenible (ProCamBío)

Amazonas y Eloy Alfaro. Edif. MAGAP, piso 2
Casilla 17-21-1925
Quito, Ecuador
www.giz.de



Implementada por
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

CRÉDITOS

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

Dr. Rafael Poveda, Ministro Coordinador

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Dr. Esteban Albornoz Vintimilla, Ministro

Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación

Ec. René Ramírez, Secretario

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables

MSc. Martín Cordovez, Director Ejecutivo (E)

Autores:

Consultor: Jesús López Villada, PhD

Equipo técnico INER:

Freddy Fuertes, Director de Planificación y Gestión Estratégica

César Vaca, Experto Técnico de Proyectos

Diana Cárdenas, Analista de Planificación

Revisión técnica INER:

Ricardo Narváez, Subdirector Técnico

Sebastián Espinoza, Director de Difusión y Gestión de la Información

Paola Cuji, Analista Técnico

Revisión ortotipográfica:

Patricio Mena Vásconez

Diseño y diagramación:

Manthra Comunicación

www.manthra.ec • info@manthra.ec

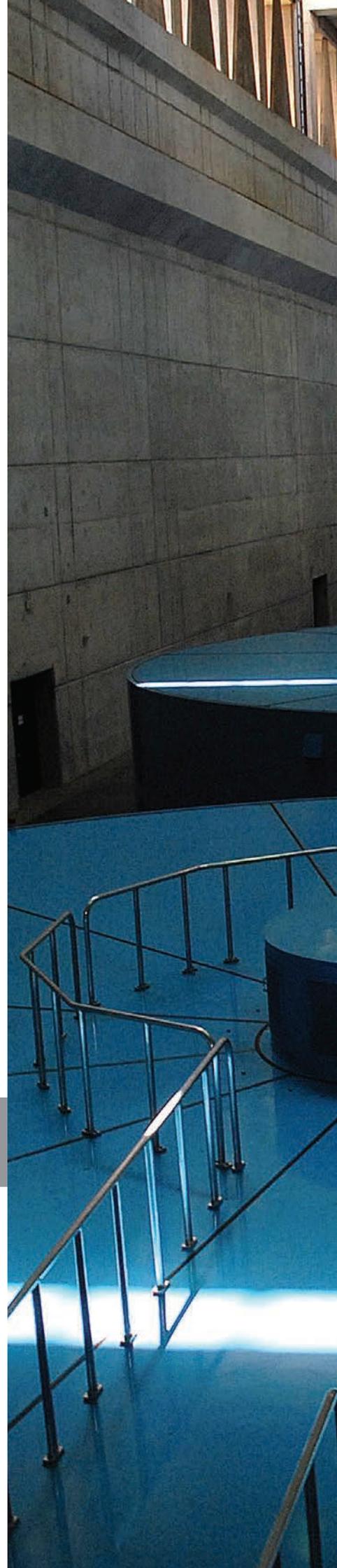
Por favor cite este documento así:

INER (2016). Análisis de oportunidades de investigación, desarrollo e innovación en eficiencia energética y energías renovables en Ecuador. Un enfoque desde el sector académico. Quito.

ISBN 978-9942-8620-1-3

Este documento fue financiado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) del Gobierno Federal de Alemania a través del proyecto "Desarrollo de mecanismos de planificación para la gobernanza energética en el Ecuador".

Quito – Ecuador, julio 2016







CAPÍTULO 1
PÁGINA 15



CAPÍTULO 2
PÁGINA 33



CAPÍTULO 3
PÁGINA 75



CAPÍTULO 4
PÁGINA 129

ÍNDICE

Agradecimientos.....	8
Presentación.....	9
Resumen ejecutivo.....	10
Introducción general.....	12
Capítulo 1. El contexto nacional energético del Ecuador.....	15
El consumo de energía por sectores.....	18
Transporte.....	18
Residencial, de servicio público y comercial.....	20
Industrial.....	22
La estructura del consumo según las fuentes energéticas.....	23
La contribución de las energías renovables no convencionales.....	27
El marco político y las regulaciones para la promoción de la eficiencia energética y la energía renovable.....	28
La Constitución de la República de 2008.....	28
El Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV).....	28
Las regulaciones del sector eléctrico que tratan sobre temas de eficiencia energética y energía renovable.....	29
La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica.....	30
Las políticas de eficiencia energética.....	31
Las ordenanzas de los GAD sobre energía renovable y eficiencia energética.....	31
Capítulo 2. Análisis de las de energías renovables y la eficiencia energética en el mundo, América Latina y el Caribe, y el Ecuador.....	33
El contexto de las energías renovables en el mundo.....	33
El contexto de las energías renovables en América Latina y el Caribe (ALC).....	34
El contexto de las energías renovables en el Ecuador.....	36
El contexto mundial, regional y local de las medidas de eficiencia energética.....	36



Análisis por tipo de recurso renovable y tecnologías de aprovechamiento.....	38
Bioenergía.....	39
Energía solar.....	47
Energía eólica.....	60
Energía hidroeléctrica no convencional (<50 MW).....	66
Geotermia.....	67
Análisis de las medidas de eficiencia energética.....	68
Las medidas de eficiencia energética en el sector transporte.....	68
El manejo de la eficiencia energética en el sector industrial.....	69
El manejo de la eficiencia energética en el sector residencial.....	70
Las medidas de eficiencia energética en el alumbrado público.....	71
Comentarios finales.....	72

Capítulo 3. Las actividades de I+D+i en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética a nivel mundial, América Latina y el Caribe, y el Ecuador..... 75

Introducción.....	75
Metodología.....	76
La I+D+i en eficiencia energética y energía renovable en el mundo.....	76
La I+D+i en eficiencia energética y energía renovable en la región ALC.....	89
La I+D+i en energía renovable y eficiencia energética en el Ecuador.....	99
Comentarios finales.....	125

Capítulo 4. Propuesta de priorización en investigación, desarrollo e innovación en eficiencia energética y energías renovables para el Ecuador con un horizonte a 10 años..... 129

Metodológica.....	129
Fases del proceso.....	131
Aplicación de la metodología AHP.....	132
Resultados.....	134
Oportunidades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en las líneas prioritarias de la eficiencia energética y energía renovable.....	140
Tecnología de generación eléctrica.....	140
Eficiencia energética en el transporte.....	145
Combustibles alternativos.....	147
Gobernanza energética.....	150

Conclusiones finales..... 154

Recomendaciones..... 157

Bibliografía..... 158



Foto: www.flickr.com/photos/sandialabs/14122761591/in/album-72157622745855769/

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), como parte de la medida “Desarrollo de mecanismos de planificación para la gobernanza energética en el Ecuador (Planung nachhaltiger Energiepolitik in Ecuador)”. Agradecemos el financiamiento provisto por el Ministerio Federal Alemán para la Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) y un especial reconocimiento al apoyo técnico brindado por la Agencia de Cooperación Técnica Alemana – GIZ en Ecuador, dentro del marco del Programa de Estudios y Expertos – SFF.

Agradecemos el apoyo de las instituciones participantes en la entrega de información e insumos valiosos para la elaboración de este análisis:

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos – MICSE

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER

Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación - SENESCYT

Este documento contó con la colaboración de diversos investigadores y académicos nacionales y extranjeros que contribuyeron al levantamiento de información y a quienes hacemos extensivo nuestro reconocimiento.



Martín Cordovez
Director Ejecutivo (E).

PRESENTACIÓN

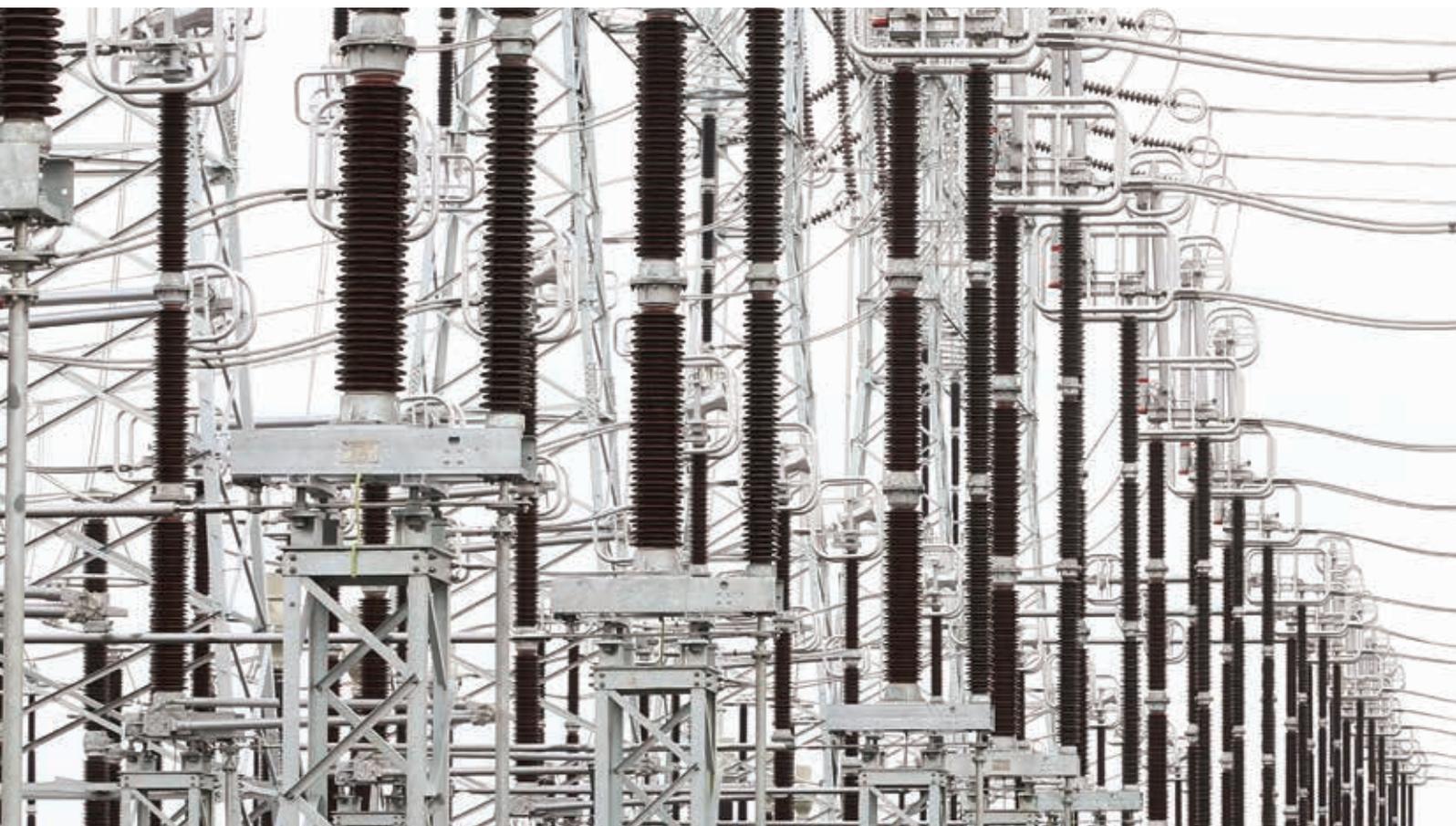
El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), entidad adscrita al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), tiene como uno de sus principales objetivos fomentar la investigación científica y tecnológica en el Ecuador, en temas relacionados con la promoción de la eficiencia en el uso de los recursos energéticos y el impulso de energías renovables sostenibles en la generación local.

Tomando en cuenta que la humanidad ha cimentado su forma de vida a partir de la disponibilidad de los combustibles fósiles abundantes y baratos, uno de los rasgos distintivos de las sociedades de los últimos siglos ha sido el crecimiento industrial, la formación de las grandes metrópolis y la creación de mercados globales ligados a estas fuentes de energía. Sin embargo, mantener este tipo de aprovisionamiento energético implica pagar un alto costo, no necesariamente económico, que se ve reflejado en la contaminación ambiental, el cambio climático y una dificultad cada vez mayor para sostener una demanda energética siempre creciente con recursos limitados y finitos.

Ante este problema, el INER ha visto oportuno investigar sobre el potencial que tiene el desarrollo científico - tecnológico en la generación y uso de la energía, apuntando a la sostenibilidad y a generar prácticas amigables con el ambiente.

El presente estudio es el resultado de un importante esfuerzo, llevado a cabo mediante un proceso de análisis que responde a un planteamiento metodológico de indagación dentro del sector académico nacional, sobre las tendencias en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) energética, con el fin de construir una propuesta de priorización de los campos de estudio que ayuden a la consolidación en el Ecuador de una matriz energética limpia y sostenible.

El objetivo de este documento es que se convierta en un insumo para propiciar convergencias en el trabajo de investigación científica energética nacional, promoviendo la participación de diversos actores y garantizando un proceso dinámico y útil para dar solución a los distintos problemas sociales relacionados con la generación y uso de la energía. Además, pretende despertar la curiosidad investigativa e intelectual en la sociedad, para del desarrollo de conocimiento e investigación de manera asociada, colaborativa e integral, logrando con esto avivar en el individuo su capacidad de preguntarse e investigar cómo puede ser más eficiente y cómo puede generar energía de manera más limpia.



RESUMEN EJECUTIVO

La matriz energética nacional está marcada por el elevado consumo en el sector transporte, seguido de lejos por el consumo en la industria. De forma paralela, la estructura de generación eléctrica evidencia la alta participación de la generación térmica e hidroeléctrica y la reducida participación de otras tecnologías de energía renovable.

Se han realizado grandes avances para incrementar la participación de la energía renovable en la matriz energética nacional y mejorar la eficiencia energética. Muestra de ello son las políticas, regulaciones y proyectos implementados con este fin, que están plasmadas en la Constitución de la República, el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) y diferentes regulaciones del sector eléctrico.

En el contexto económico mundial, es innegable la importancia del desarrollo científico-tecnológico y la

generación de innovación, lo que exige la implementación de un proceso de planificación y priorización a mediano y largo plazo que permita que los resultados de la actividad científica se alineen con los objetivos estratégicos y metas de alcance nacional.

Este documento muestra el proceso de elaboración de una propuesta de priorización de la actividad científica, el desarrollo tecnológico y la generación de innovaciones en eficiencia energética y energías renovables. Para esto se tomó como base la metodología de roadmapping tecnológico y se usó la herramienta de evaluación multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process, Proceso Analítico Jerárquico) para la priorización de las temáticas de investigación, tomando como principal insumo los aportes recogidos desde el sector académico del país.



Foto: www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/26233805146

El primer capítulo de este documento presenta y analiza el contexto energético nacional, tomando como principal insumo el Balance Energético Nacional 2015. En el Capítulo II se analizan comparativamente los recursos y el desarrollo tecnológico en eficiencia energética y energías renovables a nivel nacional, regional y global. El Capítulo III muestra los resultados de un sondeo de las actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en energía realizadas en el Ecuador, ejecutado mediante encuestas al sector académico del país. Finalmente, el Capítulo IV recoge toda la información de los tres capítulos anteriores como insumos para la estructuración del modelo AHP para la priorización estratégica de las temáticas de investigación.

Este documento muestra –como resultado del proceso de priorización– la investigación, el desarrollo y la innovación en tecnologías de generación eléctrica

con inclusión de energías renovables, la eficiencia energética en transporte, la producción de combustibles alternativos y la distribución de electricidad como temáticas prioritarias, tomando en cuenta factores de apuntalamiento de la soberanía energética, reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y producción de tecnología local.

Este trabajo constituye el primer paso para la construcción de una propuesta de I+D+i en eficiencia energética y energías renovables a mediano plazo, en el que se ha puesto mayor énfasis en el análisis del sector académico nacional. En futuras actualizaciones del documento se integrará el análisis del sector productivo y el sector público necesarios para generar una propuesta integral de la investigación científica nacional en este ámbito con un horizonte a mediano plazo.



INTRODUCCIÓN GENERAL

Este trabajo tiene el objetivo de realizar una priorización de la investigación científica, desarrollo tecnológico y generación de innovación (I+D+i) en el área de la eficiencia energética y las energías renovables. Las diferentes líneas de investigación, así como los proyectos analizados fueron clasificados por motivos prácticos y de comparabilidad en siete categorías (DOE, 2015):

- ☑ distribución de electricidad
- ☑ tecnologías de generación eléctrica
- ☑ eficiencia energética residencial y comercial
- ☑ eficiencia energética en la industria
- ☑ combustibles alternativos
- ☑ eficiencia energética en transporte
- ☑ gobernanza energética

El proceso de desarrollo fue llevado a cabo siguiendo el esquema de *technology roadmapping*, complementado con la metodología AHP para el proceso de priorización. Para estas dos metodologías se realizó una recolección de información de base sobre el contexto energético nacional y sobre las actividades científicas y tecnológicas que se llevan a cabo a escala global, regional (América Latina) y nacional.

Para la construcción de la metodología AHP se propusieron tres escenarios alternativos que influyen en el desarrollo de I+D+i en energía: soberanía energética, desarrollo tecnológico local y reducción de gases de efecto invernadero (GEI); estos escenarios fueron escogidos para cubrir el espectro de posibilidades de toma de decisión que influyen directamente sobre la elección de una alternativa tecnológica de eficiencia energética y energía renovable. Para la priorización final se juntaron los tres escenarios, asumiendo que cada uno de ellos tiene igual importancia para en la realización de actividades de I+D+i en el país.



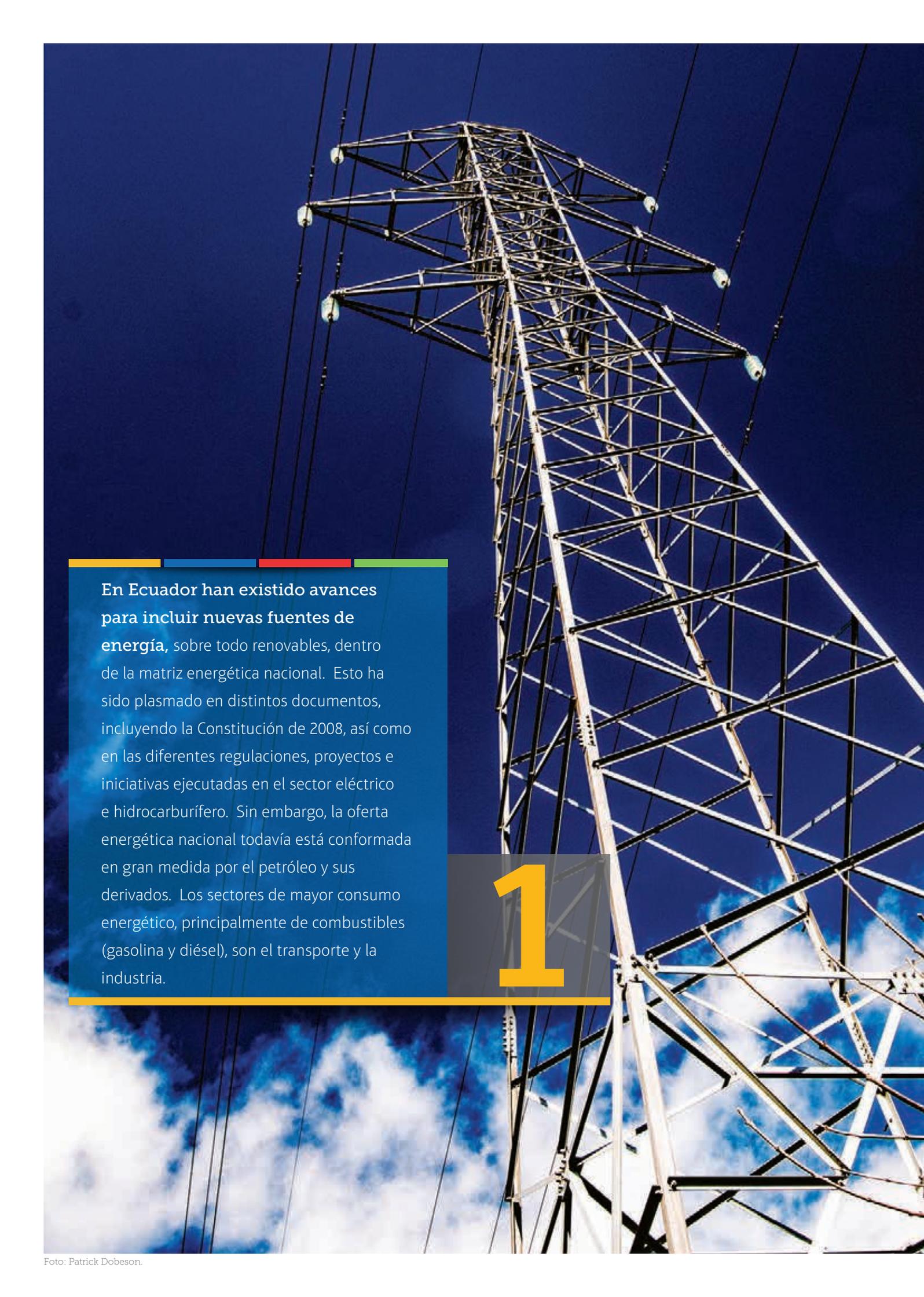
Tanto *technology roadmapping* como AHP requieren la interacción de múltiples actores expertos con el fin de generar criterios y ponderaciones de dichos criterios que sean robustos y eviten sesgos de información generados por la subjetividad implícita en cualquier proceso de toma de decisión. Este estudio se basó en el análisis de las respuestas de un proceso de encuestas realizado al sector académico nacional. Se obtuvieron alrededor de 150 encuestas válidas que constituyeron el principal insumo para la elaboración del AHP.

Por lo tanto, los resultados mostrados en el presente estudio constituyen el primer paso hacia la construcción de una propuesta de investigación, desarrollo e innovación de mediano plazo, la cual debe incluir necesariamente los aportes del sector público y la empresa privada. Por esta razón, el análisis de estos sectores será incluido en el futuro con el fin de generar una propuesta integral.

El presente estudio tiene también el objetivo de iniciar el debate e incentivar la realización de trabajos y estudios de planificación estratégica de la actividad científica y tecnológica.

Dado que la planificación es un proceso continuo, quien lea estas páginas puede hacer uso del código QR que se muestra a continuación, para acceder a la Plataforma del Conocimiento e Información en Eficiencia Energética y Energía Renovable, con el fin de conocer las actualizaciones realizadas a la metodología y la priorización presentada, un proceso que se realizará paulatinamente con la participación de nuevos actores y ajustándose a las cambiantes necesidades del país. ■





En Ecuador han existido avances para incluir nuevas fuentes de energía, sobre todo renovables, dentro de la matriz energética nacional. Esto ha sido plasmado en distintos documentos, incluyendo la Constitución de 2008, así como en las diferentes regulaciones, proyectos e iniciativas ejecutadas en el sector eléctrico e hidrocarburífero. Sin embargo, la oferta energética nacional todavía está conformada en gran medida por el petróleo y sus derivados. Los sectores de mayor consumo energético, principalmente de combustibles (gasolina y diésel), son el transporte y la industria.

1

1 EL CONTEXTO ENERGÉTICO DEL ECUADOR

La matriz energética del Ecuador, al igual que la de la mayoría de países del mundo, se encuentra fuertemente dominada por la utilización de combustibles fósiles; en el ámbito nacional está principalmente determinada por el petróleo.

La Figura 1 muestra la evolución de la oferta de energía primaria en el Ecuador. Se observa que predomina claramente la producción petrolera, que se duplica en el año 2013 con respecto al año 1973, llegando a 201.000 kBEP según datos del último Balance

Energético Nacional (MICSE, 2015). Actualmente se producen aproximadamente 558.000 barriles diarios y se espera que el aumento de la producción se mantenga hasta el año 2021, llegando a 828.000 barriles/día (Figura 2), gracias a las nuevas técnicas de recuperación mejorada de petróleo y a la incorporación de los pozos del Yasuní-ITT, Pungarayacu y Sur Oriente (MICSE, 2014b). Es necesario considerar que un factor que marcará la producción petrolera en el futuro próximo son los precios internacionales del barril del petróleo.

FIGURA 1: Evolución de la oferta total de energía primaria por sectores 1970-2013 (MICSE, 2014a)

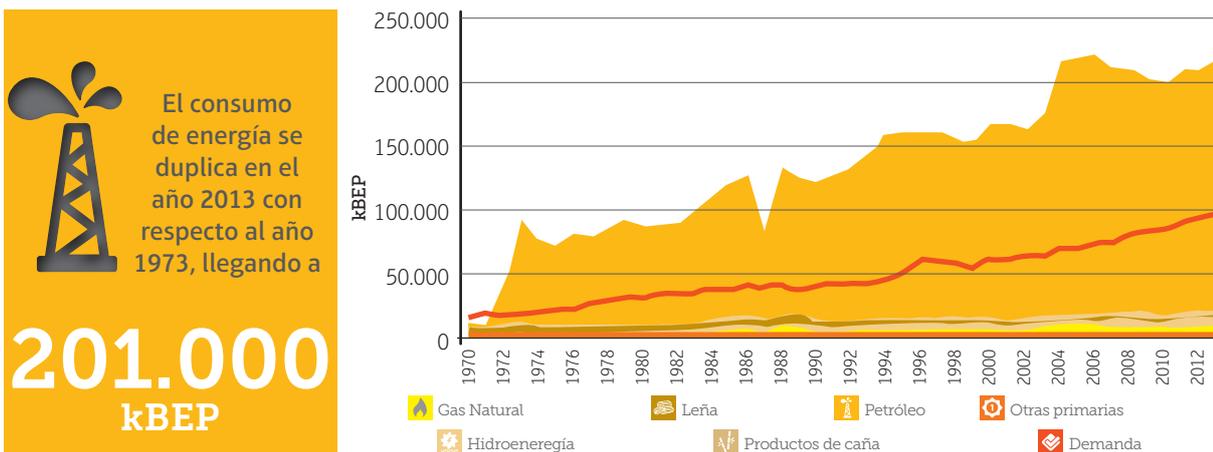
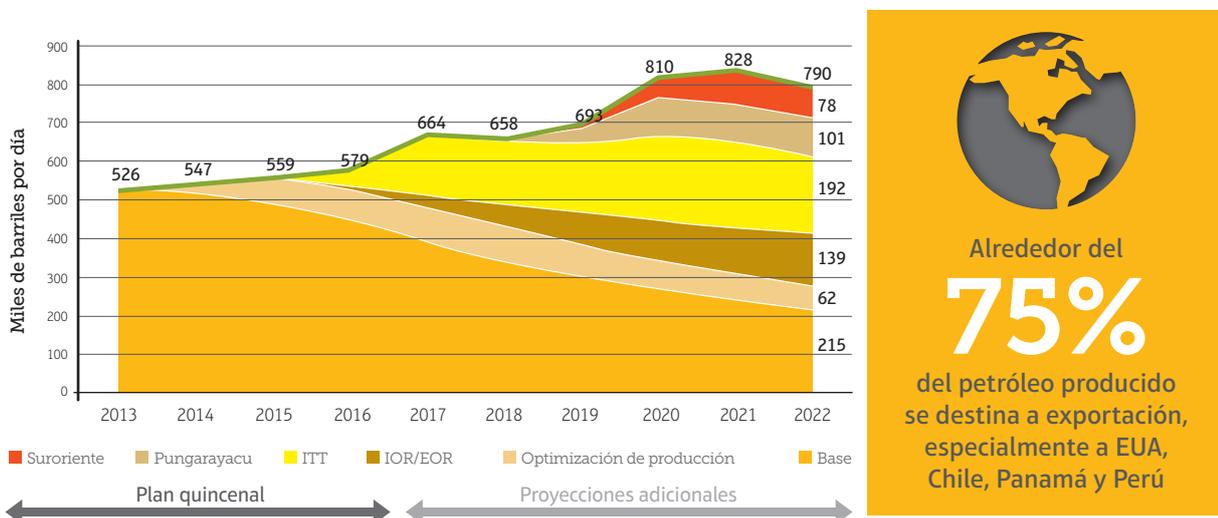


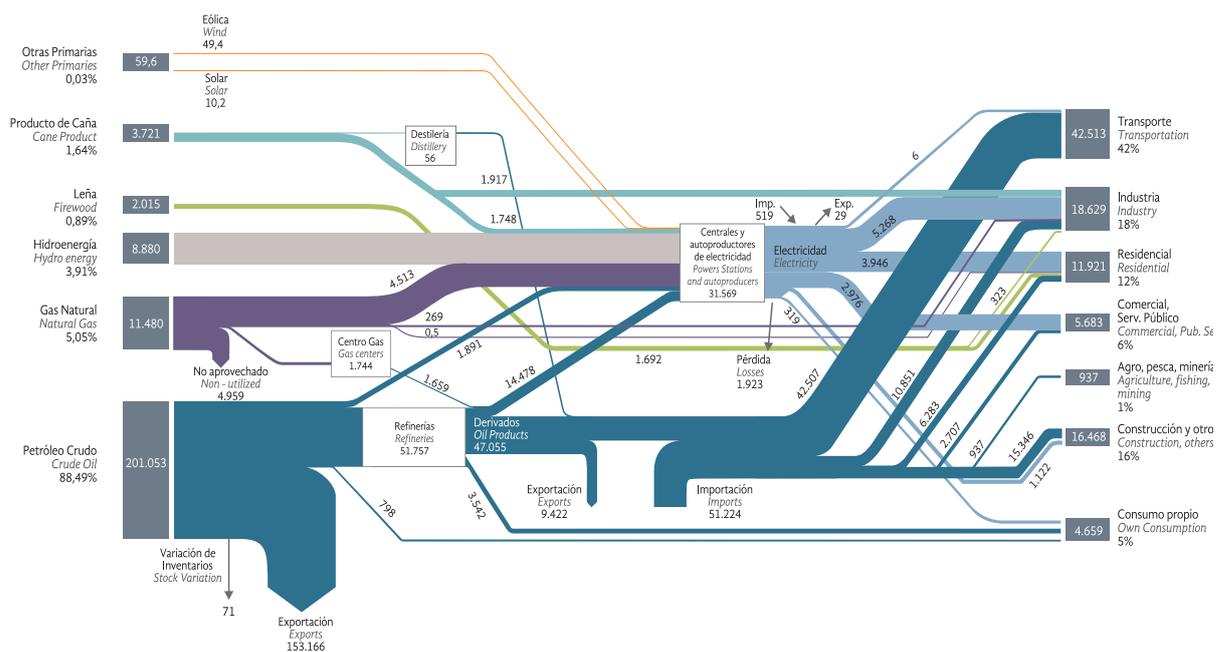
FIGURA 2: Proyección de la producción de petróleo en miles de barriles diarios 2015 -2022. IOR/EOR designa las técnicas de recuperación mejorada (MICSE, 2014b)



Alrededor del 75 % del petróleo producido se destina a exportación, especialmente a EUA, Chile, Panamá y Perú (Banco Central del Ecuador, 2014a y 2014b). El resto de petróleo se procesa en las refinerías de Esmeraldas, La Libertad, Amazonas y Shushufindi. Tal como se observa en la Figura 3, estas instalaciones son insuficientes para cubrir la demanda interna de derivados de petróleo, lo

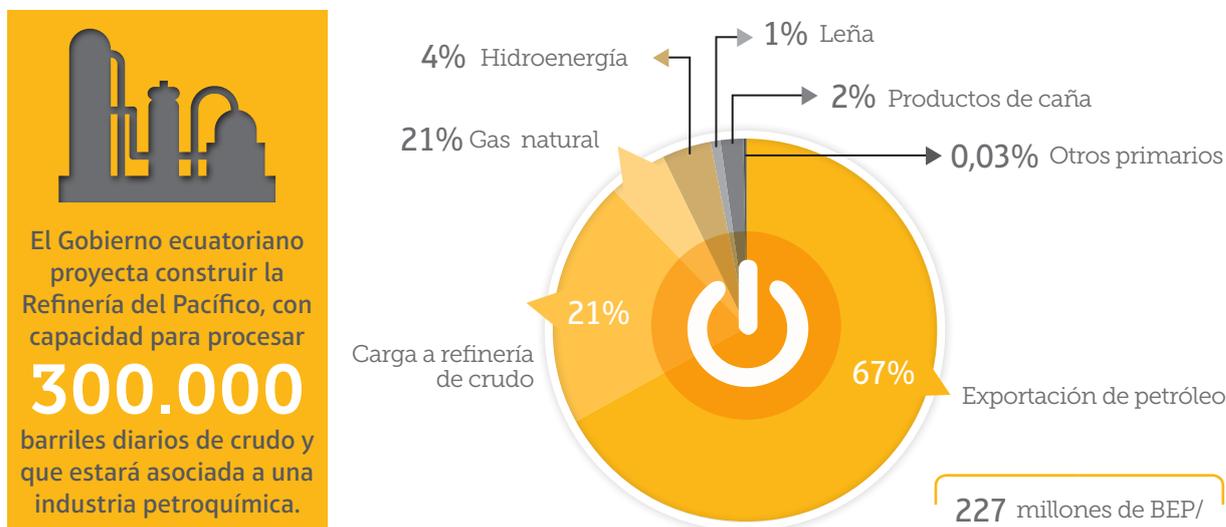
que obligó a importar 43.848 kBEP de estos derivados en el año 2014. El Gobierno ecuatoriano proyecta construir la Refinería del Pacífico, con capacidad para procesar 300.000 barriles diarios de crudo y que estará asociada a una industria petroquímica. Otras fuentes destacables de energía son el gas natural, la hidroenergía para la generación de electricidad y la bioenergía (Figura 4).

FIGURA 3: Diagrama de flujos energéticos del Ecuador (Sankey) en kBEP en el año 2014 (MICSE, 2015)



Producción	Importación	Exportación	Variación de Inventario	No aprovechado	Oferta Total	Centros Transformación	Consumo Propio	Pérdidas y ajustes	Consumo Final	Demanda Total
Production	Imports	Exports	Stock variation	Non-utilized	Total Supply	Transformation center	Own Consumption	Losses and adjustment	Final Consumption	Total Demand
227.209	51.743	162.618	681	4.959	110.694	15.798	4.659	5.913	96.150	110.694

FIGURA 4: Estructura de la producción de energía primaria en el año 2014 (MICSE, 2015)

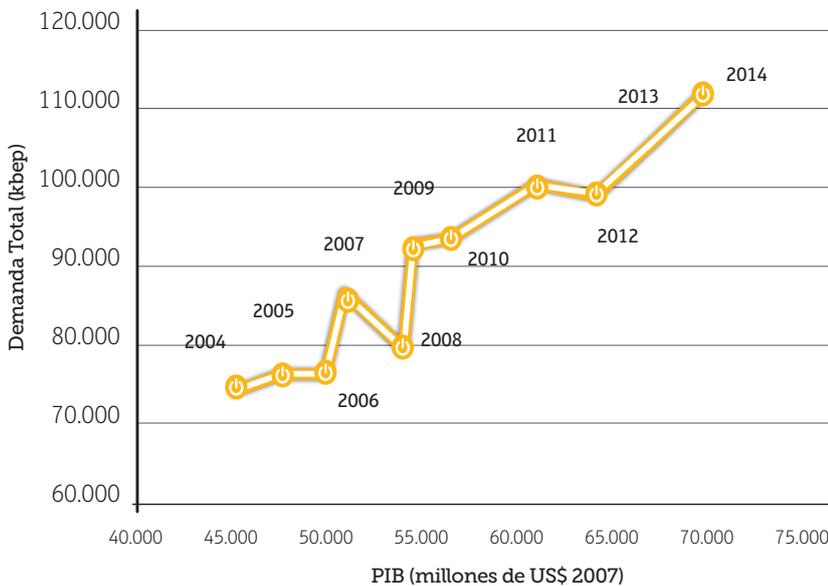


El Gobierno ecuatoriano proyecta construir la Refinería del Pacífico, con capacidad para procesar **300.000** barriles diarios de crudo y que estará asociada a una industria petroquímica.

227 millones de BEP/



FIGURA 5: Evolución de la demanda total de energía y PIB en el período 2003-2013 (MICSE, 2015)



En los últimos 15 años, el consumo total de energía ha aumentado en casi un 70%, llegando a un valor de

110.694
kBEP en el año 2014

El crecimiento económico que ha experimentado el Ecuador durante la última década muestra una relación directa con el aumento en el consumo energético (Figura 5). En los últimos 15 años, el consumo total de energía ha aumentado en casi un 70%, llegando a un valor de 110.694 kBEP en el año 2014 (MICSE, 2015). En los últimos dos años se ha mantenido la tendencia creciente del consumo total de energía con un incremento del 4,5 % respecto al año anterior (MICSE, 2015).

En el año 2014, el sector transporte llegó a tener una participación del 44,2% del consumo total de energía (Figura 6), valor similar al de países europeos y de Norteamérica. El sector industrial representó un 19,4% del consumo de energía, mientras que los sectores residencial, así como el comercial y servicio público alcanzaron un 12,4% y 5,9% respectivamente. A continuación se explica más detalladamente la estructura del consumo en cada uno de estos sectores.

FIGURA 6: Estructura del consumo por sectores en el año 2014 (MICSE, 2015)

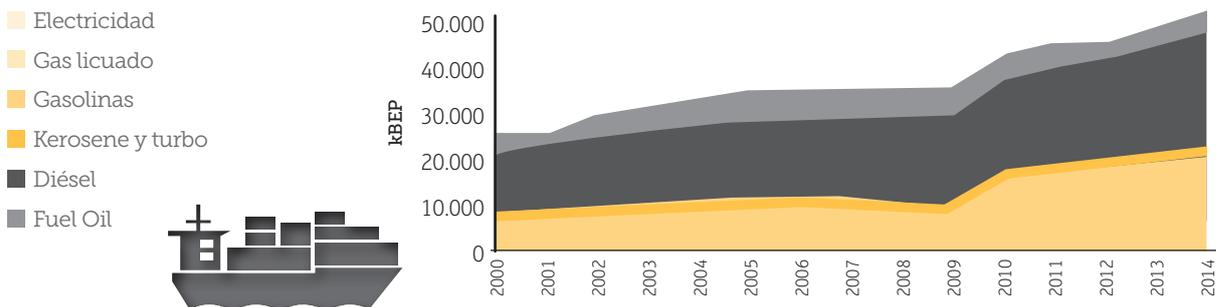


En el año 2014, el sector transporte llegó a tener una participación del

44,2%
del consumo total de energía

1. **BEP:** Barriles Equivalentes de Petróleo. El Barril Equivalente de Petróleo o Barril de Petróleo Equivalente, conocido también como BOE (Barrel of Oil Equivalent), es una unidad de energía. El barril es una unidad de volumen igual a 159 litros. La energía contenida en un barril de petróleo es la obtenida en forma de calor cuando se quema el petróleo contenido en un barril. Esta energía es igual a $5,8 \times 10^6$ BTU = $6,1178632 \times 10^9$ Joule = 1.700 Kilovatios hora.

FIGURA 7: Evolución del consumo de energía en el sector transporte por tipo de combustible (MICSE, 2015)



EL CONSUMO DE ENERGÍA POR SECTORES

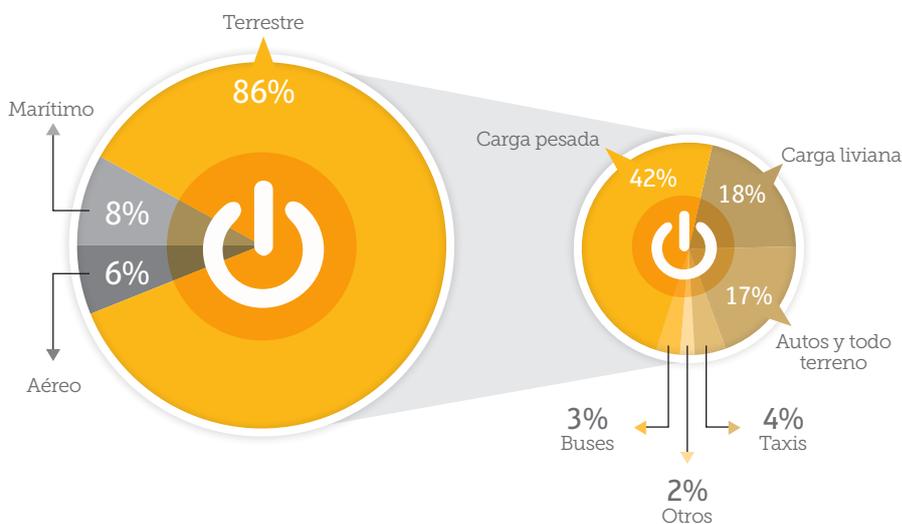
TRANSPORTE

De acuerdo con el Balance Energético Nacional 2015 (MICSE, 2015), en la última década el transporte ha pasado de consumir 30.000 kBEP/año a casi 50.000 kBEP/año, siendo los combustibles más utilizados el diésel y la gasolina (Figura 7). En el 2014, el transporte terrestre demandó el 86% de la energía de este sector, seguido por el transporte marítimo, con el 8%, y al transporte aéreo, con 6% (Figura 8). Este aumento de consumo energético se debe fundamentalmente al aumento del parque automotor del Ecuador en los últimos años, tal como muestran los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) (Figura 9), y los datos de la Asociación de la Industria

Hidrocarburífera del Ecuador (AIHE). Aunque el número total de vehículos difiere según la fuente de datos utilizada, se observa una clara tendencia al alza, siendo la mayor explicación para el aumento de consumo de energía en el sector transporte. De acuerdo con los datos de la AIHE, en diciembre de 2014 se contabilizaron en total 2.185.990 vehículos, y las ventas totales en ese año ascendieron a 120.015 unidades.

Con estos datos, el Ecuador ha pasado de 80 a 130 vehículos por cada 1.000 habitantes en la década 2003-2013, considerando además un aumento de la población de 2.700.000 en ese mismo período (OLADE, 2015). Este incremento está dentro del promedio regional, a pesar de que todavía está muy lejos de países europeos y de Norteamérica, que tienen valores entre los 500 y 900 vehículos por cada 1.000 habitantes (Wu et al., 2014).

FIGURA 8: Estructura del consumo por tipo de transporte en el año 2014 (MICSE, 2015)

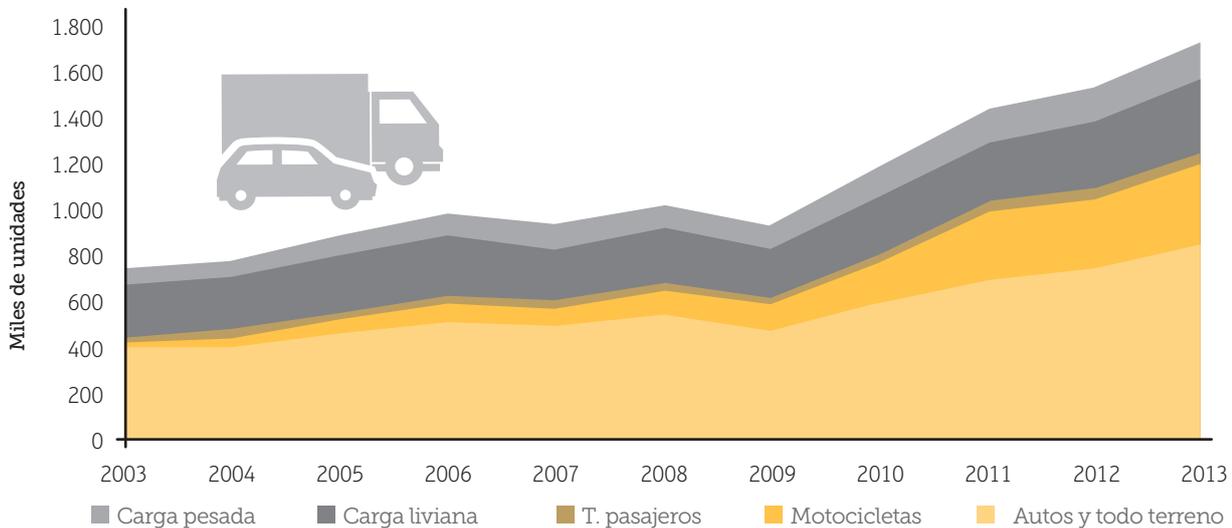


En el 2014, el transporte terrestre demandó el **86%** de la energía de este sector, seguido por el transporte marítimo, con el **8%** y al transporte aéreo, con **6%**



Foto: www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/14512489334

FIGURA 9: Evolución del parque automotor en el Ecuador (Cevallos, 2015)



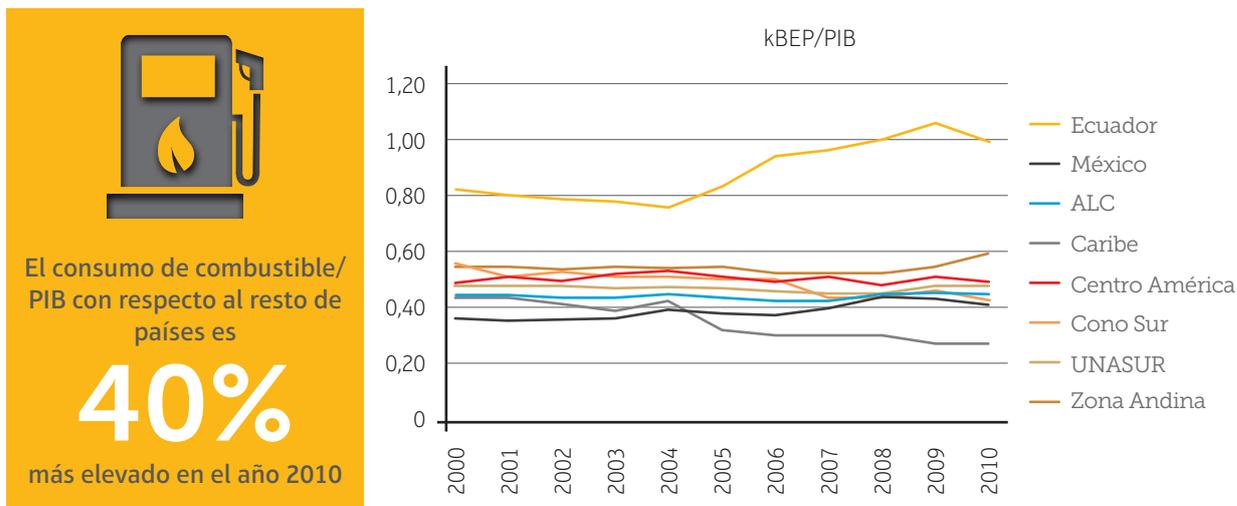
Como se puede observar en la Figura 9, la mayor parte del crecimiento del parque automotor se debe al aumento del número de autos, vehículos todo terreno y motocicletas. Este hecho es consistente con la mayor venta de vehículos livianos en la última década (AIHE, 2015), motivada por el crecimiento de una clase media con mayor poder adquisitivo, tal como indica el aumento del PIB, que pasó de 2.000 a 6.000 US\$ per cápita en este período (World Bank, 2015). Por otro lado, la construcción y la mejora de las carreteras del país también han contribuido al aumento del número de vehículos y al mayor consumo de derivados de petróleo. De acuerdo con Cevallos (2015), los vehículos livianos contribuyen con el 30% del consumo energético total del transporte terrestre. Además, este consumo se acentúa debido a la operación en condiciones de bajo rendimiento provocada por los embotellamientos de tráfico en las grandes ciudades del país, especialmente en las horas pico.

Sin embargo, de acuerdo con los resultados de este autor y en consonancia con el Balance Nacional

Energético (BNE) (MICSE, 2015), el transporte de carga pesada es el mayor contribuyente al consumo de combustibles, con un 42% del total terrestre, a pesar de que solamente representan el 9% del parque automotor. En el año 2012, los camiones consumieron más de 8 millones de barriles de combustible, es decir, el 71% de los combustibles demandados para el transporte de carga pesada (Cevallos, 2015).

Finalmente, si se compara el consumo de combustibles por unidad de PIB del Ecuador con el resto de países de la zona (Figura 10), se observa que es un 40% más elevado en el año 2010, aunque con una ligera tendencia a la baja. Una de las razones de esta diferencia puede ser la geografía compleja del Ecuador, que provoca la construcción de carreteras sinuosas y un mayor tiempo de viaje para una distancia equivalente. Otra de las razones es el relativamente bajo valor añadido del sector productivo ecuatoriano, ya que su mayor parte está basada en productos primarios como el petróleo y productos de la industria agroalimentaria.

FIGURA 10: Evolución del consumo de combustibles por unidad de PIB en el Ecuador y zonas de LA (Ferreira, 2012)



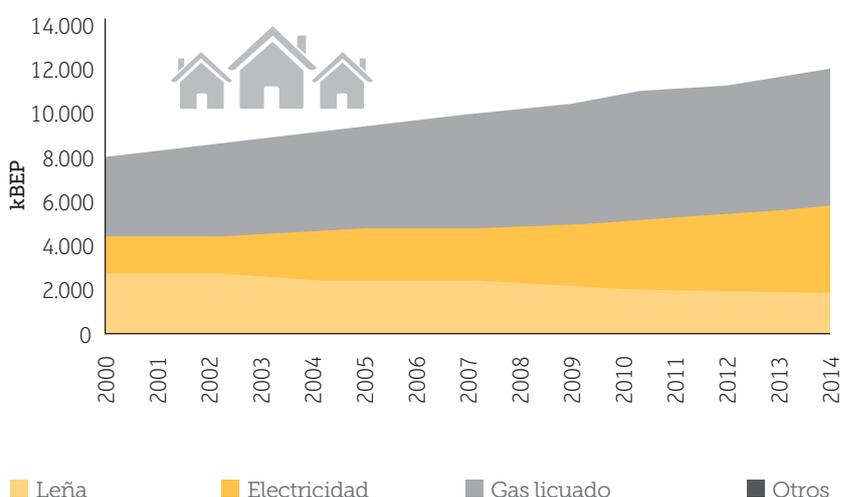
RESIDENCIAL, DE SERVICIO PÚBLICO Y COMERCIAL

En estos sectores también ha habido un crecimiento sostenido del consumo de energía desde el año 2000 (Figura 11). La evolución del consumo energético en estos sectores se puede explicar por diversos factores. En primer lugar está el aumento de la población, lo que provoca a su vez una demanda creciente de viviendas, servicios públicos y servicios comerciales; este hecho se refleja en la evolución creciente del número de permisos de la construcción de edificios (Figura 12). Del total de permisos de construcción para el 2013, el 87,90% corresponde a construcciones residenciales, el 7,53% a no residenciales y el 4,57% a construcciones mixtas (INEC, 2014). El aumento de la población se concentra especialmente en zonas

urbanas (Tabla 1), donde las principales fuentes energéticas para los hogares son la electricidad y el gas licuado de petróleo (GLP). El aumento de la población en las zonas rurales del Ecuador no llega al 4% en los últimos 15 años. Sin embargo, en las zonas urbanas ese incremento de población ha sido de un 30% durante el mismo período.

En el sector residencial existe un mayor consumo de electricidad y GLP, con una reducción progresiva del consumo de biomasa en forma de leña (Figura 11). La electricidad se utiliza para iluminación, electrodomésticos y preparación de agua caliente sanitaria. Este último uso se observa principalmente en la zona de la Sierra, donde el clima es más frío. El GLP se usa para la cocción de alimentos y la preparación de agua calien-

FIGURA 11: Evolución del consumo por tipo de energía en el sector residencial (MICSE, 2015)



El aumento de la población se concentra especialmente en zonas urbanas, donde las principales fuentes energéticas para los hogares son la electricidad y el gas licuado de petróleo (GLP).



te sanitaria mediante calefones. El uso de la leña está restringido a la cocción de alimentos en zonas rurales.

La mejora de las condiciones de vivienda en las zonas rurales con acceso a electricidad y GLP, y el uso de cocinas de leña más eficientes, son los motivos principales de la reducción del consumo de leña en los últimos 15 años. Además, el ingreso de focos ahorradores y cocinas de inducción han provocado la reducción del 1,5% del consumo de energía total respecto al año 2012.

En el caso de los servicios público y comercial (Figura 13), el consumo ha pasado de unos 2.500 kBEP en el

año 2000 a unos 5.700 kBEP en el 2014 (MICSE, 2015). A ello han contribuido la mejora de los servicios públicos en la última década y el aumento del poder de compra de la ciudadanía, lo que ha provocado una mayor demanda de servicios. Otro factor importante es el aumento del turismo interno y externo. En el período 2006-2013, el número de turistas extranjeros que visitaron el país ha aumentado en un 50% (MINTUR, 2011 y 2014). Este aumento ha causado un aumento en el número de establecimientos de alojamiento, agencias de viaje, etc., lo que a su vez también ha provocado un aumento del consumo de energía en este sector (MINTUR, 2011 y 2014).

TABLA 1: Evolución de la población urbana y rural. (INEC, 2011)

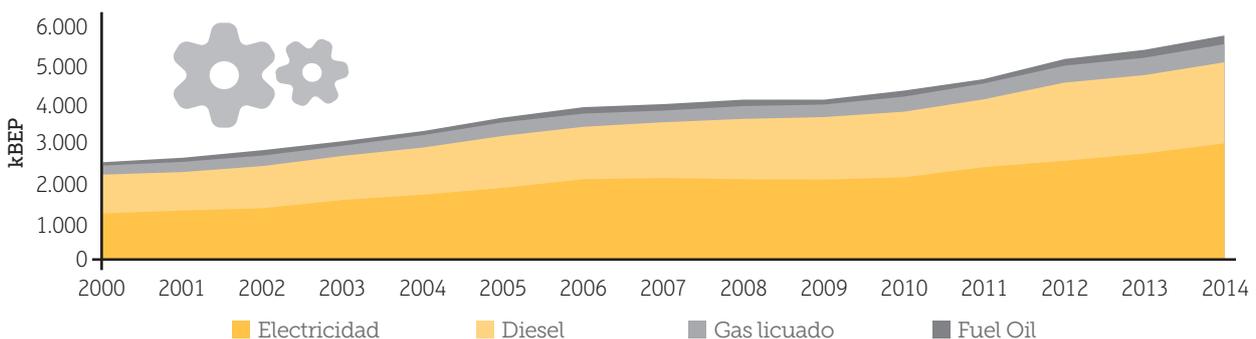
Año	Total	Urbana	Rural
2001	12.156.608	7.431.355	4.725.253
2005	13.798.000	9.093.000	4.705.000
2010	14.899.000	10.250.000	4.649.000
2015	15.936.000	11.028.000	4.908.000

Nota: Los datos del 2015 son proyectados

FIGURA 12: Evolución del número de licencias de la construcción de edificios (INEC, 2014)



FIGURA 13: Evolución del consumo y tipo de energía en el sector público y comercial (MICSE, 2015)



INDUSTRIAL

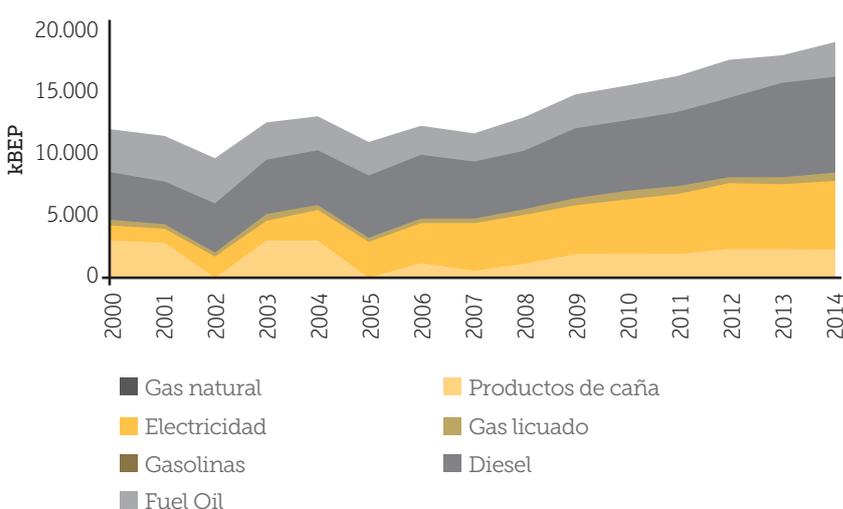
El sector industrial ha experimentado un aumento en el consumo de energía de más del 50% desde el año 2006 hasta el 2014, pasando de unos 12.000 kBEP a 18.600 kBEP. En la Figura 14 se observa que las fuentes más importantes –y que, además, también han experimentado un aumento más elevado– son el diésel y la electricidad; otros combustibles, como fueloil y productos de caña, se consumen en menor medida, principalmente en los complejos azucareros.

Este aumento se debe principalmente al desarrollo económico de los últimos años, con un aumento promedio del 4,5% anual del PIB industrial. El principal sector industrial responsable de este aumento es el sector manufacturero (Figura 15), destacándose la industria agroalimentaria (elaboración de bebidas y lácteos; camarón, productos cárnicos, pescado, banana, etc.), con más del 50% del PIB manufacturero; en

menor medida están el cultivo y procesado de flores naturales, la industria textil y cueros, los productos de madera, los productos plásticos, los productos de metal y los productos de papel.

En la Figura 15 también se observa el fuerte crecimiento del PIB del sector de la construcción. Aunque la contribución de este sector al PIB industrial es menor que la de otros sectores, es necesario mencionar que el sector de la construcción es particularmente intensivo en el uso de energía, tanto de forma directa (durante la fase de construcción) como de forma indirecta (para la fabricación de hormigones, cementos, yesos y otros materiales). Durante el año 2013, el consumo del cemento en el Ecuador se incrementó en un 10% respecto al año anterior, llegando a 6,6 millones de toneladas, con lo cual el consumo per cápita alcanzó 419 kg/hab, uno de los niveles más altos en Latinoamérica (EPCE, 2014).

FIGURA 14: Evolución del consumo de energía en el sector industrial por tipo de combustible (MICSE, 2015)



El sector industrial ha experimentado un aumento en el consumo de energía de más del **50%** desde el año 2006 hasta el 2014.

FIGURA 15: Evolución del consumo de energía en el sector industrial por tipo de combustible (MICSE, 2015)

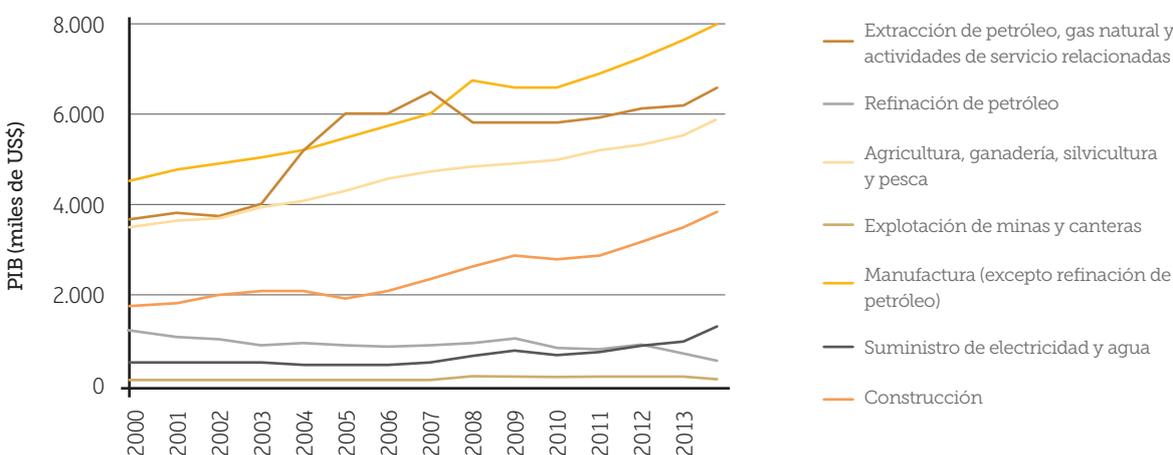




Foto: www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/4251458951

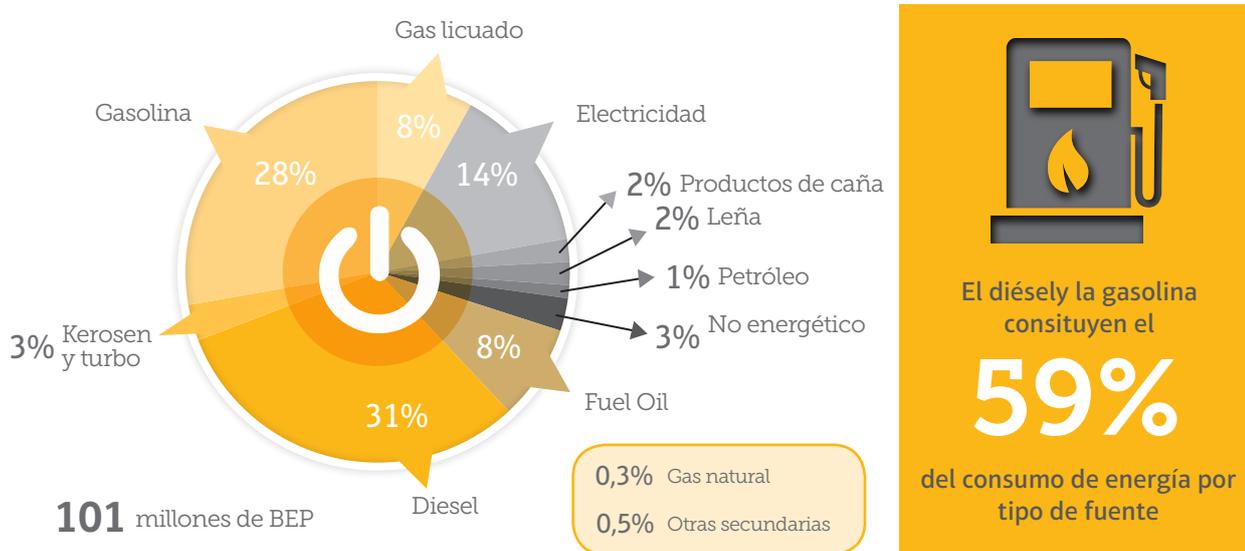
LA ESTRUCTURA DEL CONSUMO SEGÚN LAS FUENTES ENERGÉTICAS

El consumo de energía en el Ecuador está basado primordialmente en los combustibles fósiles, con un aporte del 80% de la demanda total energética; destacan el diésel, con un 31%, las gasolinas y naftas, con un 28%, y el GLP y otras fuentes secundarias derivadas del petróleo, con un 8% cada una (Figura 16) (MICSE, 2015). Como se observa en la Figura 17, esta gran dependencia de los combustibles fósiles se ha mantenido a lo largo de los últimos 40 años. A partir de la década 1990-2000 ha habido una evolución creciente de la contribución de la electricidad, con un gran impulso a partir del año 2005. Actualmente, la electricidad es una fuente de energía secundaria importante, con una contribución del 14%; es necesario indicar que, hasta el año 2014, alrededor de un 50% de esta electricidad era generada con centrales

termoeléctricas a través del uso de combustibles fósiles (Figura 18) (MICSE, 2015). El resto es generado en su mayor parte por unos 2.226 MW² hidroeléctricos repartidos entre 16 centrales estatales de pequeña, mediana y gran capacidad (1-1.100 MW), y 39 centrales pequeñas pertenecientes a las empresas de distribución eléctrica, Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) municipales y empresas privadas (CONELEC, 2013).

El sector de la generación eléctrica está incrementando su potencia hidroeléctrica mediante la construcción de nuevas centrales con una potencia total adicional de 3.023 MW, destacando el proyecto Coca Codo Sinclair, con 1.500 MW. Con estas nuevas instalaciones y algunas otras que todavía están en fase de estudio, se espera que la generación hidroeléctrica cubra alrededor del 84% de la demanda de electricidad en el año 2022 (Tabla 2) (CONELEC, 2013).

FIGURA 16: Estructura del consumo por fuente energética en el año 2014 (MICSE, 2015)



2. Megavattios: 1 millón de vatios. 1 vatio es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades y equivale a 1 julio por segundo.

FIGURA 17: Evolución de la estructura del consumo por fuente energética en el período 1970-2013 (MICSE, 2014a)

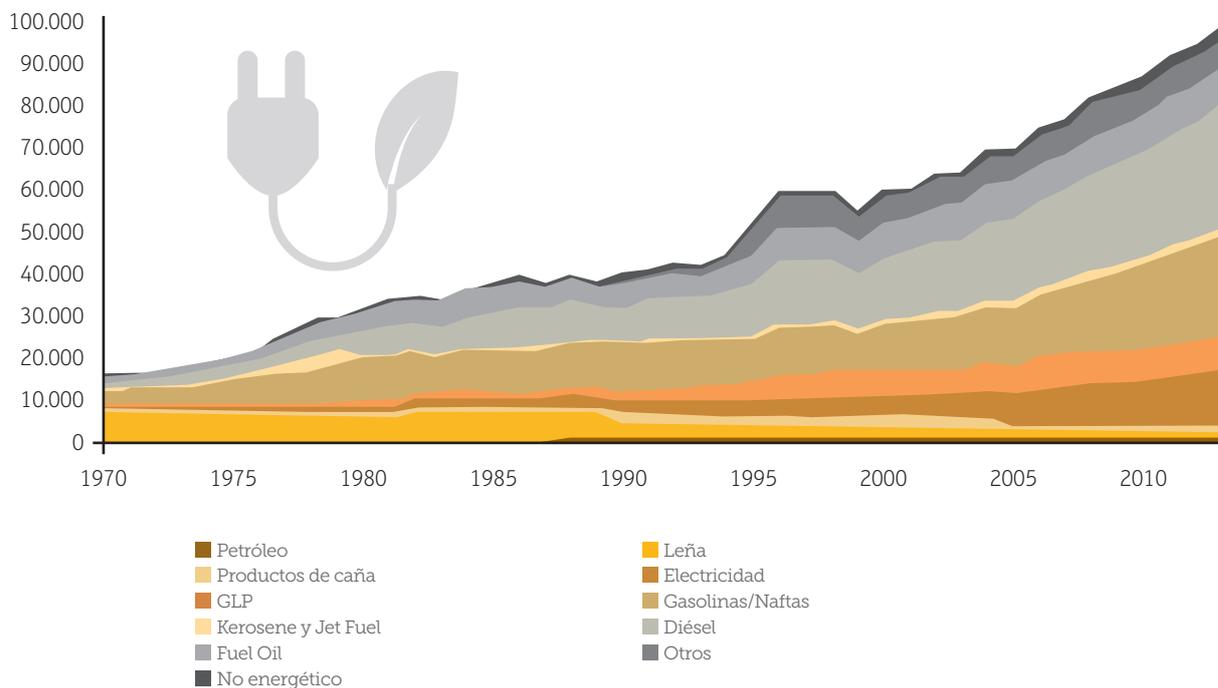


FIGURA 18: (I) Estructura de la generación eléctrica en el año 2014 (MICSE, 2015) / (D) Estructura de la potencia eléctrica en el año 2014 (MICSE, 2015)

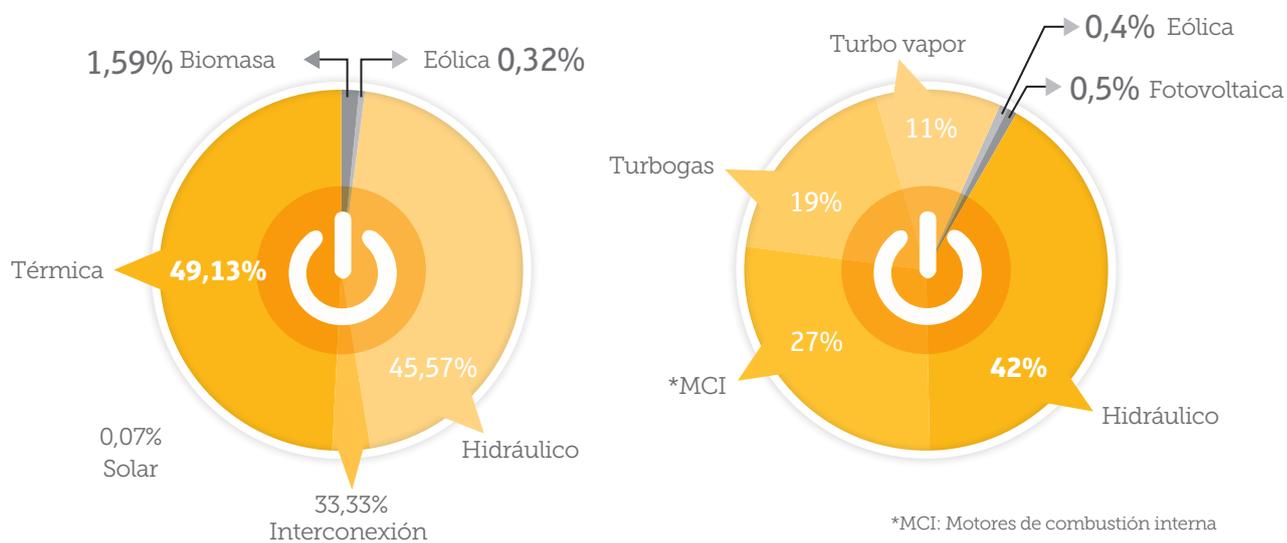


Foto: www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/7797198902





Foto: www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/5815855844

Si se analiza el uso final de la energía (Figura 19), se observa que el 72% de la demanda total es abastecida por combustibles líquidos, sobre todo en el sector transporte y el sector industrial. En este último, un 10% de su demanda energética es cubierta por biomasa

en forma de residuos de caña y leña. En el caso de la demanda doméstica, el 53% es abastecido por GLP, el 33% por electricidad y el resto por leña. Por último, el sector comercial se nutre principalmente de electricidad, con un 52%, y diésel, con un 37% de la demanda.

TABLA 2: Previsión de generación eléctrica de origen hidroeléctrico, termoeléctrico y de energías renovables no convencionales (CONELEC, 2013)

Año	Hidroeléctrica (GWh)	Termoeléctrica (GWh)	No convencional (GWh)	Total (GWh)
2013	12.332	8.161	141	20.634
2014	12.418	8.858	363	21.637
2015	16.531	7.488	553	24.572
2016	24.999	3.761	553	29.313
2017	30.528	4.489	553	35.570
2018	31.244	5.185	553	36.981
2019	31.008	6.972	553	38.534
2020	31.020	8.436	553	40.009
2021	31.742	9.044	553	41.339
2022	35.729	6.420	553	42.701
Total	257.549	68.814	4.927	331.290

FIGURA 19: Consumo de combustibles y electricidad por sectores en el año 2014 (MICSE, 2015)

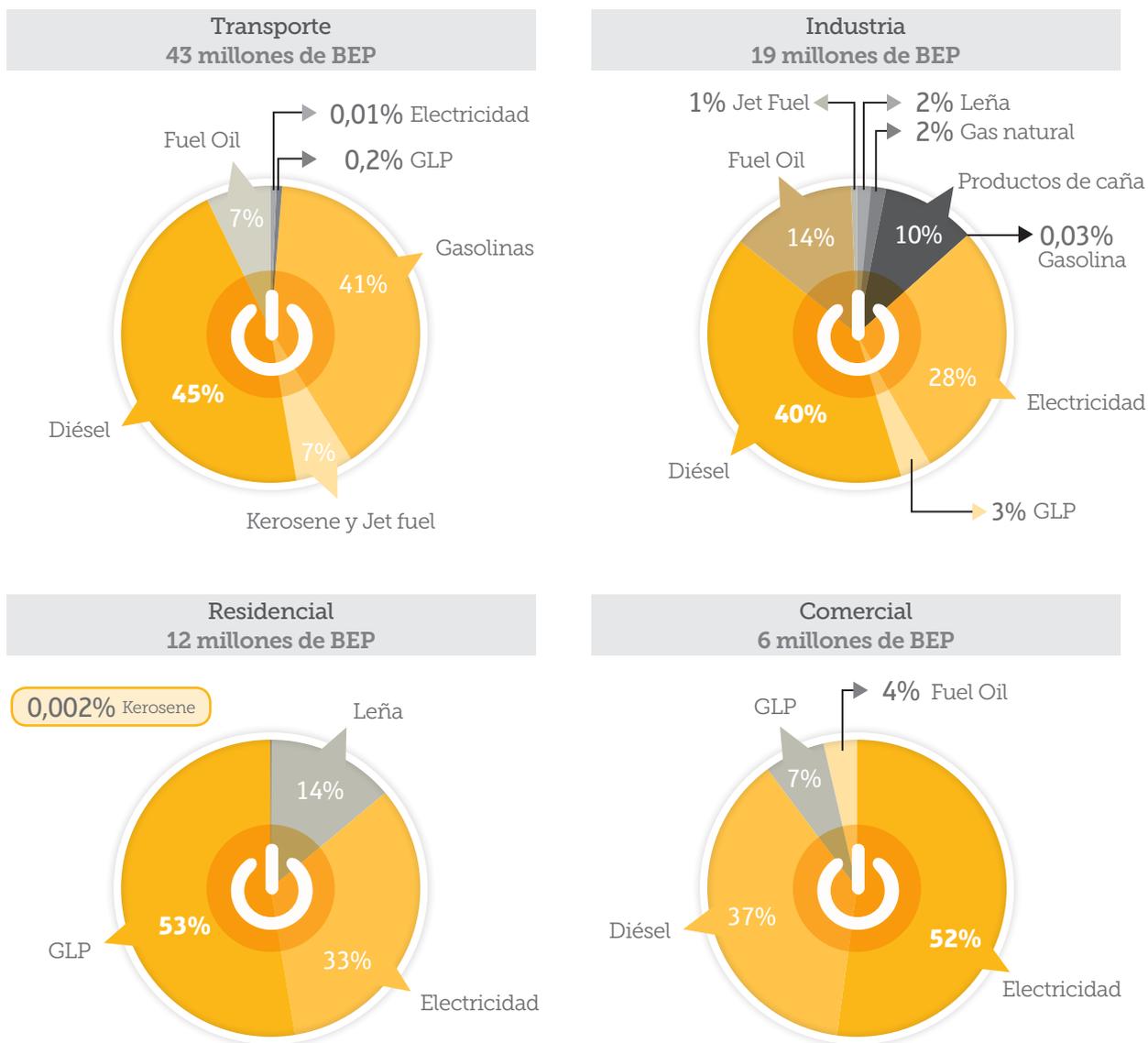


Foto: www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/5146799924



LA CONTRIBUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES

De acuerdo con los datos del BEN 2015 (MICSE, 2015), la contribución de fuentes de energía renovables no convencionales en la matriz energética ecuatoriana todavía es muy reducida. En la Figura 16 se observa que la contribución más destacable proviene de la biomasa en forma de productos de caña y leña, con un 2% cada una. Estos valores equivalen a un total de 4 millones de BEP (6.700 GWh/año³), con una tendencia claramente a la baja (Figura 17). Esta biomasa se utiliza principalmente para la generación de energía térmica y eléctrica para el sector industrial y para la cocción de alimentos en el sector doméstico.

Siguiendo con la energía térmica, en el Ecuador también hay equipos solares térmicos para el calentamiento de agua sobre los techos de algunos edificios y viviendas, aunque todavía no es una tecnología muy extendida. No se sabe con certeza cuál es el número de estos equipos instalados en el Ecuador, por lo que no se puede estimar cuál es la contribución energética de esta tecnología. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) puso en marcha una experiencia piloto con 2.632 equipos compactos de termosifón, lo que equivale a una potencia térmica de unos 3,7 MWt y se estima que su generación de energía térmica para el calentamiento de agua es de unos 3 GWht/año⁴.

La Figura 18 muestra que, tomando en consideración la generación eléctrica, la biomasa contribuyó en 2014 con 1,59% (386 GWh), seguida de la eólica, con un

0,32% (77,7 GWh), y la solar fotovoltaica con un 0,07% (17,0 GWh). Estos datos son similares a los publicados por ARCONEL en el año 2014, cuando la generación eólica fue de 79,6 GWh y de biomasa de unos 400 GWh.

Las instalaciones hidroeléctricas de una potencia inferior a 50 MW se consideran energía renovable no convencional, pero la producción de estas instalaciones no se refleja en la Figura 18 ya que queda englobada en la producción hidroeléctrica total. De acuerdo con datos de Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL), la potencia hidroeléctrica no convencional es de 329,16 MW, lo que equivale a un 15% de la potencia hidroeléctrica total y que cubre aproximadamente un 7% de la demanda eléctrica total, equivalente a unos 1.675 GWh. Se estima que actualmente la contribución de las tecnologías de energía renovable no convencionales para la generación eléctrica está en unos 2.160 GWh, lo que constituye entre de un 8-9% de la generación eléctrica total⁵.

Existen numerosas instalaciones de generación eléctrica renovable aisladas del sistema nacional interconectado, bien por motivos de lejanía de la red como en el caso de algunas comunidades amazónicas y de la Sierra, o por insularidad, como en el caso de las Islas Galápagos. En el caso de las zonas rurales, sobre todo en la Amazonía, se han instalado cerca de 5.000 sistemas solares fotovoltaicos con una potencia total superior los 700 kWp⁶. Estos sistemas, si funcionan correctamente, aportan unos 0,65 GWh/año. En el caso de las Islas Galápagos hay dos parques eólicos con una potencia nominal de 4,65 MW y una capacidad



3. GWh: gigavatio hora

4. El cálculo de potencia se ha realizado asumiendo el estándar de 700W/m2 de superficie de captación y el cálculo de energía, aceptando una generación térmica de 570 kWh/m2 año, que corresponde a un rendimiento promedio de los captadores solares térmicos del 35%.
5. Estimación propia con base en el BEN 2014 que corresponde a la suma de la potencia de hidroeléctrica no convencional y la biomasa.
6. kWp: kilovatios pico. 1 vatio pico es la unidad de energía usada para sistemas de electricidad solar.



promedio de generación de 9 GWh/año y 2,9 MW de potencia fotovoltaica, capaces de generar en promedio 4 GWh/año.

En cuanto a las proyecciones a corto plazo, el Plan de Electrificación 2013-2022 tenía previsto aumentar la generación eléctrica con energías renovables no convencionales hasta finales del año 2015, año en el que se estima una contribución eléctrica máxima de 553 GWh (Tabla 2), que en principio no aumentará en los años posteriores. La mayor parte de esta contribución máxima se alcanzará con las nuevas instalaciones fotovoltaicas conectadas al Sistema Nacional Interconectado aprobadas por ARCONEL.

De los proyectos de desarrollo limpio registrados al 2013, el 71% corresponden a proyectos energéticos, distribuidos en 43% para proyectos hidroeléctricos, 14% para proyectos que utilizan biomasa para generación de energía, 9% para proyectos eólicos y 5% para proyectos de eficiencia energética (SENPLADES, 2013)⁷.

EL MARCO POLÍTICO Y LAS REGULACIONES PARA LA PROMOCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA ENERGÍA RENOVABLE

LA CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DE 2008

La Constitución de la República del Ecuador, el cuerpo legal de mayor jerarquía, contiene el Artículo 413, de la Sección: Biósfera, Ecología Urbana y Energías Alternativas, del Capítulo II: Biodiversidad y Recursos Naturales; en este se dispone que desde el Estado se promoverá la eficiencia en el uso de la energía y la implementación de energías renovables y otras tecnologías ambientalmente limpias.

La importancia de este artículo para el presente estudio radica en a) la oportunidad que se abre para la implementación de tecnologías que hasta el momento tienen una baja representación en el país y b) en que se genera la necesidad de realizar investigación y desarrollo tecnológico para una correcta implementación de estas tecnologías.

A partir de este artículo, los subsecuentes cuerpos legales describen diversos mecanismos, desde sus ámbitos de acción, para la implementación de la eficiencia energética y la energía renovable.

El artículo 15 de la Constitución menciona:

// El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua”.

El artículo 284 de la Constitución determina como objetivo de la política económica asegurar la soberanía alimentaria y energética, mientras que el artículo 304 menciona que la política comercial contribuirá a que se garanticen la soberanía alimentaria y energética, y a que se reduzcan las desigualdades internas. Por otra parte, la Constitución determina que el Estado promoverá el acceso equitativo a los factores de producción y que se fomentará la producción nacional para garantizar la soberanía alimentaria y energética nacional.

EL PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR (PNBV)

El PNBV constituye una herramienta que establece los objetivos y las líneas de acción en los diferentes sectores priorizados del Gobierno para alcanzar el desarrollo del país. En este contexto se hace referencia al objetivo 4: Fortalecer las capacidades y potencialidades de la ciudadanía. En él, la política 4.6 literal c) menciona la promoción de la transferencia, desarrollo e innovación tecnológica para impulsar la producción nacional con énfasis en los sectores priorizados. No se cuenta con un indicador y unas metas claras con relación al desarrollo tecnológico y la innovación; sin embargo, en los últimos años se ha incrementado la inversión en I+D+i con relación al PIB.

La política 7.7 del PNBV toma en consideración el aporte de la eficiencia energética y el desarrollo de la energía renovable para garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad. En este objetivo se prevé la implementación de infraestructuras y tecnologías que promuevan la eficiencia energética. También se considera la sustitución de combustibles fósiles en el sector transporte y la sustitución de vehículos que usan esta fuente de energía. Asimismo, se prevé la implementación de esquemas tarifarios para incentivar la eficiencia energética. Finalmente, en el ámbito que se ajusta al presente estudio, el objetivo plantea promover la investigación para la generación y uso de energía renovable, así como generar inventarios de oferta y demanda de este tipo de energía que tomen en cuenta, además, las emisiones causadas y evitadas.



7. Plan Nacional del Buen Vivir. Objetivo No. 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.hora.



www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/7615720106

De igual forma, dada la naturaleza transversal del cambio climático, la política 7.10 del mismo objetivo habla de la introducción de energía limpia como medida para la disminución de la huella ecológica. No obstante, el objetivo 7 del PNBV carece de una meta definida para la introducción de tecnologías de eficiencia energética o de energía renovable.

Por otra parte, el Objetivo 11 del PNBV involucra a los sectores estratégicos y propone alcanzar la soberanía y la eficiencia en la gestión de estos como medio para la transformación tecnológica e industrial nacional. Dentro de este objetivo, la política 11.1 plantea reestructurar la matriz energética bajo una serie de criterios que apuntan hacia la eficiencia y la sostenibilidad en busca del incremento de la participación de la energía renovable en la matriz. En este sentido, en lo que respecta a la energía renovable, se da prioridad al aprovechamiento del potencial hídrico, al desarrollo de la bioenergía y a la cuantificación de los recursos energéticos renovables en el país para la generación eléctrica. Además, se prevé el mejoramiento de la eficiencia energética, en especial en el uso óptimo de los recursos no renovables utilizados para la generación eléctrica.

Como un punto de especial mención en vista de la naturaleza del presente trabajo, dentro de esta política se visualiza fortalecer la investigación científica en los

ámbitos de energía, industrias básicas y generación y uso sustentable de energía renovable en los sectores industrial, residencial y transporte. Esto tiene especial importancia porque genera el marco normativo de mayor jerarquía (después de la Constitución) para el fomento de las actividades de I+D+i en energía renovable y eficiencia energética.

Al contrario del objetivo 7, el objetivo 11 propone la meta 11.1, la cual busca incrementar la potencia instalada renovable del 43,1% en 2012 hasta un 60% en 2017. Este porcentaje puede ser alcanzado, y hasta superado, por la introducción de nuevos proyectos hidroeléctricos de gran envergadura que se están llevando a cabo en la actual administración, lo que podría dejar poco margen para el ingreso de las tecnologías renovables no convencionales si es que no existen otros mecanismos de incentivo.

LAS REGULACIONES DEL SECTOR ELÉCTRICO QUE TRATAN SOBRE TEMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA RENOVABLE

Siguiendo un orden cronológico, la primera regulación que tuvo efecto sobre el mejoramiento de la eficiencia energética fue la regulación CONELEC 001/09, que determina la participación de los autogeneradores a través de la cogeneración. Esta regulación permite a los

autogeneradores registrados utilizar la energía cogenerada, ya sea para el abastecimiento y consumo propio o para entregar los excedentes al mercado eléctrico. Los requerimientos principales para participar como cogenerador se basan en que la electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de las instalaciones asociadas a la cogeneración, utilicen o produzcan vapor, energía térmica o combustibles que dan lugar al proceso de cogeneración, y la obligatoriedad de colocar los excedentes de la energía eléctrica a disposición del mercado.

En la práctica, esta regulación dio paso a que los ingenios azucareros del país pudieran suplir su demanda energética por medio de la utilización del calor excedente generado al incinerar el bagazo de caña necesario para la producción de azúcar. De esta forma, esta regulación –a más de propiciar la eficiencia energética en esta industria– también dio paso a la utilización de un tipo de biomasa (fuente renovable) para la generación de electricidad.

Siguiendo el orden propuesto, la regulación CONELEC 004/11, Tratamiento para la Energía Producida con Recursos Energéticos Renovables no Convencionales, incentivó la puesta en marcha de sistemas de generación con energías renovables no convencionales. El alcance de esta resolución comprendía energía eólica, biomasa, biogás, energía fotovoltaica, geotermia y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada; se establecieron los requisitos, precios, periodo de vigencia y forma de despacho para la energía eléctrica renovable entregada al Sistema Nacional Interconectado (SNI). Esta regulación establecía precios de la energía que variaban de acuerdo con el tipo de tecnología, siendo el valor más alto el correspondiente a la energía fotovoltaica (40,03 cUS\$/kWh). La energía producida por estas tecnologías tendrá un despacho preferente hasta cumplir el 6% de la capacidad instalada y operativa de los generadores del SNI. Además, el tiempo de vigencia de los contratos era de 15 años. Finalmente, esta regulación también consideraba los proyectos no incorporados al SNI y les daba el mismo tratamiento en cuanto a vigencia del contrato y precios de la energía. Actualmente esta regulación está derogada y ha sido sustituida por la regulación CONELEC 001/13. Esta regulación, denominada Participación de los Generadores de Energía Eléctrica Producida con Recursos Energéticos Renovables no Convencionales, establece parámetros para el tratamiento de la participación de generadores de energía eléctrica renovable basados en biomasa, biogás y centrales hidroeléctricas menores a 30 MW, estableciendo un periodo preferencial de hasta 15 años para este tipo de generadores. Además, se establece un esquema de despacho diferente que plantea que se utilizará toda la energía eléctrica producida por los generadores mencionados

de manera obligatoria y preferente, a menos que, por condiciones técnicas, no se pueda hacer el despacho preferente.

Esta regulación, además, establece un cupo de hasta 100 MW para los proyectos de biomasa y biogás, y es libre para las centrales hidroeléctricas. Además, los proyectos no podrán superar el 6% de la demanda de las empresas distribuidoras a las que aplica un proyecto. La principal diferencia entre esta regulación y la anterior es el establecimiento de un cupo de capacidad, además de que se excluyen los proyectos fotovoltaicos, eólicos y geotérmicos, quedando únicamente biomasa, biogás y pequeñas hidroeléctricas.

La regulación 002/13, por su parte, establece el procedimiento para la obtención del registro de proyectos de generación de energía renovable menores a 1 MW. En el registro se establecen los términos, condiciones y alcance para realizar la generación.

La regulación 001/14 establece las condiciones técnicas y económicas para la participación de los autogeneradores privados en el sector eléctrico. Esta regulación incluye a los productores de energías renovables y, en su artículo 13.1, menciona que los autogeneradores que utilicen energías renovables no convencionales no podrán acogerse al esquema de plazo, precios y despacho preferente, vigente en la Regulación 001/13 o aquella que la modifique, complemente o sustituya, para comercializar su energía en el sector eléctrico ecuatoriano. Sin embargo, en su artículo 14 afirma que estos autogeneradores sí podrán acceder a los esquemas de incentivos para el desarrollo y producción más limpia establecidos en los artículos 233 hasta el 235 del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 351 de 29 de diciembre de 2010, y a los beneficios señalados en el artículo 67 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico.

LA LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Esta ley, publicada en el Registro Oficial Suplemento 418, menciona en el Artículo 2, sobre los objetivos específicos de la ley, literal 5:

// Desarrollar mecanismos de promoción por parte del Estado, que incentiven el aprovechamiento técnico y económico de recursos energéticos, con énfasis en las fuentes renovables”.

Además, en el literal 6 señala:

// Formular políticas de eficiencia energética a ser cumplidas por las personas naturales y jurídicas que usen la energía o provean bienes y servicios relacionados, favoreciendo la protección del ambiente”.

Dentro de la misma ley, el Artículo 25 prevé, para el caso de los proyectos que utilicen energías renovables, que las empresas privadas y de la economía popular y solidaria puedan ejecutar proyectos de este tipo, siempre y cuando no consten en el Plan Maestro de Electricidad, pudiendo acceder a un esquema de incentivos determinado en la normativa jurídica respectiva.

El Artículo 26 establece que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de energías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución, con miras a desarrollar un sistema eléctrico sostenible.

Además, el Artículo 74 señala como objetivos de la eficiencia energética el fomento de la eficiencia en la economía y en la sociedad en general, y en particular en el sistema eléctrico: promover valores y conductas orientadas al empleo racional de los recursos energéticos, priorizando el uso de energía renovable; incentivar la reducción de costos de producción a través del uso eficiente de la energía, para promover la competitividad; disminuir el consumo de combustibles fósiles, y orientar y defender los derechos del consumidor y disminuir los impactos ambientales con el manejo sustentable del sistema energético.

LAS POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

En el caso del Ecuador, hasta finales del año 2007 no se contaba con lineamientos claros con respecto al tema de la eficiencia energética. Según el Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, la falta de información y

capacitación técnica limitó las posibilidades de identificar oportunidades y proponer soluciones concretas y factibles para mejorar el uso final de la energía. Por otro lado, la ausencia de un marco legal e institucional adecuado impidió, por una parte, eliminar las barreras existentes y, por otra, crear los medios e incentivos para la aplicación de estas medidas de eficiencia (CO-NELEC, 2012).

La Constitución Política de 2008, en su Artículo 413, y el Plan Nacional del Buen Vivir promueven las acciones de eficiencia energética. A partir de 2009, el marco legal de base para la implementación de una serie de medidas para la eficiencia energética fue establecido mediante Decreto 1681, publicado en el Registro Oficial (CEPAL, 2013). Se determinó un plazo límite de 12 meses para el cumplimiento de todas las disposiciones, para lo cual el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) emitió los lineamientos técnicos necesarios para la implementación de programas de eficiencia energética.

LAS ORDENANZAS DE LOS GOBIERNOS AUTÓNOMOS DESCENTRALIZADOS (GAD) SOBRE LA ENERGÍA RENOVABLE Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

En la legislación revisada sobre competencias y ordenanzas de los GAD, no se logró encontrar ningún ejemplo referente a la promoción de prácticas de eficiencia energética o implementación de energía renovable.

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) indica, en su artículo 111, que la rectoría y la definición del modelo de gestión de los sectores estratégicos –dentro de los cuales está el sector energético– corresponden de manera exclusiva al gobierno central. Solamente para el caso de la provincia de Galápagos, la disposición general Vigésimo Octava habla de las atribuciones del Consejo de Gobierno de Galápagos y señala la promoción del uso de energías alternativas.

www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/5303276792



Las tecnologías para aprovechamiento de energías renovables

han crecido de forma acelerada en los últimos años. En 2014 la energía solar fotovoltaica, la energía eólica y la hidroenergía fueron las tecnologías que lograron la mayor capacidad instalada de generación eléctrica. En 2016, casi una quinta parte de la provisión total de energía mundial se obtuvo de fuentes renovables. Estos avances se han dado por el efecto sinérgico de las políticas habilitantes y el desarrollo tecnológico que ha permitido que estas tecnologías ganen en confiabilidad, eficiencia y competitividad de costos. Los países industrializados son los que más generan actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en eficiencia energética y energías renovables, por lo que hay una alta necesidad de investigación en países con economías menos desarrolladas para alcanzar y mantener la independencia y soberanía tecnológica y energética.

2

2 ANÁLISIS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MUNDO, AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, Y EL ECUADOR

■ EL CONTEXTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO

Durante 2013, 19,1% de la energía total global fue producido por energía renovable, del cual 9% fue biomasa utilizada de forma tradicional y 10,1% en formas modernas de energía renovable (REN21, 2015). En el año 2014, las emisiones de carbono globales asociadas al consumo de energía se mantuvieron estables mientras la economía creció. Este dato marca un hecho que no se había dado en las últimas cuatro décadas y que tiene relación con el incremento en la instalación de energía renovable y el mejoramiento de la eficiencia energética (REN21, 2015).

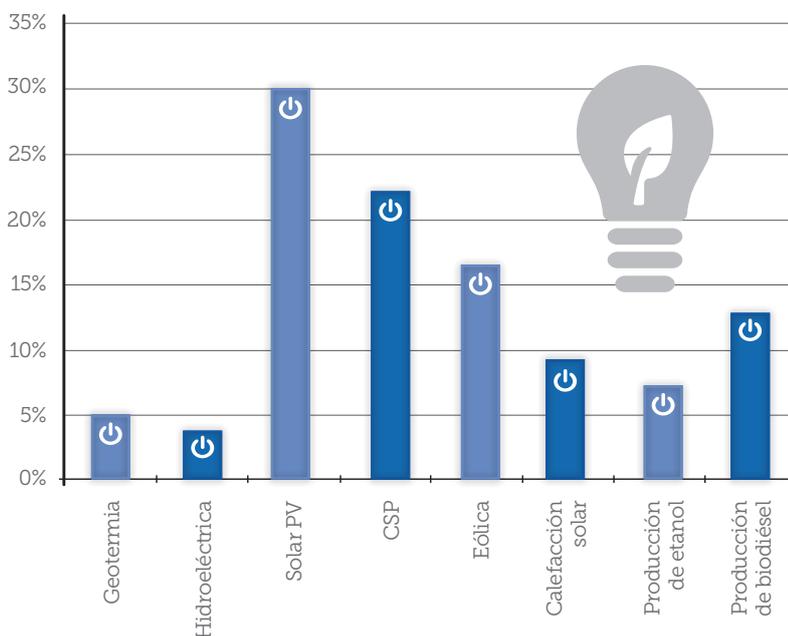
Los países que más invirtieron en energías renovables en el año 2014 fueron China, Estados Unidos, Japón, Reino Unido y Alemania. Sin embargo, si se toma en cuenta la inversión en relación al PIB, los primeros países son Burundi, Kenia, Honduras, Jordania y Uruguay. De igual forma, la capacidad total de energía renovable instalada coloca a China, Estados Unidos, Brasil, Alemania y Canadá en los primeros lugares, mientras que, si se observa la capacidad instalada per

cápita, los principales países son Dinamarca, Alemania, Suecia, España y Portugal (REN21, 2015).

En cuanto a la generación eléctrica, el 22,8% de la potencia eléctrica instalada se ha cubierto mediante fuentes renovables. Dentro de este porcentaje, 16,6% corresponde a energía hidroeléctrica, 3,1% a energía eólica, 1,8% a bioenergía, 0,9% energía solar fotovoltaica y 0,4% a geotermia, energía solar por concentración (CSP) y energía de las mareas. Durante el año 2014, el 59% de la nueva capacidad eléctrica instalada correspondió a energía renovable (REN21, 2015).

El reporte de REN21 (2015) muestra que en 2014 las tecnologías de generación eléctrica que tuvieron la mayor tasa de crecimiento fueron la solar fotovoltaica, la solar por concentración y la eólica (Figura 20). En el caso de generación de calor, la única tecnología con un crecimiento destacable fue la tecnología solar, mientras que para el transporte en primer lugar de crecimiento se encuentra la producción de biodiésel, seguido de la producción de etanol.

FIGURA 20: Tasa de crecimiento anual promedio de tecnologías de energía renovable a escala global en 2014 (REN21, 2015)

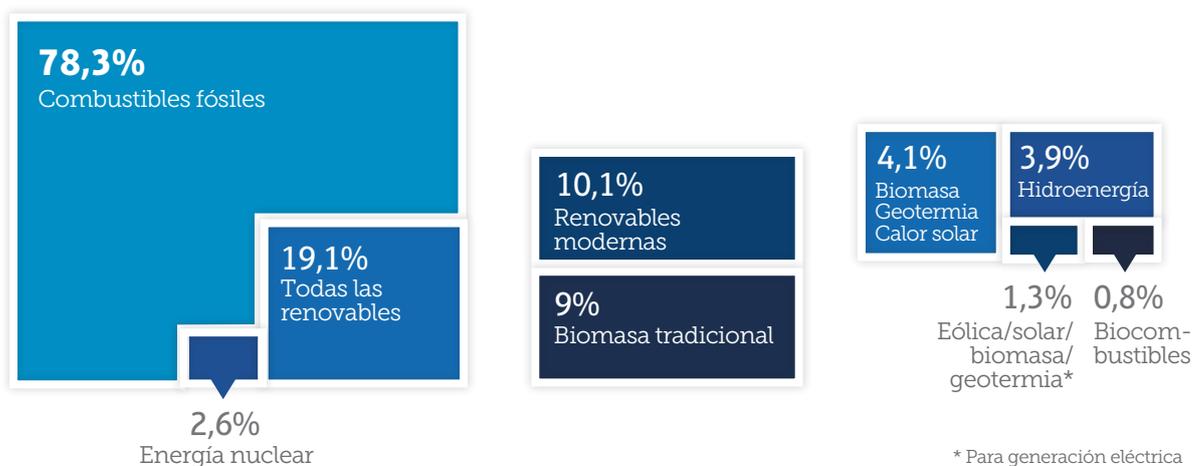


El reporte de REN21 (2015) muestra que en

2014

las tecnologías de generación eléctrica que tuvieron la mayor tasa de crecimiento fueron la solar fotovoltaica, la solar por concentración y la eólica.

FIGURA 21: Participación de la energía renovable en el consumo final de energía en el año 2013 (REN21, 2015)



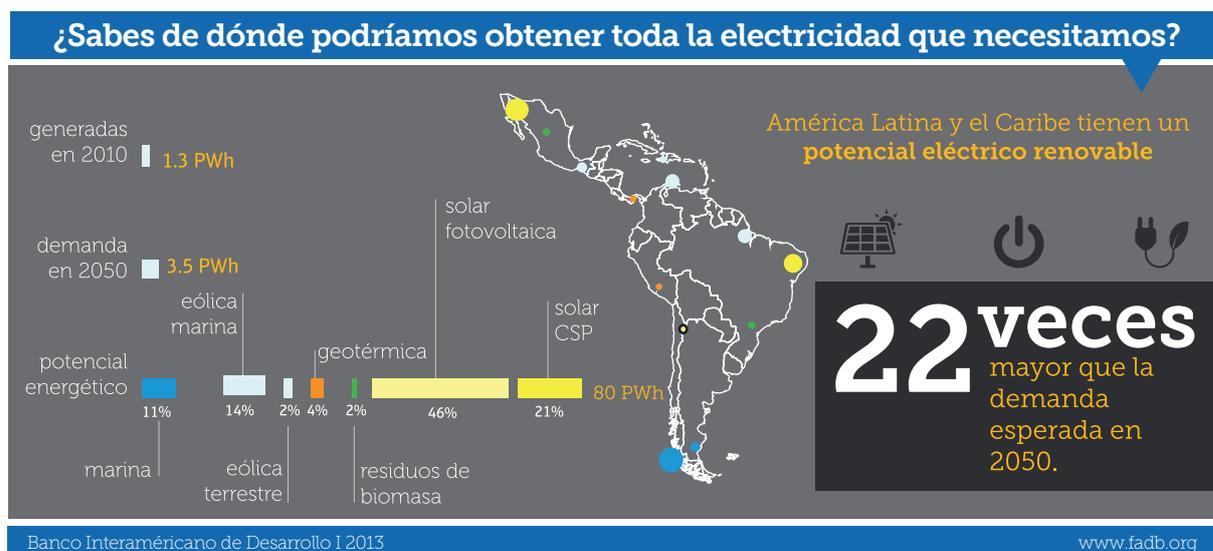
EL CONTEXTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

De acuerdo con un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2013), en el año 2010 se produjo en América Latina y el Caribe un total de 1,3 PWh de electricidad con energías renovables, un valor importante si se toma en cuenta que la demanda prevista para 2050 será de 3,5 PWh. En este mismo informe se indica que el potencial de generación eléctrica renovable es de 80 PWh. Un 46% de este valor corresponde a la solar fotovoltaica, un 21% a la solar termoeléctrica (CSP), un 14% a la eólica marina

y un 11% a la energía de mareas y olas (maremotriz y undimotriz) (Figura 22).

La Tabla 3 ofrece el potencial de algunos países con respecto al recurso solar, eólico, pequeña hidroeléctrica, geotermia y bioenergía⁸. Destaca el gran potencial de Brasil en todas las tecnologías por su vasta extensión. En Chile cobran especial importancia la eólica, la geotermia y la energía solar. En los países de América Central resulta muy relevante el potencial de la geotermia y la energía solar. Esta última tecnología también presenta un importante potencial en México, Perú y Argentina.

FIGURA 22: Potencial de energías renovables para generación eléctrica en América Latina y el Caribe (BID, 2013)



8. La energía solar se da en términos de irradiación solar en superficie horizontal en kWh/(m² año).hora.

TABLA 3: Potencial de energías renovables para generación eléctrica en algunos países de América Latina y el Caribe

	Solar FV (kW/m ² , año)	Eólica (MW)	PCH ¹ (MW)	Geotermia (MW)	Biomasa (MW)
Argentina	1.800	5.000	425 – 480	150 – 2.000	430
Brasil	1095 – 2.372,5	>250.000	25.193	360 – 3.000	26.540
Chile	663,5 – 2.555	6.000 – 10.000	2.600	3.500 – 7.000	1.000
Perú	1.900 – 2.500	2.500	1.000	1.000 – 2.990	178
Colombia	1.800	21.000	25.000	55	47
Venezuela	1.606 – 2.445,5	45.195	15.000	910	340
México	1.640 – 2.370	40.000	3.250	6.500 – 8.000	800
A. Central	1.725 – 2.175	400 - 600	18.000	24.400 – 31.500	635

¹Pequeña centrales hidroeléctricas

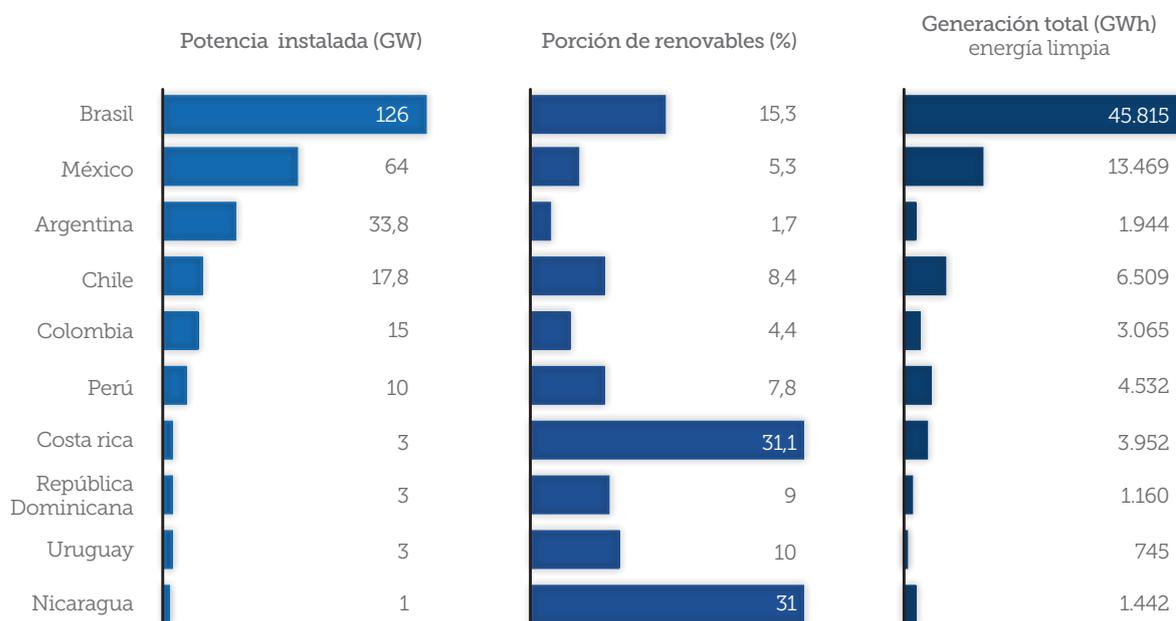
Fuente: International Energy Initiative

La Figura 23 indica la potencia instalada, la generación de energía renovable y la proporción total respecto al consumo en los países más destacados de América Latina en el año 2013 (Bloomberg Energy Finance, 2014). En cuanto a capacidad y generación total instalada, destaca Brasil con 126 GW y 45.815 GWh respectiva-

mente, siendo su contribución total alrededor del 15%. Costa Rica y Nicaragua también presentan un 31% de proporción de renovables dentro de sus matrices energéticas. Si bien la potencia instalada y la generación en estos países son relativamente bajas, tienen mucha importancia con respecto a su superficie.



FIGURA 23: Potencial de energías renovables para generación eléctrica en algunos países de América Latina y el Caribe (Bloomberg Energy Finance, 2014)



El reporte de REN21 (2015) señala que, en cuanto a la generación eléctrica, Brasil es el país líder en nueva potencia instalada en 2014, especialmente en energía hidroeléctrica y eólica. Otros países con grandes avances en la región han sido Chile, México y Uruguay. En las tecnologías de calefacción, los principales avances en la región han venido de la mano de incrementos en el uso de energía de la biomasa y calentamiento solar de agua. En el transporte, nuevamente lidera Brasil con la producción de etanol, con importantes crecimientos en Argentina y Colombia.

■ EL CONTEXTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR

Recientemente se ha editado una publicación (Peláez y Espinoza, 2015) en la que se describe el estado actual y las perspectivas de las energías renovables y de la eficiencia energética en el Ecuador. En ella se ofrece información relevante de los diferentes recursos energéticos renovables y las principales tecnologías de aprovechamiento.

Se espera que en el año 2016 más del 80% de la electricidad proceda de fuentes renovables debido especialmente a la puesta en marcha de ocho centrales hidroeléctricas. A pesar de este elevado potencial de generación eléctrica, es necesario considerar que la electricidad no cubre la demanda de energía

térmica en la industria y la demanda de combustibles en el sector transporte.

En 2015 se produjeron en el país aproximadamente 13.640 GWh provenientes de fuentes renovables. La participación de las diferentes tecnologías en este total fue de 96% para la energía hidroeléctrica, 3% de la energía proveniente de biomasa, 0,72% de la energía eólica y 0,26% de la energía solar (Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, 2016).

■ EL CONTEXTO MUNDIAL, REGIONAL Y LOCAL DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Mejorar la eficiencia energética se ha convertido en una política prioritaria en varios países a nivel mundial. Sin embargo, hasta la actualidad no existe un indicador internacionalmente acordado para medir y dar seguimiento a las tendencias, tanto globales como nacionales, de eficiencia energética. El indicador más comúnmente utilizado es el de intensidad energética (la relación entre el consumo energético y el producto interno bruto de un país), aunque ha sido ampliamente criticado al no estar limitado a factores de eficiencia en el uso de la energía, sino que también incluye cambios estructurales en la economía (REN21, 2015).



Mantener un crecimiento económico sostenido requiere de disponibilidad de suministro energético para el desarrollo de actividades productivas que permitan asegurar la competitividad a largo plazo. En este contexto, una de las alternativas de mayor impacto y menor costo es la eficiencia energética. El efecto combinado de varias acciones de eficiencia económica y energética permite reducir las necesidades de inversión en la expansión de los sistemas de oferta de energía eléctrica, minimizar los impactos ambientales, incrementar la flexibilidad y la confiabilidad del servicio, y proveer beneficios económicos tanto a las empresas eléctricas como a la sociedad en su conjunto (CONELEC, 2012).

En 2012, Ban Ki-Moon, Secretario General de las Naciones Unidas, lanzó la iniciativa “Energía Sostenible para Todos” (SE4All, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo general es mejorar el acceso universal a los servicios modernos de energía para el año 2030. Entre sus objetivos específicos incluye duplicar la tasa global de

mejora de la eficiencia energética, definiendo una meta anual de reducción promedio de 2,6% como la meta a lograr hasta el año 2030. Esta meta constituye un reto especial para América Latina y el Caribe, ya que la tasa de reducción de la intensidad energética en la región entre 1990 y 2010 fue de tan solo de 0,5% a 0,7% anual (CEPAL, 2014).

La intensidad energética a nivel global decreció a una tasa anual promedio de 1,25% entre 1990 y 2013 (REN21, 2015). Las reducciones más significativas se han dado en Europa y Norte América, aunque también se han visto mejoras en América Latina (Figura 24). Parte de esa reducción también se explica por la externalización de la producción industrial de elevado consumo energético (metalurgia, cemento, etc.) a países como China. El Oriente Medio es la única región del mundo que ha experimentado un aumento general de este factor.

FIGURA 24: Evolución de la intensidad energética total en el Ecuador en el período 1970 – 2013 y comparación con los países Latinoamericanos (OLADE, 2015)

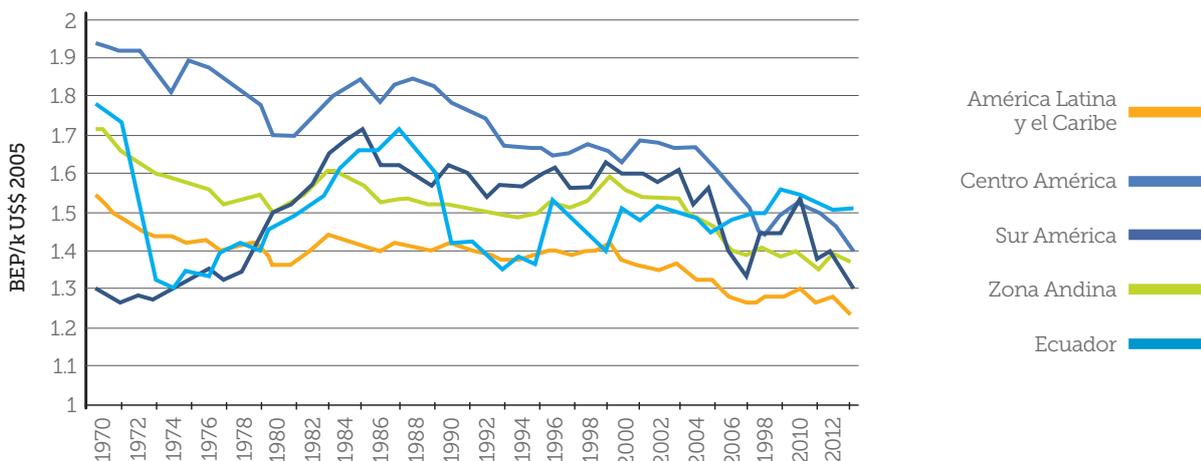
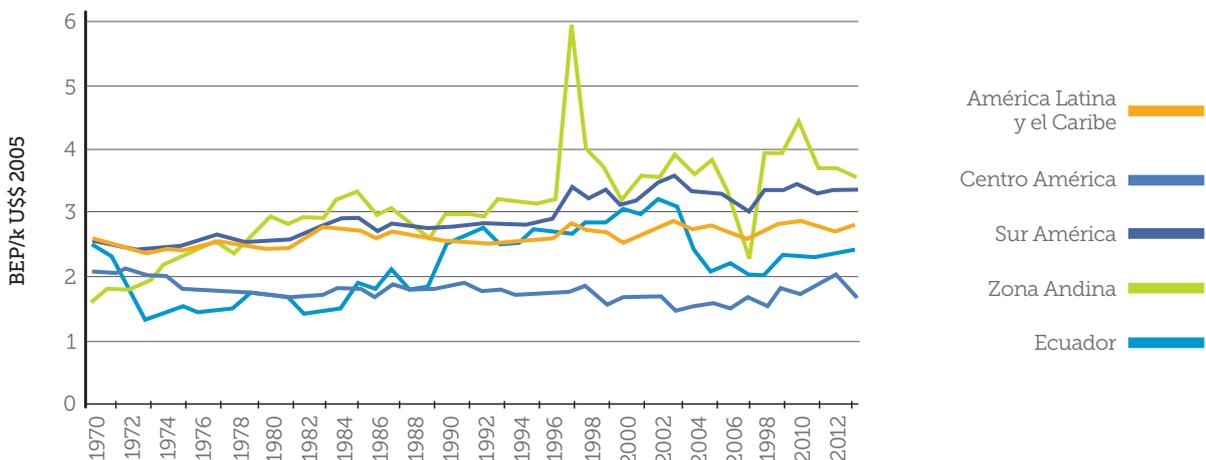


FIGURA 25: Evolución de la intensidad energética industrial en el Ecuador en el período 1970 – 2013 y comparación con los países Latinoamericanos (OLADE, 2015)





Latinoamérica y los países andinos muestran un descenso de la intensidad desde mediados de los años 1980, llegando a valores alrededor de 1,2 BEP/kUS\$ (US\$ equivalentes al 2005) en el 2013. Sin embargo, el Ecuador ha pasado de 1,3 BEP/kUS\$ a principios de los años 1990 a 1,5 BEP/kUS\$ en el año 2013 (Figura 24). En cuanto a la intensidad energética industrial en América Latina (Figura 25), esta se ha mantenido prácticamente estable desde mediados de los años 80 hasta el 2013. Para el caso de Ecuador, este indicador se ha incrementado desde 1,8 BEP/kUS\$ a 2,4 BEP/kUS\$ en el mismo periodo, principalmente debido al crecimiento del sector manufacturero nacional. En términos generales se percibe una mejora en la atención prestada por los países de la región a la problemática de la eficiencia energética. En lo referente a los avances en el marco político, normativo e institucional en el período 2008–2013, se han observado mejoras en la mayor parte de los países (CEPAL, 2013).

Existe un gran potencial para mejorar la forma como se consume la energía en el Ecuador a través de su eficiencia y buen uso, particularmente en el sector eléctrico, con costos de implementación menores o iguales a lo que cuesta producir la energía (CONELEC, 2012). Ecuador presenta valores inferiores de intensidad energética industrial en comparación con Latinoamérica y la zona andina. Lo que indica que el incremento en la intensidad total se debe al crecimiento del sector transporte.

Según información de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en el 2009 la intensidad

energética en el Ecuador era de 3,23 BEP/1.000 US\$, mucho mayor que la de otros países de la región. Este indicador, a pesar de su perfectibilidad, pone en relieve el enorme potencial de ahorro de energía en la economía y la presión cada vez más creciente para reducir la intensidad energética con miras a mejorar la competitividad y reducir las emisiones de CO₂ (OLADE, 2015). La eficiencia energética presenta interesantes alternativas en todas las fases de la cadena (generación, transporte, distribución y uso final) mediante la introducción de tecnologías de mayor eficiencia (CONELEC, 2012).

■ ANÁLISIS POR TIPO DE RECURSO RENOVABLE Y TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO

En este punto se analizarán los recursos renovables a nivel mundial, regional y ecuatoriano, así como las principales tecnologías renovables con una mayor presencia en términos energéticos: bioenergía, energía solar, energía eólica, geotermia e hidráulica de baja potencia. En el caso del Ecuador, recientemente se ha publicado el libro *Energías Renovables en el Ecuador, situación actual y perspectivas* (Peláez y Espinoza, 2015), en el que se puede encontrar información detallada sobre el estado del aprovechamiento de los recursos renovables en el Ecuador y las diferentes tecnologías disponibles.



www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/6035266973

BIOENERGÍA

La especificación técnica europea CEN/TS 14588 define a la biomasa como todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo procesos de mineralización (MCPEC et al., 2014).

La bioenergía es la energía proveniente de la biomasa y es considerada la fuente renovable más usada en el mundo actualmente. En 2013 aportó con cerca del 10% del consumo de energía primaria mundial, correspondiente a unos 16.250 TWh⁹ (58,5 EJ¹⁰); un 77 % corresponde a aprovechamiento en forma de calor y el resto se utilizó para generación eléctrica, con una capacidad total instalada en 2014 de 93 GWe¹¹ (REN21, 2015). En el caso del aprovechamiento térmico, 80% procede de combustibles sólidos, 15% de residuos sólidos urbanos, 4% de biogás y 1% de biocombustibles líquidos. En el caso de la generación de electricidad, 75% se genera a partir de combustibles sólidos, 17% a partir de biogás, 7% con residuos sólidos urbanos y 1% con biocombustibles líquidos. La mayoría de la biomasa es utilizada en el sector residencial de países en desarrollo para cocinar, calentar espacios habitables y hervir agua. Sin embargo, en países desarrollados está teniendo una importancia creciente, impulsada especialmente por los altos costos de los combustibles fósiles (European Commission, 2015).

La electricidad generada por bioenergía alcanzó en 2010 aproximadamente 400 TWh a nivel mundial, lo que equivale a cerca del 2% de la producción eléctrica global. Esta generación se concentra especialmente en países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), aunque China y Brasil están creciendo en la participación. Según la International Energy Agency (2012), se espera una meta de producción de 160 EJ de bioenergía primaria para el 2050, en comparación con los actuales 58,5 EJ.

A pesar de que los cálculos pueden variar de forma significativa, muchos estudios coinciden en la importancia de la bioenergía para asegurar el aprovisionamiento energético y como alternativa para la reducción de los impactos del cambio climático. Así, la participación de la biomasa como fuente de energía primaria aportaría entre 100 a más de 400 EJ/año a nivel mundial hasta el 2050 (Berndes et al., 2003). En los próximos años, se espera que la mayor producción de biocombustibles se realice en el hemisferio sur debido a sus mejores condiciones climáticas, mayor producción de biomasa y menores costos de producción. Por consiguiente, se espera que la industrialización de biocombustibles en esta zona del planeta traiga consigo oportunidades de desarrollo social y económico (Cremonese et al., 2015).

La biomasa, especialmente madera/leña, ha sido uno de los principales combustibles utilizados en América



9. **Teravatio-hora:** 1.000.000.000 kWh. Un vatio-hora es la energía necesaria para mantener una potencia constante de un vatio (1 W) durante una hora.
10. **EJ:** Exajulio (10¹⁸ julios), 1 julio es una unidad de energía. 1 vatio hora equivale a 3.600 julios.
11. **GWe:** Giga vatio eléctrico / GWt = Giga vatio térmico.

Latina y el Caribe. En 1970 representaba el 17% de la matriz energética del continente, siendo el segundo combustible más importante después del petróleo. Hasta el 2010 este valor se había reducido a un 7% (Tissot, 2012).

El uso de biomasa ha sido particularmente importante en países de América Central, Brasil y Colombia (Tissot, 2012), principalmente por el uso de bagazo de caña; sin embargo, otros países también tienen importantes recursos de biomasa. Esta importancia radica principalmente en el uso de la leña y otros materiales similares como fuente de calor, tanto para la cocción como para el calentamiento de espacios habitables y agua. Además, la falta de acceso a combustibles “modernos” provenientes del petróleo o gas natural ha contribuido al uso extendido de la biomasa.

Haciendo referencia al contexto de utilización de biomasa en la región, en Argentina, durante el año 2012 el bagazo y la leña apenas aportaban con un 2% a la matriz energética total. Dentro de la generación renovable en Argentina, la biomasa aporta en un 10%, residuos sólidos urbanos (RSU) en 12%, biocombustibles en 15% y biogás en un 2%, lo que suma un total de 39% de la generación mediante energía renovable proveniente de las diferentes formas de bioenergía (FAO, 2013).

La matriz energética brasileña cuenta con un 45% de participación de fuentes renovables, de lo cual 26% está compuesto por leña, carbón vegetal y caña de azúcar con sus derivados (FAO, 2013).

En Chile, la biomasa representa 28% de la matriz de energía primaria; de este, 67% es usado para calefacción y cocción. El potencial de biomasa en este país sería de unos 3.000 MW provenientes de residuos de la producción forestal y aserraderos, y unos 260 a 360 MW provenientes de la generación de biogás a partir de residuos sólidos urbanos, aguas negras y residuos agrícolas. Al año 2012, se encontraban operativas plantas de biomasa con una capacidad de 442 MW (FAO, 2013).

Colombia, al igual que la mayoría de países de América Latina, ha utilizado sus recursos de biomasa para la cocción y la calefacción. También hay usos modernos de la biomasa dirigidos a la producción de biocombustibles. Al 2013, los biocombustibles aportaron en un 2% a la matriz energética del país, mayoritariamente utilizado en el sector transporte. El carbón de leña aporta en casi otro 2% a la matriz (FAO, 2013). La biomasa para cogeneración eléctrica, especialmente del residuo de la producción de caña de azúcar, también tiene importancia en Colombia. Cerca de 6 millones de toneladas de residuos son utilizadas anualmente con este fin. Al 2013, 12 proyectos de cogeneración estaban operativos con una capacidad de 190 MW. La biomasa de palma de aceite no es utilizada actualmente, aunque algunos estudios indican un potencial de cogeneración

de unos 250 MW si se utilizan los residuos este cultivo (FAO, 2013).

En Costa Rica, 11% aproximadamente del consumo energético es provisto por la biomasa. El potencial energético de la biomasa para este país se estima en unos 635 MW; sin embargo, esta fuente aporta apenas 1% para la generación eléctrica (FAO, 2013).

En México, la matriz energética está fuertemente dominada por los combustibles fósiles, principalmente el petróleo y gas natural. El cambio más representativo en los últimos años es la sustitución de petróleo por gas. La contribución de la energía nuclear y renovable, incluyendo las hidroeléctricas, llega apenas a un 10%. De estos porcentajes, la bioenergía aporta con un 3% en forma de leña usada principalmente en el sector rural (FAO, 2013).

Paraguay tiene una de las matrices energéticas en las que la proporción de la energía renovable es mayor gracias a la represa Itaipú de la cual este país tiene una participación de 50%. Actualmente, la mezcla de gasolina con bioetanol en este país es de 21%, lo que se traduce en una demanda nacional de casi 55 millones de litros de etanol. Paraguay produce casi exactamente la cantidad de etanol que necesita para la mezcla mencionada, para lo cual utiliza caña de azúcar sembrada en unas 82.000 ha. En el caso de biodiesel, este país necesita unos 50 millones de litros para alcanzar una mezcla de 5% (Cremonez et al., 2015).

Para el Ecuador, en 2014, en un esfuerzo de varias instituciones, se presentó el Atlas Bioenergético del Ecuador (MCPEC et al., 2014). Este documento recopila información para los diez cultivos más representativos por superficie cultivada y generación de residuos aprovechables, además de la producción de tres especies pecuarias y la actividad forestal. Los cultivos considerados en el atlas son arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, maíz duro, palma africana, palmito, piña y plátano. Las especies pecuarias consideradas fueron aves, cerdos y ganado lechero. Finalmente, la producción forestal también fue tomada en cuenta para la cuantificación de residuos aprovechables. Los datos consignados en este estudio muestran una disponibilidad total de residuos agropecuarios y forestales de 19 millones de toneladas anuales, mientras que el potencial energético es de aproximadamente 230.950 TJ/año.

Las provincias con el mayor potencial de bioenergía son en este orden: Esmeraldas (53.335 TJ/año), Los Ríos (51.610 TJ/año), Guayas (50.325 TJ/año) y El Oro (18.987 TJ/año). El resto de provincias del país participan con potenciales notablemente menores. Los cultivos que más aportan como recurso de bioenergía son banano, caña de azúcar, cacao y palma africana.





Foto: http://mesyr.edu.umh.es/wp-content/uploads/sites/465/2014/12/09_Pellets.jpg

Durante el año 2013 se produjeron en el Ecuador 296 GWh eléctricos provenientes de biomasa, que corresponden al 1,9 % de la generación eléctrica total; en el 2015 este valor ascendió a 408 GWh, lo cual representó un incremento de casi un 1% de aporte a la matriz eléctrica nacional (Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, 2016).

LAS TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LA BIOENERGÍA

Las tecnologías para el aprovechamiento de los biocombustibles sólidos

En América Latina, según estimaciones basadas en datos de la ONU, 23% de la población de esta región depende todavía del uso de la leña como fuente de energía. Esto representa que anualmente se consumen 66 millones de toneladas de leña para cocción y calefacción. En algunos países, como Nicaragua, el uso de leña llega al 44% del consumo nacional final de energía (Gazzoni et al., 2010). En el año 2014, en el Ecuador se produjeron 778.000 toneladas de leña con fines de cocción y calefacción. La importancia de este recurso radica principalmente en el hecho de que la leña sigue siendo aún hoy en día la principal fuente energética para la población más pobre del continente, la cual no tiene

acceso a fuentes “modernas” de energía, ya sea por costos o por falta de infraestructura de distribución.

Como alternativa para mejorar el uso de la leña en términos de eficiencia energética y reducción de las emisiones de gases perjudiciales para la salud, existen iniciativas en varios países latinoamericanos para la implementación de estufas mejoradas conocidas como “cocinas limpias” o “mejoradas” (Documento interno INER, 2015), esencialmente máquinas térmicas que generan calor mediante la combustión de sólidos para cocción, calefacción y calentamiento de agua.

Los países que han implementado el mayor número de cocinas limpias son Perú y Bolivia, con 287.000 y 74.000 unidades respectivamente. En Brasil, 15% de las familias cocina con biomasa y se han instalado cocinas limpias en algunos sectores del país, para lo que se han utilizado materiales locales y diseños mejorados de acuerdo con las zonas climáticas (Gazzoni et al., 2010). En el Ecuador se tiene poca experiencia, contando con unos cuantos cientos de cocinas mejoradas de leña implementadas en los últimos años (Documento interno INER, 2015). Por ejemplo, la organización ADRA ha impulsado un programa para la construcción de 800 cocinas mejoradas en comunidades de Guano y Pujilí, en un programa financiado por la Alianza de Energía y Ambiente con la Región Andina del Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA) (ADRA, 2013).



Las cocinas mejoradas se clasifican básicamente en dos tipos: combustión directa y gasificación. Las primeras son más antiguas y las mejoras observadas corresponden a diseños geométricos de la cámara de combustión optimizados para una mejor transmisión de calor hacia las ollas. En la gasificación, la combustión se produce en dos etapas; en la primera, el combustible se gasifica en ausencia de oxígeno, mientras que en la segunda el gas de síntesis producido se combustiona mediante la combinación con oxígeno y se produce calor. La principal ventaja de estas cocinas es que no producen humo y son transportables (Documento interno INER, 2015).

En cuanto a la producción de pellets¹² y briquetas¹³, en el estudio compilado por Peláez y Espinoza (2015) se revisan las tecnologías utilizadas en el Ecuador para el briquetado de biomasa. Según este estudio, los primeros análisis del briquetado se dieron a partir de mediados de la década de 1980 en la provincia del Guayas, con el fin de vender briquetas a los ingenios azucareros; sin embargo, el proyecto no prosperó dado el bajo precio de los combustibles y problemas con la

higroscopicidad (capacidad de absorber humedad) de las briquetas producidas¹⁴.

Según el mismo trabajo, la ESPOL adquirió posteriormente un termogasificador diseñado para la operación con madera, dejando de lado la alternativa del desarrollo de briquetas a partir de cascarilla de arroz. Nuevamente, la escasa atención dada a combustibles alternativos y los bajos precios de los combustibles desincentivaron la continuación de estos estudios.

Actualmente, el INER trabaja en la utilización de la torta residual de piñón¹⁵ para la producción de un biocombustible de alta calidad. El interés de este proyecto es encontrar un producto adicional a partir de los residuos de la extracción del aceite de piñón, mediante el pretratamiento por pirólisis de la biomasa residual, para la obtención de un pellet que cumpla con los estándares de la normativa BSEN-14961. Algunos de los estándares que se busca cumplir mediante el pretratamiento y posterior pelletizado son: poder calórico, contenido de humedad, durabilidad mecánica, diámetro y longitud, cenizas, nitrógeno, azufre y cloro.



12. **Pellets:** pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.

13. **Briquetar:** compactar un producto o residuo, previamente secado, con el fin de obtener una revalorización energética o para reducir su volumen.

14. Este estudio no identifica de qué material se realizaban las briquetas.

15. Las semillas de la planta de piñón (*Jatropha curcas*) después de que se ha extraído de ellas el aceite forman un residuo semicompacto conocido como torta residual.

Otro caso de uso de biomasa está en la utilización de los residuos derivados de la cosecha y procesamiento de la caña, especialmente bagazo. El procesamiento de caña de azúcar en los ingenios azucareros y en plantas de fabricación de alcohol requiere del uso de combustibles como medio de generación de energía térmica y eléctrica. La utilización de residuos como el bagazo de caña es una medida interesante para disminuir costos de producción, eliminar residuos y tener una producción más eficiente y amigable con el ambiente. Existen varias iniciativas a nivel regional, especialmente en países como Brasil y Colombia, para la cogeneración con la utilización de bagazo de caña.

Inicialmente, el bagazo era utilizado para producir electricidad y vapor en pequeña escala. Se empleaba en calderos para generar vapor a bajas presiones y temperaturas, lo que conllevaba una baja eficiencia. De igual manera, la energía eléctrica producida era limitada y se empleaba únicamente para abastecer a equipos pequeños y motores eléctricos de bajo consumo. Posteriormente, se optimizaron los sistemas de combustión de bagazo para tener una generación de energía más eficiente, con una mejor relación presión/temperatura, aunque estos sistemas podían mejorar porque tenían una eficiencia media y requerían muchos equipos auxiliares accionados con la energía generada en pequeñas turbinas de vapor. Es decir, no se consideraba la importancia de maximizar la generación combinada de vapor y energía a partir del bagazo de caña.

Actualmente, el enfoque energético de la industria azucarera y sus derivados apunta a buscar fuentes alternativas de energía, disminuir la emisión de GEI, y evitar de alguna manera los costos asociados a la generación de energía a partir de combustibles fósiles. Los sistemas más eficientes trabajan con altas presiones y temperaturas, lo que permite tener suficiente vapor generado para el procesamiento de azúcar y facilitar la generación de energía con vapor de alta presión. Existe también la posibilidad de utilizar tecnologías de ciclo combinado, que presentan elevadas eficiencias en operación al mezclar la generación de energía con gases provenientes de gasificación, con la energía proveniente de una segunda etapa que considera turbinas de vapor.

Los problemas asociados que persisten tienen que ver principalmente con la elevada humedad del bagazo, lo que disminuye el poder calórico del residuo y afecta la eficiencia del proceso. Se necesitan equipos con alto rendimiento y ciclos con cogeneración y regeneración para aprovechar al máximo el rendimiento del bagazo de caña como combustible. Además, el contenido de cenizas puede ocasionar inconvenientes operativos en unidades de combustión, haciendo necesarios una limpieza y un mantenimiento más frecuentes.

La disponibilidad y almacenamiento de bagazo de caña es un factor a considerar en la generación de energía térmica y eléctrica a partir de este residuo.

Las tecnologías para la producción de biocombustibles líquidos

La producción global de biocombustibles líquidos se incrementó en un 8% en el 2014, hasta un total de 127.700 millones de litros, siendo los mayores productores Estados Unidos, Brasil, Alemania, China y Argentina (REN21, 2015). De esta producción, 73% corresponde a bioetanol, 23% a biodiésel y 4% a hidrobiodiésel.

América Latina y el Caribe contribuyen con cerca de 31% de una producción mundial de etanol, que alcanzó 1,5 millones de barriles/día en 2012. Prácticamente la totalidad de la producción latinoamericana está en Brasil, aunque países como Colombia y Paraguay están creciendo rápidamente (Tissot, 2012). América del Sur y América Central se ubican en segundo lugar en la producción de biocombustibles después de Europa (Cremonez et al., 2015). En el Ecuador también se impulsan la producción y el uso del etanol como biocombustible por medio de la mezcla con gasolina (Programa EcoPaís).

En Argentina, durante las décadas de 1970 y 1980, empezó a tomar fuerza la producción de bioetanol. Este país ha implementado algunas normas para motivar la participación de los biocombustibles en las naftas y diésel utilizados internamente. Argentina es el tercer mayor productor mundial de soya y el primer exportador de aceite (Cremonez et al., 2015). La producción en 2011 fue de 130.000 toneladas de bioetanol y 3,8 millones de toneladas de biodiésel. Estos datos colocaron al país sudamericano como uno de los principales productores de biodiésel y el mayor exportador mundial de este biocombustible para el año indicado (FAO, 2013). En este año, la producción de biodiésel argentino correspondió a casi 12% de la producción mundial total. El mercado interno de biocombustibles en este país también se ha incrementado, especialmente a partir de 2006, año en el que el gobierno impulsó un programa para la mezcla obligatoria de 5% de etanol en gasolina y 5% de biodiésel en el diésel fósil (Cremonez et al., 2015).

Brasil cuenta con una historia larga sobre el uso de la energía de la biomasa, en donde predomina la producción de etanol de caña para mezclas con combustibles fósiles de vehículos. La producción de bioetanol como recurso energético en este país data de 1931; a partir de la década de 1970 la gasolina tiene un 7,5% de mezcla con bioetanol. Esta producción ha sido siempre impulsada por los altos precios del petróleo y los bajos

precios asociados a la alta capacidad de producción de caña de azúcar en este país (FAO, 2013). Al año 2013, el Brasil produjo alrededor de 43,5 millones de metros cúbicos de bioetanol.

En el caso de biodiésel, los principales cultivos en Brasil con potencial de uso para este producto son la higuera (ricino), la palma y la soya. Actualmente este país cuenta con una producción poco representativa de biodiésel, lo que ha sido objeto de algunas iniciativas gubernamentales para impulsar su producción como alternativa de mejoramiento de la calidad de vida de los agricultores desde 2004 (FAO, 2013).

En Chile, los principales cultivos con potencial de producción de biodiésel son la soya, el girasol y la canola; para la producción de etanol son el maíz y el trigo. Debido a las condiciones edafoclimáticas, este país presenta mayor potencial para la producción de biodiésel que de bioetanol. A partir de 2008, se implementó un decreto para regularizar la mezcla de un 2 a 5% de biodiésel con diésel fósil y etanol con gasolina; no obstante, esta mezcla es facultativa y no obligatoria. En 2009, la capacidad de producción de biodiésel en este país fue de 75.000 m³, que representan solamente 37% de la cantidad necesaria para alcanzar un 2% de mezcla en el consumo total de diésel (Cremonese et al., 2015). Chile tiene gran potencial y actualmente se impulsan la investigación y desarrollo en el estudio de la biomasa para la producción de biocombustibles de segunda generación (European Commission, 2015). Especialmente los residuos forestales que actualmente son subutilizados generan una gran cantidad de biomasa aprovechable (Cremonese et al., 2015).

Colombia es el tercer productor de biocombustibles en América Latina y el décimo productor de etanol a nivel mundial, aunque toda su producción es aún consumida a nivel interno. En este país, la gasolina actualmente lleva una mezcla de 8% de etanol y el diésel un 7%-10% de biodiésel, según la región del país (Cremonese et al. 2015).

Costa Rica cuenta con experiencia e infraestructura para la producción de biocombustibles, especialmente para la producción de etanol a partir de caña de azúcar. Su uso aún no es masivo en el país, pero se está incrementando. Este país aún no cuenta con producción de biodiésel, aunque su potencial es elevado debido principalmente a la capacidad de producción actual y potencial de palma africana.

En cuanto a los biocombustibles en el Ecuador, la mayor experiencia que se tiene es la mezcla de gasolina con 5% de etanol en el marco del programa EcoPaís. Este se ha desarrollado hasta el momento solamente en la ciudad de Guayaquil, con perspectivas de ampliarse a nivel nacional. En el año 2013, la producción de etanol en el país alcanzó los ocho millones y medio

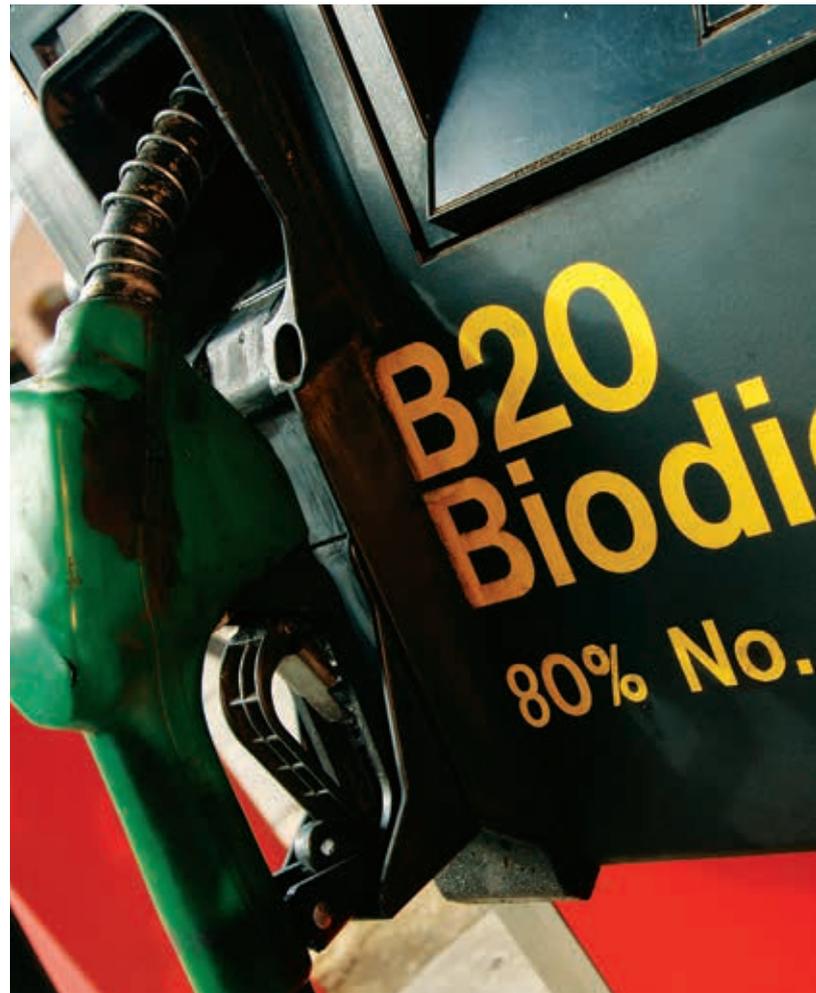


Foto: <http://mosoy.org/wp-content/uploads/2016/02/pumphandle-2.jpg>

de litros, que fueron utilizados para la producción de la gasolina EcoPaís (MICSE, 2013).

Si bien la producción de biodiésel en el país es menor, se espera que la industria de palma africana o aceitera pueda destinar parte de su producción a la fabricación de este biocombustible. Al 2010 se sembraron 162.200 hectáreas de palma aceitera, con una producción de 1.199.421 tm (Censo Nacional Agropecuario, 2010). Además, el proyecto "Producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos", manejado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en cooperación con IICA y la Cooperación Alemana, arrancó en 2008 con el objetivo de sustituir el diésel por aceite vegetal del piñón cultivado en la Costa. En el año de inicio del proyecto se contabilizaron 7.000 km de cercas vivas de la planta que fueron destinadas a la producción de semilla y consiguiente extracción de aceite.

En el año 2012, la producción de aceite puro de piñón para ser utilizado como combustible para la generación eléctrica en las Islas Galápagos ascendió a 48.500 litros (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2013).

Las tecnologías para la producción de biogás

El uso de biogás alrededor del mundo como fuente de energía se ha producido principalmente por medio del uso de biodigestores en el sector rural, aunque existen biodigestores industriales y algunos instalados en ciudades. La mayoría de los biodigestores encontrados en América Latina y el Caribe están en Brasil, seguido por Cuba y Guatemala. La producción de biogás puede clasificarse de acuerdo con el origen del residuo utilizado: animal, vegetal, industrial, aguas residuales urbanas o residuos sólidos urbanos (Ni et. al. 1993).

La mayoría de los biodigestores encontrados en América Latina y el Caribe están en el sector rural, donde se utilizan los residuos animales y vegetales como sustrato para la fermentación. Estos biodigestores normalmente son de tamaño familiar y con volúmenes típicos entre 7 y 40 m³.

Los biodigestores industriales se encuentran usualmente ligados a la producción de los cultivos más representativos de la región, como son la caña de azúcar, café y frutas. De igual forma, buena parte de la investigación en biogás realizada en la región está enfocada a la utilización de residuos de estos cultivos como sustrato para la fermentación (Ni et. al. 1993).

Por otra parte, la aplicación de sistemas de generación de biogás para el tratamiento de residuos sólidos urbanos ha tenido amplia participación en la región y

existen varios proyectos la mayoría de gran escala, con capacidades de 200 a más de 6.000 m³ (Ni et. al. 1993).

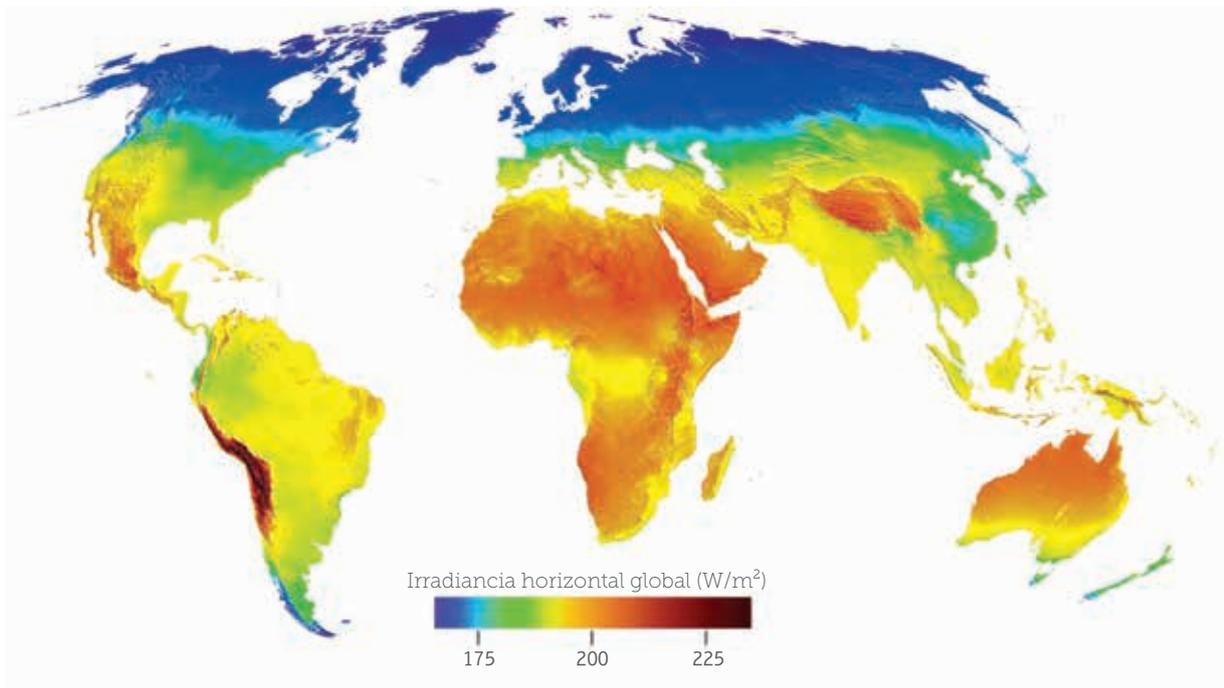
En el caso del Ecuador, se tiene noticia de la instalación de los primeros biodigestores tubulares familiares en el valle de Íntag (Imbabura) por parte de la Asociación de Campesinos Agroecológicos de Íntag (ACAI) en 2002; en la actualidad se siguen instalando, habiendo acumulado más de 80 sistemas (Peláez y Espinoza, 2015). En 2012, la ACAI, a través de la Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología (CEA), instaló 12 sistemas similares en la provincia de Azuay, y seis más en Loja, con lo que se ha difundido la tecnología en el sur del país. A partir de la experiencia de Íntag, también se ha instalado una docena de estos sistemas en Pichincha (Cayambe) y Napo. En la provincia de Carchi, desde 2009, también se ha instalado una decena de biodigestores tubulares en un proceso autónomo. Igualmente, de forma independiente, en la provincia de El Oro se han instalado biodigestores tubulares. En la actualidad se siguen instalando biodigestores tubulares de mayor variedad de tamaños, con diseños actualizados a los modelos desarrollados en Bolivia (Peláez y Espinoza, 2015).

La empresa PRONACA cuenta con seis biodigestores de laguna cubierta en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. La tecnología de los biodigestores también está entrando en la agenda del país desde el ámbito estatal, el de investigación y desarrollo y a través del surgimiento de proveedores de tecnologías de digestión anaerobia, con cuatro Ministerios involucrados: MEER, MAE, MAGAP y MIPRO (Peláez y Espinoza, 2015).



Foto: <http://www.biodigestoresecuador.com/assets/irng/proyectos/77.jpg>

FIGURA 26: Mapa mundial de irradiancia global horizontal (Copyright (c) 2015 Vaisala)



ENERGÍA SOLAR

La irradiancia¹⁶ solar global media a nivel mundial está alrededor de 170 W/m^2 (World Energy Council, 2013). Cuando este valor se integra a lo largo de un año, se obtiene que sobre 1 m^2 de superficie terrestre en posición horizontal indican alrededor de 1.500 kWh ($5,4 \text{ GJ}$), aproximadamente la energía que se puede extraer de un barril de petróleo, 200 kg de carbón o 140 m^3 de gas natural. Sin embargo, el recurso solar depende mucho de la zona geográfica del planeta (Figura 26). Así, hay lugares como el Mar Rojo y el desierto de Atacama en Chile en los que se alcanzan valores superiores a 300 W/m^2 , mientras que en Australia y África son típicos valores de 200 W/m^2 , en Estados Unidos y países del mar Mediterráneo se tiene 185 W/m^2 , o 105 W/m^2 en el Reino Unido y el norte de Europa.

Latinoamérica dispone de un recurso solar relativamente elevado (Figura 27). En zonas de países como Perú, Chile y Bolivia se pueden alcanzar valores alrededor de los 300 W/m^2 (2.700 kWh/m^2 anuales), siendo buena parte de esta radiación directa, lo cual indica que estas zonas son muy adecuadas para el desarrollo de tecnologías de concentración. El Noreste de Brasil, Venezuela y los países de Centroamérica también presentan un potencial relativamente elevado.

El Ecuador también dispone de un recurso relativamente abundante de alrededor de $4,6 \text{ kWh/m}^2$ diarios, tal como refleja el Atlas Solar, que corresponde a unos 200 W/m^2 de irradiancia media o a unos 1.680 kWh/m^2 anuales (Figura 28) (CONELEC, 2008). De acuerdo con este documento, las zonas con valores más elevados de recurso solar son las provincias de Pichincha, Imbabura, Chimborazo y Loja, con valores medios diarios entre $5,5$ y $6,0 \text{ kWh/m}^2$ año. Este atlas fue elaborado mediante datos satelitales, ya que en el momento de su elaboración el Ecuador no disponía de una red radiométrica terrestre para validar los modelos utilizados. En este sentido, actualmente existe la necesidad de continuar afinando los datos con una mejor resolución espacial y validándolos con mediciones terrestres. Para ello serán de gran ayuda las 40 estaciones meteorológicas con medición de recurso solar donadas por la Agencia de Cooperación Japonesa al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). Estas estaciones se instalarán por todo el Ecuador continental, con lo que se establecerá una red radiométrica que permitirá disponer de un mapa solar más preciso. Otro aspecto a considerar es que el Atlas del CONELEC no incluye las Islas Galápagos, lugar donde se sabe que el recurso solar es muy abundante y donde este tipo de energía puede ser aprovechado con diversas tecnologías para generación de electricidad y calor.



16. La irradiancia es una magnitud utilizada para describir la potencia con que inciden las radiaciones electromagnéticas por unidad de superficie.

FIGURA 27: Mapa de irradiación solar global en América Latina y el Caribe (SolarGIS)

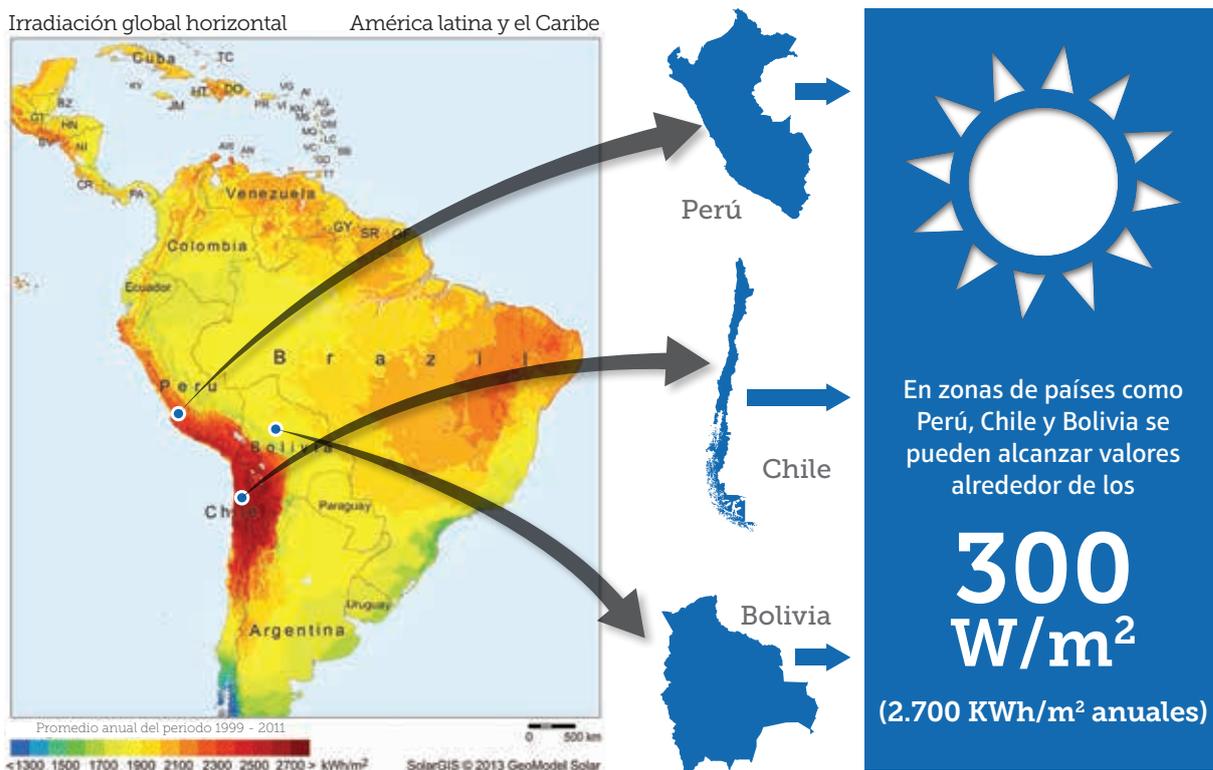
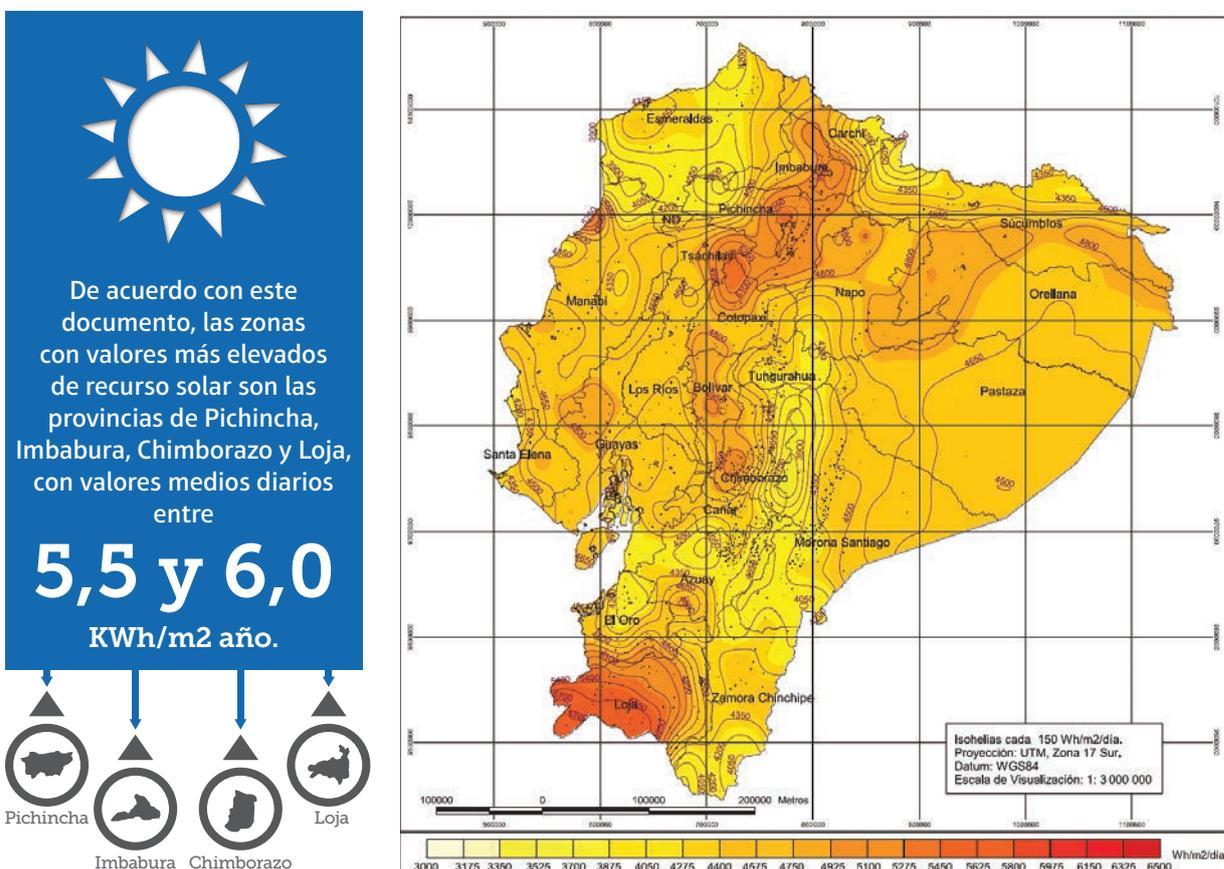


FIGURA 28: Mapa de irradiación solar global del Ecuador (CONELEC, 2008)



Las tecnologías actuales de aprovechamiento de la energía solar

Solar fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica ha experimentado los mayores avances tecnológicos y reducción de costos que cualquier otra tecnología renovable comercialmente disponible. Aunque el diseño básico de las células fotovoltaicas basadas en semiconductores que dominan el mercado ha cambiado solo modestamente desde la década de 1970, los avances acumulados en nuevos conceptos de células y la automatización de su fabricación han reducido los costos de los paneles fotovoltaicos de forma considerable: han llegado a caer en casi 75% en los últimos tres años con valores por debajo de 1.000 US\$/KWp (IDB, 2014).

Un aspecto importante de la tecnología fotovoltaica, a diferencia de cualquier otra tecnología de generación eléctrica, es que se puede implementar económicamente en casi cualquier escala, desde células pequeñas de linternas hasta kilómetros cuadrados de paneles que pueden producir tanta electricidad como una planta termoeléctrica de carbón de gran tamaño.

De acuerdo con Castro et al. (2013), el potencial fotovoltaico mundial, considerando aspectos técnicos y de sostenibilidad, está alrededor de 2.000-4.000 GWe. Por otro lado, se estima que la potencia instalada a nivel mundial de tecnología fotovoltaica fue de 177 GWe en el 2014 (REN21, 2015), de los cuales 40 GW se instalaron en el año 2014. Asia ha sido el mayor mercado en el 2014, con un 60% de la potencia. La mayor parte de esta capacidad fue puesta en marcha en instalaciones conectadas a la red eléctrica, pero también es posible instalar estos sistemas de forma aislada de la red, mediante microrredes locales o sistemas autónomos a escala doméstica.

Actualmente, el ritmo de instalación fotovoltaica en América Latina y el Caribe es del orden de 1GW anual, aunque se espera un aumento de la tasa de crecimiento de potencia instalada para llegar a 6 GW en el año 2020 y a un total de 21 GW en ese mismo año (Figura 29). Si se compara con otras zonas del mundo, como los países de Asia, Europa y Norteamérica, se observa que la potencia instalada y el ritmo de instalación es bastante reducido. Dentro de la región destacan Chile con 1GW, Honduras con 460 MW, México con 195 MW, Guatemala con 98 MW y Panamá con 62 MW (Tabla 4).

FIGURA 29: Evolución esperada de la tecnología fotovoltaica a nivel mundial y en América Latina y el Caribe (gtmresearch, 2016)

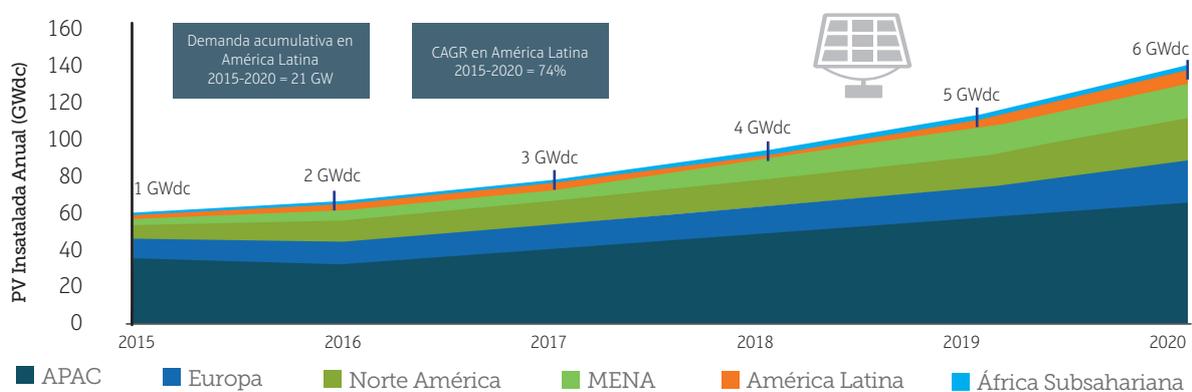


TABLA 4: Principales países de América Latina y el Caribe con potencia fotovoltaica instalada (gtmresearch, 2016)

No.	2014		2015	
	1	Chile	493 MW	Chile
2	México	67 MW	Honduras	460 MW
3	Brasil	22 MW	México	195 MW
4	Guatemala	6 MW	Guatemala	98 MW
5	Honduras	5 MW	Panamá	62 MW

En el 2020 se espera alcanzar los 21 GW en la región, quintuplicando así la potencia actual, siendo los principales actores México, Chile y Brasil (Figura 30). La mayor parte de esta potencia corresponderá a instalaciones conectadas a la red eléctrica con una potencia superior a los 5 MW (Figura 31).

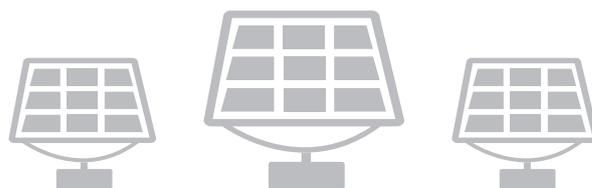


FIGURA 30: Evolución esperada de la potencia fotovoltaica en las principales zonas de América Latina y el Caribe en el período 2015-2020 (gtmresearch, 2016)

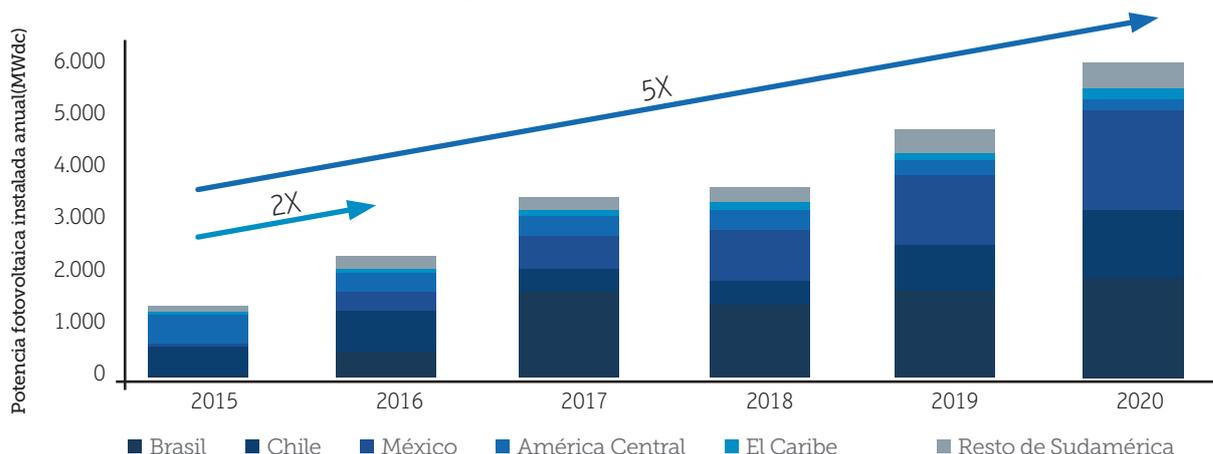
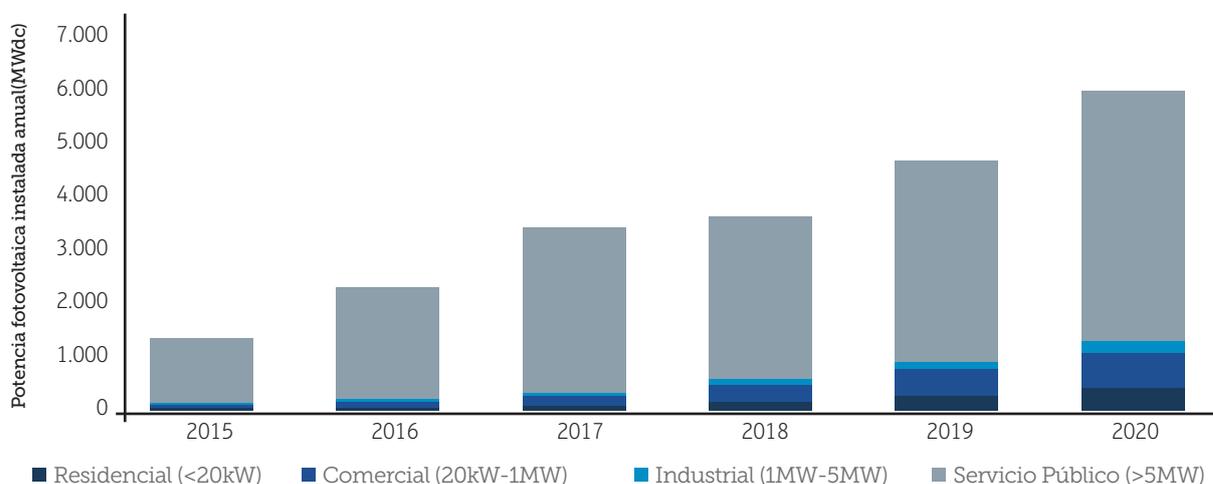


FIGURA 31: Evolución esperada de la potencia fotovoltaica en América Latina y el Caribe por segmentos de potencia en el período 2015-2020 (gtmresearch, 2016)



Solar fotovoltaica en el Ecuador

En términos de las instalaciones fotovoltaicas conectadas al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, en principio, de acuerdo con el Plan de Electrificación 2013-2022 (CONELEC, 2013), hay un total de 98 instalaciones fotovoltaicas con título habilitante otorgado por ARCONEL. De estas, 17 presentan potencias superiores a 1 MW, con un total de 290,7 MW y 81 instalaciones con potencias inferiores o iguales a 1 MW, con un total de 77 MW. Algunos de estos proyectos, especialmente los de

potencia superior a 1 MW, se han cancelado debido a temas administrativos diversos, por lo que es muy posible que no se alcance la potencia total prevista inicialmente. De acuerdo con datos disponibles de ARCONEL, a finales del año 2014 se habían conectado a la red eléctrica 25 MW de potencia solar fotovoltaica. Esta potencia se cubrió con 23 proyectos de 1 MW y uno de 2 MW, ubicados principalmente en las provincias de Loja, El Oro e Imbabura. Por ello en el transcurso del año 2014 la generación fotovoltaica ascendió a un total de 16,5 GWh, cifra 4,5 veces superior a la producción de 2013.

En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica en el Ecuador, existen numerosas instalaciones fotovoltaicas aisladas del sistema nacional interconectado, bien sea por motivos de lejanía de la red (como en el caso de las comunidades amazónicas) o por insularidad (como en el caso de las Islas Galápagos). En este último caso, se destacan los siguientes proyectos (MEER, 2015):

- ☒ Proyecto Fotovoltaico Baltra de 200 kWp, con un sistema de almacenamiento de baterías industriales híbridas a base de ion litio y plomo ácido de 900 kW de potencia
- ☒ Proyecto Fotovoltaico Puerto Ayora de 1,5 MWp
- ☒ Proyecto Híbrido Isabela, formado por una planta térmica dual de 1,2 MW, una instalación solar fotovoltaica de 1,15 MWp y un sistema de almacenamiento de energía con un banco de baterías de 3,3 MWh
- ☒ Cuatro instalaciones fotovoltaicas de 10 kW, en cada una de las islas de Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana

En el caso de las instalaciones en la Amazonía del Ecuador y zonas muy alejadas del sistema nacional interconectado, la inmensa mayoría son de pequeña potencia para electrificación rural, aunque también hay comunidades que disponen de microrredes híbridas con tecnología fotovoltaica y pequeños generadores accionados por motores de combustión interna. En este

sentido, ha habido varias iniciativas de electrificación rural que se enumeran brevemente a continuación.

Desde su inicio en el 2008 hasta el 2010, los proyectos del Fondo de Electrificación Rural Marginal (FERUM I) han sido mayoritariamente de electrificación solar fotovoltaica con sistemas domiciliarios para el sector rural (MEER, 2015b). La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur es la que más ha avanzado en el país en el diseño e implementación de sistemas energéticos aislados sin conexión a red. Los sistemas instalados son de 150 Wp, con una generación mensual entre 10 y 12 kWh. A través de la Unidad de Energías Renovables, en funcionamiento desde el 2009, se han instalado unos 3.000 sistemas en comunidades rurales, lo que totaliza una potencia total de 450 kW. La gran mayoría de estos sistemas están ubicados dentro del área de concesión de la distribuidora en la provincia de Morona Santiago, en los cantones Morona, Logroño y Taisha.

La Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) - Esmeraldas ha instalado alrededor de 400 sistemas solares fotovoltaicos de unos 100 Wp en la provincia de Esmeraldas, financiados con fondos FERUM. En la provincia de Sucumbíos, la entidad FEDETA, conjuntamente con la empresa eléctrica local, ha instalado alrededor de 700 sistemas fotovoltaicos autónomos de 100 Wp. En la provincia de Orellana también se instalaron alrededor de 500 sistemas fotovoltaicos.

En resumen, en su primera fase los fondos FERUM han dado lugar a la instalación de unos 4.600 sistemas fotovoltaicos autónomos con una potencia total de unos



Foto: http://www.eadic.com/wp-content/uploads/2016/03/solar-cells-796700_1920.jpg

600 kWp. Actualmente se está ejecutando el FERUM II que integra un total de 241 proyectos con energías renovables a través de las empresas distribuidoras E.E. Cotopaxi, E.E. Ambato, E.E. Centro Sur y E.E. Quito, sumando una inversión total de unos 17 millones de US\$.

El Programa Euro-Solar fue desarrollado en ocho países de América Latina. Se inició en el Ecuador en el año 2006, implicando la construcción de infocentros para el alojamiento de kits tecnológicos para la dotación de energía eléctrica, telefonía e Internet a 91 comunidades seleccionadas del país (MEER, 2015b). A cada comunidad se le instaló una torre que soporta un grupo de siete paneles fotovoltaicos con una capacidad total de 1.100 Wp, equipos para el acceso a las telecomunicaciones, cinco computadores, un proyector, una impresora multifunción, una refrigeradora para medicinas, un purificador de agua y todos los elementos para la iluminación. Así, la potencia total instalada en este proyecto asciende a 100 kWp.

De forma adicional, el Programa de Fomento del Desarrollo Rural en Comunidades de Esmeraldas (FOMDERES) es un programa de electrificación rural que instaló una microrred de generación solar fotovoltaica de 3.300 Wp y diversos sistemas solares fotovoltaicos individuales de 200 y 400 Wp en la comunidad de “la Y” en 2006. Debido al éxito del proyecto, en 2012 se lo replicó en la comunidad de Las Balsas, dentro de la Reserva Ecológica Mache Chindul; se instalaron una microrred de 9.216 Wp y sistemas domiciliarios de 384 Wp. Los pilares del proyecto que permitieron su sostenibilidad fueron la implementación de una tecnología de punta adaptada a las necesidades de la población, el establecimiento de un modelo de gestión que garantizara la operación y el mantenimiento (incluyendo la reposición de equipos), y la participación comunitaria en todo su proceso. Al implicar las microrredes una gestión comunitaria de los equipos, el tejido social de la comunidad se vio fortalecido y el grado de apropiación de la tecnología fue mayor que con los sistemas individuales.

Además, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) ha implementado un proyecto de electrificación rural con financiamiento del Fondo Mundial del Ambiente (GEF) a través del BID, en el que se buscan los siguientes objetivos: aumentar el acceso de la población a la electricidad en zonas rurales con energía renovable; aplicar un modelo de gestión en las empresas eléctricas para asegurar la sostenibilidad de los proyectos de electrificación rural, y mejorar las capacidades de los actores locales en diseño, implementación, operación, mantenimiento y evaluación de sistemas. El financiamiento del GEF alcanza los US\$ 0,91 millones no reembolsables para la ejecución del proyecto (MEER, 2015b).

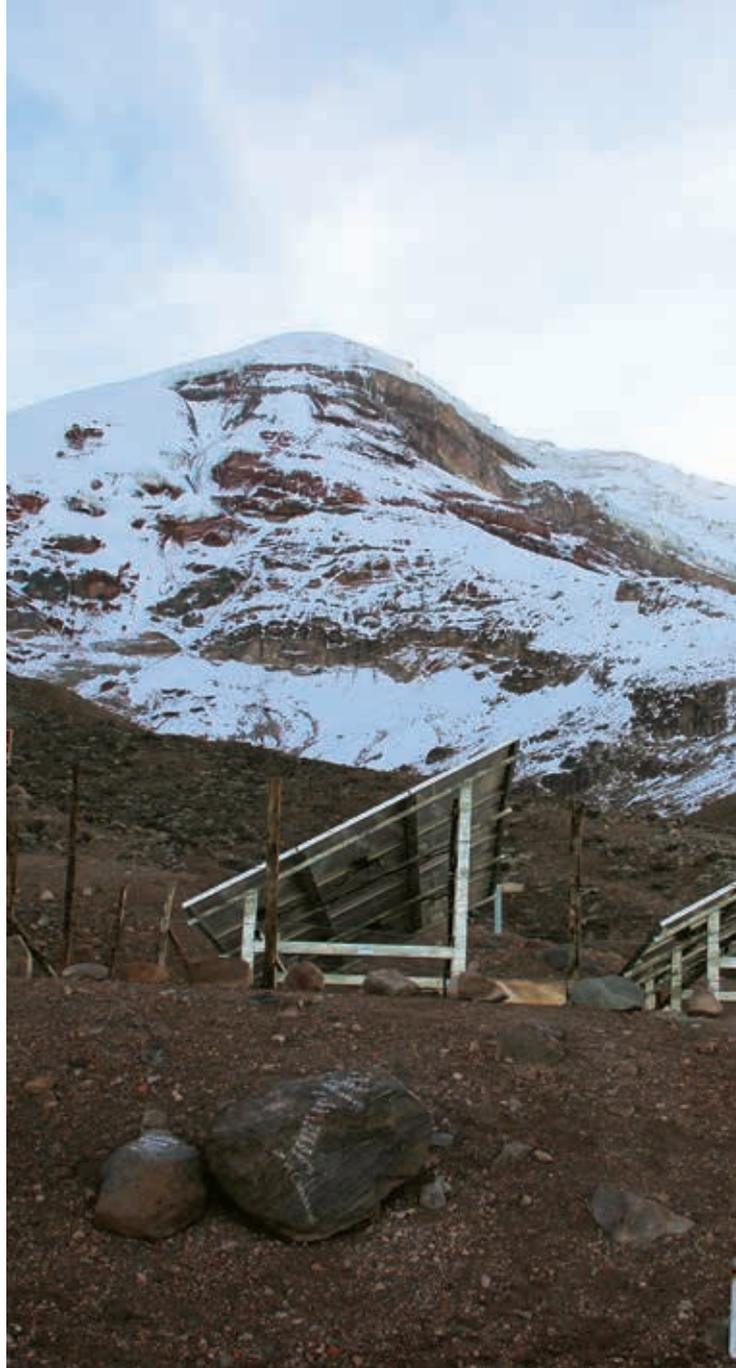


Foto: www.flickr.com/photos/ministerioambienteecuador/16325493018

Para cumplir los objetivos del proyecto, se prevé la implementación de microrredes fotovoltaicas en comunidades de zonas aisladas del Ecuador, aprovechando para su funcionamiento el recurso solar de las zonas para la generación de electricidad.

A diciembre de 2014 se contaba con un inventario de 60 proyectos en cinco provincias de la Amazonía, los que están siendo evaluados y priorizados a fin de realizar la adquisición corporativa de todo el equipamiento para su implementación.

El proyecto “Consolidación y promoción de sistemas descentralizados de energía eléctrica renovable en el norte amazónico ecuatoriano” es desarrollado por el MEER en las zonas rurales de las provincias de Orellana y Sucumbíos, en los cantones Cascales, Cuyabeno, Gonzalo Pizarro, Lago Agrio, Putumayo, Shushufindi, Sucumbíos y Orellana. El proyecto busca mejorar la participación de la población local en el manejo de



sus sistemas solares, mejorar sus capacidades locales, reducir su dependencia tecnológica, y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas. Además, pretende introducir la energía renovable como una nueva línea de estudio en los centros técnicos de Orellana y Sucumbíos. De esta manera se podrá contar con personal técnico local capacitado para que se incorpore en el mercado laboral (MEER, 2015b).

Durante el 2014, se escogió a la comunidad Zancudochocha, ubicada en la provincia de Orellana, como beneficiaria del proyecto piloto de microrredes fotovoltaicas. Actualmente se cuenta con los términos de referencia y las especificaciones técnicas para el proceso de licitación y posterior implementación hasta mediados del año 2016. Este proyecto beneficiará a 29 familias de la comunidad.

En el marco de este proyecto se ha evaluado el estado actual de 1.205 sistemas fotovoltaicos, que represen-

tan un 91,5% de los sistemas instalados en Orellana y Sucumbíos. Como resultado de este proyecto y por experiencias en otras zonas del Ecuador, se ha evidenciado que varios sistemas están en desuso y/o sin ningún modelo de gestión implementado (MEER, 2015c). Algunas empresas distribuidoras implementaron sistemas fotovoltaicos sin contemplar las tareas de operación y mantenimiento necesarias e incluso sin establecer ningún método de cobro por su servicio. Para tener una sostenibilidad completa del proyecto, se evidenció la necesidad de participación de la empresa distribuidora, pero no todas las empresas disponen de personal capacitado ni fondos para la realización de las tareas de mantenimiento y gestión. Por ello, este proyecto pretende tomar las medidas oportunas para solventar estos problemas.

También se están realizando actividades de coordinación con la Empresa Eléctrica Quito para elaborar proyectos de electrificación rural a través de sistemas fotovoltaicos que tendrán como beneficiarias a 206 familias.

Solar térmica de baja temperatura

Una tecnología madura y ampliamente utilizada para el calentamiento de agua doméstica en Europa y China es la energía solar térmica de baja temperatura. A finales de 2013 había en funcionamiento una capacidad de 374,7 GWt en todo el mundo, correspondientes a un total de 535 millones de metros cuadrados de superficie de captadores solares térmicos (IEA, 2015). La gran mayoría de la capacidad total se instaló en China (262,3 GWt) y Europa (44,1 GWt), que en conjunto representaron 82% de la capacidad total instalada. La capacidad instalada restante se reparte entre EUA y Canadá (17,7 GWt), Asia (excluyendo China) (10,0 GWt), América Latina (8,7 GWt), los países MENA (siglas en inglés para Oriente Medio y África Norte): Israel, Jordania, Libano, Marruecos, Territorios Palestinos y Túnez (6,1 GWt), Australia y Nueva Zelanda (5,9 GWt) y países subsaharianos como Mauricio, Mozambique, Namibia, Sudáfrica y Zimbabue (1,2 GWt). Los 18,7 GWt térmicos restantes corresponde al resto de países (IEA, 2015).

La aportación energética del conjunto de todos los captadores solares térmicos a nivel mundial en funcionamiento a finales de 2013 fue de 314 TWh (1.129 PJ) (IEA, 2015). Esto corresponde a un ahorro de energía equivalente de 33,7 millones de toneladas de petróleo y 109 millones de toneladas de CO₂. En el año 2013, 94% de la energía proporcionada por los sistemas solares térmicos se utilizó para el calentamiento de agua sanitaria, principalmente por sistemas de pequeña escala en casas unifamiliares (84%), aplicaciones más grandes en edificios multifamiliares, hoteles, escuelas, etc. (10%), calentamiento de piscinas (4%) y sistemas

combinados de calefacción de espacios y producción de agua caliente (2%). A nivel mundial, en el año 2013 la energía solar térmica contribuyó aproximadamente con un 1,2% de la demanda de calentamiento de agua caliente y calefacción de edificios.

En América Latina y el Caribe, la solar térmica de baja temperatura alcanzó los 8,7 GWt a finales de 2013 (IEA, 2015). En el último informe de la IEA se muestra que la evolución de la potencia anual instalada es creciente llegando a 0,7 GWt/año (Figura 32). Aunque todavía está lejos de los niveles de zonas como Europa donde se instalan alrededor de 4 GWt anuales, es muy superior al de Estados Unidos/Canadá y Australia.

La mayor parte de sistemas solares térmicos se encuentran instalados en Brasil, con un 78%, y México, con un 20%, seguidos ya a gran distancia por Chile y Uruguay, tal como indican la Tabla 5 y la Tabla 6 (IEA, 2015). En el caso de Chile, de los 139.000 m², 39.300 m² corresponden a una gran instalación solar para abastecer un 80% de la energía térmica necesaria para el procesado de cobre de la Minera Mistral.

Existen diferentes tecnologías solares térmicas para generar calor a baja temperatura (Figura 33). La tecnología predominante globalmente, que se utiliza para el calentamiento de agua, es el captador plano con cubierta de vidrio (63%), seguido de captadores para el calentamiento de agua sin vidrio, con 31 %, y los captadores de tubos evacuados, con 5,8%.

FIGURA 32: Evolución comparada de la potencia solar térmica instalada anualmente en diferentes zonas económicas del mundo incluyendo América Latina y el Caribe (IEA, 2015)

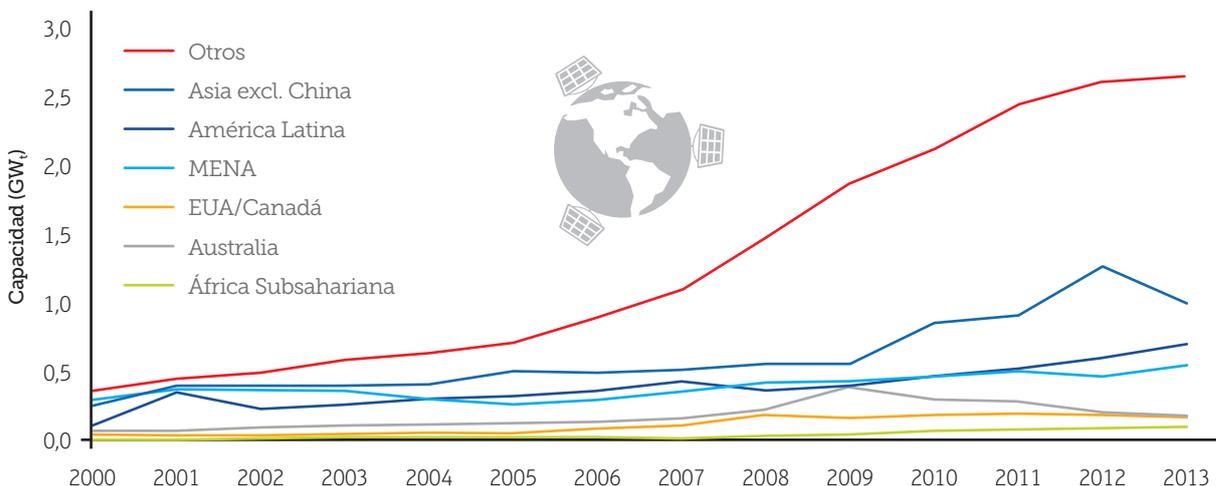


TABLA 5: Área total de captadores solares térmicos desglosada por tecnologías en los principales países de América Latina y el Caribe. CP = Captador plano; CTV = Captador de tubo de vacío (IEA, 2015)

País	m ² agua			m ² aire		Total país
	sin vidrio	CP	CTV	sin vidrio	vidrio	
Brasil	2.936.351	6.663.003	9.909			9.609.263
Chile		139.309				139.309
México	85.5253	94.2482	69.9342	752	8.773	2.506.602
Uruguay		12.571				12.571
TOTAL	3.791.604	7.757.365	709.251	752	8773	12.267.745

TABLA 6: Capacidad total de captadores solares térmicos en MWt desglosada por tecnologías en los principales países de América Latina y el Caribe. CP = Captador plano; CTV = Captador de tubo de vacío (IEA, 2015)

País	MWt agua			MWt aire		Total país
	sin vidrio	CP	CTV	sin vidrio	vidrio	
Brasil	2.055,4	4.664,1	6,9			6.726,4
Chile		97,5				97,5
México	598,7	659,7	489,5	0,5	6,1	1.754,5
Uruguay		8,8				8,8
TOTAL	2.654,1	5.430,1	496,4	0,5	6,1	8.587,2

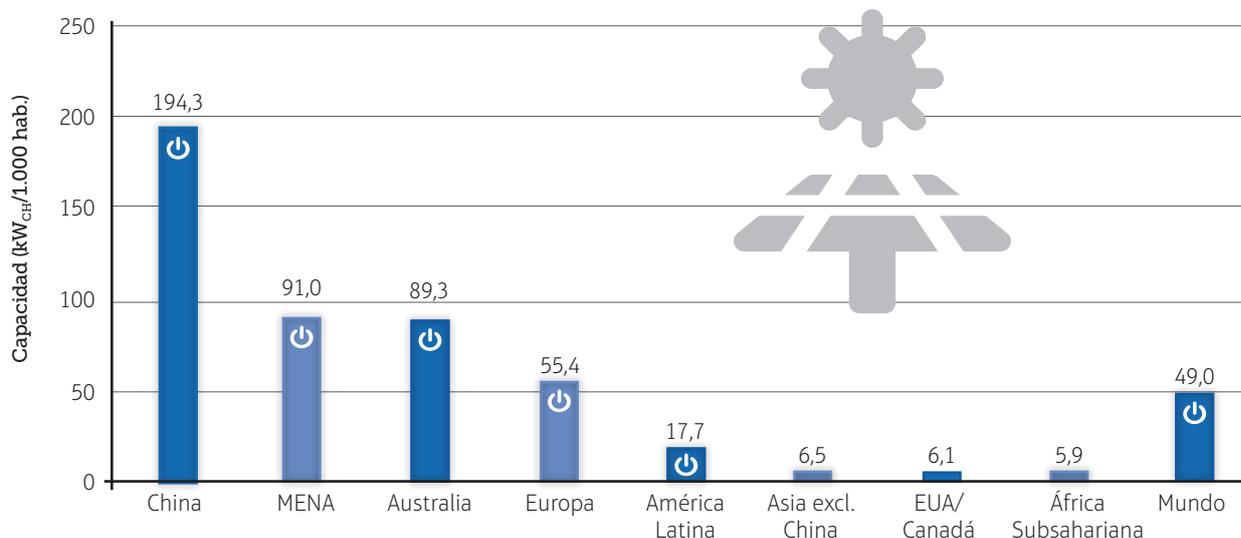
FIGURA 33: Principales tecnologías solares térmicas de baja temperatura



Si analizamos la potencia solar térmica en relación con el número de habitantes (Figura 34), en América Latina y el Caribe se alcanzó la cifra de 17,7 kWt/1.000 habitantes para los captadores de vidrio, lo que corresponde a 17,7 W por cada habitante, es decir, un captador solar térmico de 2 m² por cada 80 habitantes; este hecho indica que este sector, a pesar de su gran potencial, tiene un largo camino por recorrer para llegar a los niveles de Europa o Australia. En este sentido, en el foro sobre esta tecnología en Latinoamérica, celebrado el pasado 29 de junio de 2015 y organizado conjuntamente por IRENA (International Renewable Energy Agency), OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), ICE (Instituto Costarricense de Electricidad) y el PTB (Instituto Alemán de Metrología), se llegó a la conclusión de que la región tiene un enorme potencial para el

desarrollo de la energía solar térmica en los ámbitos residencial y comercial; pero la experiencia demuestra que, para conseguirlo, hay que fomentar la confianza en esta tecnología. Las propuestas para conseguir este objetivo fueron: desarrollar mecanismos que aseguren la calidad de las instalaciones (estándares e inspecciones); fomentar buenas prácticas entre profesionales y empresas del sector (pruebas y certificaciones) e implementar políticas de gobierno que impulsen el desarrollo genuino de esta tecnología. A parte de estas propuestas también sería necesario capacitar en la tecnología solar térmica a personal técnico y de ingeniería, tanto a nivel de universidades técnicas como de institutos tecnológicos, lo cual implica considerar estas materias en sus mallas curriculares.

FIGURA 34: Capacidad total per cápita de captadores planos con cubierta y captadores de tubo de vacío al final del año 2013 por regiones económicas (IEA, 2015)



Solar térmica de baja temperatura en el Ecuador

En el Ecuador, en un 55% de las viviendas se prepara el agua sanitaria con ducha eléctrica instantánea, un 33% no dispone de agua caliente y en el 12% restante se realiza mediante calefones de GLP (Manzano, 2011). El uso de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua está poco extendido y la mayor parte de las instalaciones dispone de equipos compactos en los que el captador solar y el acumulador de agua caliente forman un mismo conjunto. Hasta la fecha no se dispone de datos fiables del número de equipos o de la superficie instalada de captadores solares térmicos.

Por parte del gobierno ecuatoriano se ha implementado el proyecto "Dotación de 10.905 sistemas de energía solar térmica para agua caliente sanitaria en viviendas cofinanciadas con el bono de la vivienda otorgados a través del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)". Este proyecto ha sido financiado por el Gobierno Central y es ejecutado a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), cuyo objetivo general es evitar gastos al Estado por el subsidio al GLP y a la electricidad utilizado en el calentamiento de agua. El presupuesto inicial fue de 12.540.750 US\$, pero finalmente, debido a recortes presupuestarios, se instalaron solo 2.912 sistemas con un gasto aproximado de 3 millones de US\$ (González Gordón, 2012; Sánchez Riofrío, 2013). Todos los equipos instalados son sistemas compactos de termosifón con captador solar térmico de placa

plana y acumulador de agua caliente acoplados. En la primera etapa del proyecto se instalaron 280 sistemas solares térmicos en las provincias de Pichincha, Imbabura y Chimborazo. Los sistemas solares térmicos puestos en marcha en esta etapa fueron fabricados nacionalmente; sin embargo, su calidad fue deficiente, por lo que en la siguiente etapa del proyecto se optó por implementar sistemas solares térmicos de fabricación israelita. De esta manera, durante la segunda etapa (octubre de 2012) se instalaron 2.632 sistemas solares térmicos en las provincias de Bolívar, Carchi, Imbabura, Pichincha y Tungurahua (González Gordón, 2012; Sánchez Riofrío, 2013). Estos equipos constan de un captador solar térmico plano de 2 m² y un tanque de acumulación de 120 litros, suficientes para cubrir un 60-70 % de las necesidades de una unidad familiar. El conjunto de los equipos totaliza 5.264 m² de superficie de captación, lo que equivale a una potencia térmica de unos 3,7 MW_t; se estima que generan energía para el calentamiento de agua de 3 GW_{ht}/año¹⁷.

Actualmente, el MEER está realizando un seguimiento del proyecto para recabar datos de los problemas que se pueden presentar durante su uso. Se han detectado algunos casos de daños en los equipos por altas presiones de la red de suministro de agua potable, deposiciones calcáreas debido al alto contenido de sales del agua de la red y congelamiento del fluido que circula por el interior del captador.



¹⁷ El cálculo de potencia se ha realizado asumiendo el estándar de 700W/m² de superficie de captación y el cálculo de energía asumiendo una generación térmica de 570 kWh/m² año, que corresponde a un rendimiento promedio de los captadores solares térmicos del 35%.

Otra iniciativa destacable llevada a cabo por el Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP) es la instalación de 46 equipos compactos de tubos de vacío de 4 m² y 300 litros de capacidad en centros comunales y educativos de las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Bolívar (FEPP, 2014); la iniciativa es realizada en el ámbito de la Alianza Energía y Ambiente para la Comunidad Andina (AEA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

El MEER, el MIDUVI y el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad y de la Información (MINTEL), con el apoyo del INER y en coordinación con organismos interesados como los GAD, la Cámara de la Construcción (CAMICON) y los colegios de arquitectos, ingenieros mecánicos y civiles, están trabajando en la elaboración de una normativa de la construcción para la regulación de la instalación y mantenimiento de sistemas solares térmicos en los edificios. Se espera que esta norma esté preparada para 2016, aunque para que sea de carácter obligatorio será necesario recabar información importante para el diseño correcto de estos sistemas: datos de irradiación solar, zonificación climática, datos de temperatura del agua de la red de suministro de

agua potable, y consumos de agua caliente en diferentes tipos de edificios, entre otros. También se ha considerado que es muy importante que se solucionen las limitantes para la fabricación local y la importación de estos equipos.

Solar térmica de concentración

La tecnología solar de concentración permite calentar fluidos a medias y altas temperaturas (300 a 1.000 °C), lo que la hace ideal para la generación termoeléctrica o para abastecer las necesidades térmicas en algunos sectores industriales. La concentración de los rayos solares se puede producir de forma lineal o puntual. En el primer caso, existen dos tecnologías básicas de concentración: captadores cilindroparábolicos y captadores lineales Fresnel. Ambas tecnologías efectúan el seguimiento solar mediante el giro de un eje a lo largo del captador o conjunto de reflectores. En el caso de concentración puntual, se puede utilizar la tecnología de torre central rodeada de helióstatos o un disco Stirling con seguimiento de doble eje (Figura 35).

FIGURA 35: Tecnologías de concentración solar



A escala global, la implantación de las tecnologías de concentración solar tiene lugar en zonas donde la irradiación solar directa es abundante (>5 kWh/m² día) y se ha utilizado principalmente para la generación de electricidad. A esta última aplicación se la conoce como CSP (Concentrating Solar Power). El crecimiento de esta última aplicación en los últimos años ha sido relativamente importante, sobre todo debido al impulso en España y Estados Unidos, llegando a 4,4 GW en el 2014 (Figura 36). En España tuvo un crecimiento importante entre 2008-2012 debido a un marco regulatorio muy

favorable durante ese período. En Estados Unidos el crecimiento se ha llevado a cabo en los dos últimos años. Además, últimamente se están incorporando instalaciones en países de la zona MENA (Oriente Medio y Norte de África), India, Sudáfrica y Australia (Figura 37).

En los países de América Latina y el Caribe destaca especialmente Chile, con tres instalaciones que totalizan 730 MW detalladas en la Tabla 7. En Argentina también se está valorando la posibilidad de una instalación de 20 MW.

FIGURA 36: Evolución de la capacidad global de centrales termosolares para generación eléctrica y distribución por los principales países (REN21, 2015)

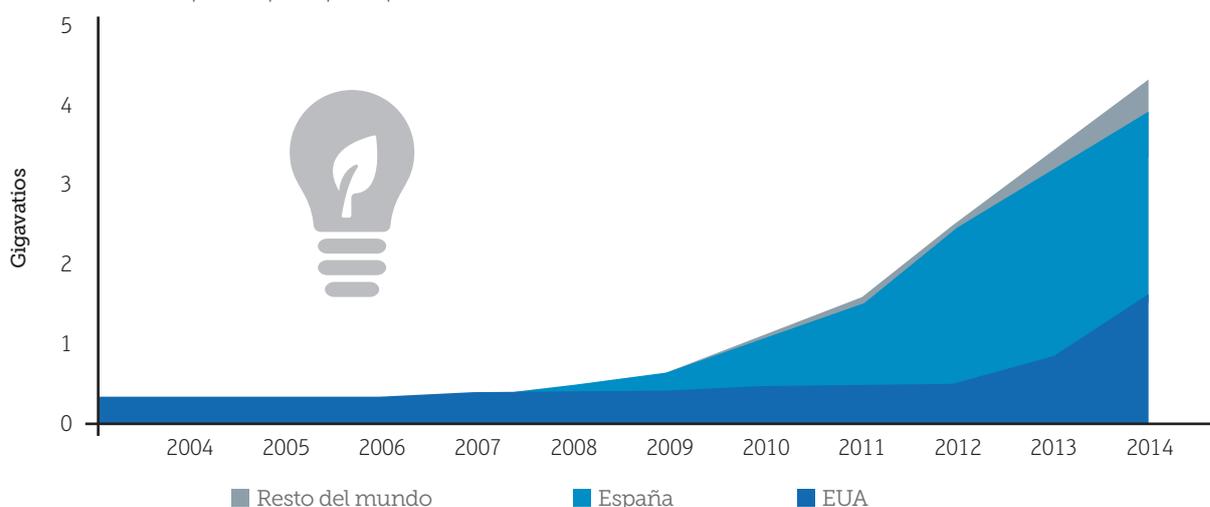


FIGURA 37: Distribución de centrales termosolares para generación eléctrica en los principales países y estado de desarrollo a finales de 2013 (heliocsp.com)

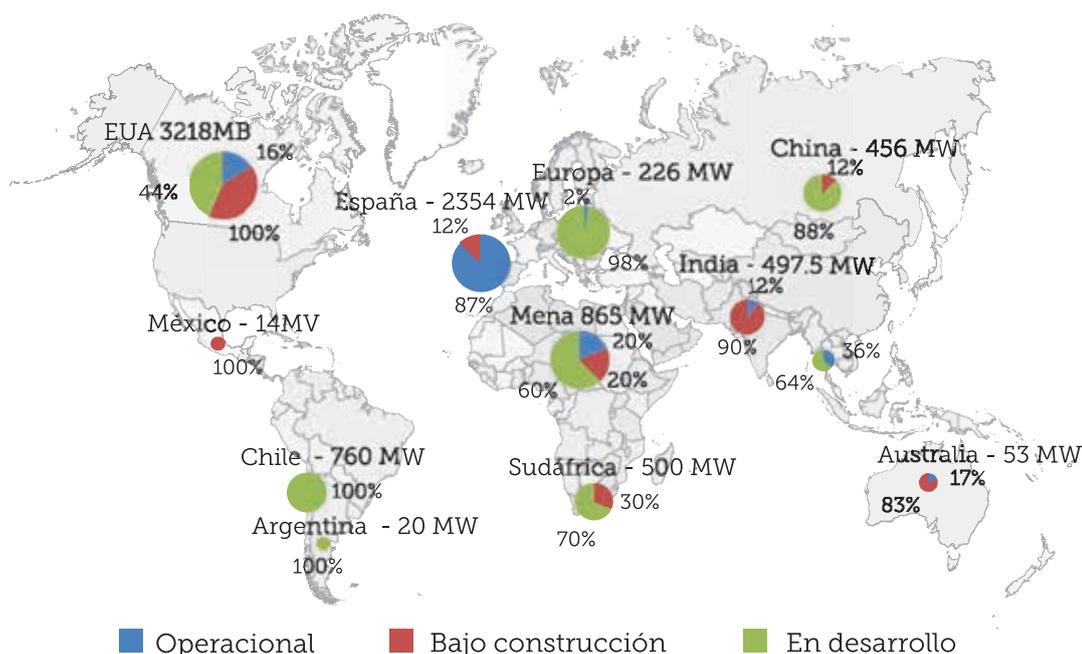




TABLA 7: Proyectos de concentración solar para la generación eléctrica en América Latina y el Caribe (<http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/index.cfm>)

Proyecto	Localización	Propietario	Tecnología	Capacidad de la turbina	Estatus	Año de entrada en operación
Pedro de Valdivia	María Elena (Antofagasta) - Chile	Grupo Iberreólica	Cilindro - Parabólico	360 MW	En desarrollo	2019
Copiapó	Copiapó - Chile		Torre central	260 MW	En desarrollo	2019
Atacama-1	Calama (II región de Antofagasta) - Chile	Abengoa Solar	Torre central	110 MW	En construcción	2018
Mejillones	Mejillones - Chile	GDF Suez, Solar Power Group	Fresnel	5 MW	En estudio	-
Mejillones	Mejillones - Chile	Safe Earth Energy, Solastor	Fresnel	5 MW	En estudio	-
Salta - CSP	Salta - Argentina	HTC, Heilongjiang Zhongjing New Energy, Solar Nova	Cilindro - Parabólico	20 MW	En estudio	-

FIGURA 38: Usos de las tecnologías de concentración solar en el sector industrial (Inventive Power)

	Industria alimentaria	Industria bebidas	Industria agropecuaria	Industria textil	Industria farmaceutica	Industria química	Hoteles centros deportivos	Industria hospitalaria	Minería
Lavado	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	
Secado	⏻		⏻	⏻	⏻				
Destilación y evaporación	⏻	⏻			⏻	⏻			⏻
Pasteurización	⏻	⏻							
Esterilizado	⏻	⏻			⏻			⏻	
Agua caliente sanitaria	⏻	⏻			⏻		⏻	⏻	⏻
Cocción/escaldado	⏻		⏻						
Pre calentamiento calderas	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻
Calor de proceso	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻	⏻			⏻

FIGURA 39: Mapa de instalaciones solares térmicas de concentración para procesos industriales en México (Inventive Power)



La tecnología solar de concentración también se puede utilizar para cubrir parte de las necesidades térmicas de algunos procesos de la industria como lavado, secado, destilación, pasteurización, esterilización, etc. (Figura 38). Por ejemplo, la compañía mexicana Inventive Power ha implantado más de 30 proyectos en este país, sobretodo en el sector de la industria agroalimentaria (Figura 39). También en Chile se ha aplicado esta tecnología para el sector minero, como en el caso de la Mina El Tesoro, con una potencia de 7 MW_t y un área de captadores cilindroparabólicos de 16.742 m², siendo capaz de producir unos 25 GWh de energía térmica al año.

En el caso del Ecuador, el INER, el INAMHI y la Universidad de Cuenca presentaron en el año 2014 un proyecto a la SENESCYT para analizar el potencial de esta tecnología en el sector industrial ecuatoriano. La primera parte del proyecto consiste de un mapa de irradiación normal directa del país para identificar las zonas más adecuadas. La segunda parte del proyecto consiste en identificar las industrias y sus necesidades térmicas. Aunque el proyecto fue aprobado por SENESCYT, hasta la fecha de esta publicación no se ha recibido la financiación correspondiente para su ejecución.

Foto: www.flickr.com/photos/sandialabs/9205031702/in/album-72157634472645902/



ENERGÍA EÓLICA

El recurso eólico a nivel mundial es abundante y disponible en muchas regiones del planeta. La Figura 40 ofrece un mapa mundial de la velocidad media anual del viento. Aquellas zonas a partir de velocidades superiores a 6 m/s resultan interesantes para la generación de energía. Como se observa en el mapa, la distribución de las zonas con mayor potencial eólico es muy irregular, destacando el norte de Europa, Groenlandia, el centro de Estados Unidos, el Sáhara Occidental, el cuerno de África (Somalia y Etiopía), el Oeste de China, el cono Sur de Latinoamérica y Nueva Zelanda.

En el Ecuador existen zonas con un alto potencial eólico debido a su ubicación geográfica (Tabla 8), en la que destacan las Islas Galápagos y la zona a lo largo de la cordillera de los Andes. En 2009, el MEER comenzó a desarrollar el primer Atlas Eólico del Ecuador, publicado en 2013 (MEER, 2013). Como resultado de este trabajo se estimó un potencial disponible bruto total de 1.670 MW y un potencial factible a corto plazo de

884 MW (MEER, 2013). Se espera que esta herramienta facilite el aprovechamiento del potencial eólico aún no explotado en el país. En algunos puntos del territorio nacional se han realizado estudios de prefactibilidad, factibilidad y micrositing, cuyos resultados indican que los parques eólicos que se pueden construir en el Ecuador tendrían factores de planta superiores a 27% e incluso llegarían a un 49 % (CONELEC, 2012).

FIGURA 40: Mapa mundial de velocidad de viento media anual a 80 m de altura (Copyright (c) 2015 Vaisala)

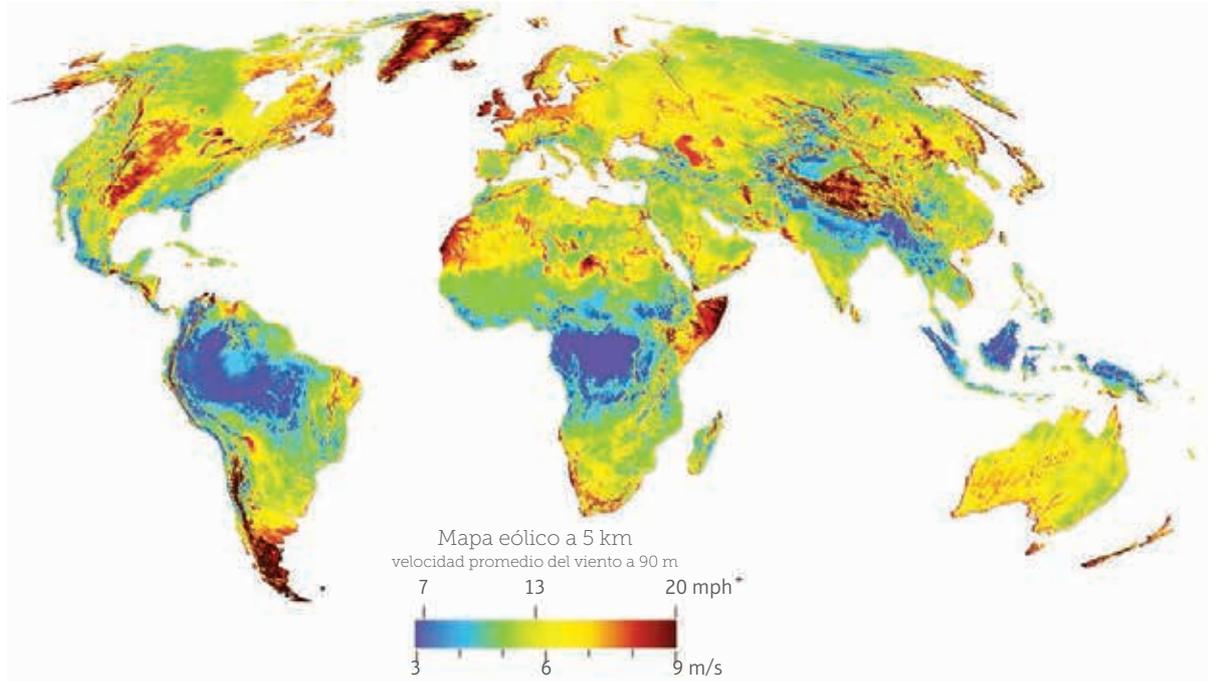


TABLA 8: Lugares del Ecuador con elevado potencial eólico (CONELEC, 2012)

Provincia	Localidad
Carchi	El Ángel
Imbabura	Salinas
Pichincha	Machachi, Malchinguí, Páramo Grande
Cotopaxi	Minitrac, Tigua
Chimborazo	Chimborazo, Tixán, Altar
Bolívar	Salinas, Simiatug
Azuay	Huascachaca
Loja	Saraguro, El Tablón, Manú, Villonaco, Membrillo
Galápagos	San Cristóbal

Fuente: INECEL

De acuerdo con Castro et al. (2011), el potencial de la energía eólica para la generación de electricidad en el mundo, considerando limitantes físicos y tecnológicos, está en alrededor de 1.000-2.000 GWe. Después de la energía hidroeléctrica, la eólica es la fuente que genera la mayor parte de la energía renovable global con 432,4 GW a finales del año 2015 (Global Wind Energy Council – GWEC, s/f). La Tabla 9 ofrece la distribución de la capacidad instalada en diferentes regiones y países del mundo. Según las cifras presentadas por la Agencia Internacional de la Energía, a partir del año 2000 la capacidad instalada acumulada global de energía eólica ha crecido a una tasa promedio de 24% anual. Europa es la zona líder en nueva capacidad, seguida de

cerca por Asia debido al desarrollo del sector en China (REN21, 2015).

A nivel regional, la energía eólica ha ganado bastante terreno. La potencia instalada a finales de 2015 ascendió a 12,2 GW (Global Wind Energy Council – GWEC, s/f). La Tabla 10 muestra los datos de la capacidad total acumulada e instalada en el año 2015 en los principales países de la zona de América Latina y el Caribe. Especialmente en Brasil la expansión de la generación, e incluso la implementación de plantas de fabricación de aerogeneradores, presentan gran avance, llegando a disponer de 71% de la potencia instalada de la región latinoamericana (Global Wind Energy Council – GWEC, s/f).



TABLA 9: Distribución regional de la capacidad de energía eólica a nivel mundial (Global Wind Energy Council – GWEC, s/f)

Potencia instalada de energía eólica a escala global		
Distribución por regiones (MW)		Total al final de 2015
África y Medio Oriente	Sudáfrica	1.053
	Marruecos	787
	Egipto	610
	Túnez	245
	Etiopía	324
	Jordania	119
	Otros	151
	Total	3.289
Asia	China	145.104
	India	25.088
	Japón	3.038
	Corea del Sur	835
	Taiwán	647
	Pakistán	256
	Tailandia	223
	Filipinas	216
	Otros	167
	Total	175.573



Europa	Alemania	44.947
	España	23.025
	Reino Unido	13.603
	Francia	10.358
	Italia	8.958
	Suecia	6.025
	Polonia	5.100
	Portugal	5.079
	Dinamarca	5.063
	Turquía	4.694
	Holanda	3.431
	Rumania	2.976
	Irlanda	2.486
	Austria	2.411
	Bélgica	2.229
	Resto de Europa	7.387
Total	147.771	
Latinoamérica y el Caribe	Brasil	8.715
	Chile	933
	Uruguay	845
	Argentina	279
	Panamá	270
	Costa Rica	268
	Honduras	176
	Perú	148
	Guatemala	50
	El Caribe	250
	Otros	285
Total	12.220	
América del Norte	Estados Unidos	74.471
	Canadá	11.200
	México	3.073
	Total	88.744
Pacífico	Australia	4.187
	Nueva Zelanda	623
	Islas del Pacífico	12
	Total	4.822
Total mundial		432.419



TABLA 10: Capacidad instalada y total de energía eólica en países de América Latina en el año 2015 (Global Wind Energy Council – GWEC, s/f)

País/Región	Capacidad anual instalada (MW)	Capacidad total (MW)
Brasil	2.754	8.715
Chile	169	933
Uruguay	316	845
Argentina	8	279
Panamá	35	270
Costa Rica	70	268
Honduras	50	176
Perú	-	148
Guatemala	50+	50
Caribe	-	250
Otros	285	285
Total en América Latina y El Caribe	3.652	12.220

En América Latina y el Caribe, el porcentaje de participación de la energía eólica en la matriz energética varía en cada subregión (IDB, 2014; Global Wind Energy Council – GWEC, s/f). América Central tiene el porcentaje más alto de generación de energía con renovables, la matriz energética más diversa y una capacidad instalada para energía eólica con un 6% del total. Costa Rica, Honduras, Nicaragua y Panamá disponen de un total de 764 MW con esta fuente. La Región Andina cuenta también con un 3% de la capacidad instalada con energía eólica, seguido de Brasil con 2%. Las subregiones del Caribe y el Cono Sur tienen los porcentajes más bajos de capacidad instalada para energía eólica de la región, con 1% y 0,5% respectivamente.

En el caso del Ecuador, el uso de la energía eólica es relativamente reciente y estadísticamente poco significativo. Según datos publicados en el Balance Energético Nacional (MICSE, 2014), esta representa aproximadamente 0,017% del total de la producción de energía primaria –junto con la energía solar– y tan solo 0,24% de la estructura de generación eléctrica. La potencia efectiva representa 0,4% del total nacional, equivalente a 19,6 MW. En 2007 inició la producción de energía eólica, que para este primer año fue de 0,962 GWh, llegando a 56,7 GWh en 2013.

El primer parque eólico en el Ecuador fue inaugurado en octubre de 2007 en la isla San Cristóbal de Galápagos, con una potencia instalada de 2,4 MW (Tech4CDM, 2010). Este proyecto tuvo un gran impacto ya que permitió cubrir 30% de la demanda de electricidad en la isla (Regueiro, 2014). Además, la producción de energía eléctrica

ha evitado la emisión de 6.521 toneladas de CO₂ en los últimos tres años (CONELEC, 2012).

Por su relevancia ambiental, el MEER se estableció como meta satisfacer toda la demanda eléctrica de las Islas Galápagos con energías renovables a través del programa “Cero Combustibles Fósiles en Galápagos”. Tras estudios de prefactibilidad, factibilidad y *micrositing* realizados a partir del año 2003 (CONELEC, 2012), como parte de esta iniciativa se desarrolló el proyecto Baltra-Santa Cruz, que entró en operación en 2010 con una potencia instalada de 3,2 MW (Tech4CDM, 2010). El proyecto aporta una cantidad de energía de al menos 4.650 MWh/año, representando una reducción de 450.000 galones diésel/año – equivalentes a 25% del consumo de diésel previsto para la central Térmica de Puerto Ayora (MEER, 2015).

En 2011, se inició la construcción del proyecto eólico Villonaco (Figura 41) cerca de la ciudad de Loja (CONELEC, 2012). Este entró en operación a mediados del año 2012 y cuenta con 11 aerogeneradores de 1,5 MW cada uno, con una potencia total de 16,5 MW. La energía anual generada por este parque eólico está en alrededor de 60 GWh/año y beneficia a cerca de 150.000 habitantes. Se estima que la reducción anual del consumo de combustibles es de 4,5 millones de galones de diésel al año (Regueiro, 2014), con una reducción asociada de las emisiones de CO₂ de 35.000 toneladas.

Según información publicada en el Plan Maestro de Electrificación 2012-2022 (CONELEC, 2012), se planificó continuar con los estudios de los proyectos eólicos Salinas (15 + 25 MW) y Membrillo-Chinchas (110 MW). En este documento se prevé además la instalación de dos

centrales eólicas de 15 MW cada una como parte de la Estrategia de Abastecimiento para el largo plazo (2016-2021), los proyectos eólicos Salinas, fases I y II (30 MW) y Huascachaca (50 MW).

Tecnologías de generación eólica

La energía eólica ya es competitiva con fuentes convencionales en muchos mercados debido a la reducción de costos y a los avances tecnológicos. La energía eólica es la tecnología renovable no convencional para generación eléctrica más difundida a nivel global en la actualidad (IDB, 2014). Su desarrollo ha crecido en la última década gracias a los avances logrados en electrónica, nuevos materiales, sistemas de información y comunicación, entre otros. Las tecnologías eólicas actuales para generación de energía eléctrica a nivel comercial ofrecen sistemas con alta confiabilidad y disponibilidad (CONELEC, 2012). A pesar de que se ha experimentado con varias tecnologías en las últimas décadas, el sector está dominado por turbinas de fibra de carbono que generan entre 500 kW y 5 MW, mientras que las de menor escala de hasta 1 kW están disponibles, pero su costo específico es de dos a cuatro veces más elevado (IDB, 2014).

El costo de las turbinas con capacidad para conexión a la red ha disminuido constantemente desde su introducción en los años ochenta, como resultado de las mejoras realizadas en componentes como genera-

dores y controles de transmisión (IDB, 2014). Además, el desarrollo de nuevos sistemas de generación eólica generalmente toma entre uno y tres años, mientras que para tecnologías de carbón y plantas hidroeléctricas toma entre cinco y diez años.

La energía eólica es una tecnología madura, especialmente en los países más desarrollados, pero en el caso del Ecuador se trata de un mercado incipiente en el que se han detectado barreras que impiden su crecimiento (Tech4CDM, 2010). De acuerdo con el Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, a pesar de la factibilidad técnica para la generación de energía eólica, su factibilidad económica constituye una importante barrera, en particular para la producción de energía a gran escala. Por esta razón, se decidió intensificar las investigaciones tecnológicas para que en el largo plazo sea económicamente competitiva (CONELEC, 2012).

La energía eólica terrestre es la tecnología más difundida a nivel global, con 95% de disponibilidad, y presenta menores costos comparada con la eólica marina. La tecnología está ya probada y continúan las mejoras, pero ningún elemento de diseño tiene potencial para reducir dramáticamente su costo en los próximos años (IEA, 2013).

En el Ecuador, la energía eólica terrestre con turbinas con capacidad para conexión a la red es la única tecnología que ha sido utilizada (CONELEC, 2012). Tanto la eólica de pequeña escala como la eólica marina continúan sin

FIGURA 41: Central eólica de Villonaco con 11 aerogeneradores y 16,5 MW de potencial total (MEER, <http://www.energia.gob.ec/villonaco/villonaco-03/>)



Foto: <http://www.energia.gob.ec/villonaco/villonaco-03/>



Foto: www.celec.gob.ec

ser desarrolladas debido a sus elevados costos, por un lado, y capacidades técnicas locales requeridas, por otro.

Los aerogeneradores instalados en el territorio continental corresponden a máquinas con una potencia nominal de 1,5 MW clase IA de tipo accionamiento directo por medio de magneto permanente (*permanent magnet direct drive*) y generador síncrono.

La curva de potencia para este tipo de aerogenerador va desde los 3 hasta los 25 m/s de velocidad del viento, medidos con una densidad del aire de 1.225 kg/m³. El diámetro de las aspas es de 70 m lo que cubre un área de 3.886 m² mediante tres palas (Goldwind, 2016).

La difusión de la energía eólica marina de gran escala ha comenzado lentamente y casi exclusivamente en Europa. En 2012 fueron instalados 5,4 GW, comparados con 1,5 GW en 2008, principalmente en el Reino Unido y Dinamarca (IEA, 2013). Los costos de inversión pueden ser de dos a tres veces más elevados que los de eólica

terrestre. Después de una década de aumento de costos de eólica marina, estos se nivelaron, pero siguen siendo más altos que los de la tecnología terrestre. Sin embargo, existe gran potencial para reducción de costos para esta tecnología que podrían ser aprovechados en el futuro para comenzar con su implantación en el Ecuador, la que hasta la actualidad no ha sido llevada a cabo.

ENERGÍA HIDROELÉCTRICA NO CONVENCIONAL (<50 MW)

La energía hidroeléctrica con una potencia inferior a 50 MW también es considerada renovable no convencional. En Latinoamérica presenta una capacidad instalada cercana a los 5.000 MW de minihidroenergía, con un potencial total de 350 GW (Liu et al, 2013). Los potenciales reportados en el documento referenciado se resumen en la Tabla 11.



TABLA 11: Potencial de pequeña hidroenergía en países de América Latina

País	Recurso potencial (MW)
Argentina	456 ¹⁸
Bolivia	21,3 ¹⁹
Brasil	22.500 ²⁰
Chile	7.000 – 17.000
Colombia	25.000
Ecuador	1.221 ²¹
Perú	69.000 ²²



¹⁸. En Argentina se considera como pequeña hidroenergía a aquellos proyectos que no superan los 15 MW.

¹⁹. Este valor corresponde a la capacidad instalada en proyectos hidroenergéticos dado que el reporte no presenta datos del recurso potencial.

²⁰. Para Brasil, la pequeña hidroenergía corresponde a proyectos de 1 a 30 MW.

²¹. Este dato corresponde a la suma de lo que el mencionado reporte informa como potencial para proyectos hasta 10 MW más el potencial para proyectos hasta 20 MW.

²². Este es el dato reportado para proyectos de hasta 20 MW considerando además restricciones técnicas y económicas.



De acuerdo con datos de ARCONEL, la potencia hidroeléctrica total no convencional es de 329,16 MW, lo que equivale a un 15% de la potencia hidroeléctrica total y que aproximadamente cubre un 7% de la demanda eléctrica total.

El MEER menciona en su página web tres proyectos hidroeléctricos de pequeña envergadura: Mira, Gualaceo y Chorrillos. La central Mira tiene una capacidad de 0,96 MW, con una caída de 84 m y un caudal de 2 m³ por segundo que acciona una turbina tipo Francis de eje horizontal. La central de Gualaceo tiene una potencia de 250 kW y aprovecha una caída de 174 metros. La central Chorrillos tiene una producción de 27 GWh/año, y no se reportan más especificaciones sobre esta central. Hay tres proyectos hidroeléctricos que han superado la fase de estudios técnicos y económicos para llegar a la fase de diseños definitivos, las cuales son: Chinambí (9,95 MW), Sardinias (6,55 MW) e Infiernillos (19,64 MW), cuyos estudios finalizaron el tercer trimestre de 2014 (MEER, 2015c).

GEOTERMIA

Después de la denominada “crisis energética” de 1973, debido al incremento de los precios del petróleo y las consecuentes restricciones que debieron imponerse al uso de este producto, se inició un importante auge de la geotermia, que recibió una atención preferencial junto con la hidroelectricidad y la energía nuclear (Holm et. al., 2010).

En la década de 1970, las actividades de exploración y desarrollo de la energía geotérmica se incrementaron notablemente en muchos países del mundo que buscaban una alternativa viable para sustituir el uso de los combustibles derivados del petróleo. Dieciocho países latinoamericanos, entre ellos el Ecuador, se involucraron en proyectos de exploración geotérmica en las diferentes etapas de desarrollo (Peláez y Espinoza, 2015). A mediados de la década de 1980, la caída de los precios del petróleo y problemas económicos hicieron que la actividad geotérmica se redujera notablemente, en vista de lo cual continuaron desarrollándose solo los proyectos que habían completado la fase de exploración y tenían comprometido su financiamiento.

A pesar de esas dificultades, la geotermia mantuvo una clara tendencia positiva de crecimiento, principalmente en Estados Unidos, Filipinas, Indonesia y México. A partir de 1991, la industria de la generación eléctrica con geotermia en Estados Unidos se convirtió en la más grande del mundo, con una capacidad instalada de más de 2.100 MW, ubicada en el campo Geysers, que además opera con un factor de planta de hasta 99%.

En la actualidad, la energía geotérmica se utiliza como fuente primaria de energía para la generación eléctrica

en más de veinte países del mundo. El informe anual de Geothermal Energy Association (Peláez y Espinoza, 2015; Geothermal Energy Association, 2015) indica que, en 2014, la capacidad eléctrica instalada con geotermia a nivel mundial totalizó 12,75 GW. Existen además varios países que se encuentran en proceso de instalación de plantas geotermoeléctricas, entre los que se destacan Argentina, Canadá, Chile, Grecia, Honduras, Hungría, Nevis, Rumania y España (Peláez y Espinoza, 2015), con lo que se espera que la capacidad instalada llegue a 17,6 GW en el año 2020 (Geothermal Energy Association, 2015).

En Latinoamérica se espera el mayor progreso en El Salvador, México y Nicaragua, que cuentan con capacidades instaladas de 1 GW, 200 MW y 100 MW respectivamente (Geothermal Energy Association, 2015).

Un estudio elaborado en 2006 por ENEL-Green Power, una de las empresas internacionales con mayor historial en el desarrollo de recursos geotérmicos, reconoció como las principales barreras para el ingreso de la geotermia en América Latina las siguientes: los altos costos de capital, el riesgo minero implícito durante la fase de exploración, los riesgos relacionados con el marco regulatorio, el mercado, la falta de incentivos económicos para los inversionistas, las debilidades en el soporte tecnológico y la poca disponibilidad de personal experto local. Se destaca que, como habría de esperarse, existe una buena coincidencia con los problemas identificados específicamente para el caso ecuatoriano.

En el ámbito nacional, el “Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador” (Peláez y Espinoza, 2015) presenta una síntesis de las áreas geotérmicas identificadas en el país. Los proyectos de mayor interés solamente han llegado a un nivel de estudio de prefactibilidad, siendo las áreas de Tufiño-Chiles, Chachimbiro y Chalupas las de mayor interés. No existe por el momento un plan específico para el desarrollo y explotación de las referidas áreas geotérmicas. A pesar de esto, en el Catálogo de Inversión para Proyectos Estratégicos del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE) (2012) aparece un listado de los posibles montos de inversión requeridos para la construcción de los proyectos geotérmicos. En este documento destaca la presencia de once áreas (50% del total) ubicadas sobre volcanes activos. Esta condición limita notablemente la posibilidad realista de que en ellas se pueda estructurar algún proyecto debido al incremento del riesgo natural y, por ende, el riesgo financiero. No obstante, se debe establecer con certeza que no todas las áreas con vulcanismo activo son necesariamente favorables para la existencia de un campo geotérmico económicamente explotable (Peláez y Espinoza, 2015).

Si es que se toma en cuenta que la geotermia se caracteriza por ser una industria muy especializada, una de las limitaciones que podrían encontrarse para la

explotación de la energía geotérmica en el Ecuador es la limitada disponibilidad de talento humano. Los estudios de reconocimiento, prefactibilidad y factibilidad demandan conocimientos que requieren ser impulsados en el país, especialmente en geotermia, ciencias de la tierra, geofísica, geoquímica, geoquímica isotópica, análisis químicos de aguas y gases, perforaciones, pruebas de producción, planeamiento estratégico y aspectos normativos. En el ámbito financiero, no existen hasta ahora reales manifestaciones de interés por invertir en este sector, por lo que no se vislumbra un uso inmediato de esta fuente de energía en el país.

La conveniencia de iniciar el desarrollo del primer proyecto geotérmico en un área seleccionada a partir de un análisis exhaustivo e independiente de la información disponible, fue un aspecto previamente consensuado en 2008 por el MEER y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); recientemente ha sido recomendado en forma específica por el Seminario de Expertos de la Iniciativa para el Desarrollo de la Geotermia en la Región Andina.

■ ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR TRANSPORTE

A escala mundial, el sector transporte es el mayor consumidor final de energía y se prevé que esta tendencia se mantenga. La Agencia Internacional de Energía publicó en 2008 recomendaciones para el sector transporte enfocado en transporte terrestre que comprenden: a) mejoramiento de la eficiencia energética en los neumáticos, b) estándares para la economía de combustible para vehículos ligeros y pesados y c) manejo “ecológico”.

En cuanto al primer punto, en Europa, Estados Unidos y Japón se busca implementar sistemas de monitoreo de presión de los neumáticos que sean sistemas homogenizados. También se requiere implementar medidas para lograr que los neumáticos tengan parámetros óptimos de resistencia al rodamiento (International Energy Agency, 2010).

En cuanto a la eficiencia de combustible, Estados Unidos tiene desde 1975 un estándar de economía de combustible. En 2010 este estándar fue ajustado para alcanzar 35,5 mpg. Actualmente Canadá ha implementado un sistema obligatorio basándose en los estándares estadounidenses. Los estándares europeos de combustible están asociados a las emisiones de CO₂. Se busca que en 2015 las emisiones promedio sean de 130 g CO₂/km. Los esquemas de etiquetado y control de emisiones han estado activos en la Unión Europea desde 2001 y actualmente están bajo revisión. En Japón también existen esquemas de etiquetado y de consumo de combustible en función del peso del vehículo (International Energy Agency, 2010).

Con respecto a la eficiencia de combustible en vehículos pesados, el reporte de la Agencia Internacional de Energía indica que al año 2010 solo Japón contaba con una regulación en este segmento, la cual tiene criterios de aplicación bastante similares a la regulación impuesta a los vehículos ligeros. Estados Unidos y Europa siguen analizando qué medidas implementar para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones en este tipo de vehículos.

En la región se cuenta con ejemplos como Chile, cuyo programa de eficiencia energética en transporte integra tres iniciativas: mecanismos de información para la adquisición de vehículos eficientes, incentivos para la adopción de técnicas de conducción eficiente e incorporación de herramientas de gestión (Agencia

Foto: http://sienanews.it/wp-content/uploads/2016/03/1663164-1_IMGGRID-1-1.jpg





Chilena de Eficiencia Energética s/f). México también cuenta con estudios para la eficiencia energética en este sector, enfocados a reducir el uso de vehículos privados, cambio a modos sustentables de movilidad y mejora en las regulaciones de consumo de combustible en los vehículos.

En todos los países de la región andina (excepto Venezuela), el transporte es el sector de mayor consumo de energía, siendo la tasa de crecimiento en el Ecuador la más elevada. El sector transporte es el de mayor consumo de energía primaria con un 52% de participación en el 2008. Esto obliga a planificar y realizar acciones específicas tendientes a cambiar esta realidad y promover el ahorro y uso adecuado y eficiente de la energía en este sector vital de la economía.

En el Ecuador, entre 2008 y 2011 fue implementado el “Plan de Renovación Vehicular” (Plan RENOVA). Su objetivo es renovar el parque automotor mediante la salida de vehículos que prestan servicio de transporte público, que serán sometidos al proceso de chatarrización, para lo cual se otorga un incentivo económico que permite acceder a un vehículo nuevo de producción nacional a precio preferencial o la exoneración de aranceles para vehículos importados. Se espera así mejorar el servicio de transporte público y comercial. Como resultados del proyecto se entregaron 15.220 vehículos entre buses urbanos, interprovinciales, intraprovinciales, taxis, transporte escolar y de carga liviana y pesada (MTO, 2011).

Por otra parte, el INER desarrolló un proyecto para el levantamiento de la línea base de investigación en eficiencia energética en el sector transporte. Este proyecto plantea la realización de un estudio mediante el cual se obtengan líneas de investigación prioritarias que permitan a las instituciones públicas involucradas tener herramientas de base (INER, 2015).

LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL

A nivel regional, se reportan los programas fomentados por el gobierno chileno para la industria. Los ejes principales se dan en la capacitación y formación técnica en las industrias, fomento a la cogeneración y fomento a proyectos de eficiencia dentro de las industrias (Agencia Chilena de Eficiencia Energética s/f).

El sector industrial constituye uno de los pilares de crecimiento económico en cualquier contexto y está estrechamente relacionado con el incremento de la demanda de energía. Es de suma importancia emprender políticas de eficiencia energética en este sector de la economía que permitan lograr cambios

sustanciales en los índices de consumo y mejoras en la optimización del uso de la energía (CEPAL, 2013).

La Dirección de Eficiencia Energética de la Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética del MEER ha venido trabajando y gestionando políticas para la promoción e incentivo del uso eficiente de la energía. Conscientes de que el principal uso de la energía en el sector residencial es la iluminación, se aplicó, mediante resolución COMEX, la suspensión a partir de enero de 2010 de la importación de focos incandescentes de uso residencial, entre los rangos de 25 a 100 W, y se ha emitido dictamen favorable para el diferimiento arancelario (0% *ad valorem*) de lámparas fluorescentes compactas (focos ahorradores) de rango A (alta eficiencia) y para tubos fluorescentes tipo T5 y T8 considerados de mayor eficiencia (CONELEC, 2012).

A pesar de que se han llevado a cabo algunos proyectos pequeños para promocionar la eficiencia energética en el sector industrial, el consumo de energía en el país para este sector es ineficiente en comparación con el de otros países de la región. Reconociendo el enorme beneficio del uso eficiente de energía para la economía y, en particular, en el sector industrial, el MEER se ha planteado como uno de sus principales objetivos el mejorar el desempeño energético del sector industrial. Para ello implementa el Proyecto “Eficiencia Energética para la Industria” (EEI), con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) a través de la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). El apoyo técnico de capacitación y asesoría está a cargo de profesionales de alta experiencia a nivel mundial seleccionados por ONUDI (CONELEC, 2012).

El proyecto demanda una inversión total de 4.750.000 US\$, de los cuales 2.140.000 US\$ serán financiados con recursos del presupuesto institucional del MEER, 975.000 US\$ con la cooperación técnica no reembolsable del FMAM y la ONUDI, y 1.635.000 US\$ como un aporte del sector privado ecuatoriano. El objetivo es promover mejoras en la eficiencia energética de la industria ecuatoriana a través del desarrollo de estándares nacionales de gestión de energía y de la aplicación de la metodología de optimización de sistemas en procesos industriales, mejorando la competitividad industrial (MEER, 2015).

El proyecto facilitará la implantación de una norma ecuatoriana de gestión compatible con la norma ISO 50001. Esta nueva norma establece un marco internacional para las instalaciones industriales, comerciales o institucionales, para administrar su energía, incluida la adquisición y el uso. Se espera que dicha norma logre un importante aumento a largo plazo en eficiencia energética (20% o más) en las instalaciones donde se aplique (CONELEC, 2012).



Foto: INER

LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL

A nivel global, iniciativas como Energy Star se aplican a los electrodomésticos y también a la construcción de casas en Estados Unidos. Los puntos de mejora principales están en reducir o eliminar las infiltraciones térmicas, mantener temperaturas estables (tanto en invierno como en verano) y mejorar la durabilidad de los materiales constructivos (Environmental Protection Agency, s/f). Paralelamente, en la Unión Europea las principales medidas adoptadas corresponden al etiquetado y estándares de mínimo consumo (Eco-diseño). Esta última es una medida que provee un marco general para el diseño y construcción de equipos de uso doméstico con volúmenes de venta importantes, impacto ambiental significativo y un potencial de mejoramiento elevado (Comisión Europea, 2012).

En Ecuador, debido a que la tarifa no cubre los costos de producción y no existe una focalización de los subsidios desde hace varias décadas, se han formado malos hábitos de consumo en la población y la utilización de equipos y electrodomésticos de baja eficiencia energética (CONELEC, 2012). Por esta razón, ha sido considerado necesario trabajar en una cultura de uso racional de energía, mediante la concienciación de la población en todos los segmentos de consumidores residenciales, junto a la adopción de políticas y la

ejecución de planes, programas y proyectos de eficiencia energética.

De acuerdo con la situación actual de consumo eléctrico del sector residencial, las medidas y los planes de eficiencia y buen uso de la energía han sido orientados a los usos finales de mayor demanda: iluminación, cocción y refrigeración de alimentos, y acondicionamiento de ambientes. Se estima que 90% de la demanda de GLP en el sector residencial se destina a la cocción de los alimentos, mientras que para el caso de la electricidad se puede indicar que la refrigeración de alimentos participa con aproximadamente 60% y 50% de la demanda del sector en la Sierra y Costa respectivamente, la iluminación con 20% y 17% en ambas regiones y el consumo de aire acondicionado que participa con 14% en las provincias de climas cálidos (CONELEC, 2012).

La sustitución de focos incandescentes por ahorradores en viviendas fue la iniciativa pionera de eficiencia energética ejecutada por el Gobierno Nacional, con el fin disminuir la demanda de potencia y energía del Sistema Eléctrico Nacional en horas pico. El proyecto inició en el 2008 con la sustitución de 6 millones de focos ahorradores (Primera Fase), destinada al sector residencial con consumos menores a 150 kWh/mes. En el 2010 se continuó con la sustitución de 10 millones de focos ahorradores (segunda fase) destinada a otros sectores como salud, educación y servicio social



y usuarios residenciales con consumos de hasta 200 kWh/mes (CONELEC, 2012)

El proyecto fue ejecutado en dos etapas, la primera de agosto hasta diciembre del 2008, en la que se asignó 3.639.744 focos ahorradores. La segunda fase se realizó desde el mes de abril hasta octubre de 2009, con una asignación de 2.125.728 focos ahorradores. Los resultados reportados de esta medida muestran una disminución de la demanda de 541.531 MWh/año y un ahorro económico en subsidios de 87.478.049 US\$/año (CEPAL, 2013).

Como parte de la ejecución de la primera fase, se suscribió un “Contrato de Compra Venta de Reducción de Emisiones” con el Deutsche Bank AG London el 9 de junio de 2010. Luego del proceso de validación por parte de la Convención de Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC), el proyecto fue registrado el 22 de enero de 2011 como proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (CEPAL, 2013).

Paralelamente, en abril de 2011, por Decreto Presidencial 741 se estableció el Programa para la Renovación de Equipos de Consumo Energético Ineficiente (CEPAL, 2013). Estuvo previsto sustituir a nivel nacional 330.000 refrigeradoras de consumo ineficiente (mayor de 10 años de uso) por otras de alta eficiencia (rango A), de un volumen de enfriamiento de entre 280 y 340 litros (10 a 12 pies cúbicos), para lo cual se está

entregando un estímulo a los usuarios del sector residencial que consuman hasta 200 kWh por mes. Una vez se alcance la sustitución de las 330.000 unidades se espera obtener un ahorro de energía eléctrica de 215.780 MWh/año con un ahorro económico de US\$ 26.972.550 considerando un costo de la energía de 12,5 cUS\$/kWh (CONELEC, 2012).

Por su parte, el “Proyecto de Implementación de Cocinas de Inducción” inició en el año 2010 con la adecuación de las redes de distribución eléctrica, y la socialización y demostración del uso de la tecnología a las familias participantes. Durante la primera etapa, se entregaron 2.870 sistemas de cocción por inducción en las parroquias del cantón Tulcán que originalmente fueron consideradas en el proyecto. El objetivo del proyecto piloto es determinar el impacto social, técnico y económico de la sustitución parcial de GLP por electricidad para la cocción de alimentos, a través de la entrega sin costo de un sistema de cocción por inducción (dos cocinas de inducción de una zona y un juego de ollas) a familias que lo acepten voluntariamente.

LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ALUMBRADO PÚBLICO

A nivel internacional, el mejoramiento en la eficiencia energética del alumbrado público se da en la sustitución de luminarias de tecnologías antiguas por tecnologías modernas como las luminarias LED. Países como Estados Unidos, los de la Unión Europea, India y México han implementado manuales, normativas y programas de incentivos para la sustitución de luminarias.

En el ámbito nacional, la eficiencia energética en alumbrado público se enfocó en dos sectores considerados críticos: (i) el área de concesión de CNEL, por sus altas pérdidas no técnicas y la provincia de Galápagos, por la política de cero combustibles fósiles. El primero contempla la sustitución de 64.655 luminarias de alumbrado público de vapor de mercurio por luminarias de vapor de sodio, para lo cual CNEL adquirió 61.610 luminarias de vapor de sodio de 100 W de potencia, sustituyendo hasta finales del 2012 un total de 37.900. Esto ha permitido obtener un ahorro de energía eléctrica anual aproximado de 13.915 MWh y 3,2 MW de potencia, con una inversión de US\$ 7.030.880. En Galápagos se sustituyeron 1.250 luminarias de alto consumo energético por luminarias de inducción de alta eficiencia de 80 W de potencia, lo que ha permitido un ahorro de energía aproximado de 4.500 MWh al año y 1 MW de potencia, con una inversión de US\$ 410.720 (CEPAL, 2013).

COMENTARIOS FINALES

La información recogida en este capítulo muestra el alto potencial de crecimiento y adopción tecnológica en energía renovable y eficiencia energética a escala global, tendencia que se mantiene al analizar la región y el país.

En el año 2013, aproximadamente la quinta parte de la energía total mundial y de la generación eléctrica global fue obtenida haciendo uso de tecnologías de energía renovable; además, casi 60% de la nueva capacidad de generación eléctrica mundial se ha realizado con energía renovable. Esto ha aportado considerablemente a mantener el ritmo económico mundial y mantener estables las emisiones de GEI asociadas al abastecimiento y consumo energético.

Si bien se han dado grandes avances tecnológicos para mejorar la eficiencia y abaratar costos de generación,

sigue siendo la tecnología renovable más tradicional la que lleva la delantera por sobre las tecnologías modernas. Así la bioenergía (leña) es la principal tecnología de generación de energía renovable a nivel mundial, seguido de la biomasa (otras fuentes) y las renovables térmicas modernas. Luego se encuentran la hidroelectricidad, la energía eólica, la energía solar fotovoltaica y la geotermia para producir electricidad, quedando al final los biocombustibles. Estos datos contrastan con la tasa de crecimiento de las energías renovables, en cuyo caso, la energía solar fotovoltaica tiene la mayor tasa, seguida de la concentración solar y la energía eólica (REN21, 2015).

América Latina y el Caribe tienen un alto potencial para el despliegue de energía renovable, hecho reflejado por un 28% del total de consumo energético provisto por este tipo de tecnologías. No obstante, hay que considerar que cerca de 14% es provisto por biomasa tradicional. En cuanto a la generación eléctrica en la



Foto: <http://ecuadoryacambio.ec/wp-content/uploads/2015/04/tmanduriacu.jpg>

región, 53% proviene de hidroeléctricas y aproximadamente solo un 2% es provisto por otras tecnologías renovables (Sheinbaum-Pardo y Ruiz, 2011).

En el caso del Ecuador, los datos son similares a los de la región: para el año 2014 hay algo más de 7% de participación de las energías renovables en la producción de energía primaria, mientras que en la estructura de generación eléctrica se llega a casi un 48% provisto por energías renovables; la hidroelectricidad ocupa cerca de 46% y 2% corresponde a las demás tecnologías (MICSE, 2015).

En cuanto al análisis por tipo de tecnología (sin considerar la hidroenergía), la biomasa tiene un papel preponderante en la región, tanto por su potencial como por el uso que sigue teniendo. Aquí también se toman en cuenta los usos modernos de la biomasa para generación de calor, electricidad y biocombustibles. Las tecnologías de aprovechamiento de la

biomasa hoy se orientan principalmente a la generación de calor para la cocción y el calentamiento de espacios. La producción de biocombustibles es una alternativa con alto potencial que ha sido desarrollada especialmente en Brasil, Colombia y Argentina.

La energía solar fotovoltaica tiene poca penetración en la región, a pesar del elevado recurso existente en varios países, especialmente si se lo compara con la energía hidroeléctrica o la biomasa. Sin embargo al 2020, se espera un crecimiento sostenido, hasta quintuplicar la capacidad instalada actualmente.

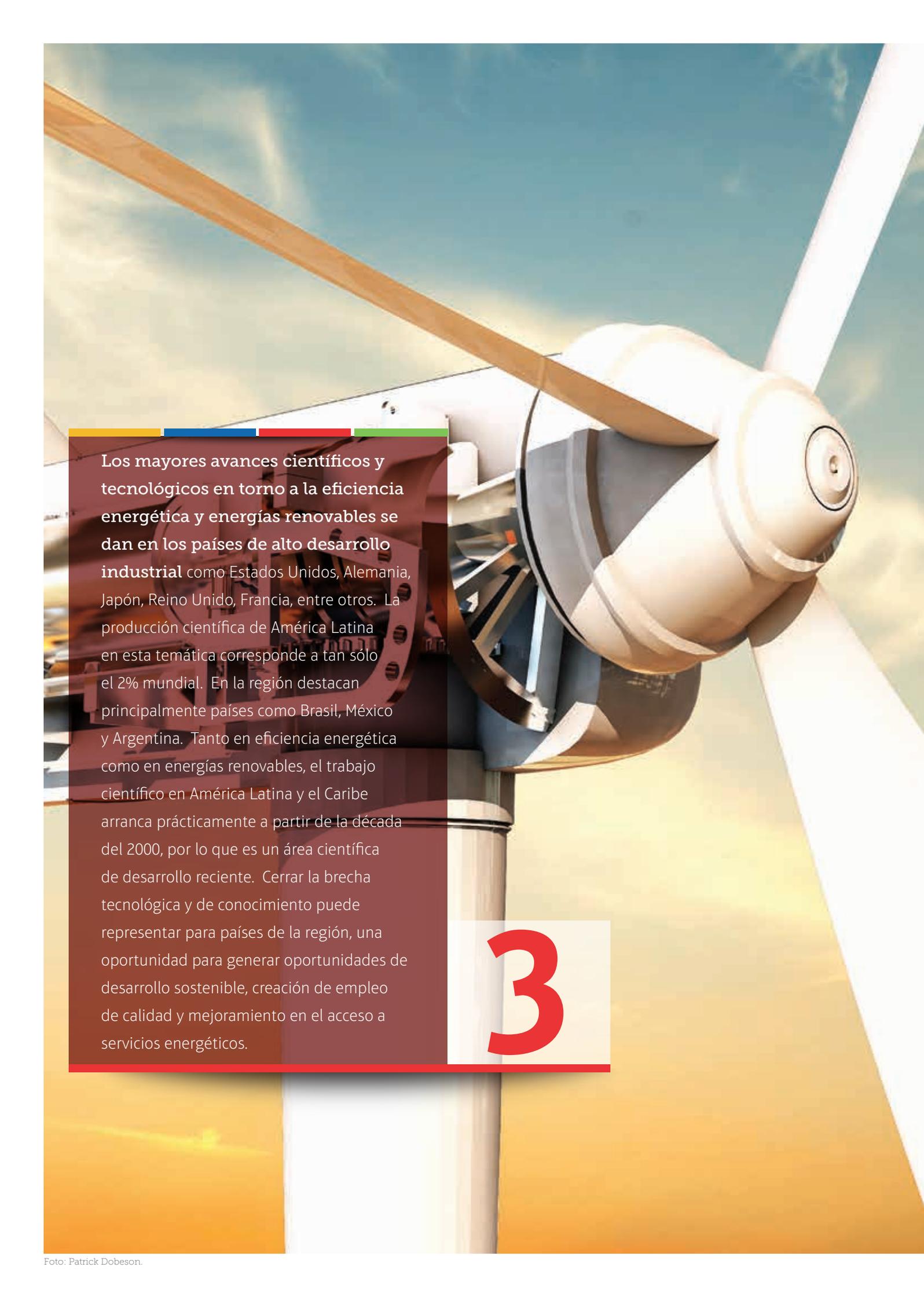
La energía eólica tiene mayor penetración en Centroamérica que en Sudamérica, y dentro de cada país existe mucha variación. De igual manera, se espera que esta tecnología vaya ganando terreno, especialmente en países con un vasto recurso eólico, extensión geográfica e instalaciones para la fabricación de aerogeneradores como Brasil.

La energía hidroeléctrica también cuenta con un muy elevado potencial en toda la región por la abundancia del recurso hídrico y la geografía propicia para esta tecnología. Los datos del recurso potencial de pequeñas hidroeléctricas reportado para algunos países de la región muestran datos contundentes sobre la importancia de este recurso si se integra a las estructuras eléctricas de estos países. En el Ecuador existiría un potencial para la microhidro de más de 1.200 MW, lo que es comparable con la actual hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

Finalmente, la energía geotérmica, si bien cuenta con un elevado potencial, es una de las tecnologías que menor penetración han tenido; está presente principalmente en países de Centroamérica y Norteamérica. Una de las principales barreras para esta tecnología es el alto grado de desarrollo tecnológico que demanda y las capacidades específicas para su instalación, operación y mantenimiento. Los elevados costos de exploración e infraestructura, frente a otras tecnologías maduras es otro factor que la geotermia debe vencer para alcanzar mayores cuotas en las estructuras energéticas de la región.

En cuanto a la eficiencia energética, casi todas las regiones del planeta han logrado reducciones en la intensidad de energía; sin embargo, los principales avances se han dado en regiones altamente industrializadas, por lo que este sigue siendo un desafío abierto para regiones como Latinoamérica, donde se deben mejorar los índices de productividad y lograr, al mismo tiempo, que se mantengan unos niveles adecuados de intensidad energética. En el Ecuador se han establecido diversas medidas impulsadas desde la administración central para lograr mejoras en el uso eficiente y racional especialmente de la electricidad; con ello se espera generar grandes mejoras en el consumo residencial y comercial.





Los mayores avances científicos y tecnológicos en torno a la eficiencia energética y energías renovables se dan en los países de alto desarrollo industrial como Estados Unidos, Alemania, Japón, Reino Unido, Francia, entre otros. La producción científica de América Latina en esta temática corresponde a tan sólo el 2% mundial. En la región destacan principalmente países como Brasil, México y Argentina. Tanto en eficiencia energética como en energías renovables, el trabajo científico en América Latina y el Caribe arranca prácticamente a partir de la década del 2000, por lo que es un área científica de desarrollo reciente. Cerrar la brecha tecnológica y de conocimiento puede representar para países de la región, una oportunidad para generar oportunidades de desarrollo sostenible, creación de empleo de calidad y mejoramiento en el acceso a servicios energéticos.

3

3 LAS ACTIVIDADES DE I+D+i EN EL ÁMBITO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A NIVEL MUNDIAL, DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, Y EL ECUADOR

■ INTRODUCCIÓN

Latinoamérica dispone de un gran potencial para el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de energía solar, eólica, hidráulica y bioenergía, así como el despliegue de medidas y tecnologías de eficiencia energética. A pesar de ello, en casi todas las dimensiones relevantes del panorama de la ciencia, tecnología e innovación, el desempeño de los países de la región es sustancialmente inferior al de países como los de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Unión Europea, así como al de economías emergentes como China, India y algunos países de Europa Central (RIAC, 2012).

Existe evidentemente una marcada heterogeneidad de la región latinoamericana. Brasil (y en cierta medida Argentina, Chile y México) han comenzado a desarrollar un perfil tecnológico más cercano al de las economías avanzadas, mientras que el resto de la región sigue bastante rezagada. El BID precisa que mientras de 1999 a 2009 la participación del gasto en I+D en el Producto Interno Bruto (PIB) creció sistemáticamente en las economías avanzadas, en los países de América Latina y el Caribe las mejoras fueron modestas. Según cálculos de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT), en 2009 las inversiones en I+D de la región equivalían al 0,69% del PIB, mientras que en 1999 representaban 0,55%. Durante ese mismo período, los países de la OCDE aumentaron su intensidad de I+D de 2,16% a 2,40%. Además, en América Latina y el Caribe las iniciativas para mejorar la inversión en I+D se concentran en unos pocos países. En 2007, 60% de los gastos en I+D de la región se realizó en Brasil, país con la más alta intensidad de I+D en la región (1,09% del PIB). En el caso del Ecuador, según información de SENESCYT, los gastos de I+D están alrededor de 0,5%; en un futuro cercano se pretende llegar a 1% del PIB.

En materia de desempeño científico y tecnológico existe también un rezago en la región. América Latina y el Caribe generan menos de 50 publicaciones científicas por cada millón de habitantes, lo que contrasta con las más de 300 que se publican en las economías avanzadas. Las diferencias en materia de capital humano son igualmente sustanciales.

Estas cifras muestran que mejorar las capacidades tecnológicas y desarrollarse científicamente en toda la región debe ser un imperativo de todos los gobiernos para impulsar el sector productivo y lograr la transición hacia la economía del conocimiento.

Tal como se ha descrito en los capítulos anteriores, el Ecuador tiene un gran potencial para el desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética. Es por ello que las actividades de investigación científica y tecnológica en el sector energético son un factor clave para el impulso de este desarrollo. Carvajal (2012) realizó una primera evaluación sobre las actividades de I+D+i en el Ecuador en el ámbito de las energías renovables y eficiencia energética, en el que se registran las siguientes necesidades prioritarias y recomendaciones:

- ☑ Disponer de talento humano calificado
- ☑ Mejorar la infraestructura de investigación
- ☑ Crear un instituto nacional de energías renovables, donde se pueda trabajar en aspectos de I+D+i
- ☑ Disponer de financiación pública y/o privada para el desarrollo de las actividades investigativas
- ☑ Fortalecer las redes de investigación en el ámbito energético



Foto: <http://www.freepik.com>

Con estos antecedentes, es necesario realizar un análisis detallado del estado actual de las actividades de I+D+i en el Ecuador, poniéndolas en el contexto de las actividades científicas a nivel regional y global. Esto permitirá conocer cuáles son las potencialidades científicas con las que se cuenta para el despliegue de tecnologías de eficiencia energética y energía renovable en el país. Estos insumos servirán de base para generar una propuesta que permita la colocación eficiente de recursos para las actividades de I+D+i que lleven a la continua y efectiva introducción, desarrollo, adopción y adaptación tecnológica en estas áreas.

■ METODOLOGÍA

Este apartado está enfocado en identificar las principales actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en eficiencia energética y energía renovable que se llevan a cabo en el mundo, la región y el Ecuador.

Para este fin se utilizaron métodos de recopilación de información primaria y secundaria. La información secundaria fue aplicada en el contexto mundial y regional de la I+D+i en eficiencia energética y energía renovable. Las fuentes fueron variadas: desde otras investigaciones sobre el tema publicadas en revistas científicas, libros y reportes de agencias de energía, hasta páginas web de centros de investigación, universidades, conferencias académicas internacionales, motores de búsqueda y la base de datos de publicaciones científicas. Los temas específicos considerados incluyeron cinco fuentes de energía renovable, incluyendo la hidroeléctrica de pequeña escala, mientras que para eficiencia energética esto varió dependiendo de la información disponible, incluyendo, en general, eficiencia en edificaciones, transporte, industria y redes eléctricas.

Para el contexto mundial, el periodo considerado fue de 1979 a 2009, dada la disponibilidad de un estudio bastante completo en el tema para los años mencionados (Manzano-Agugliaro et al., 2013). Otras fuentes utilizadas para definir las líneas de investigación fueron esencialmente publicaciones de agencias de energía a nivel mundial, regional o de países líderes por el número de publicaciones en este ámbito.

Para el contexto de América Latina y el Caribe, la herramienta Scopus fue utilizada debido a la limitada información consolidada de todos los países. Se analizó el periodo entre 1979 a 2014 tratando, por un lado,

de mantener la coherencia con el contexto mundial y, por otro, de aprovechar la disponibilidad de datos más recientes. En general, se procuró utilizar información consolidada, pero en algunos casos fue necesario realizar también búsquedas por país, en particular para identificar líneas de investigación en temas específicos de eficiencia energética.

Para lo concerniente al contexto nacional, la recopilación de información primaria se realizó por medio de encuestas dirigidas al sector científico-académico. Si bien estas encuestas no tienen el objetivo de suplir ni complementar las encuestas oficiales sobre actividades de investigación y desarrollo científico elaboradas por los organismos oficiales, sí se mantuvo la concordancia entre la encuesta diseñada y las recomendaciones del Manual de Frascati y del UNESCO Institute for Statistics.

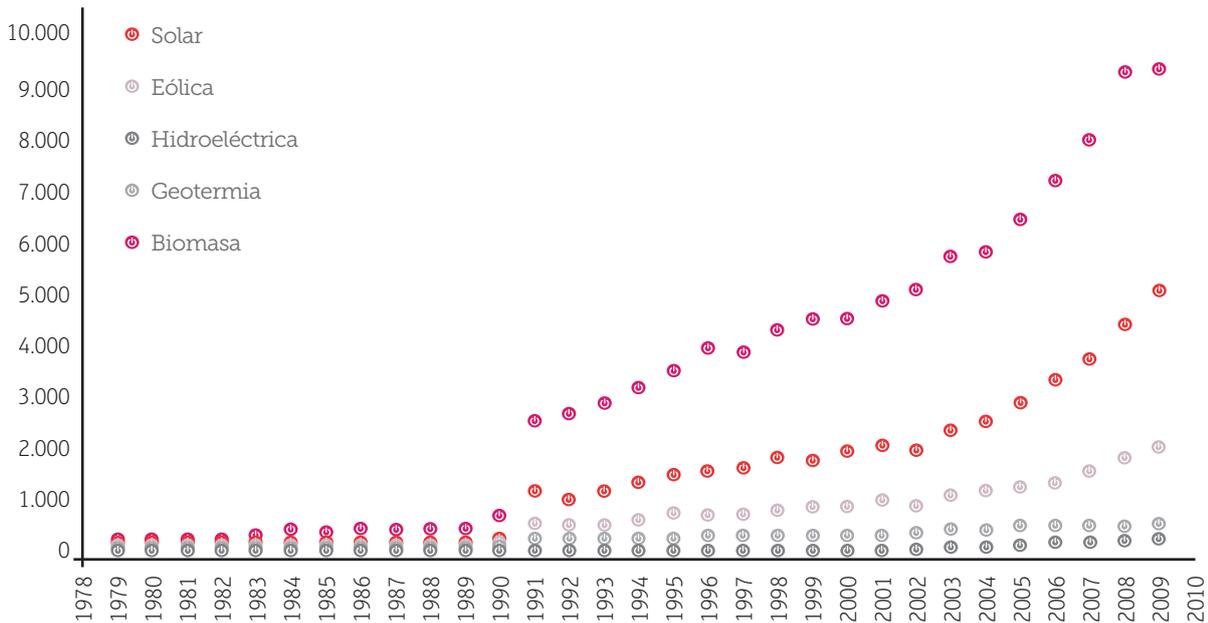
La encuesta estuvo formada por tres grupos de preguntas principales. El primero se refiere a identificación y caracterización general de la persona encuestada. El segundo grupo busca identificar las líneas de investigación, la infraestructura existente para las actividades y una caracterización del grupo científico en cuanto a años, número de investigadores/as y otros. Finalmente, el tercer grupo de preguntas busca identificar las actividades de I+D+i, el presupuesto, resultados y los obstáculos y habilitantes que se han encontrado para realizar estas actividades. Además, se preguntó sobre posibles trabajos a futuro, lo cual servirá para identificar las líneas prioritarias que se espera desarrollar en los próximos años.

■ LA I+D+i EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA RENOVABLE EN EL MUNDO

LAS PRINCIPALES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA RENOVABLE EN EL MUNDO

Entre 1979 y 2009, la investigación en temas relacionados con los diferentes tipos de energía renovable (ER) a nivel mundial ha tenido tendencias divergentes. La investigación en energía hidroeléctrica y geotermia se ha mantenido estable durante este periodo de tiempo, mientras que para la energía eólica, solar y biomasa se ha identificado una tendencia exponencial. Esto puede ser observado en la Figura 42, la cual evidencia un cambio radical en las tendencias de investigación en energía renovable a partir del año 1991.

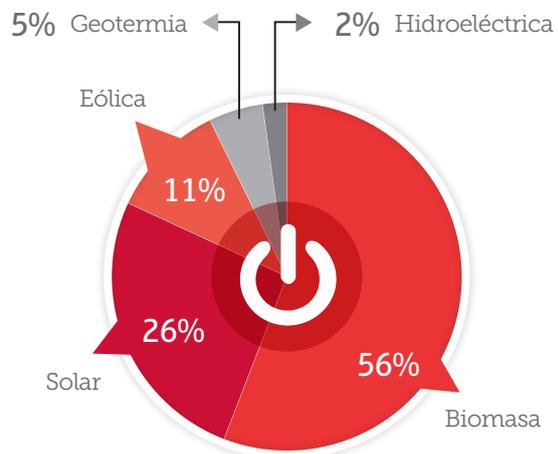
FIGURA 42: Evolución de las publicaciones científicas en ER (1979-2009) (Manzano-Agugliaro et al, 2013)



Del porcentaje total de artículos publicados en revistas científicas de la base de datos ISI en energía renovable entre 1979 y 2009, 56% correspondió al uso de la biomasa, seguido de la energía solar, con 26%, y la energía eólica, con 11%. En la Figura 43 se presenta esta distribución por fuente de energía.

Las principales líneas de investigación en energía renovable a nivel mundial serán presentadas de forma desagregada por tipo de energía. Se considera, por un lado, la distribución geográfica de la producción científica (Manzano-Agugliaro et al., 2013) y, por otro, las temáticas actuales que están siendo abordadas en conferencias académicas internacionales, centros de investigación y publicaciones especializadas. Además, se incluyen prioridades de investigación en energía renovable a futuro.

FIGURA 43: Distribución de las publicaciones por tipo de ER (1979-2009) (Manzano-Agugliaro et al., 2013)



BIOENERGÍA

El trabajo en I+D+i para este tipo de energía se ha realizado principalmente en Europa, Norteamérica y algunas economías emergentes. Las líneas de investigación varían por región o país, dependiendo de los recursos disponibles (caña de azúcar para producir bioetanol en Brasil, aceite de palma para fabricación de biodiesel en Indonesia, etc.). En la Figura 44 se presenta la distribución de la producción científica en bioenergía a nivel mundial, mientras que las líneas de investigación en bioenergía ofrecidas en la Tabla 12 han sido tomadas de la investigación de Gupta et al. (2014) y de reportes de la IEA (2009).



FIGURA 44: Porcentaje de publicaciones en bioenergía por país (Manzano-Agugliaro et al., 2013)

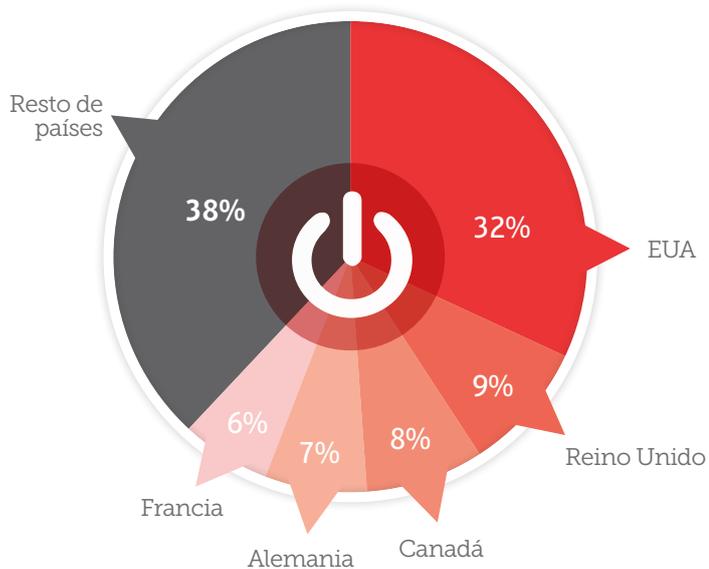


TABLA 12: Líneas de investigación en bioenergía a nivel mundial

Línea específica	Detalle
General	Desarrollo y estudio de materias primas alternativas
	Modelamiento y análisis del ciclo de vida
	Usos de biocombustibles y desarrollo de coproductos
	Mercados bioenergéticos
	Agricultura sostenible de plantaciones bioenergéticas
	Tecnologías bioenergéticas y manejo de residuos sólidos
	Aspectos sociales y ambientales de la bioenergía
	Mejoramiento genético de especies vegetales con fines bioenergéticos
Biocombustibles sólidos	Desarrollo de aplicaciones a base de pellets para viviendas e industrias
	Uso de sólidos volátiles de biomasa para generación de energía



Línea específica	Detalle
Biocombustibles líquidos	Fermentación de bioetanol
	Tendencias en biología molecular para producción de bioetanol
	Inmovilización de celdas para etanol
	Uso agroindustrial de residuos para producción de bioetanol
	Biorreactores para producción de etanol y biodiesel
	Producción de biodiésel a partir de lipasa catalizada
	Aplicaciones de catalizadores heterogéneos en la producción de biodiésel
	Biocombustibles de segunda generación a partir de biocrudo derivado de algas de alta eficiencia
	Promoción de nuevas tecnologías de conversión, procesos termo y bioquímicos, desarrollo de enzimas y catalizadores y aprovechamiento energético de biomasa rica en celulosa
Producción de isobutanol a partir de plantaciones bioenergéticas	
Biogás	Digestores en hogares para producción de biogás
	Estudio de cianobacterias y algas verdes para la producción de biohidrógeno
Co-productos	Productos químicos a base de lignocelulosa
	Producción de fitoquímicos, colorantes y pigmentos como coproductos en procesos bioenergéticos
	Avances en la producción de biocarbón y su uso para mejorar la calidad ambiental
Desarrollo y demostración de tecnología	Nuevas tecnologías para la transformación de biomasa en bioproductos
	Pirólisis, gasificación y torrefacción
	Catálisis y procesos catalíticos termoquímicos para conversión de biomasa en biocombustibles y químicos
	Motores combinados de calor y electricidad
	Tecnologías de pretratamiento de biomasa para generación de energía
	Sistemas de biorrefinería, desarrollo de tecnologías termo y bioquímicas

ENERGÍA SOLAR

La investigación en energía solar no se ha concentrado en las regiones o países con mayor recurso solar como en África y el Medio Oriente. Por el contrario, la producción científica se ha concentrado en 13 países desarrollados y economías emergentes de Norte América, Europa y Asia, los cuales contribuyeron con 75% del total de investigaciones. La Figura 45 muestra a los cinco países con mayor producción científica en energía solar. En base a la revisión de publicaciones (ISPRES, 2009; IEA, 2009) y eventos académicos internacionales, en particular del congreso Solar World (2015) organizado por la Sociedad Internacional de Energía Solar, se han identificado las líneas de investigación mostradas en la Tabla 13.

FIGURA 45: Porcentaje de publicaciones en energía solar por país (Manzano-Agugliaro et al., 2013)

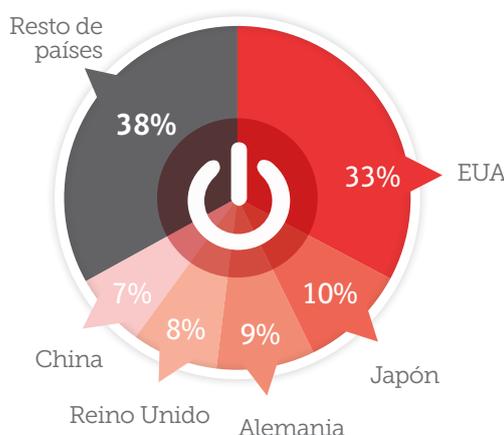


TABLA 13: Líneas de investigación en energía solar a nivel mundial

Línea específica	Detalle
Sistemas fotovoltaicos	Tecnología fotovoltaica de concentración, diseño, operación, rendimiento de los sistemas y componentes
	Materiales avanzados para sistemas integrados, celdas y componentes
	Materiales, componentes y celdas solares de capa fina
	Otros temas relacionados con principios y tecnologías fotovoltaicas
	Mejoramiento de sistemas de obleas de silicio mediante la reducción de materiales, perfeccionamiento de celdas y automatización de procesos de manufactura
	Apertura de mercados y generación de experiencia industrial en manufactura para reducción de costos en sistemas de módulos de capa fina
Calefacción y refrigeración solar	Destilación solar y desalinización termal solar, calentamiento de agua y sistemas combinados
	Sistemas de bombas de calor, refrigeración y climatización solar
	Colectores solares (incluyendo colectores termales fotovoltaicos)
	Calefacción solar para aplicaciones comerciales e industriales, ingeniería, demostración, certificación y evaluación de calidad
	Sistemas compactos de almacenamiento de calor para reducir volumen de almacenamiento, dispositivos para enfriamiento con tecnologías térmicas, polímeros, sistemas combinados con bombas de calor

Línea específica	Detalle
Energía solar concentrada y combustibles	Sistemas de electricidad solar termal
	Sistemas de detoxificación solar, procesos fotocatalíticos, químicos y combustibles solares
	Principios de concentración solar, ingeniería óptica, transferencia de calor, materiales y componentes
	Aumento en la eficiencia, reducción en el consumo de materiales, avances en manufactura, logística y automatización de operaciones
Evaluación del recurso y meteorología energética	Disponibilidad y variabilidad de la radiación solar
	Evaluación y pronóstico del recurso solar
	Instrumentación y herramientas, otros temas relacionados con la meteorología de la energía y evaluación del recurso
Redes, integración y distribución	Vehículos a base de energía solar, integración a la red de sistemas energéticos solares, redes y estrategias de medición inteligentes
Sistemas aislados y acceso a la energía en medios rurales	Acceso a la energía, seguridad y expansión de sistemas aislados (sistemas de energía solar domésticos) en países en desarrollo
	Sistemas micro e híbridos, cocción a base de energía solar
Almacenamiento energético	Almacenamiento térmico de temperatura media y baja
	Almacenamiento térmico de alta temperatura
	Almacenamiento energético en edificaciones
Energía solar y sociedad	Desarrollo de proyectos comunitarios
	Planificación, políticas y economía
	Educación y capacitación



Foto: www.freepik.com



Foto: <http://www.energia.gob.ec/>

ENERGÍA EÓLICA

La investigación en energía eólica se concentró en 14 países que contribuyeron 78,5% de la producción científica (Figura 46). En muchos casos, los países donde más investigación se ha realizado son también los que han instalado una mayor cantidad de potencia de energía eólica, gracias a políticas favorables a la energía renovable en estos países.

La Tabla 14 muestra las principales líneas de investigación en energía eólica que han sido identificadas a partir de información recopilada de centros de investigación (NREL, 2015; ECN, 2015), programas de conferencias internacionales como la World Wind Energy Conference (WWECC, 2015) y documentos publicados (IEA (2009 y 2013; ISPRES, 2009).

FIGURA 46: Porcentaje de publicaciones en energía eólica por país (Manzano-Agugliaro et al, 2013)

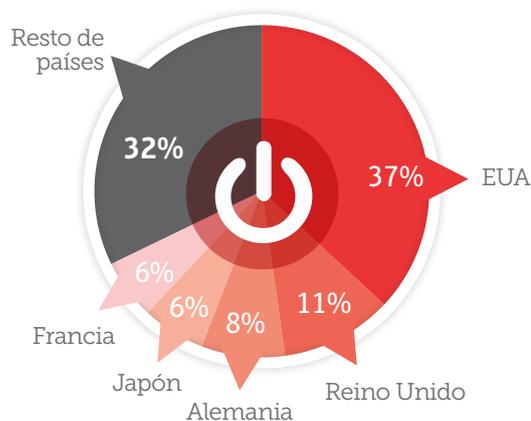


TABLA 14: Líneas de investigación en energía eólica a nivel mundial

Línea específica	Detalle
Recurso eólico	Análisis meteorológico
	Evaluación del recurso y <i>micrositing</i> con sensores remotos
Diseño de turbinas	Aspectos aerodinámicos, mecánicos y dinámicos
	Optimización del diseño de turbinas de pequeña escala y gran escala
	Maximización de la producción de energía y tiempo de vida
Aspectos eléctricos	Control, almacenamiento e integración en sistemas energéticos convencionales y renovables
	Almacenamiento energético
	Generación distribuida

Línea específica	Detalle
Aplicaciones	Sistemas de energía híbridos
	Desalinización y bombeo de agua
	Producción de combustibles
Energía eólica marina	Demostración de la tecnología de turbinas eólicas marinas
	Integración a la red
	Modelamiento integrado y simulación de sistemas eólicos marinos
Aspectos sociales y ambientales	Aceptación social, educación y formación
	Contaminación visual y sonora
	Impactos ambientales, problemas con poblaciones de aves
Economía, incentivos y costos sociales de la energía eólica	Aceleración del acceso a mercados
	Estudios de impactos económicos
	Manufactura y cadena de valor
Operación, mantenimiento, fiabilidad y protección	Optimización para reducción de costos en operación y mantenimiento
	Monitoreo de condiciones
	Pruebas de fiabilidad y certificación

Las prioridades de investigación se enfocan en nuevos desarrollos en materiales, semiconductores y tecnologías de la información (IEA, 2009), que incluyen los siguientes temas específicos:

- 🔍 Evaluación y previsión mejoradas del recurso eólico y condiciones
- 🔍 Mejoramiento en la eficiencia y reducción de costos para plantas eólicas terrestres
- 🔍 Mejoramiento en eficiencia y costos para plantas eólicas marinas
- 🔍 Tecnología de transmisión y diseño
- 🔍 Operación de sistemas energéticos con amplia participación de energía eólica
- 🔍 Reducción de peso de rotores y sistemas de transmisión

ENERGÍA GEOTÉRMICA

La producción científica para este tipo de energía se ha concentrado en 14 países que contribuyeron con el 80,4% del total. En la Figura 47 se presenta la distribución de las publicaciones en geotermia por país. La Tabla 15 muestra las principales líneas de investigación identificadas después de la revisión realizada de publicaciones y sitios web relacionados (RHC Platform (2012); TP-Geoelec (2012); European Communities, 2009).

FIGURA 47: Porcentaje de publicaciones en geotermia por país (Manzano-Agugliaro et al., 2013)

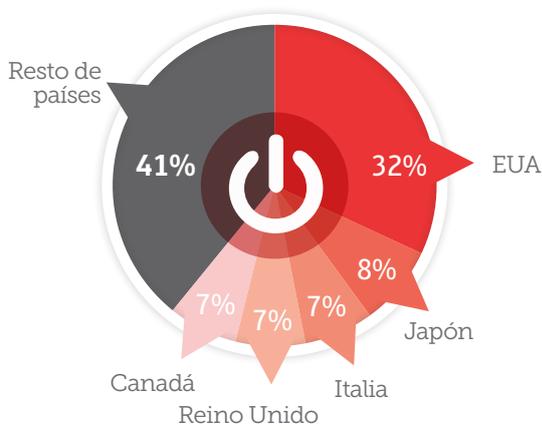


Foto: cloudfront.net

TABLA 15: Líneas de investigación en energía geotérmica a nivel mundial

Línea específica	Detalle
Recursos para producción de energía geotérmica	Recursos hidrotermales convectivos
	Sistemas dominados de vapor (vapor seco) y agua (vapor húmedo)
	Recursos de roca caliente y seca
	Campos de alta (>180°C) y baja (< 180°C) temperatura
Evaluación del potencial del recurso geotérmico	Identificación y caracterización del recurso, prospecciones de reservorios a profundidad, mejoramiento de métodos predictivos del rendimiento y tiempo de vida
	Tecnologías de exploración e imagen subterránea
	Herramientas de modelamiento para evaluación del recurso y del rendimiento de reservorios
	Emplazamientos y tests de respuesta térmica
	Evaluación y mitigación del riesgo de exploración

Línea específica	Detalle
Ingeniería de reservorios	Conceptos y tecnologías de perforación
	Diseño de sistemas de intercambio, tuberías y bombas de calor
	Sistemas de almacenamiento de energía térmica subterránea (UTES)
	Materiales y componentes de plantas geotérmicas costo-eficientes
	Diseño y monitoreo de pozos
Tecnologías para producción de energía geotérmica	Sistemas geotérmicos mejorados (EGS)
	Plantas geotérmicas de vapor flash
	Plantas geotérmicas de vapor seco
	Plantas geotérmicas binarias
Aplicaciones de utilización directa de energía geotérmica	Bombas de calor geotérmicas de circuito abierto y cerrado para aplicaciones de calentamiento y refrigeración
	Sistemas de calefacción urbana
	Invernaderos, calentamiento de suelo cubierto, secado de cultivos y otras aplicaciones en agricultura
	Calentamiento de agua para acuicultura y balneología
	Procesos de calentamiento industriales
Desarrollo de mercados	Barreras técnicas y habilitantes para penetración de mercado
	Costos y riesgos económicos de implementación
	Incentivos económicos
Sostenibilidad y problemas ambientales	Estudios sobre contaminación de acuíferos
	Emisiones de GEI
	Simulación de polución térmica provocada por bombas de calor
	Uso de la tierra e impacto social
	Percepción pública, educación e impacto en poblaciones locales



Foto: <http://www.pqc.es/wp-content/uploads/2012/02/784-sanpedro2.jpg>



Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/16669644728

HIDROELÉCTRICA DE PEQUEÑA ESCALA

La investigación en energía hidroeléctrica de gran escala no ha tenido mayor crecimiento ya que se trata de una tecnología madura. Las publicaciones científicas se han enfocado en el estudio de hidroeléctricas de pequeña escala en países con alto potencial para este recurso. La producción científica se ha concentrado en 12 países que contribuyeron 71,4% del total (Figura 48).

Las prioridades de investigación en hidroenergía identificadas se describen en la Tabla 16 (European Communities, 2009).

FIGURA 48: Porcentaje de publicaciones en hidroeléctrica por país (Manzano-Aguilero et al, 2013)

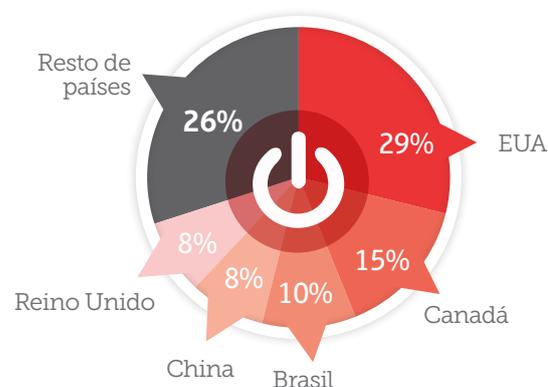


TABLA 16: Líneas de investigación en hidroenergía a nivel mundial

Línea específica	Detalle
Tecnología de turbinas	Desarrollo de generadores mejorados de conducción directa de baja velocidad, turbo-generadores sumergibles y adaptación de generadores de campo magnético permanente
	Desarrollo de turbinas con bajo impacto ambiental, turbinas bulbo usando magnetos permanentes y mejoras en materiales de turbinas
Instalaciones hidroeléctricas	Técnicas para diseño de estructuras para plantas hidroeléctricas de pequeña escala de bajo costo, sistemas de autolavado y métodos para incrementar el nivel de agua con impacto ambiental mínimo
	Estandarización de pruebas de plantas hidroeléctricas de pequeña escala, monitoreo a largo plazo y guías para el desarrollo de proyectos
Estudios medioambientales	Estudios sobre el impacto ambiental, desarrollo de procesos de monitoreo de poblaciones de peces y mejoramiento de los métodos de evaluación hidrológicos

■ LAS PRINCIPALES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MUNDO

La información disponible sobre las líneas de investigación en eficiencia energética es más limitada que la que ha sido publicada para las diferentes fuentes de energía renovable. Sin embargo, el reporte de IEA (2009) sobre los vacíos de investigación en energía limpia brinda algunos datos sobre tecnologías relacionadas con la eficiencia energética que se detallan a continuación.

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN TRANSPORTE

La eficiencia energética en el sector transporte requiere de importantes esfuerzos en el desarrollo de vehículos eficientes, sistemas avanzados de propulsión, almacenamiento de energía en vehículos y la producción de combustibles alternativos bajos en carbono (IEA, 2009). Algunas de las líneas de investigación prioritarias identificadas en esta área son:

- ☒ Mejoramiento de dispositivos para almacenamiento energético
- ☒ Identificación y desarrollo de materiales ligeros para aumentar la eficiencia de vehículos
- ☒ Desarrollo de tecnologías para eficiencia en combustibles: optimización de trenes de potencia basados en sistemas de combustión interna capaces de recuperar energía en calor y optimización de vehículos híbridos
- ☒ Tecnologías bajas en carbono e infraestructura de distribución de combustibles: avances en la producción de hidrógeno bajo en CO₂, desarrollo

de sistemas de distribución y de infraestructura para recarga de vehículos eléctricos

- ☒ Mejoramiento de sistemas de propulsión de pilas de combustible para que sean competitivas frente a los sistemas de combustión interna

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA

El sector industrial presenta numerosas oportunidades para incrementar la eficiencia en procesos de generación, almacenamiento, transferencia y recuperación de calor. Los esfuerzos deben enfocarse en mejorar la calidad, reducir residuos, minimizar el reprocesamiento, reducir la intensidad en el uso de materiales e incrementar el reciclaje. En este sentido, algunas de las líneas de investigación prioritarias identificadas en este campo son:

- ☒ Avances en bombas de calor químicas y mecánicas
- ☒ Desarrollo de sistemas de intercambio de calor y recuperadores de cerámica
- ☒ Materiales avanzados como compuestos de cerámica de fibra continua
- ☒ Sistemas avanzados de combustión para la industria
- ☒ Tecnologías de cogeneración (generación combinada de calor y electricidad – CHP)
- ☒ Sensores y controles
- ☒ Membranas mejoradas para sistemas de separación
- ☒ Procesos de electrólisis



Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/19613276295

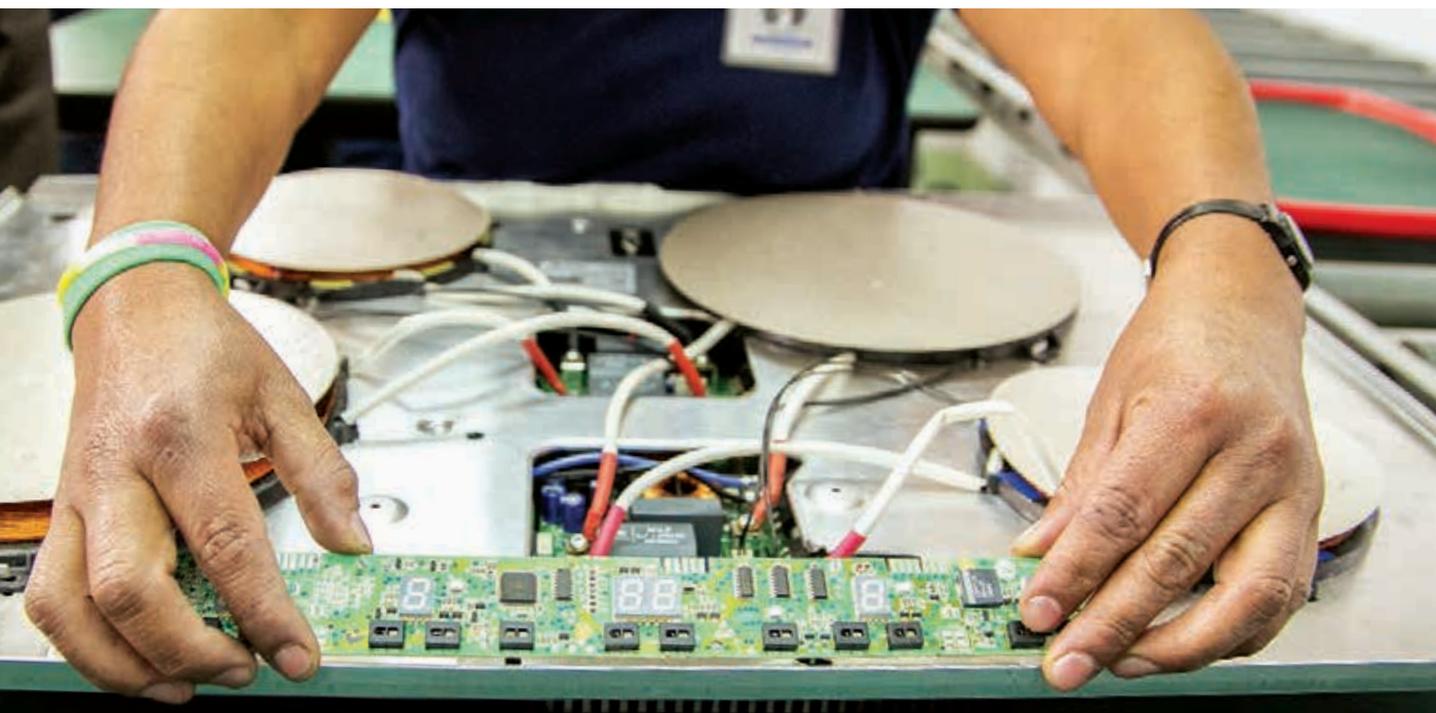


Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/19613276295

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS EDIFICACIONES (COMERCIAL Y RESIDENCIAL)

En lo referente a edificaciones, existe un gran número de prioridades de investigación y desarrollo en tecnologías específicas, temas transversales y optimización. Las líneas de investigación identificadas se detallan a continuación:

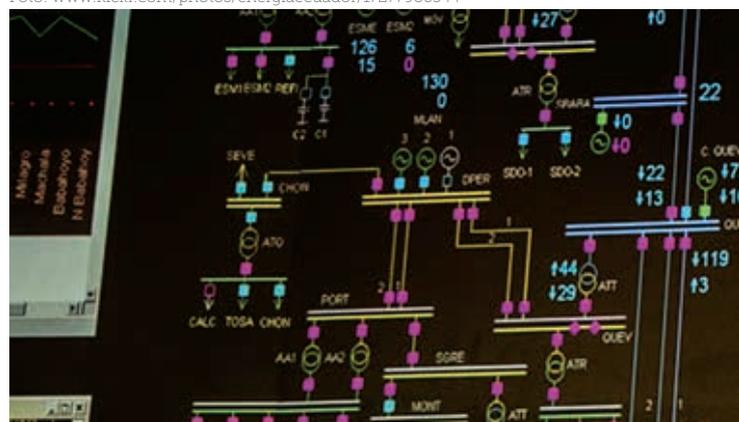
- ☑ Nuevas construcciones: integración de ciencias de construcción, arquitectura e informática para reducir el consumo energético, herramientas de simulación, análisis y optimización para diseño y operación, edificios autorregulados e integración efectiva de tecnologías renovables para diversas edificaciones, geometrías y zonas climáticas
- ☑ Retro-adaptación de edificaciones existentes: paquetes de optimización de medidas de eficiencia energética, aplicación de sistemas de control de calidad, evaluación del rendimiento pre y post adaptación, auditorías de edificaciones y adaptación de nuevas tecnologías en infraestructura existente
- ☑ Componentes y equipos avanzados: tecnologías para envoltorio y ventanas, equipos mecánicos, controles, tecnologías de almacenamiento térmico y alumbrado
- ☑ Integración e interacción de edificaciones con redes eléctricas: sistemas de almacenamiento energético, interacción inteligente de sistemas de edificaciones e integración de energías renovables con enfoque de eficiencia energética

OTRAS TEMÁTICAS AFINES: REDES INTELIGENTES

La mayoría de tecnologías requeridas para el despliegue de las redes inteligentes son maduras, pero necesitan ser integradas y aplicadas en el contexto de una red eléctrica. Además, existen estándares, aspectos regulatorios y de consumo que deben ser considerados. En este sentido, las líneas de investigación prioritarias que han sido identificadas son:

- ☑ Metodologías para integración de componentes y sistemas
- ☑ Desarrollo de sistemas de operación y manejo, así como de metodologías de control
- ☑ Desarrollo de tecnologías habilitantes (dispositivos superconductores, tecnologías de almacenamiento, conversión y comunicación)
- ☑ Interacción y comunicación con el usuario final
- ☑ Sistemas de seguridad
- ☑ Proyectos de demostración de sistemas

Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/17277986544



■ LA I+D+i EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA RENOVABLE EN LA REGIÓN DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

LAS LÍNEAS PRINCIPALES DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA RENOVABLE EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Las tendencias de la producción científica en América Latina y el Caribe entre el año 1979 y 2014 han sido extraídas de la base de datos Scopus sobre publicaciones en energía renovable, de forma desagregada para

las cinco fuentes de energía: bioenergía, solar, eólica, hidroeléctrica de pequeña escala y geotermia. Los resultados muestran cerca de 10.000 publicaciones, que, en comparación con el total mundial, representan alrededor de un 2% (Figura 49). En el periodo considerado, la producción científica en América Latina y el Caribe ha experimentado una aceleración exponencial para tres de las cinco tecnologías de energía renovables: biomasa, solar y eólica; las dos restantes han tenido un crecimiento notablemente más limitado (Figura 50).

FIGURA 49: Participación de América Latina y el Caribe en la producción científica mundial en energía renovable. 2012)

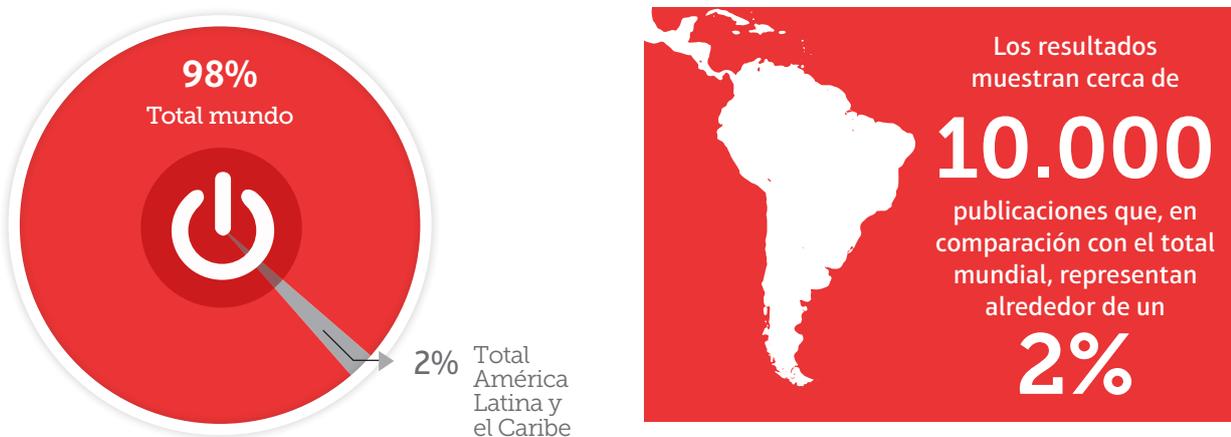
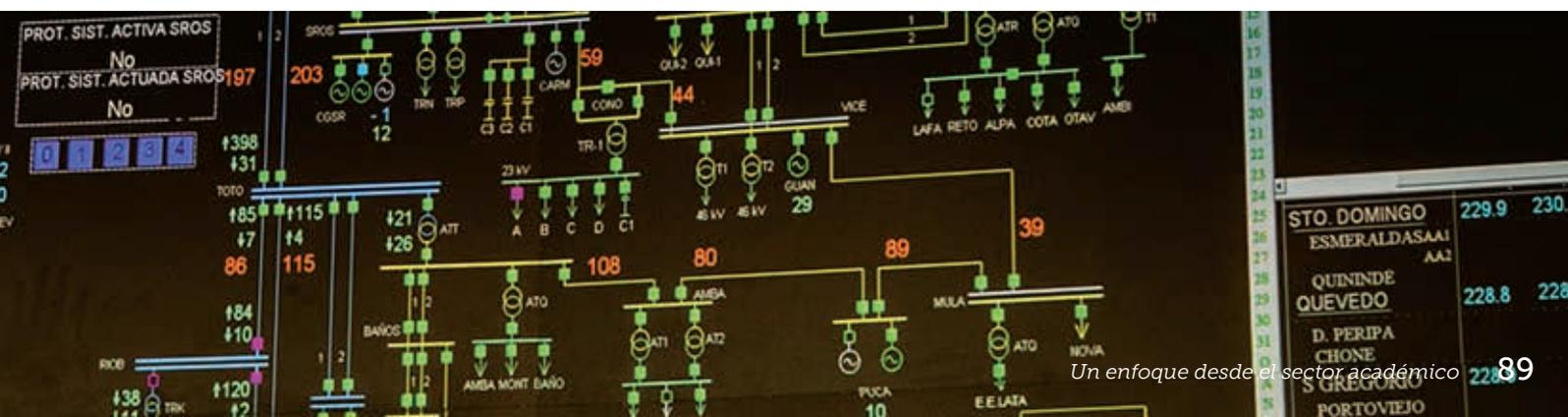
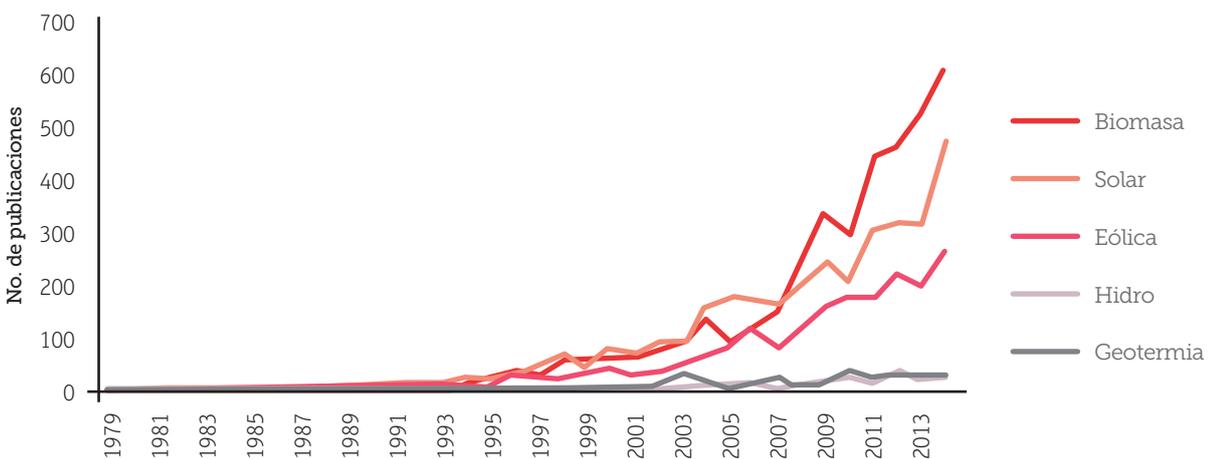


FIGURA 50: Evolución de la producción científica en energía renovable en América Latina y el Caribe (1979-2014)



El 94% de las publicaciones de la región se ha concentrado en cinco países: Brasil, México, Argentina, Chile y Colombia. Brasil lidera la investigación en todos los temas excepto en geotermia, temática liderada por México. En esta misma línea, Colombia sale del grupo de los cinco y es reemplazada por Costa Rica. En la Figura 51 se presenta el porcentaje de publicaciones en energía renovable en América Latina y el Caribe por país.

El mayor número de publicaciones ha sido en biomasa, seguido de la energía solar y eólica, como puede ser observado en la Figura 52. Este resultado es coherente con la tendencia mundial, donde la biomasa tiene una participación mayoritaria. Brasil influye ampliamente en estos resultados por su importante producción científica en esta temática.

En cuanto a las líneas de investigación en energía renovable, el estudio realizado por la Oficina Regional de América Latina y el Caribe del Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU-ALC, 2010) ha servido como punto de partida. Esta información ha sido complementada con datos obtenidos de varios centros de investigación y de la base de datos Scopus, con el fin de presentar un compendio de las principales líneas para cada tipo de energía renovable en la región.



FIGURA 51: Distribución de las publicaciones en energía renovable en América Latina y el Caribe por país

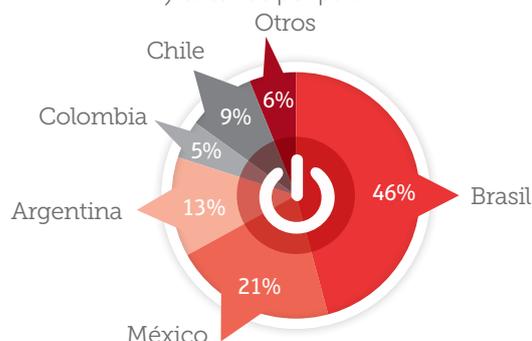
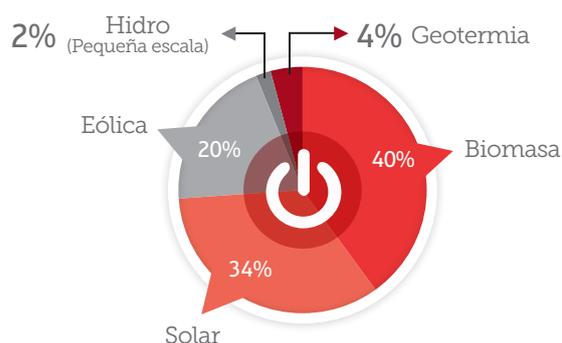


FIGURA 52: Distribución de las publicaciones por fuente de energía en América Latina y el Caribe



BIOENERGÍA

Scopus muestra un total de 4.025 publicaciones en esta temática entre 1979 y 2014 en los países de la región. Las actividades de investigación y desarrollo en la región se han enfocado principalmente en el tema de biocombustibles. Brasil encabeza dichas actividades orientadas a la producción de bioetanol, seguido de México, Argentina, Chile y Colombia. Este tipo de energía cuenta con una mayor participación del sector privado en actividades de I+D+i.

En Brasil existe una iniciativa de investigación conjunta de largo plazo, con participación del sector público y privado, sobre la cadena de producción del etanol y el biodiésel. En Argentina se estableció un centro de investigación de biocombustibles del sector privado, además de que varias universidades promueven la producción de biocombustibles, particularmente biodiésel. En Centroamérica, el Proyecto Mesoamérica lleva adelante un componente de investigación y desarrollo en biocombustibles (Red Mesoamericana de I+D en Biocombustibles).

En Colombia, existe una amplia gama de investigaciones que incluyen a asociaciones público-privadas y a la compañía petrolera del estado, Ecopetrol, como patrocinador. Se han realizado trabajos sobre biodiésel con base en aceite de palma. Además, las asociaciones de productores de azúcar y aceite de palma patrocinan estudios para mejorar el rendimiento de los cultivos e identificar variedades óptimas para materias primas. En el resto de la región los trabajos de investigación son limitados.

En la Tabla 17 se detallan las líneas de investigación identificadas en biomasa para la región (ICSU-ALC, 2010).



Foto: INER

TABLA 17: Líneas de investigación en biomasa en América Latina y el Caribe

Línea específica	Detalle
Productividad de la biomasa	Biología de la planta: <ul style="list-style-type: none"> ☑ Prospección de nuevas especies ☑ Biología molecular y técnicas de cultivo ☑ Balance de energía y flujo de carbono
	Métodos agronómicos: <ul style="list-style-type: none"> ☑ Nutrición vegetal ☑ Impacto ambiental ☑ Mejora de métodos agrícolas sustentables ☑ Agrosilvicultura ☑ Agricultura de precisión ☑ Recuperación de desperdicios de caña de azúcar
Aprovechamiento energético de la biomasa	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Biomasa para fines de cocción y calefacción doméstica ☑ Biocombustibles para motores de ciclo diésel ☑ Biomasa para producir calor y electricidad ☑ Hidrólisis y fermentación de biomasa de caña de azúcar ☑ Transformación directa de azúcar en combustible ☑ Biogás ☑ Biorrefinerías

ENERGÍA SOLAR

Las actividades de investigación en energía solar comenzaron en la región en la década de 1970 (ICSU-ALC, 2010). Los datos de Scopus muestran un total de 3.416 publicaciones en países de la región entre 1979 y 2014. Brasil y México

lideran la producción científica en esta temática. Argentina tiene también una participación importante, seguida de cerca por Chile.

Las líneas de investigación identificadas para este tipo de energía renovable se detallan en la Tabla 18 (ICSU-ALC, 2010).

TABLA 18: Líneas de investigación en energía solar en América Latina y el Caribe

Línea específica	Detalle
Evaluación de recursos	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Estandarización y homologación de datos sobre recursos solares de América Latina y el Caribe ☑ Mejora en la confiabilidad, disponibilidad y accesibilidad de datos ☑ Métodos para mejorar la calidad de la cobertura espacial y temporal del recurso solar ☑ Pronósticos de radiación solar confiables
Calefacción solar pasiva e iluminación diurna de edificios	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Nuevos límites de diseño para los edificios ☑ Nuevas metodologías de construcción ☑ Integración de nuevas tecnologías de componentes de envolvente integrado al diseño de edificios ☑ Normas que regulen la calidad energética y emisiones de edificios
Generación eléctrica fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Desarrollo de celdas, módulos y sistemas solares innovadores que aceleren la tendencia actual hacia la reducción de costos ☑ Reducción del grosor físico y los costos de producción así como el incremento de la eficiencia de las celdas de silicio cristalino ☑ Reducción de los costos de producción y aumento del área superficial de los dispositivos de película delgada ☑ Desarrollo de nuevos dispositivos, como celdas orgánicas, celdas de polímeros y celdas de concentración solar con niveles III y IV

Foto: <http://businessfocusstlucia.com/wp-content/uploads/2015/08/Power-plant-using-renewable-solar-energy.jpg>



Línea específica	Detalle
<p>Uso de sistemas termosolares para calefacción y enfriamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Nuevos componentes para reducir los costos de los colectores cilindro-parabólicos y aumentar su competitividad comercial ☑ Desarrollo de tubos de absorción de bajo costo ☑ Recubrimientos para aplicaciones en sistemas de concentración solar ☑ Manufactura de concentradores con materiales innovadores ☑ Caracterización de componentes en condiciones reales ☑ Evaluación de tubos de absorción en cámaras de vacío ☑ Evaluación de nuevos sistemas de espejos y seguimiento solar en condiciones reales ☑ Desarrollo de aplicaciones y procesos industriales para aprovechar la energía solar a temperaturas de entre 125 y 450 °C ☑ Normas para evaluar la eficiencia energética de componentes y sistemas ☑ Programas de cómputo para diseñar y simular sistemas termosolares
<p>Generación eléctrica solar térmica</p>	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Desarrollo de componentes innovadores para colectores solares, sistemas térmicos y plantas de generación eléctrica y de tecnologías competitivas para aplicaciones de energía solar de entre 250 y 1500 °C ☑ Desarrollo de plantas generadoras termosolares de gran escala, con capacidad solar equivalente mínima de 10 MWe



ENERGÍA EÓLICA

Los datos disponibles en Scopus muestran un total de 1.959 publicaciones en energía eólica en países de la región en el período 1979-2014. Brasil, México, Argentina, Chile y Colombia lideran también la producción científica en este campo.

Las prioridades de investigación en materia de energía eólica se relacionan con la estimación del recurso eólico, turbinas eólicas, parques eólicos, integración a redes eléctricas nacionales, cuidado del medio ambiente, apoyo público, normatividad y certificación. Las líneas de investigación identificadas se detallan en la Tabla 19 (ICSU-ALC, 2010).

TABLA 19: Líneas de investigación en energía eólica en América Latina y el Caribe

Línea específica	Detalle
Estimación de recurso eólico	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Accesibilidad máxima a los datos sobre recurso eólico ☑ Elaboración de mapas de recurso de las áreas con potencial eólico ☑ Desarrollo de unidades de monitoreo económicas y fáciles de transportar
Turbinas eólicas	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Herramientas de diseño integral de turbinas eólicas de gran tamaño para el funcionamiento en condiciones extremas ☑ Laboratorios para la evaluación rápida de grandes componentes en condiciones climatológicas reales ☑ Desarrollo de herramientas de diseño a nivel de componentes ☑ Estrategias de control de múltiples parámetros
Parques eólicos	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Investigación y desarrollo de sistemas de almacenamiento energético ☑ Sistemas de control para optimizar la generación eléctrica ☑ Desarrollo de metodologías de evaluación de riesgos
Cuidado del medio ambiente y apoyo público	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Impacto ambiental de las plantas eólicas de gran escala ☑ Generación de recomendaciones específicas para las metodologías de diseño y planeación de parques eólicos ☑ Impacto de los parques eólicos en los ecosistemas circundantes ☑ Desarrollo de equipos automáticos para monitorear choques de aves ☑ Evaluación económica de costos marginales

Foto: www.brindleyassociates.co.uk/





Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/15989973321

HIDROELÉCTRICA DE PEQUEÑA ESCALA

La investigación para este tipo de energía en la región es aún bastante limitada. Los datos de Scopus muestran un total de 208 artículos entre 1979 y 2015, donde Brasil lidera ampliamente la producción científica en esta área, seguido de México.

En cuanto a las líneas de investigación, las prioridades identificadas se enfocan principalmente en microgeneración en los siguientes ámbitos (ICSU-ALC, 2010):

- ☑ Aumento de la eficiencia de las turbinas (nuevos materiales)
- ☑ Mejoras en los equipos de automatización
- ☑ Inclusión de un factor de carga basado en los usos productivos de la electricidad
- ☑ Manejo integral de cuencas hidrológicas
- ☑ Introducir mejoras en el diseño e integración de componentes clave de las presas hidroeléctricas
- ☑ Equipos de sincronización que permitan interconectar pequeñas plantas hidroeléctricas a las redes nacionales

GEOTERMIA

Al igual que para el caso anterior, la producción científica en geotermia es aún limitada en la región. Los datos de Scopus muestran un total de 391 artículos publicados por países de América Latina y el Caribe entre 1979 y 2014. Brasil lidera ampliamente la investigación en este campo.

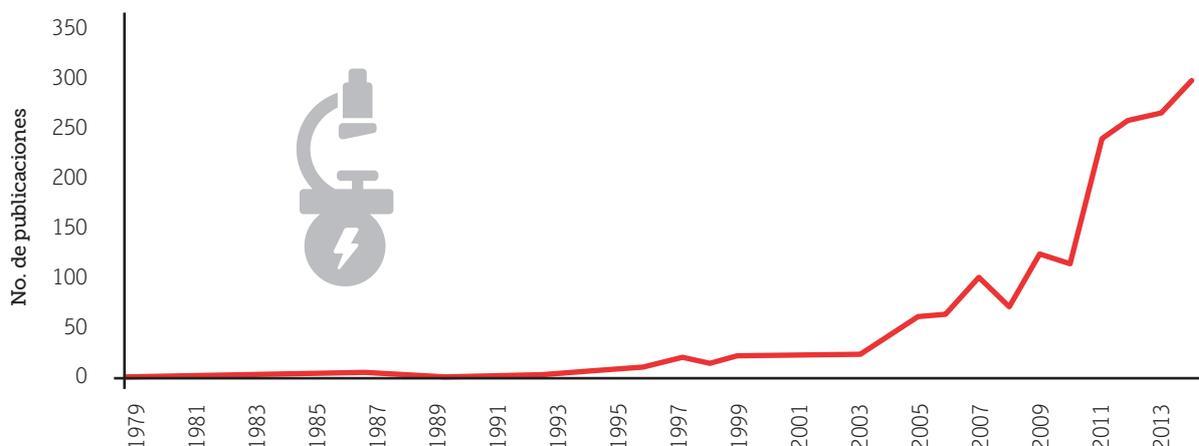
Al no existir información consolidada disponible sobre la producción científica en geotermia en la región, se ha realizado un proceso de identificación usando los sitios web de centros de investigación dedicados a esta temática. Como resultado de este proceso se han identificado las siguientes líneas principales (CEGA, 2015; CEMIEGEO, 2015; ISAGEN, 2014):

- ☑ Evaluación del potencial del recurso geotérmico
- ☑ Desarrollo e innovación de técnicas de exploración
- ☑ Usos directos del calor geotérmico
- ☑ Sistemas magmáticos: alta y baja entalpía, detección satelital de anomalías térmicas
- ☑ Interacción calor-agua-roca, geoquímica de fluidos
- ☑ Arquitectura de reservorios y dinámica de geofluidos
- ☑ Geología estructural, tectónica y geofísica
- ☑ Procesos superficiales y medio ambiente
- ☑ Prefactibilidad y factibilidad básica de desarrollo geotérmico
- ☑ Uso de la geotermia en acuicultura y climatización de invernaderos

OTRAS TEMÁTICAS AFINES

Además de las líneas de investigación relacionadas directamente con las energías renovables, se han considerado para el análisis temáticas complementarias como la integración en los sistemas energéticos actuales (generación distribuida, conexión y control de redes eléctricas)

FIGURA 53: Evolución de la producción científica en eficiencia energética en América Latina y el Caribe



y medios de almacenamiento de energía (producción, transporte, distribución y uso de hidrógeno). Las líneas de investigación identificadas para estas tecnologías afines se detallan a continuación:

Hidrógeno

- ☑ Caracterización de materiales y dispositivos adecuados para producción, almacenamiento y uso de hidrógeno
- ☑ Modelización matemática de procesos de las pilas de combustible para mejorar su diseño
- ☑ Creación de prototipos y sistemas de pilas de combustible productores de hidrógeno
- ☑ Desarrollo de metodologías para almacenar hidrógeno en sólidos
- ☑ Desarrollo de procesos termoquímicos de alta temperatura basados en el uso de energía solar para la producción de hidrógeno
- ☑ Caracterización de materiales y dispositivos periféricos
- ☑ Desarrollo de estándares y protocolos
- ☑ Creación de plantas piloto capaces de producir hidrógeno a altas temperaturas
- ☑ Estudios de planeación y prospección sobre la economía del hidrógeno

Integración a las redes eléctricas, normatividad y certificación

- ☑ Control de cargas y matrices eléctricas
- ☑ Creación de estrategias y requisitos de control para

conexión de sistemas energéticos renovables con redes eléctricas

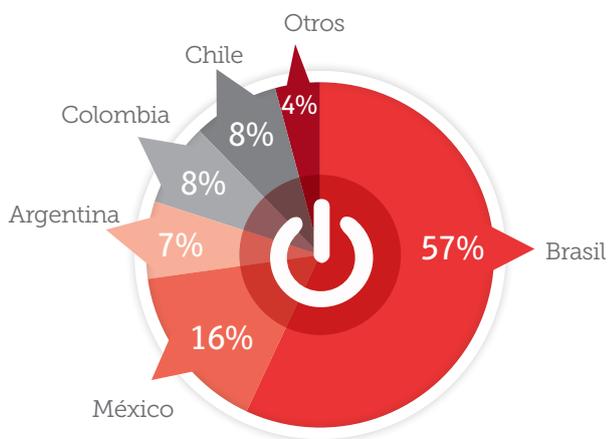
- ☑ Desarrollo de componentes y tecnologías de tipo eléctrico y electrónico para la conexión a las redes eléctricas
- ☑ Protocolos y procedimientos de conexión a las redes eléctricas
- ☑ Creación de metodologías de evaluación de riesgos
- ☑ Desarrollo de criterios de diseño de componentes y materiales
- ☑ Estandarización de mecanismos de operación y mantenimiento
- ☑ Desarrollo normativo como procesos de certificación, procedimientos de prueba y criterios de diseño para turbinas eólicas marítimas

LAS LÍNEAS PRINCIPALES DE INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

La producción científica de América Latina y el Caribe en eficiencia energética sigue siendo poco representativa en comparación con la producción mundial. Al igual que para la temática de energía renovable, aporta tan solo con el 2% del total de mundial. Esta comienza a mediados de los años 90 y sufre una aceleración exponencial a partir del año 2010. La Figura 53 presenta dicha evolución entre 1979 y 2014.

Los resultados obtenidos muestran un total de 1.785 publicaciones en eficiencia energética en la región. Brasil, México, Colombia, Chile y Argentina también lideran la producción científica en este campo. El porcentaje de participación de cada país se presenta en la Figura 54.

FIGURA 54: Distribución de las publicaciones en eficiencia energética en América Latina y el Caribe por país



Las temáticas tratadas en las diferentes publicaciones son muy amplias, lo que dificulta definir líneas de investigación específicas. Sin embargo, de una revisión del trabajo realizado por las universidades y centros de investigación de la región (ACEE, 2015; CONICYT, 2015; ISAGEN, 2015; UNAB, 2015; UNINORTE, 2015; USM, 2015; UNINORTE, 2015) se han identificado las líneas que se presentan a continuación en forma desagregada por temática.

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE

- ☑ Evaluación de tecnologías para la eficiencia energética en el transporte y su aplicación en dispositivos aerodinámicos en vehículos de operación de transporte de carga
- ☑ Impacto del diseño y la carga en la eficiencia energética de las operaciones de transporte de carga por carretera
- ☑ Modelos matemáticos y software para la gestión de la energía en transporte urbano
- ☑ Optimización en sistemas de transporte de pasajeros y carga
- ☑ Desarrollo de metodologías de medición de consumo de combustible, aplicación de programas de reducción de consumo y verificación
- ☑ Incorporación de tecnologías de la información para realizar operaciones eficientes en un ambiente intermodal
- ☑ Pilas de litio para mejorar la autonomía de las baterías de vehículos eléctricos
- ☑ Sistemas inteligentes de transporte en la logística portuaria latinoamericana

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA

- ☑ Eficiencia energética en la producción de etanol
- ☑ Modelamiento de la eficiencia energética para el sector industrial
- ☑ Eficiencia energética en proyectos luminotécnicos en plantas industriales
- ☑ Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos
- ☑ Eficiencia energética en la agroindustria
- ☑ Etiquetado en eficiencia energética y valores de consumo máximo
- ☑ Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento



Foto: INER

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS EDIFICACIONES

- ☑ Edificaciones energéticamente eficientes (diseño, nuevos materiales, etc.)
- ☑ Diseño y evaluación del comportamiento térmico y energético de edificaciones
- ☑ Micro-cogeneración eficiente como medida para el aumento en la eficiencia térmica de la generación eléctrica y de agua caliente sanitaria
- ☑ Evaluación y optimización del desempeño de sistemas de iluminación en edificios



Foto: <http://www.eeq.com.ec:8080/>

- ☑️ Análisis de las condiciones de confort ambiental y eficiencia energética
- ☑️ Eficiencia energética en edificios hospitalarios
- ☑️ Certificación y auditorías energéticas
- ☑️ Evaluación cualitativa de condiciones ambientales de viviendas
- ☑️ Contribución de la inercia térmica en la eficiencia energética de edificios
- ☑️ Análisis de la eficiencia energética en sistemas de climatización

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ILUMINACIÓN

- ☑️ Eficiencia energética en proyectos luminotécnicos
- ☑️ Eficiencia energética en sistemas de iluminación pública
- ☑️ Eficiencia y ahorro energético en iluminación natural y artificial
- ☑️ Impacto de la utilización de bases climáticas regiona-

les en la simulación de alta precisión de iluminación natural

OTRAS TEMÁTICAS AFINES: REDES INTELIGENTES

- ☑️ Sistema experto para control inteligente de las variables ambientales en edificaciones
- ☑️ Redes de sensores inalámbricos interconectados
- ☑️ Control automático de condiciones ambientales usando redes neuronales artificiales
- ☑️ Modelo de gestión de demanda energética usando tecnologías inalámbricas
- ☑️ Evaluación de la eficiencia energética de vehículos pesados en el ciclo de movimiento básico modificado
- ☑️ Entornos inteligentes basados en redes inalámbricas: aplicaciones al transporte, automóvil inteligente/conectado y seguridad vial
- ☑️ Redes inalámbricas de sensores: una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos



FIGURA 55: Mapa internacional con la ubicación de las encuestas recopiladas



LA I+D+i EN ENERGÍA RENOVABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ECUADOR

CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ACADÉMICO-INVESTIGADOR

Para la caracterización del sector académico - investigador del Ecuador se realizó un proceso de encuestado como se describió en la metodología de este capítulo. Tal como se observa en las Figura 55 y Figura 56, la mayor parte de los encuestados del sector académico se localizan en el Ecuador y se ubican en los núcleos urbanos más importantes como Quito, Guayaquil, Cuenca, Ibarra, Ambato y Riobamba, ciudades en las que se localizan los principales centros universitarios. Las encuestas provenientes de otros países corresponden a investigadores que están registrados en bases de datos locales.

El 74% de las personas encuestadas corresponde a la categoría de investigador, seguido de los doctores, con un 18%, personal técnico, con un 5%, y estudiantes/pasantes, con un 3% (Figura 57). El 60% de estos tiene una edad inferior a los 45 años (Figura 58), lo que nos permite afirmar que el personal dedicado a investigación es relativamente joven, tal como se confirma en la Figura 59, en la que se observa que 75% de las personas encuestadas tiene una experiencia en investigación inferior a los 10 años.

Foto: INER / Congreso Internacional I+D+i.



FIGURA 56: Mapa del Ecuador indicando la densidad de respuestas por ubicación. El color rojo más intenso y un mayor tamaño indican un mayor número de respuestas

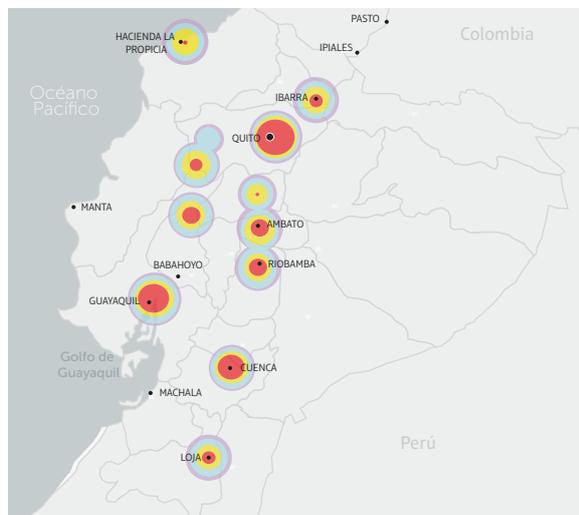


FIGURA 57: Categorías profesionales de las personas encuestadas

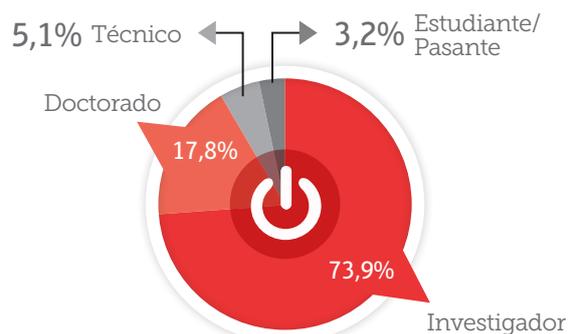
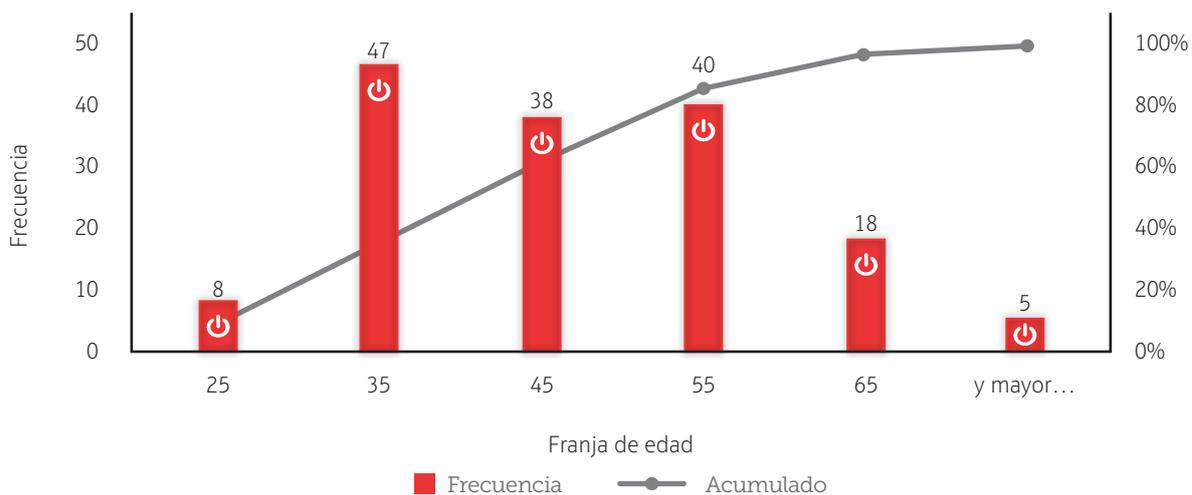




Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/18048871549

FIGURA 58: Franja de edades de las personas encuestadas. El valor 35 indica la franja de 26 a 35, el 45 de 36 a 45 y así sucesivamente



De forma correspondiente, la investigación en temas energéticos es relativamente reciente, ya que cerca de un 90% de las personas que respondieron a la pregunta sobre investigación en energía tienen una experiencia en este ámbito inferior a los 10 años y cerca de 70% inferior a cinco años (Figura 60), mientras que la mayoría de los centros y grupos de investigación dedicados a temas energéticos iden-

tificados (Tabla 20) tienen una vida inferior a los 10 años. El 78,1% de las personas encuestadas realiza actualmente investigación en energía (Figura 61), 52,4% pertenece a un grupo, departamento o centro de investigación dedicado exclusivamente al estudio de la energía (Figura 62) y 61,9% pertenecen a una institución con un laboratorio de investigación en temas energéticos (Figura 63).

FIGURA 59: Franja de años dedicados a la investigación. El valor 5 indica la franja de dos a cinco años, el 10 de más de cinco a 10 años y así sucesivamente



FIGURA 60: Franja de años de investigación en temas energéticos de las 105 personas que enviaron respuesta. El valor 5 indica la franja de dos a cinco años, el 10 de más de cinco a 10 años y así sucesivamente

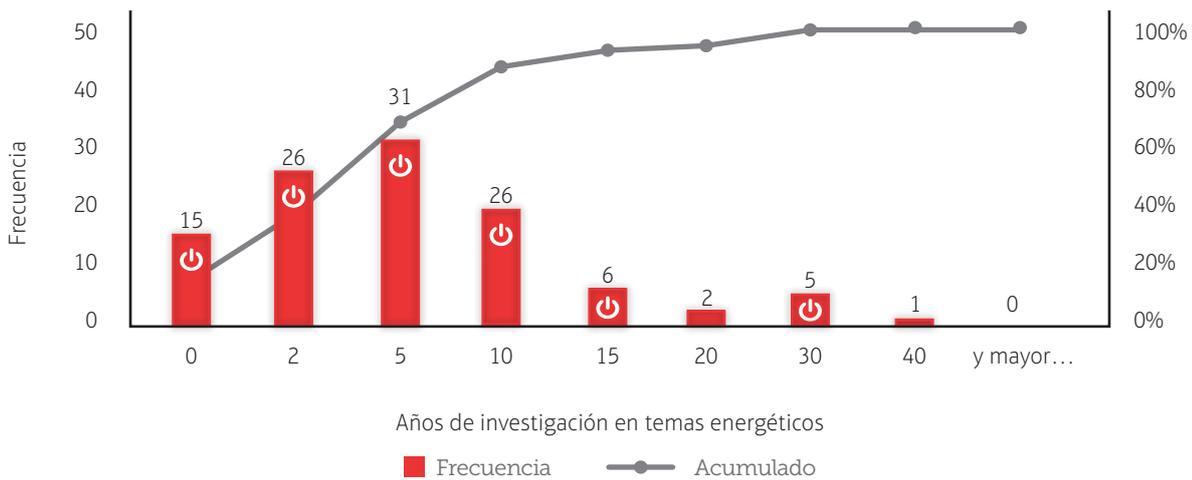


TABLA 20: Centros y grupos de investigación identificados dedicados a temas energéticos en el Ecuador

Centro	Universidad	Doctor	Máster	Tercer nivel	Pregrado	Total	Años
Corporación para la Investigación Energética (CIE)	-	0	5	2	7	14	13
Energimat	ESPE	4	8	6	3	21	2
Wicom Energy	ESPE	4	16	0	10	30	4
Grupo de Investigación Energética	ESPE	2	6	8	4	20	5

Centro	Universidad	Doctor	Máster	Tercer nivel	Pregrado	Total	Años
Energías Renovables	ESPE	1	2	1	2	6	5
Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente	ESPOCH	4	12	8	12	36	8
Instituto de Investigaciones (IDI)	ESPOCH	2	3	4	3	12	10
Centro de Energías Renovables	ESPOL	3	6	2	0-5	11 a 16	6
Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable	ESPOL	3	3	1	5	12	17
Gestión Energética	IAEN	0	2	0	0	2	-
Programa de Agroenergía	INIAP	0	2	3	0	5	6
Centro de Investigaciones de la Universidad del Azuay	UAZUAY	2	3	0	5	10	1
Sistemas Eléctricos y Energía	UCUENCA	8	6	0	0	14	0
Grupo de Vivienda Sustentable	UCUENCA	1	4	0	11	16	0,5
Grupo de Catálisis e Ingeniería de Reactores	UCUENCA	1	1	2	1	5	2
Valorización Energética de Residuos	UISEK	1	4	2	7	14	5
Grupo de Investigación en Energía	UPS	5	3	7	8	23	5
Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes	UPS	0	6	6	0	12	1

Centro	Universidad	Doctor	Máster	Tercer nivel	Pregrado	Total	Años
Laboratorio de Desarrollo de Energía Alternativa	USFQ	2	0	3	2	7	7
REWA-RD Renewable Energy and Web Architecture - Development & Research	UTA	1	5	3	3	12	1
Unidad Operativa de Investigación UODIDE FCIAL	UTA	6	2	8	6	22	3
Energía UTPL	UTPL	1	3	1	0	5	-
Instituto de Investigaciones Energéticas Aplicadas	EPN	-	-	-	-	-	-
Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables	-	4	10	25	12	61	3


 Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/16253197424

FIGURA 61: Porcentaje de encuestados dedicados a investigación en temas energéticos

¿Realiza actualmente investigación en energía?

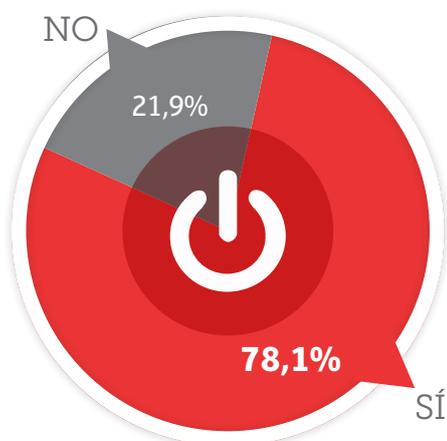


FIGURA 62: Porcentaje de encuestados que pertenece a un grupo, departamento o centro dedicado a temas energéticos

¿Forma usted parte de un grupo, departamento o centro de investigación dedicado exclusivamente a la energía?

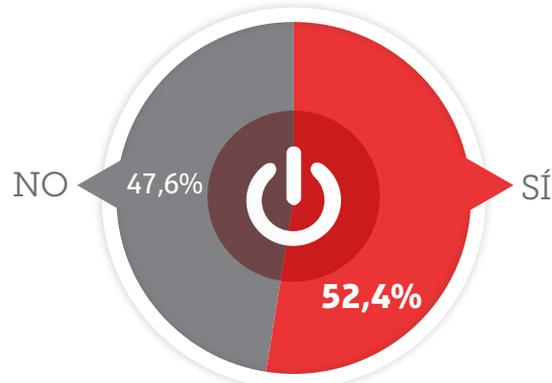


FIGURA 63: Porcentaje de un total de 105 personas encuestadas cuya institución dispone de un laboratorio de investigación dedicado a temas energéticos

¿Dentro de su institución existe un laboratorio dedicado al estudio de temas del ámbito energético?

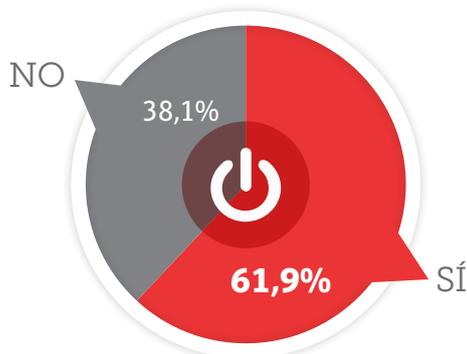
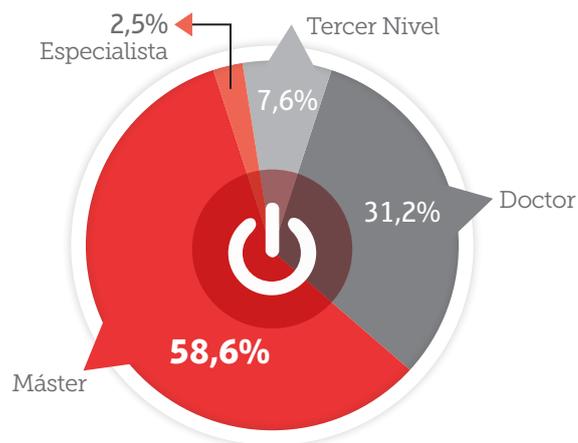


FIGURA 64: Grado académico de las personas encuestadas

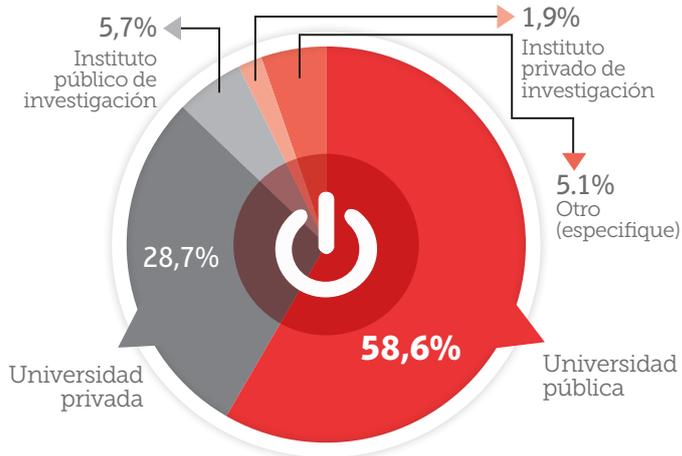
¿Qué grado académico tiene usted?



Respecto al grado de formación de las personas encuestadas, 59% dispone de Máster, 31 % de Doctorado, 7,6% de estudios de tercer nivel y 2,5% de estudios de especialización (Figura 64). La mayor parte de las personas encuestadas corresponde a investigadores/as universitarios/as, siendo la universidad pública la de mayor participación, con un 58,6% de las personas encuestadas, seguida de la universidad privada, con un 28,7%, los institutos públicos de investigación, con un 5,7%, y los institutos privados de investigación, con un 1,9% (Figura 65). El 5,1% restante corresponde a consultoras, empresas petroleras y centros cofinanciados por SENESCYT.

FIGURA 65: Tipo de institución a la que pertenecen las personas encuestadas

¿A qué tipo de institución pertenece usted?



LAS PRINCIPALES LÍNEAS Y PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA RENOVABLE

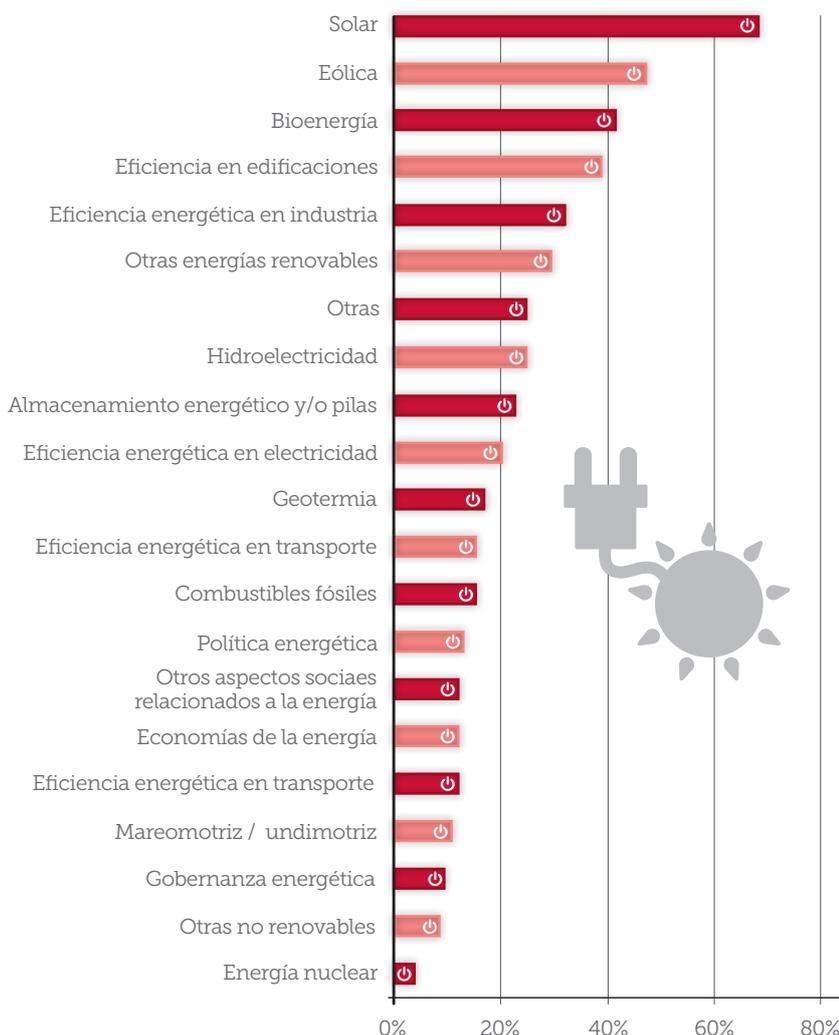
De acuerdo con los resultados de la encuesta, en la Figura 66 se observa que las líneas de investigación predominantes en energías renovables son solar, eólica y bioenergía, mientras que en eficiencia energética destacan eficiencia energética en edificación, en industria y en generación, transporte y suministro de electricidad. También destaca la investigación en tecnologías de almacenamiento y pilas de combustible, con algo más de 20% de las respuestas.

En cuanto a los proyectos de investigación relacionados con temas energéticos, se realizaron diversas preguntas orientadas a identificar cuáles son los principales intereses y perspectivas de investigación en torno a estos temas en el país. Debido a que no todas las personas implicadas en temas de investigación energética habrán cumplimentado la encuesta, el número total de proyectos identificados no es del todo

exacto. Sin embargo, el número de proyectos analizados es significativo para identificar información relevante sobre las principales líneas de investigación en energía, los centros implicados en ellas, las entidades financiadoras y el nivel de inversión.

Tras analizar y filtrar los datos de la encuesta eliminando proyectos repetidos, se ha verificado que alrededor de 80 personas encuestadas respondieron a las preguntas relacionadas con los proyectos de investigación en energía, identificando un total de 271 proyectos de investigación en el Ecuador, 13 de España, dos de Brasil y uno para Reino Unido, Venezuela y Perú. En este apartado únicamente se analizarán los 271 proyectos del Ecuador. De estos proyectos, 105 se encuentran finalizados, 131 en ejecución, 19 en postulación y 16 no ofrecen datos de su estado (Figura 67). Dado que hay una gran incertidumbre sobre cuándo se pondrán en marcha los proyectos en postulación, en este apartado únicamente se analizarán los proyectos finalizados y en ejecución, que representan 87% del total.

FIGURA 66: Principales ámbitos de investigación (85 personas encuestadas) 2012



Destaca la energía solar con más del **60%** de las respuestas.



Foto: <http://www.energynext.in/>

El número total de proyectos finalizados y en ejecución asciende a 236. Después de realizar una corrección eliminando los proyectos que no están relacionados con temas energéticos el número se reduce a 230.

Por motivos de comparabilidad y para facilitar los análisis, los proyectos se han agrupado por líneas de investigación siguiendo un patrón propuesto en un estudio llevado a cabo en Estados Unidos sobre priorización de investigación en eficiencia energética y energía renovable (DOE, 2015). Estas líneas son: distribución de electricidad, tecnologías de generación eléctrica, eficiencia energética (EE) en edificios del sector residencial y comercial, eficiencia energética en la industria, combustibles alternativos y eficiencia energética en el transporte. Además, se ha añadido la gobernanza energética como tema adicional, dada la importancia creciente de la investigación energética en el ámbito social, económico y político. Los proyectos que no se pueden englobar en estas líneas de investigación se han considerado en el apartado "otras".

La Figura 68 muestra el porcentaje de proyectos y el porcentaje de financiación para cada una de las líneas de investigación mencionadas. Para el análisis de la financiación recibida por los proyectos, debido a que solamente se preguntó sobre rangos de financiamiento, se ha asignado a cada uno de ellos un coeficiente de financiación para llevar a cabo el análisis de forma cualitativa. Los valores de estos coeficientes para cada margen de financiación se ofrecen en la Tabla 21.

FIGURA 67: Número de proyectos de investigación en energía desarrollados en el Ecuador por estado de ejecución

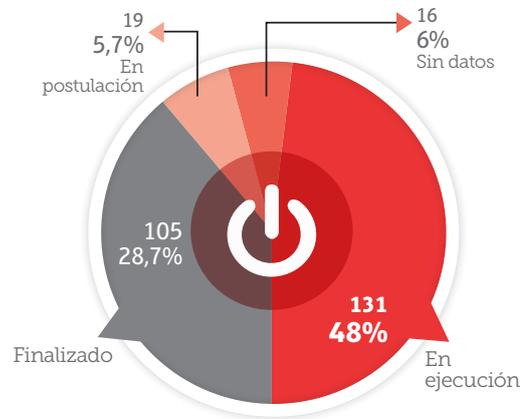


TABLA 21: Coeficientes asignados a los rangos de financiamiento de los proyectos

Rango de financiamiento	Coefficiente de financiamiento
< US\$ 50.000	1
US\$ 50.000 – 200.000	3
US\$ 200.000 – 1.000.000	10
>US\$ 1.000.000	20

FIGURA 68: Porcentaje de proyectos de investigación finalizados y en ejecución por línea de investigación y porcentajes de inversión estimados de acuerdo con los coeficientes de la Tabla 20

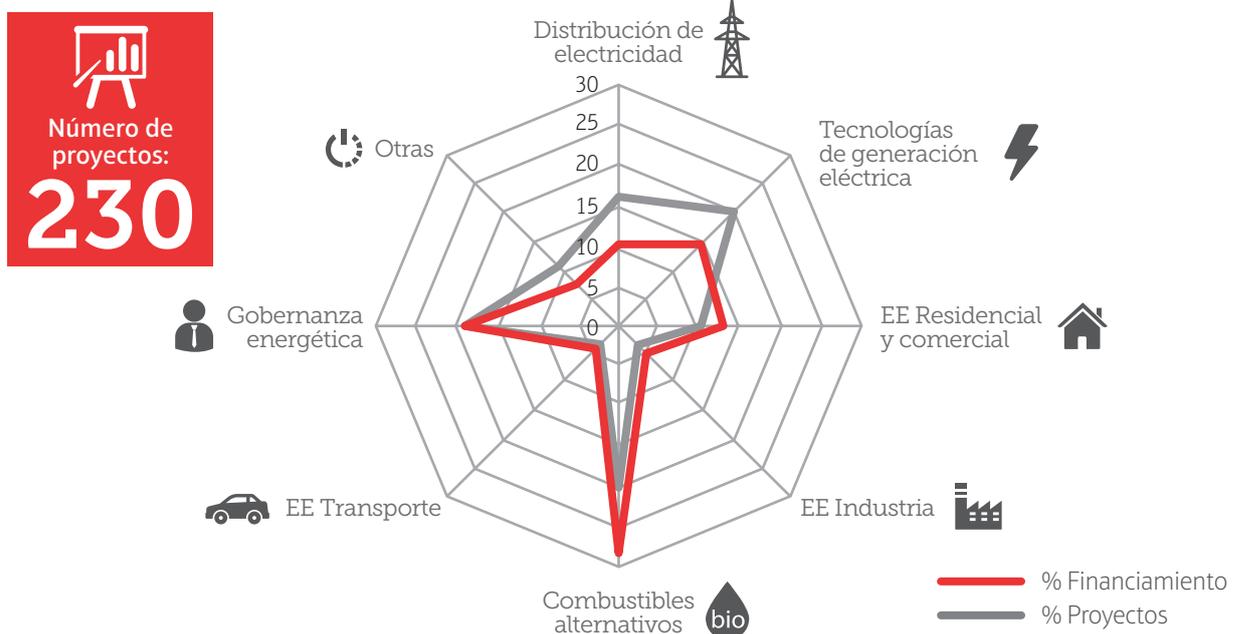




Foto: www.flickr.com/photos/energiacuador/14659371010

Un desglose de proyectos por línea de investigación permite observar que predominan los proyectos de combustibles alternativos y tecnologías de generación eléctrica, con un 20% cada uno, seguidos por los de gobernanza energética (17%) y los de distribución de electricidad con un 16%. A mayor distancia se encuentran: la eficiencia energética en el sector residencial y comercial (10%), la eficiencia energética en la industria (3,5%) y la eficiencia energética en el transporte. En el apartado “otras”, con un 10%, se incluyen diversas opciones de renovables y eficiencia energética como la solar térmica de baja temperatura, geotermia de baja temperatura para usos térmicos, eficiencia energética en alumbrado y estudios de impacto ambiental.

La Figura 68 también muestra los porcentajes de inversión de las principales líneas de investigación estimados con los coeficientes de la Tabla 20. En este caso, coincidiendo con la tendencia del número de proyectos, la línea con mayor inversión corresponde al desarrollo de combustibles alternativos basados en bioenergía con 28%, y la gobernanza energética con 19%. Luego se encuentran las tecnologías de generación eléctrica y la eficiencia energética en el sector residencial y comercial, con 14% y 13% respectivamente. En último lugar figuran la eficiencia energética en la industria, con 4,7%, y la eficiencia energética en el transporte, con 3,6%.

La Figura 69 contiene el porcentaje de proyectos y de financiación correspondientes a la línea de investigación en distribución de electricidad. Se observa que 24% de los proyectos están relacionados con la calidad de la electricidad, 16% con el análisis de la integración de energías renovables en la red eléctrica, 14% con las redes eléctricas inteligentes y la generación distribuida, 11% con la eficiencia energética y

8% con la electrónica de potencia. Ya con valores más reducidos se encuentran proyectos de investigación relacionados con herramientas de planificación de las redes de transmisión y distribución, transmisión en corriente continua (DC), tecnologías de almacenamiento de electricidad y transporte de electricidad. A nivel de financiación, destacan de forma importante la investigación en el desarrollo de herramientas de planificación, con un 26%, y los estudios de eficiencia energética, con un 19%. En el primer caso, este resultado se explica por la existencia de un par de proyectos para el desarrollo de estas herramientas que cuentan con una importante financiación. El segundo caso se explica por un proyecto con una financiación relativamente elevada sobre el análisis del impacto en la red eléctrica de la introducción de las cocinas eléctricas de inducción. En la Figura 70 también se observa la financiación relativamente importante en proyectos de calidad de la energía eléctrica, integración de energías renovables y generación distribuida.

En relación con las tecnologías de generación eléctrica (Figura 70), 22% de los proyectos corresponde a la solar fotovoltaica, 16% a la eólica y 11% a sistemas híbridos de generación eléctrica, eficiencia energética en la generación eléctrica e hidroenergía. En menor grado se encuentran la tecnología solar de concentración (9%), la bioenergía (4,4%) y la geotermia (2,2%), todas ellas destinadas para la generación eléctrica. En el apartado de “otras” se incluyen tecnologías de almacenamiento de electricidad, triboelectricidad, bioelectricidad y sistemas de generación eléctrica incorporadas en vehículos. La hidroenergía y la geotermia disponen de un mayor porcentaje de los recursos económicos, con un 22% y 20% respectivamente. Le siguen la tecnología eólica, con un 16%, y la solar fotovoltaica y el “otras”, con un 14% de la financiación.

FIGURA 69: Porcentaje de inversión y porcentaje de proyectos finalizados y en ejecución dentro de la sublínea distribución de electricidad

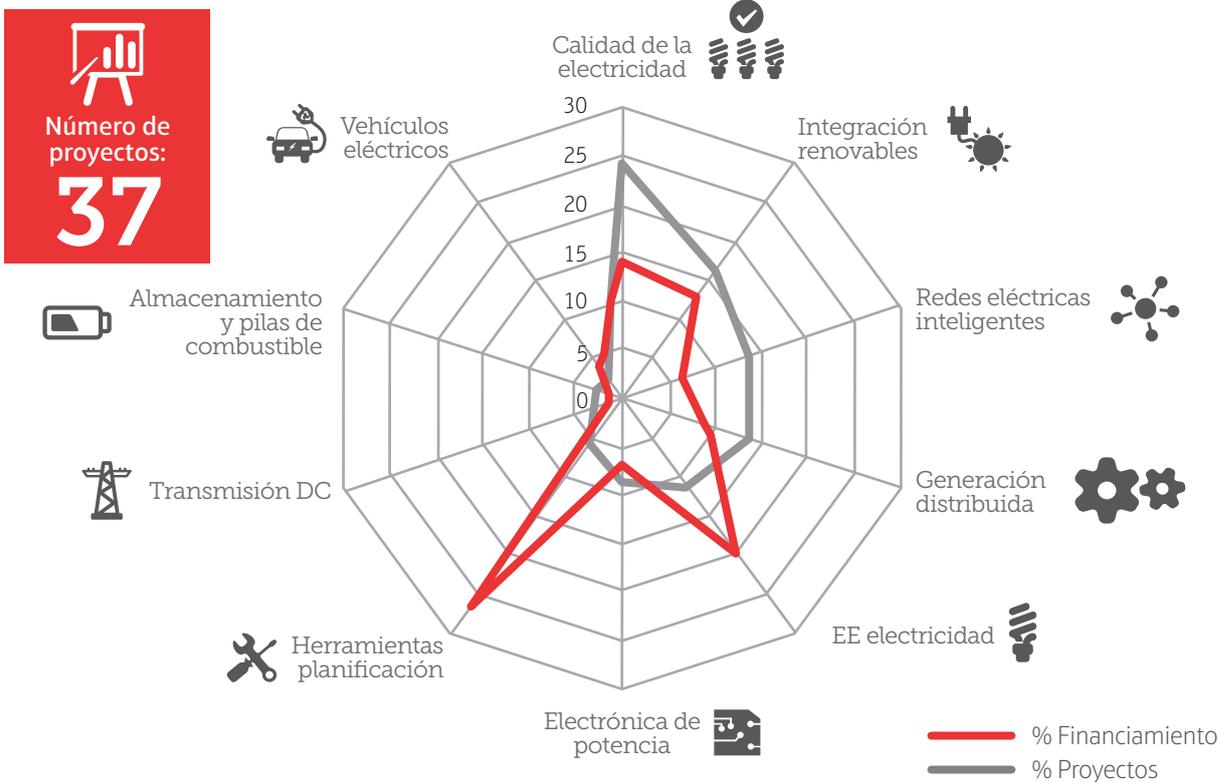
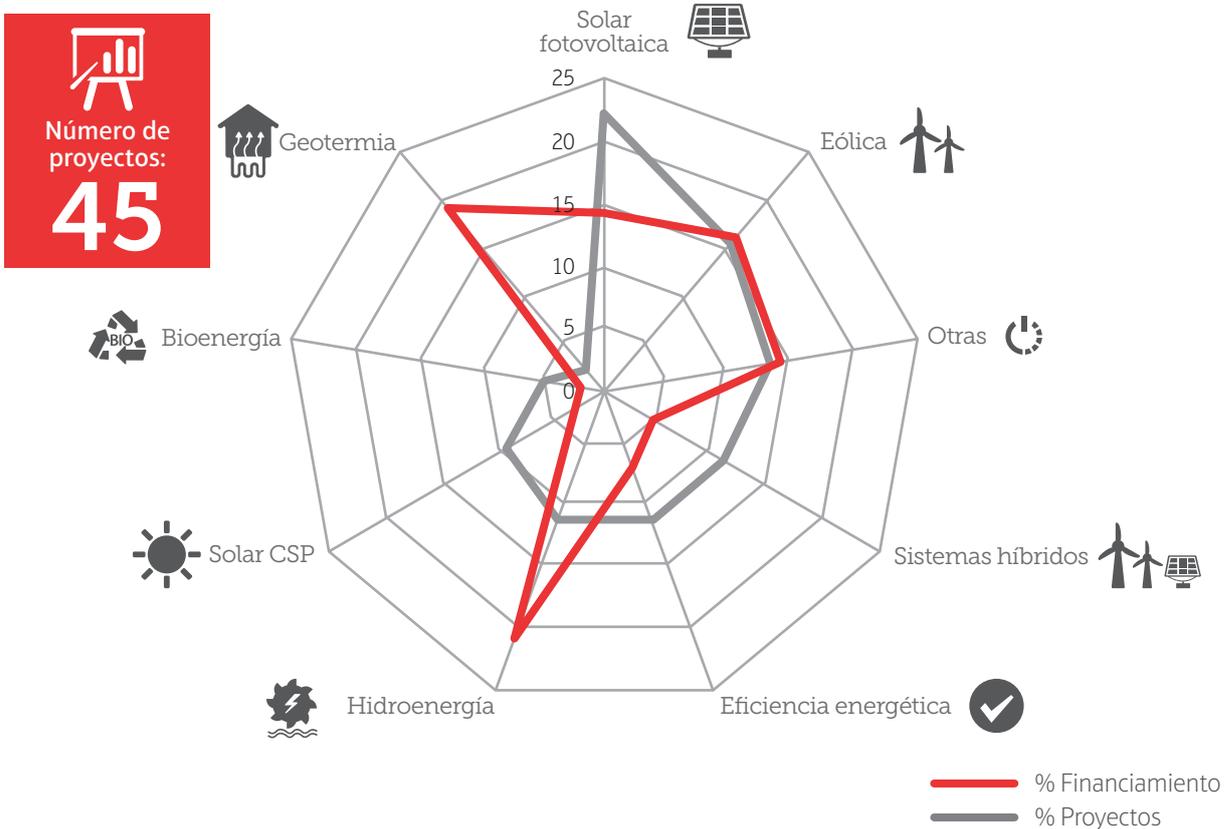


FIGURA 70: Porcentaje de inversión y porcentaje de proyectos finalizados y en ejecución dentro de la sublínea tecnologías de generación eléctrica





En el caso de los 23 proyectos sobre la eficiencia energética en el sector residencial y comercial (Figura 71), se observa con claridad que predominan los proyectos de investigación generalistas de eficiencia energética (35%), seguidos de lejos por los proyectos relacionados con el confort térmico, geotermia de baja temperatura aplicada al sector residencial, arquitectura bioclimática, materiales de la construcción, integración de energías renovables en los edificios, iluminación natural, impacto ambiental y climatización eficiente. También se observa que casi un 40% de la financiación se destina a los proyectos generalistas de eficiencia energética y un 32% al estudio de materiales debido a la construcción de laboratorios para el análisis de materiales constructivos.

Como se ha observado en la Figura 68, una de las líneas más destacadas tanto a nivel de número de proyectos como de financiación es el desarrollo de combustibles alternativos con 46 proyectos. En la Figura 72 se observa que dentro de esta línea destaca el desarrollo de combustibles líquidos, con un 63% de los proyectos y un 70% de la financiación. Las siguientes líneas en importancia, pero a mucha distancia, corresponden a los proyectos de biogás e hidrógeno, con un 13%, y los de biocombustibles sólidos, con

8,7%, siendo los proyectos en hidrógeno los segundos a nivel de financiación, con un 17%.

En cuanto a los 39 proyectos relacionados con la gobernanza energética (Figura 73), predominan claramente los relacionados a recursos renovables (69% de los proyectos y 79% de la financiación), seguidos de los proyectos de prospectiva energética y modelamiento de sistemas socioeconómico-energéticos (18% de los proyectos y 14% de la financiación) y, finalmente, política energética, con un 13% de los proyectos y un 6% de la financiación.

En el apartado "Otras" (Figura 74), se abarcan los proyectos no incluidos en el resto de categorías; allí destaca la energía solar térmica de baja temperatura, con un 71% de los proyectos y un 38% de la financiación. También destaca la eficiencia energética en el alumbrado, a nivel de financiación, por la construcción de dos laboratorios destinados al ensayo de luminarias, así como los proyectos de geotermia de baja temperatura, dado su elevado nivel de inversión para llevar a cabo los estudios. En la sublínea "Otras" se incluyen un proyecto didáctico de las energías renovables, otro de soluciones energéticas para una comunidad rural y dos de desarrollo tecnológico.

FIGURA 71: Porcentaje de inversión y porcentaje de proyectos finalizados y en ejecución dentro de la sublínea EE en el sector residencial y comercial

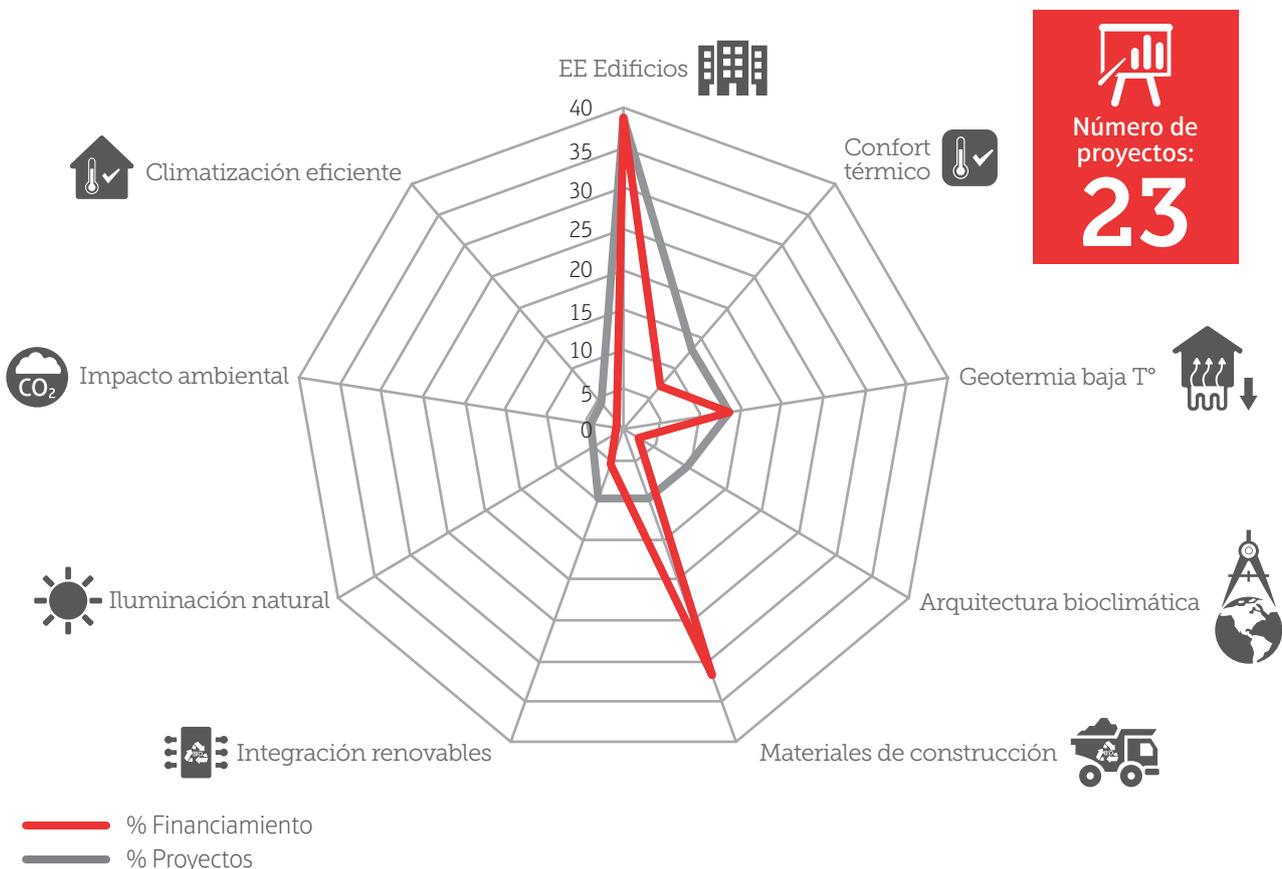




Foto: INER

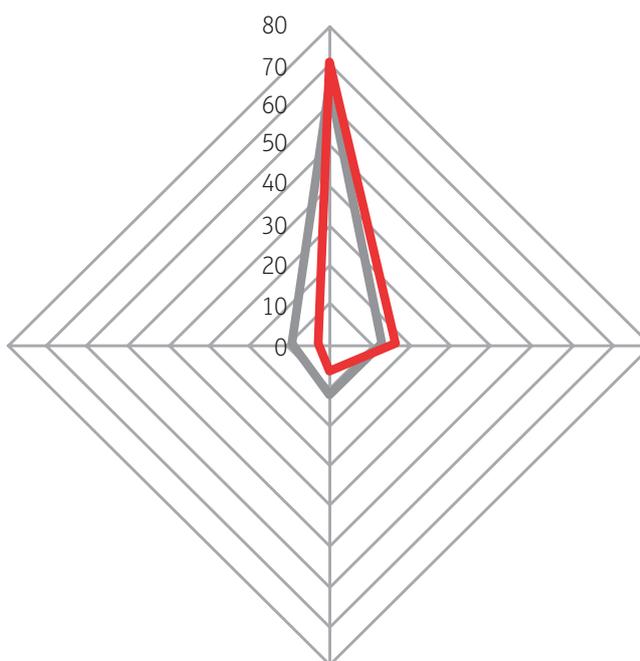
FIGURA 72: Porcentaje de inversión y porcentaje de proyectos finalizados y en ejecución dentro de la sublínea en combustibles alternativos

Número de proyectos:
47



Biocombustibles sólidos

Biocombustibles líquidos 



Hidrógeno 

Biogás 

— % Financiamento
— % Proyectos



FIGURA 73: Porcentaje de inversión y porcentaje de proyectos finalizados y en ejecución dentro de la sublínea de gobernanza energética

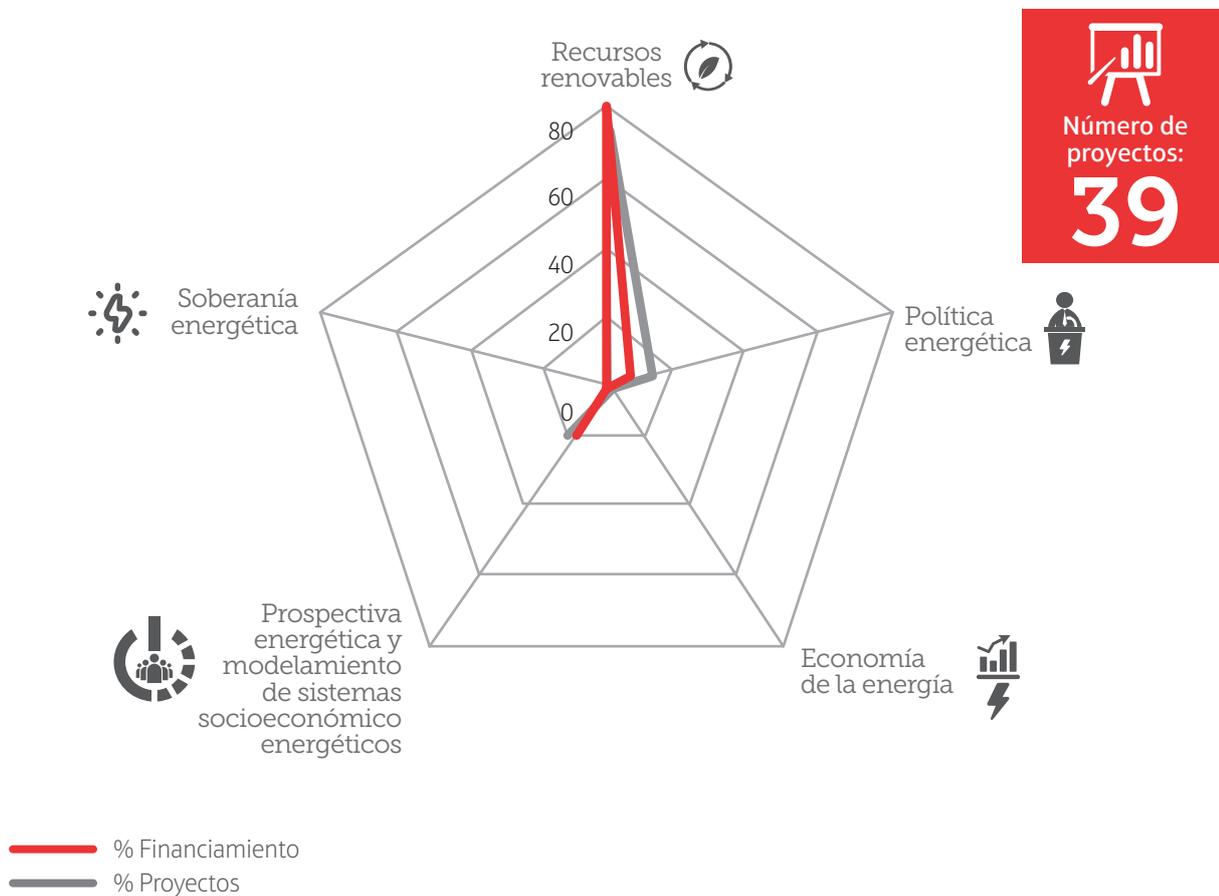


FIGURA 74: Porcentaje de inversión y porcentaje de proyectos finalizados y en ejecución dentro de la sublínea otras

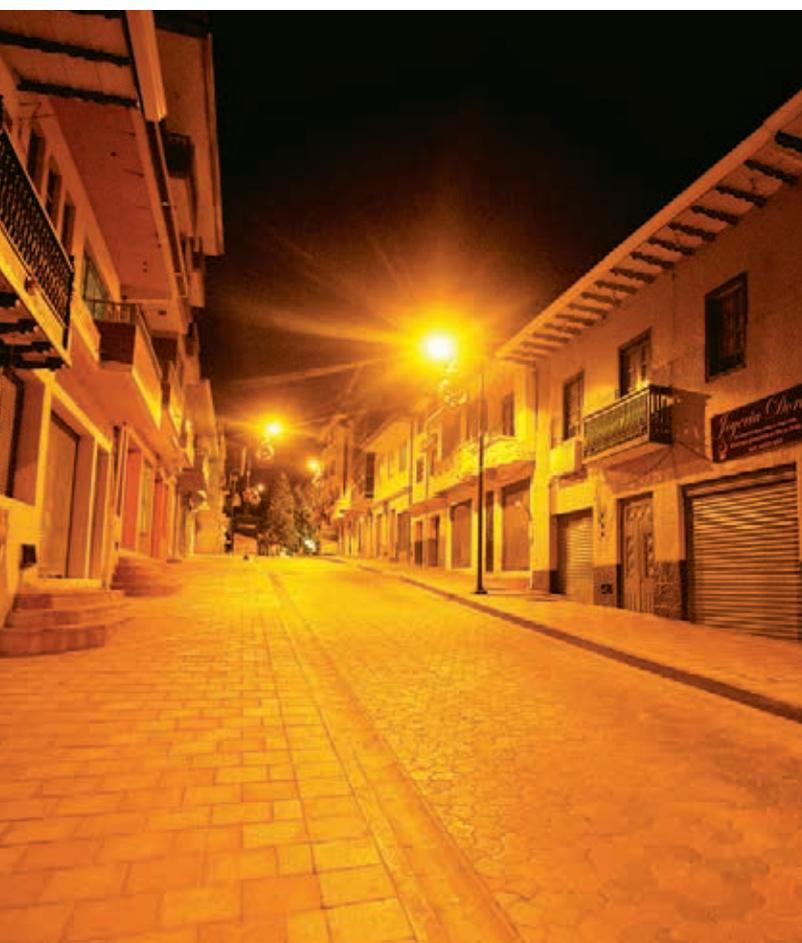
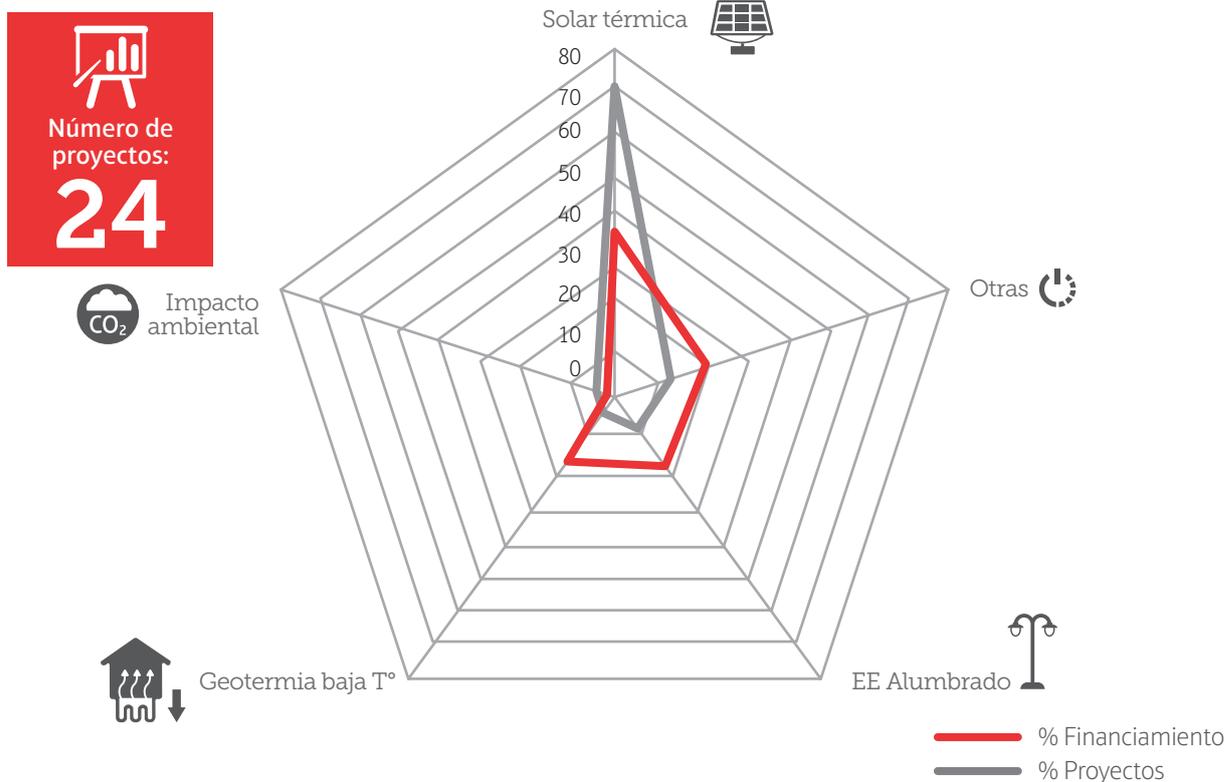


Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/9446221040

LAS ENTIDADES Y EL FINANCIAMIENTO PARA LA INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA RENOVABLE

En la Figura 75 se observa que un 47% de los proyectos finalizados y en ejecución son llevados a cabo por la universidad pública. El resto se reparte entre universidades privadas (34%), institutos públicos de investigación (12%), centros privados de investigación (3%) y otros (4%). En este último apartado se engloban consultoras, empresas petroleras y centros cofinanciados por la SENESCYT. Además, se muestra el nivel de financiamiento que recibe cada tipo de entidad, siendo casi un 40% del total para las universidades públicas, 29% para los institutos públicos de investigación, 22% para las universidades privadas, 5% para los institutos privados de investigación y 4% para otras entidades. Estos resultados indican que la universidad (tanto pública como privada) es el actor principal de investigación en energía, con un 80% de los proyectos y un 60% de la financiación. Se nota un número elevado de proyectos, la mayoría de los cuales deben ser de un presupuesto relativamente bajo, hecho que se confirma en la Figura 76, en la que se observa que, de los 108 proyectos de la universidad pública, 64 son de importes inferiores a 50.000 US\$. En el caso de la universidad privada esta situación es más marcada ya que de sus 79 proyectos, 61 disponen de un importe inferior a 50.000 US\$.

FIGURA 75: Porcentaje de proyectos y de financiación por tipo de organización

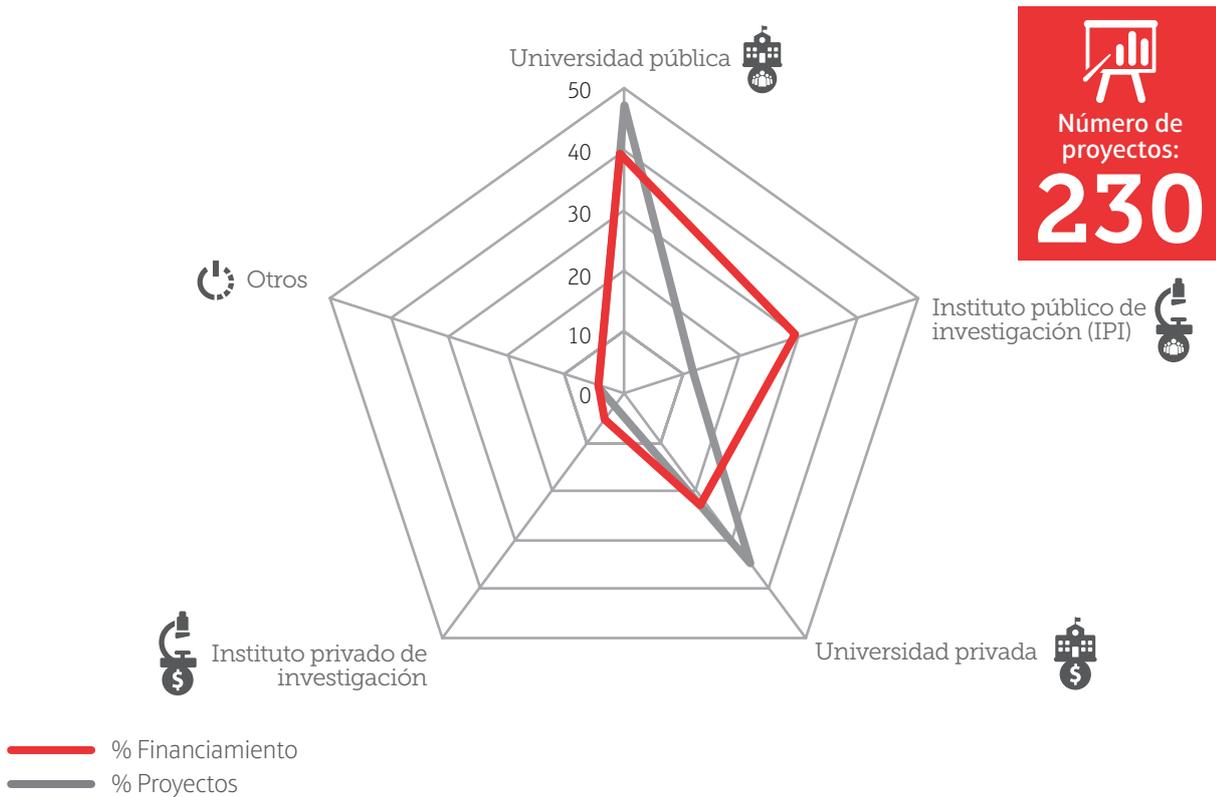
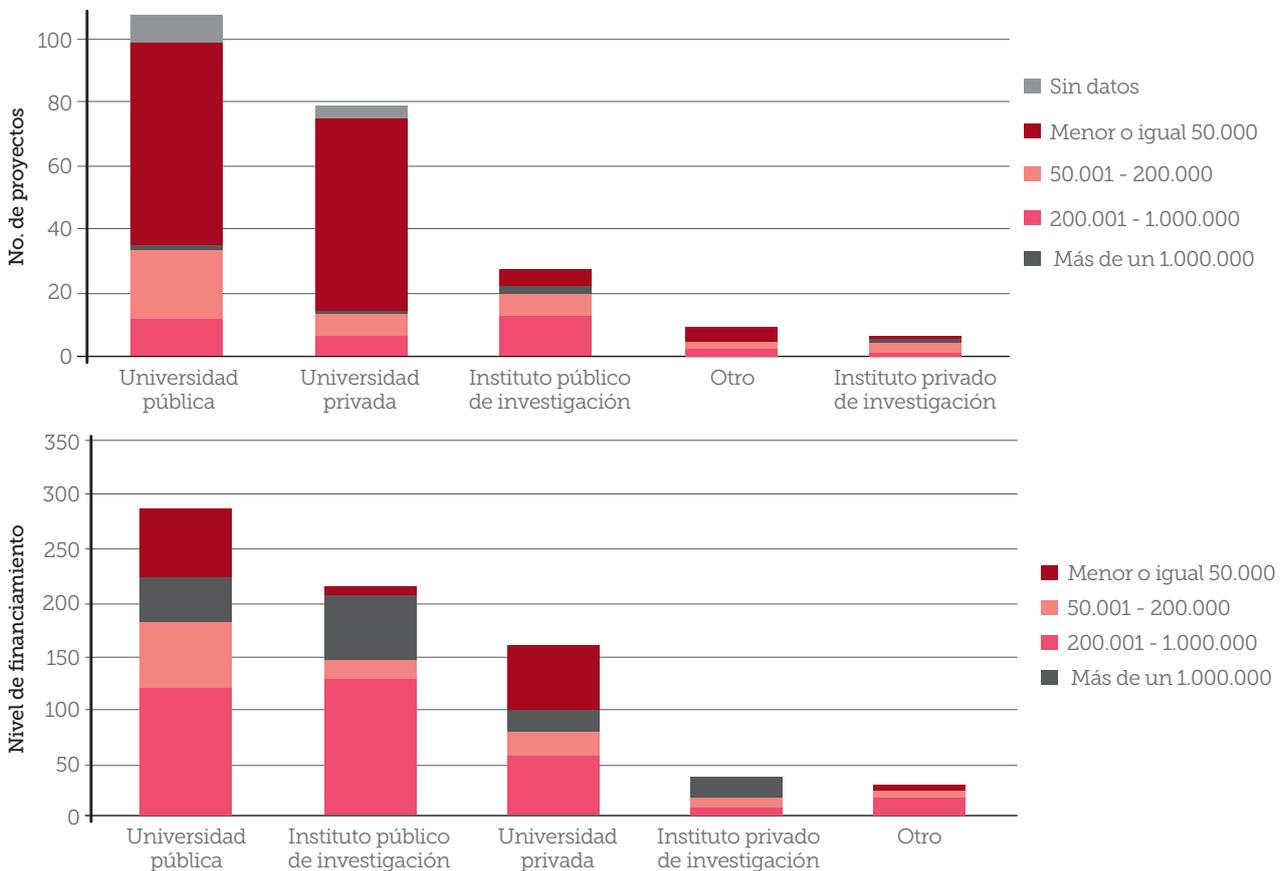


FIGURA 76: Número de proyectos por tipo de entidad y cuantía de financiación (arriba); nivel de financiación por tipo de entidad (abajo)



En cuanto al origen de los fondos (Figura 78), la mayor parte procede del sector público, pero en la universidad la mayor parte de los proyectos son financiados por recursos propios de la institución, concretamente un 44% en la universidad pública y un 56% en la universidad privada. Si se analiza por monto de inversión (en lugar de número de proyectos), la universidad pública recibe alrededor de 60% de sus fondos de otras instituciones públicas y la universidad privada 40%. Estos resultados indican que las universidades sobre todo financian pequeños proyectos de investigación, mientras que los grandes proyectos son financiados por otras instituciones públicas. Por esta misma razón, los institutos públicos de investigación reciben más de 70% de sus fondos de instituciones públicas. Es importante notar que el sector universitario recibe

financiación privada para algunos de sus proyectos (20% de los proyectos en la universidad pública y 6% en la privada), siendo estos de bajo presupuesto por su bajo nivel de financiación. Algunos resultados interesantes que destacan: la escasa cooperación empresa-universidad, aún con universidades privadas, y, por otra parte, la escasa cooperación internacional en temas de investigación.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Figura 78 y Figura 79, se aprecia la presencia de los centros universitarios en prácticamente todas las líneas de investigación, tanto en número de proyectos como de recursos económicos. Los institutos públicos de investigación destacan sobre todo en combustibles alternativos y gobernanza energética.

FIGURA 77: Procedencia de los fondos para proyectos de investigación en energía por entidad investigadora, en número de proyectos (arriba) y nivel de financiación (abajo)

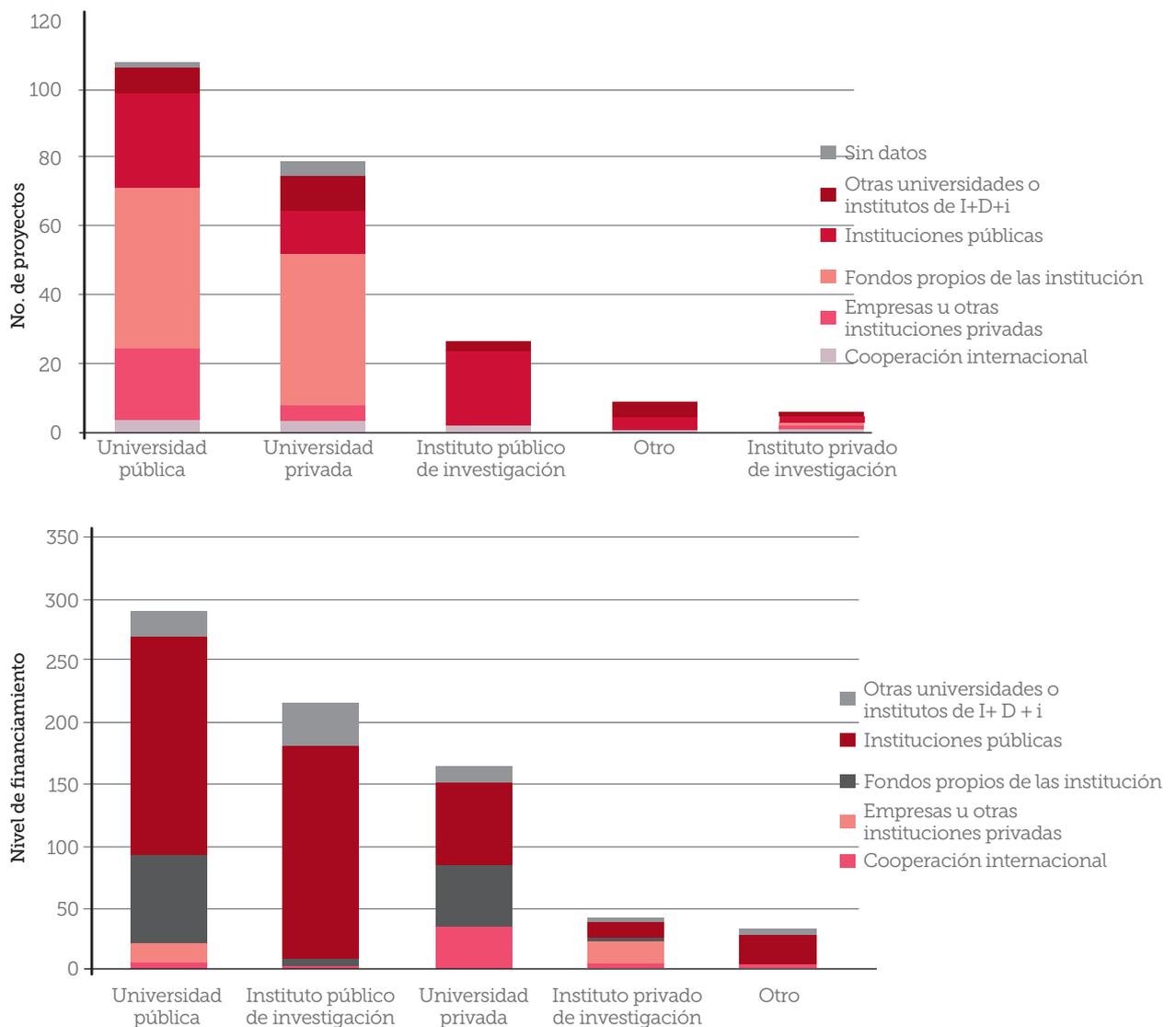




Foto: INER

FIGURA 78: Número de proyectos por línea de investigación y por tipo de institución investigadora

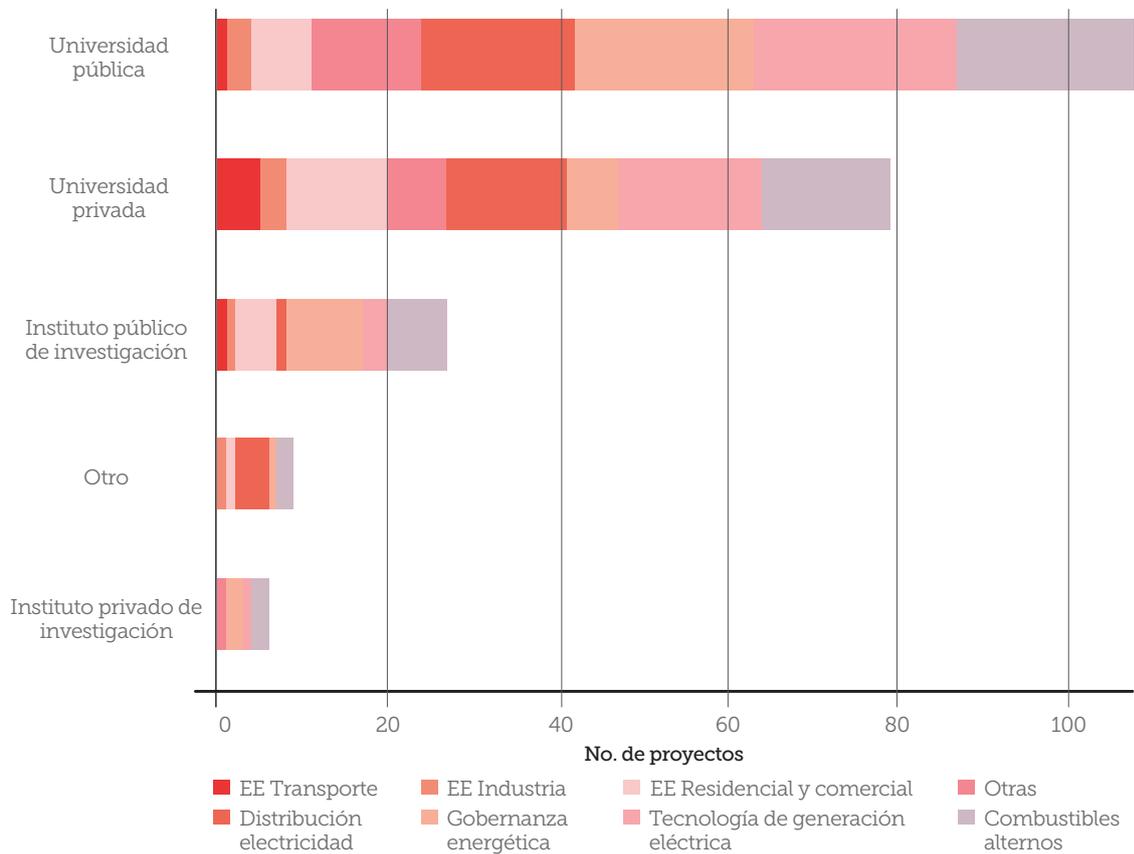
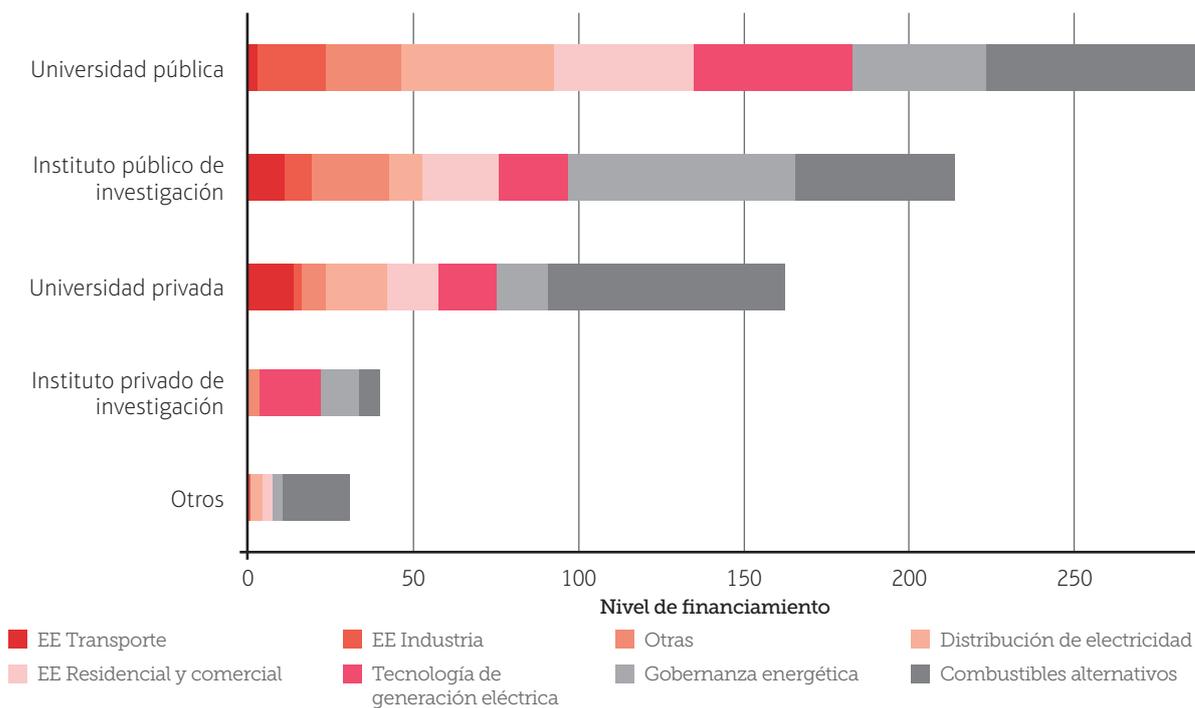


FIGURA 79: Nivel de financiamiento por línea de investigación y por tipo de institución investigadora



En cuanto a las entidades financiadoras de la investigación en eficiencia energética y energía renovable, la Figura 80 muestra que 42% de los proyectos son financiados por fondos propios de la institución investigadora, 30% por instituciones públicas y, en menor medida, por instituciones privadas, otros centros de investigación y agencias de cooperación internacional. La mayor parte de entidades que utilizan fondos propios son centros universitarios, tanto públicos como privados, tal como se observa en la parte superior de la Figura 81.

En esta misma figura se hace evidente que las instituciones públicas son el mayor financiador (en volumen de fondos) de proyectos y, sobre todo, de proyectos a la universidad pública y a los institutos públicos de investigación, tanto en número de proyectos como en monto de financiación.

Del monto total de financiación de la I+D+i en energía, 62% es aportado por entidades públicas, seguido de 17% de fondos propios y 10% de otras instituciones de investigación. En el sector privado se observa su escasa contribución, con tan solo una financiación de 5% (Figura 80).

Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/15989752641





FIGURA 80: Porcentaje de proyectos y de inversión por tipo de entidad financiadora

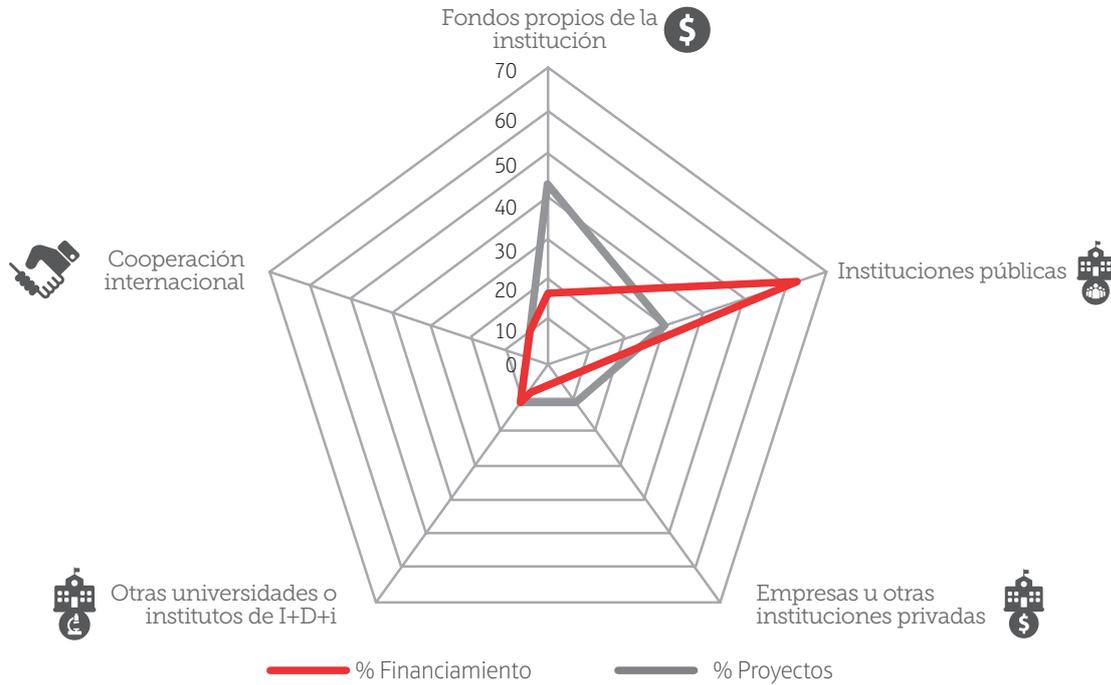
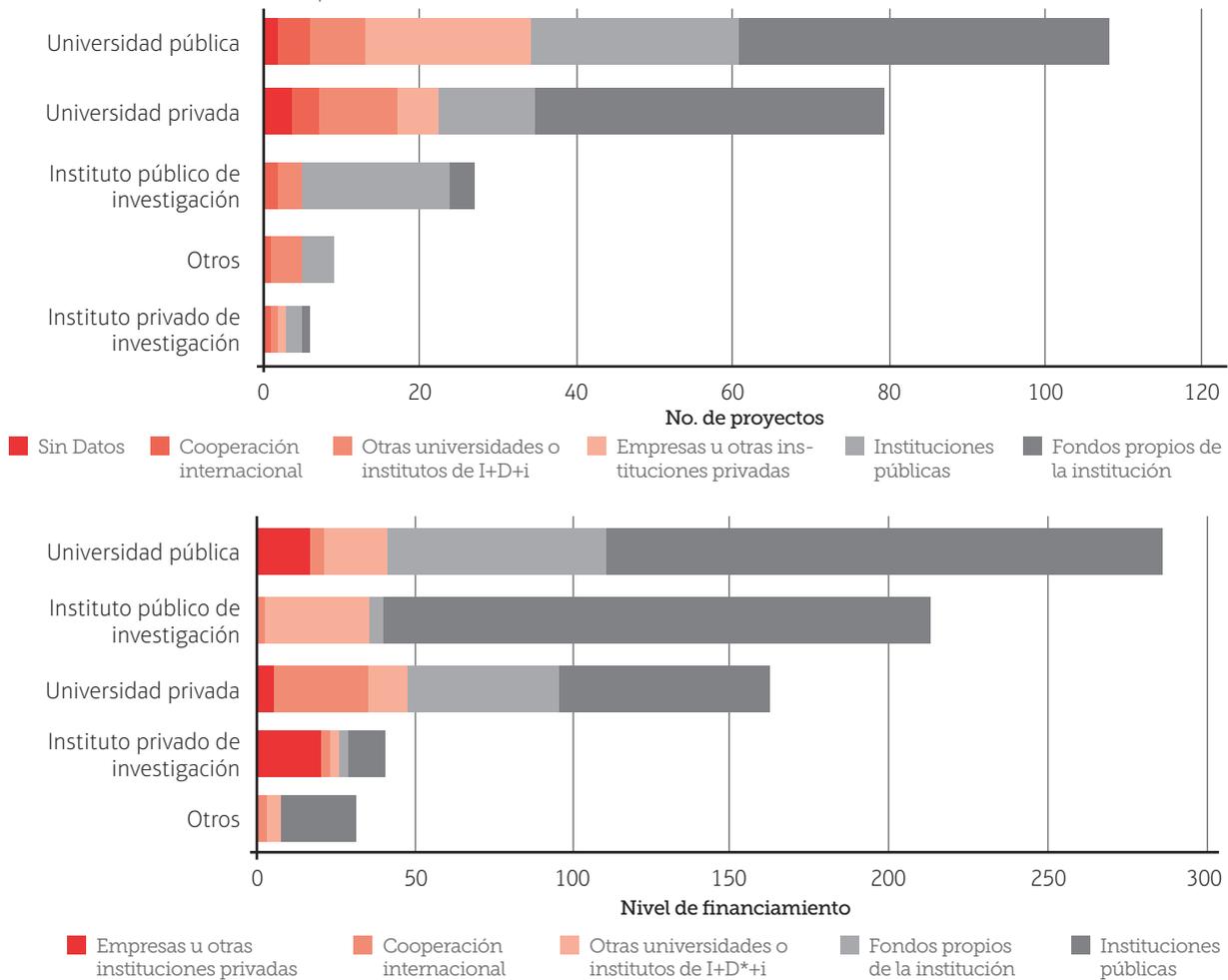


FIGURA 81: Número de proyectos (arriba) y nivel de financiación (abajo) por entidad financiadora y entidad receptora

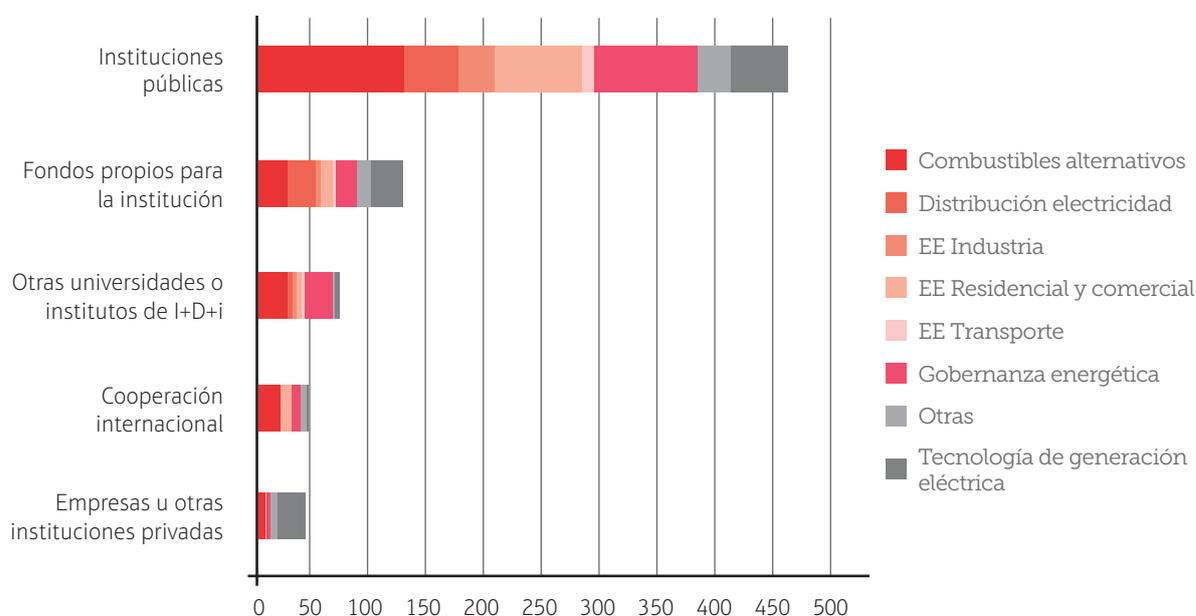


La Figura 82 revela las principales líneas de investigación financiadas por las diferentes entidades. Se aprecia que las instituciones públicas financian o han financiado más que nada proyectos de combustibles alternativos, eficiencia energética residencial y comercial, y gobernanza energética. Los fondos propios de las entidades de investigación se utilizan mayormente para proyectos de combustibles alternativos, eficiencia energética residencial y comercial, y tecnologías de generación eléctrica. Los fondos procedentes de otros centros de I+D+i se utilizan para proyectos de gobernanza energética y combustibles alternativos. También se observa que la cooperación internacional financia especialmente proyectos de combustibles alternativos y eficiencia energética en el transporte. Por último, en el financiamiento privado predominan los proyectos de tecnologías de generación eléctrica.



Foto: INER

FIGURA 82: Nivel de financiación de las líneas de investigación por entidad financiadora



ANÁLISIS TENDENCIAL DE LAS ACTIVIDADES DE I+D+i

El análisis tendencial busca identificar líneas de investigación que tengan mayores probabilidades de realizarse bajo determinadas condiciones o supuestos de base. Dichas condiciones están dadas por las respuestas que dieron los actores encuestados con respecto a las preguntas: ¿Qué debería ser investigado de forma prioritaria en el Ecuador? ¿Qué capacidades de investigación y producción se tienen en estos sectores con respecto a la eficiencia energética y energía renovable?

No se buscó detectar temas específicos de investigación, dada la gran dispersión de las respuestas, sino los aspectos dentro de la eficiencia energética y energía renovable que se consideran prioritarios para los próximos 10 años.

Los resultados muestran que el mayor número de respuestas están dirigidas a la investigación aplicada y el aprovechamiento del conocimiento existente, con un 79%. La reducción de costos en procesos industriales y mejoramiento de la eficiencia energética también se considera relevante, con un 62%, así como el modelamiento de escenarios y prospectiva energética, la adaptación tecnológica a las condiciones locales y la investigación básica, con algo más de 50% cada uno. También destacan el desarrollo de nuevos materiales (41%), aspectos socioeconómicos/gobernanza energética (34%) y mejoramiento de técnicas productivas y procesos industriales de productos relacionados con energía renovable y eficiencia energética, con un 33% (Figura 83).

Como paso siguiente, se buscó detectar las líneas de investigación que se consideran prioritarias. En la Figura



84 se observa que, de acuerdo con las respuestas de las personas encuestadas, las líneas prioritarias corresponden a las tecnologías de generación eléctrica, seguidas de los combustibles alternativos y otras. El apartado de gobernanza energética presenta una respuesta relativamente importante; aunque no se trata de un tema puramente tecnológico y es un aspecto que se suele pasar por alto en las investigaciones en el ámbito energético. A pesar de esto, resulta de vital importancia para el impulso de iniciativas de energías renovables y eficiencia energética. En este apartado se incluyen proyectos de investigación sobre prospectiva energética, modelamiento de escenarios energéticos, economía de la energía, política, diseño

de estrategias de eficiencia energética, etc. Las líneas de investigación menos relevantes para el sector académico son la eficiencia energética en transporte y eficiencia energética en la industria. La identificación de las razones por las cuales la academia no investiga en estas líneas escapa al alcance de este trabajo, sin embargo, es evidente que estos sectores no consideran a la universidad como un socio de cooperación. Puede influir también el bajo costo de la energía (tanto combustibles como electricidad) como una razón por la que estos sectores no demandan implementaciones tecnológicas que les ayude a mejorar su eficiencia energética.

FIGURA 83: Ámbitos prioritarios de la I+D+i en los próximos 10 años para el despliegue de las energías renovables y medidas de eficiencia energética según las respuestas obtenidas del sector académico

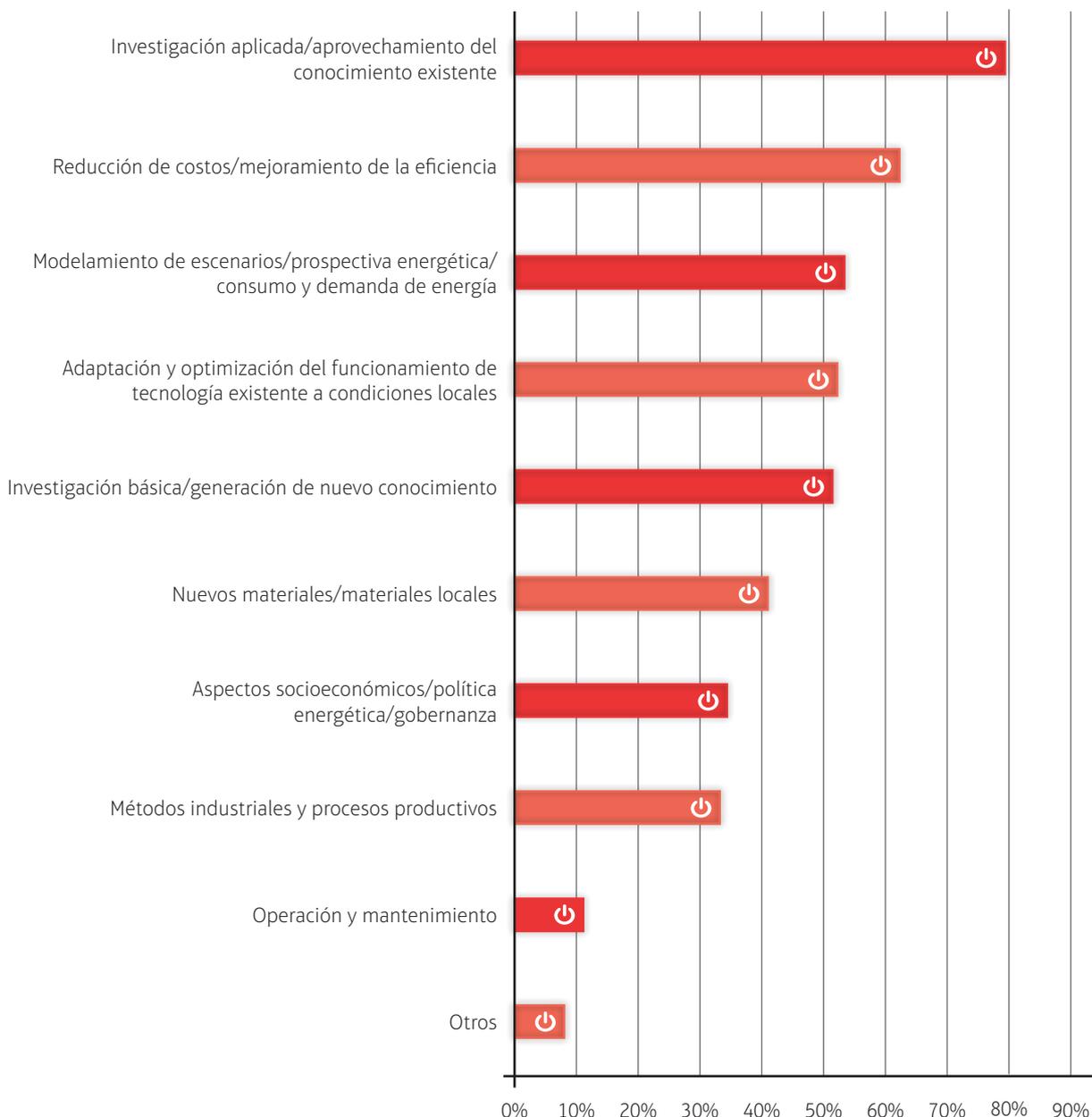


FIGURA 84: Líneas de investigación prioritarias en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética según las respuestas de los encuestados

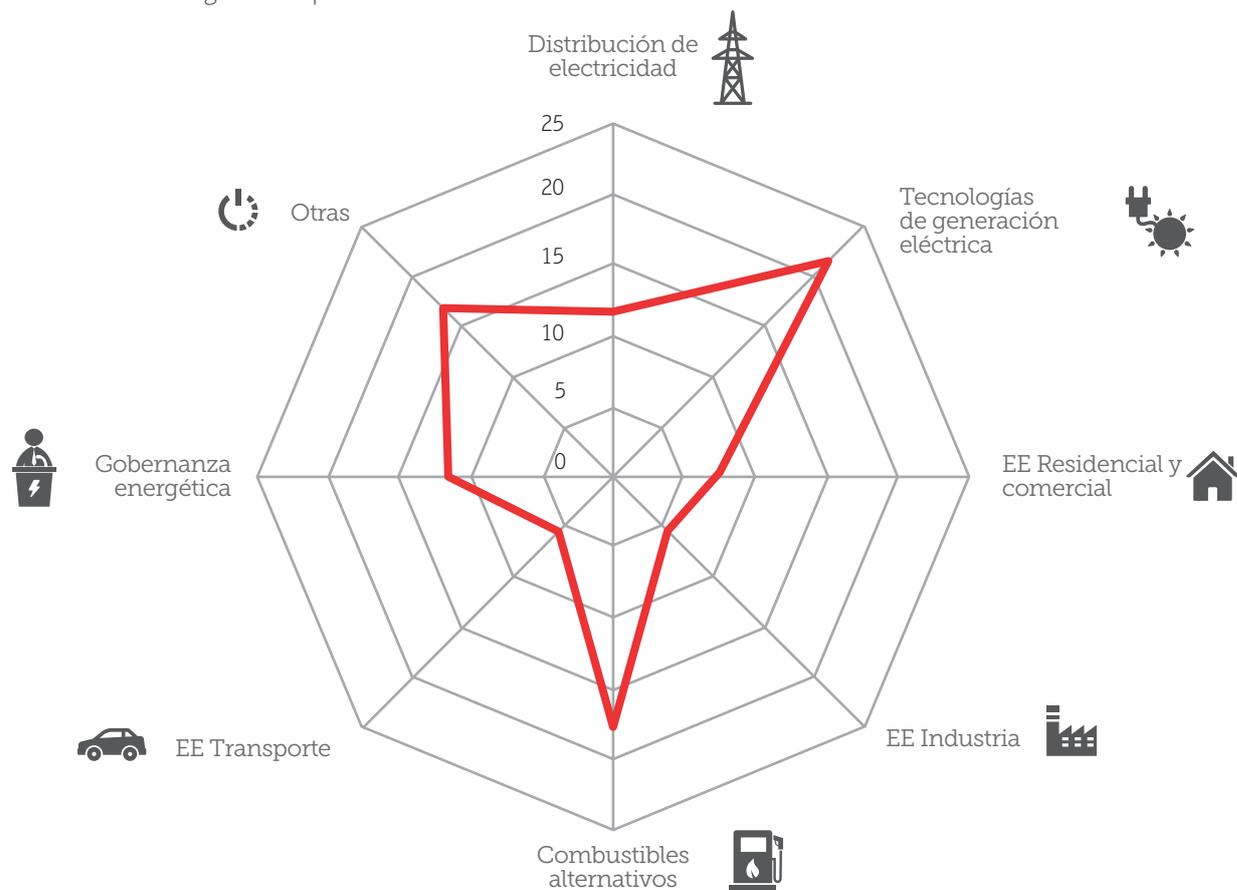


Foto: meryenvironmentalist.files.wordpress.com/2011/04/focuselectric2.jpg

También se preguntó sobre los incentivos para el impulso de la I+D+i en energías renovables y eficiencia energética (Figura 85). La mayoría de las personas encuestadas coinciden en que se debe incentivar la colaboración entre el sector productivo y los centros de investigación, tanto a nivel de emprendimientos conjuntos como de financiación de proyectos y transferencia tecnológica. También resulta muy relevante el financiamiento público y privado de la investigación en universidades y centros de investigación, y la capacitación del personal implicado en actividades de I+D+i. Por último, con un número de respuestas por debajo de 40%, se muestra que son necesarios incentivos fiscales y financiamiento público-privado para promover la investigación en el sector empresarial.





Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/14378879728

FIGURA 85: Incentivos para promover la I+D+i en el ámbito de las energías renovables y eficiencia energética según las respuestas de los encuestados



LA FORMACIÓN DE TALENTO HUMANO EN EL ÁMBITO ENERGÉTICO EN EL ECUADOR

EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA

El proyecto de reconversión de la formación técnica y tecnológica a escala nacional contempla la titulación superior de Tecnología Eléctrica en Energías Renovables, que ya se ha comenzado a impartir en el Instituto Tecnológico Superior El Oro en la ciudad de Machala, en la provincia de El Oro. Se capacitará al personal para la puesta en servicio, operación y mantenimiento de los sistemas de generación eléctrica basados en energías renovables.

EDUCACIÓN SUPERIOR UNIVERSITARIA

Actualmente existen diferentes ofertas de pregrado y posgrado relacionadas directamente con la energía y específicamente con las energías renovables. En la Tabla 21 se detallan las principales titulaciones relacionadas con el ámbito energético de las diferentes

universidades ecuatorianas. El grado en Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Técnica del Norte y la Maestría en Energías Renovables de la ESPE son los únicos estudios que contemplan de forma exclusiva las fuentes energéticas renovables. En cuanto a la eficiencia energética, destacan la Maestría en Eficiencia Energética de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y la maestría en Gestión de la Energía de la Universidad de Cotopaxi. También se detallan los estudios de ingenierías de petróleo y de ingeniería eléctrica, ya que ambos estudios están directamente relacionados con el ámbito energético. En el caso de la ingeniería eléctrica destaca la EPN, que ofrece estudios de pregrado, maestría y, desde el año 2015, doctorado (Tabla 22).

Paralelamente, en el ámbito universitario y en el marco de la Red Ecuatoriana de Universidades para Investigación y Postgrados (REDU), en julio de 2015 se gestó la creación de la Red Temática en Energía, entidad que agrupa a buena parte de las personas que hacen investigación en universidades relacionadas con temas energéticos.



Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/14659403989

TABLA 22: Titulaciones de educación superior universitaria relacionadas directamente con el ámbito de la energía

Titulación	Universidad	Nivel	Energías Renovables	Eficiencia Energética
Licenciatura en Energía y Cambio Climático	Yachay	Pregrado	Sí	Sí
Ingeniería en Energía y Hábitat	Yachay	Pregrado	Sí	Sí
Ingeniería en Energías Renovables	Universidad Técnica del Norte - UTN	Pregrado	Sí	Sí
Ingeniería Mecánica en Energía y Control	Universidad Internacional SEK	Pregrado	Sí	Sí
Ingeniería en Petróleo	EPN; UCE; UTE; ESPOL; UPSE	Pregrado	No	No
Ingeniería Eléctrica	EPN; UCE; UTE; ESPOL; UPS; U Cuenca; UCO; UTN; USFQ; UTM; UTEQ	Pregrado	Sí/No	Sí/No
Maestría en Energías Renovables	ESPE – Universidad de las Fuerzas Armadas	Posgrado	Sí	Sí
Maestría en Gestión de la Energía	Universidad Técnica del Cotopaxi	Posgrado	Sí	Sí
Maestría en Eficiencia Energética	Escuela Politécnica Nacional - EPN	Posgrado	No	Sí
Maestría en Tecnologías de Edificación	Universidad de Guayaquil	Posgrado	No	Sí
Maestría en Sistemas de Petróleo y Derivados	Escuela Politécnica Nacional - EPN	Posgrado	No	No
Maestría en Ciencias de Ingeniería Eléctrica	Escuela Politécnica Nacional - EPN	Posgrado	No	Sí
Doctorado en Ingeniería Eléctrica	Escuela Politécnica Nacional - EPN	Doctorado	No	Sí
Maestría en Estudios Socioambientales	FLACSO	Posgrado	Sí	Sí



Foto: iStock

BARRERAS Y HABILITANTES DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO

El quehacer científico tecnológico enfrenta ciertas barreras que impiden el potenciamiento y fortalecimiento de las actividades de I+D+i en el país. Bajo determinadas condiciones, la correcta toma de decisiones y el adecuado diseño de mecanismos, estas barreras pueden transformarse en habilitantes que permitan la optimización en la realización de actividades científicas y el uso de los resultados obtenidos de ellas.

En base al análisis de las respuestas de los encuestados, se puede determinar que la principal barrera a las actividades científicas es la falta de colaboración e interacción entre el sector productivo privado y los centros de investigación (incluidas las universidades).

La segunda barrera identificada es la falta de incentivos fiscales y las oportunidades de financiamiento público – privado para promover la investigación. Finalmente la tercera barrera, en orden de importancia, es la falta de capacitación y formación del personal científico.

Estas respuestas guardan concordancia con el análisis realizado en los acápite anteriores. En este sentido, la falta de mecanismos de financiamiento se relaciona con el hecho de que la mayoría de proyectos de investigación tienen presupuestos limitados (menores a 50.000 USD) y son financiados por las propias universidades principalmente. La falta de capacitación y formación profesional de los investigadores e investigadoras es el reflejo de la corta edad que tienen los grupos y departamentos de investigación y las propias personas (Figuras 58, 59, 60).

Finalmente, es muy notable que los propios actores del sector académico reconozcan la escasa interacción que existe con la empresa. Esto es claramente un impedimento para la búsqueda de opciones de financiamiento, así como como para la transferencia de conocimiento y tecnología hacia potenciales usuarios industriales, quienes pudieran aprovechar estos desarrollos para la generación de innovaciones²³.



23. Este documento hace énfasis en el enfoque académico. No obstante, se hizo un sondeo preliminar al sector productivo sobre sus percepciones acerca de la importancia de la I+D+i en eficiencia energética y energía renovable. Resultados completos de este análisis serán presentados en versiones posteriores de este documento. A pesar de ello, resulta interesante tomar en cuenta que, según este sondeo, las empresas privadas también consideran que los habilitantes más importantes que se deberían implementar para el fortalecimiento de la I+D+i son: La generación de incentivos fiscales (lo cual se asocia a la búsqueda de oportunidades de financiamiento de las actividades científicas y de desarrollo tecnológico); la formación y capacitación profesional en el desarrollo de actividades científicas (estrechamente relacionado con la capacidad de absorción tecnológica de las empresas y su aptitud para internalizar el conocimiento generado en universidades o centros de investigación); y el fortalecimiento de la cooperación entre empresas y centros de investigación (incluyendo universidades, IPIs, etc.), con el fin de aprovechar el conocimiento generado externamente y recibir asistencia técnica.



■ COMENTARIOS FINALES

Las principales líneas de investigación científica y desarrollo tecnológico en el mundo corresponden a la bioenergía, la energía solar y la energía eólica, las cuales han despuntado con respecto a otras tecnologías como la hidroeléctrica y la energía geotérmica, especialmente a partir de la década de los 90.

Los principales países desarrolladores de ciencia y tecnología en energía renovable corresponden a aquellos con alto grado de desarrollo tecnológico y nivel industrial. En este grupo se encuentran principalmente, y de forma reiterativa, Estados Unidos, Reino Unido, Japón y Alemania. Solo para ciertas tecnologías aparecen otros países como Italia y Canadá en energía geotérmica, Brasil, Canadá y China en hidroenergía, y este último país también en energía solar.

En Latinoamérica, el desarrollo científico y tecnológico comienza a partir de mediados de la década de los 90. Nuevamente se ve que la tecnología en hidroenergía y geotermia queda rezagada en comparación con tecnologías de biomasa, solar y eólica. Al igual que a escala global, en la región la producción científica es dominada por un grupo de países en el que se encuentran Brasil, México, Argentina, Chile y Colombia.

A pesar de que existen países que llevan la delantera en el desarrollo de ciencia y tecnología, también

es cierto que existe una arena global de generación de conocimiento en la que las fronteras de los países son relativamente difusas gracias a la cooperación internacional en desarrollo científico y tecnológico, el movimiento de científicos entre países que llevan de un lugar a otro sus conocimientos e intereses de investigación, y los diferentes mecanismos de transferencia tecnológica entre países. Esto da paso a que exista una tendencia global de investigación, que, para este caso, está marcadamente orientada a la investigación en biomasa, energía solar y energía eólica, lo que se evidencia en el hecho de que estas son las principales líneas de investigación a escala global y escala regional.

También existen diferencias en el desarrollo tecnológico en las regiones. En la línea de investigación en bioenergía, las principales diferencias se evidencian en que, a escala global los países de alto grado de desarrollo tecnológico llevan la delantera en el desarrollo de tecnologías de biorrefinería, desarrollo y utilización de coproductos y aplicaciones demostrativas y de escala comercial en la utilización de nuevas materias primas, procesamiento de dichas materias y producción de biocombustibles de segunda y tercera generación. Por su parte, y no menos importante, el desarrollo científico regional se orienta a la utilización de nuevas materias primas, mejoramiento genético

y agronómico de cultivos energéticos y sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa, con avances en tecnologías de punta como biorrefinerías.

En energía solar las principales diferencias entre las regiones están dadas, en primer lugar, por la búsqueda y el desarrollo de nuevos materiales y conceptos innovadores para la integración de la energía solar en diferentes aplicaciones. En la otra orilla, América Latina y el Caribe se encuentran más enfocados en el desarrollo de materiales y tecnologías de producción que permitan la industrialización y la reducción de costos de la energía solar fotovoltaica dentro de la región. Otra diferencia está dada en el desarrollo de combustibles solares que tiene lugar en los países más adelantados tecnológicamente, mientras que en América Latina y el Caribe todavía resta investigación por ejecutarse en cuanto a la predicción del recurso, y a la estandarización y control de calidad de los datos.

En cuanto a la energía eólica, las principales diferencias en desarrollo científico y tecnológico están dadas

en la capacidad industrializadora de estos adelantos en los países de alta vocación tecnológica, algo que en la región solamente ha sido realizado por Brasil. Otra diferencia notable está en el desarrollo de la tecnología eólica marina y sus componentes en los países industrializados, así como en la búsqueda de aplicaciones y optimización de los aspectos eléctricos, mientras que en la región se inclina más hacia la investigación del comportamiento de parques eólicos en condiciones extremas debido a las condiciones geográficas de la región.

En el Ecuador la tendencia de investigación está alineada con lo visto para las escalas global y regional, donde –según las respuestas– las primeras líneas de investigación son energía solar, energía eólica y bioenergía. Paralelamente, cuando se clasifican todos los proyectos registrados por las personas encuestadas, se observa que en el país tiene preponderancia la investigación en tecnologías de generación eléctrica (donde se encuentran las tecnologías de energía solar



Foto: Catamarán Génesis Solar - INER

y eólica), combustibles alternativos (que incluye bioenergía) y gobernanza energética.

El análisis por sublíneas de investigación muestra que, dentro de la categoría distribución de electricidad, la mayor presencia de proyectos de I+D+i están orientados a la calidad de la electricidad, seguidos por la integración de renovables en la matriz eléctrica. En la categoría de tecnologías de generación eléctrica, el mayor número de proyectos están en energía solar fotovoltaica, seguidos de energía eólica y el conjunto de otras tecnologías. Para la eficiencia energética en el sector residencial y comercial, es muy marcada la presencia de proyectos de eficiencia energética en edificios, sin especificar qué aspecto de la edificación o de su uso se toma como punto de análisis; le siguen de muy lejos los estudios en confort térmico y aplicaciones de geotermia de baja temperatura. En la categoría de combustibles alternativos también existe una tendencia definida hacia la investigación en combustibles líquidos. En gobernanza

energética, la mayoría de proyectos se orientan al estudio de los recursos renovables y, finalmente, en la categoría "Otras" prevalece la energía solar térmica.

Otro dato relevante en el contexto nacional es la mayoritaria participación de la universidad pública y privada en la investigación científica en estas áreas; entre ambas cubren 81% del total de proyectos analizados y 40% de la financiación para la investigación en estos temas.

En el país, el financiamiento para los proyectos de I+D+i en eficiencia energética y energía renovable proviene principalmente de las instituciones públicas. Sin embargo, especialmente en el caso de las universidades públicas y privadas, es bastante importante el autofinanciamiento, especialmente si se observa por número de proyectos financiados. La gran mayoría de proyectos autofinanciados por las universidades tienen presupuestos iguales o menores a 50.000 dólares.





La ciencia y el desarrollo tecnológico son herramientas utilizadas por la humanidad para propiciar el progreso y hacer uso del conocimiento obtenido a través de siglos de acumulación de experiencias y experimentación. Por esta razón, la ciencia y la tecnología deben estar al servicio de los más grandes objetivos humanos como son: el desarrollo sostenible y equitativo, la creación de oportunidades y capacidades, el combate al cambio climático, la erradicación de la pobreza y la conservación del medio ambiente. En este sentido, la planificación sistemática y estratégica de la actividad científica permite alinear los resultados esperados con los objetivos nacionales, regionales y globales; en búsqueda de la mayor eficiencia, efectividad y transparencia en el quehacer científico.

4



4 PROPUESTA DE PRIORIZACIÓN EN INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL ECUADOR CON UN HORIZONTE A 10 AÑOS

■ INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha realizado un análisis general del estado de generación y consumo energético en el país, así como las normas, regulaciones y leyes que se orientan a favorecer la introducción de medidas de eficiencia energética y energía renovable en el país. Posteriormente se ha realizado una recopilación sobre el estado de la tecnología de generación con fuentes renovables, sus principales características y potencia implementada; también se han presentado las medidas de eficiencia energética tanto en el país como en la región. Finalmente, se han hecho una recopilación y un análisis de las actividades de I+D+i en la temática en curso que se ha llevado a cabo por las instituciones académicas y de investigación.

Toda esta información constituye una potente base de análisis para formular posibles estrategias orientadas a profundizar la diversificación de la matriz energética por medio de mayor inclusión de fuentes renovables, de igual manera para mejorar los indicadores de eficiencia energética. Si bien este análisis debe incluir el mayor espectro posible de actores, es decir, los actores tomadores de decisión y el sector productivo nacional, en este documento se muestra el primer avance realizado sobre el análisis del sector académico. El análisis de los dos sectores restantes se realizará en posteriores actualizaciones de este estudio.

Con base en los marcos normativos, el estado de desarrollo, la adopción y adaptación tecnológica y las capacidades humanas, en conjunto con la experiencia local en el ámbito científico-tecnológico, es posible bosquejar una trayectoria para hacer más eficiente y efectiva la implementación y desarrollo local de las actividades I+D+i en energía renovable y eficiencia energética.

Los recursos nacionales, tanto económicos como humanos o naturales, son –por definición– escasos, por lo que necesitan una colocación altamente eficiente para generar el mayor beneficio social posible. En el mismo sentido, los recursos colocados para la investigación

científica, el desarrollo, la adopción y adaptación tecnológica necesitan ser altamente eficientes para cumplir su función social y promover el desarrollo económico del país. Por esta razón, la ciencia y la tecnología también deben ser orientadas por un proceso de planificación que asegure la alineación de los logros científicos con los objetivos estratégicos nacionales.

En este capítulo se muestra una aproximación metodológica para llevar a cabo un proceso de planificación y priorización de la investigación científica y el desarrollo tecnológico con un horizonte temporal de 10 años. Para cumplir con este cometido, se toma como base la información presentada en los capítulos anteriores, con el objetivo de que dicha planificación tome en cuenta los aspectos regulatorios, tecnológicos y científicos preexistentes.

Este tipo de trabajos cuenta con vasta experiencia y son altamente demandados por gobiernos y empresas, especialmente en países de alto grado de desarrollo económico y tecnológico. Varios ejemplos existen al respecto en un amplio abanico de ramas de la ciencia y tecnología, incluyendo la eficiencia energética y la energía renovable. Sin embargo, hasta donde se ha podido conocer, no existen, o por lo menos no se encuentran disponibles, estudios similares en países de América Latina. Por estas razones, se considera que el presente trabajo es pionero y busca abrir el camino a que este tipo de trabajos se desarrollen de forma continua, se perfeccionen las metodologías, y se generen verdaderos procesos de planificación y prospectiva científica y tecnológica.

■ METODOLOGÍA

El primer paso del proceso metodológico consiste en entender el estado actual de los diferentes factores que influyen en la planificación científica y tecnológica en el ámbito energético. Esta información está recogida en los primeros tres capítulos de este documento.



Foto: INER

Con esta información se procedió a definir y establecer un esquema para la priorización de la investigación y desarrollo tecnológico en eficiencia energética y energía renovable en el Ecuador; este proceso debe tomar en consideración el contexto nacional e internacional como se ha descrito; a la par, debe reflejar las necesidades y potencialidades del país, apuntando a optimizar el proceso de desarrollo científico y tecnológico, permitiendo hacer el uso más adecuado de los recursos tanto privados como públicos dedicados a estas actividades.

Como se mencionó, existen algunos ejemplos sobre procesos de planificación y priorización de la investigación y desarrollo tecnológico. La mayoría de estos tienen un objetivo similar, aunque sus características y las metodologías utilizadas para llegar a dicho objetivo son diversas. La mayoría de ellos busca visualizar un camino para el desarrollo científico y tecnológico que satisfaga diversas necesidades de las sociedades (que pueden ser científicas, sociales, tecnológicas, políticas, económicas

y ambientales) de cada país donde se han desarrollado estos trabajos. Otra similitud entre todos ellos es la necesidad de reducir el riesgo y manejar la incertidumbre asociada al impacto futuro que el desarrollo tecnológico tendría sobre la economía, las condiciones de vida o el medio ambiente. Otra característica común a todos estos trabajos es el riesgo y el sesgo por subjetividad implícito en todo proceso de planificación. Para minimizar estos inconvenientes, se han propuesto diversas metodologías entre las que destacan: *technology roadmapping*, técnica Delphi, encuestas a expertos, talleres de sectores involucrados, *technology forecasting*, técnicas econométricas, proceso analítico jerárquico AHP²⁴, entre otras. Estas metodologías no son excluyentes y varias veces son utilizadas de forma complementaria para alcanzar el objetivo de planificación deseado (Tugrul y Terry, 2008).

En este sentido, el presente estudio toma algunos aspectos de la metodología de *technology roadmapping*, la cual es esencialmente un enfoque de planificación estratégica que integra la ciencia y la tecnología en



24. Analytical Hierarchy Process (AHP)



FASES DEL PROCESO

En primer lugar, se realizó una revisión del marco regulatorio y normativo para el ingreso de tecnologías de energía renovable y medidas de eficiencia energética. Posteriormente, se hizo un análisis del contexto energético nacional. En este se visualizan la oferta, la demanda, los sectores de consumo y los principales vectores energéticos utilizados en el país (combustibles, electricidad, etc.). Como tercer paso, se hizo una revisión del estado de avance en la implementación de medidas de eficiencia energética y tecnologías de energía renovable en el país. Se realizó (hasta donde la información disponible permite) un análisis comparativo de diversos países de la región para contextualizar la situación en el Ecuador. En este mismo punto se hizo un análisis del estado del arte de la tecnología, lo cual es importante para visualizar cuál es la situación actual y cuál podría ser el escenario futuro de avance tecnológico.

Un paso altamente importante en el proceso constituyó la recolección de encuestas realizadas a un número importante de investigadores e investigadoras en el tema de la energía en universidades públicas y privadas, y centros de investigación del país. Con estas encuestas se logró tener una imagen de la actividad científica que se desarrolla en el Ecuador en torno a la energía, en general, y a la eficiencia energética y energía renovable, en particular.

En la Figura 86 se muestra un resumen de los pasos mencionados.

el desarrollo de productos y negocios (Tugrul y Terry, 2008). Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en la industria (Phaal et al., 2004), pero también ha sido utilizada por agencias gubernamentales y laboratorios públicos de I+D.

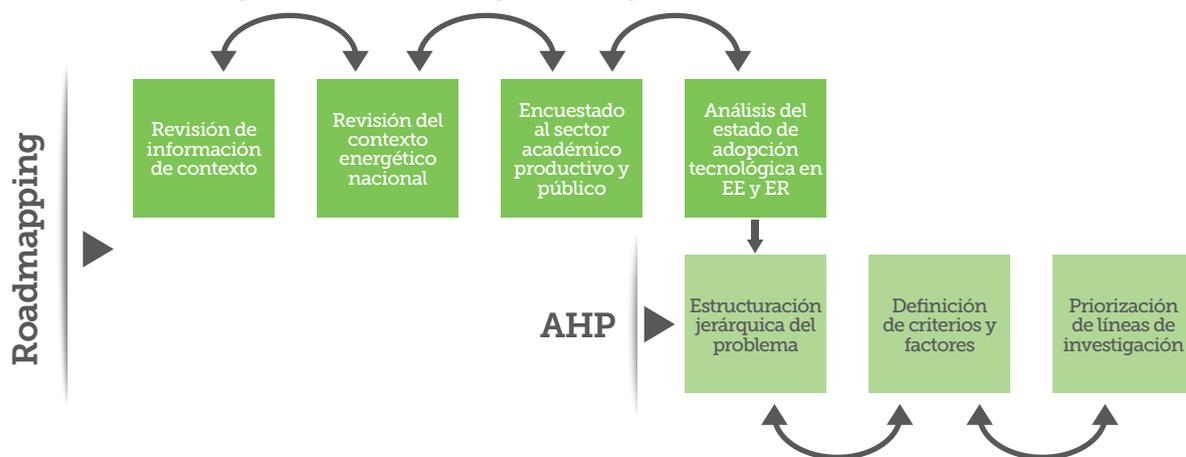
Por otra parte, fue necesario construir criterios de decisión que permitieran realizar la priorización de líneas y sublíneas de investigación y desarrollo, con el objetivo de reducir la subjetividad y el sesgo. Por esto se combinó el *technology roadmapping* con la metodología AHP. Esta metodología fue propuesta por Saaty para la toma de decisiones frente a un problema complejo cuando se tienen factores cuantitativos y cualitativos. En términos generales, AHP es un método multicriterio que permite la toma de decisiones a través de comparaciones de los factores por pares, estableciendo una estructura jerárquica entre dichos factores (Saaty, 2008).

En la Figura 87 se puede visualizar un esquema del trabajo realizado para la priorización de líneas de investigación que muestra las fases de *technology roadmapping* y AHP.



Foto: Sandia Labs

FIGURA 86: Resumen de los procesos de *roadmapping* y AHP para el desarrollo de la priorización de líneas de investigación en eficiencia energética y energía renovable



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AHP

AHP es esencialmente un proceso de decisión en problemas complejos. La priorización de las actividades de I+D+i son, por naturaleza, un problema complejo en el que intervienen diferentes criterios que deben ser tomados en cuenta y balanceados correctamente. En el caso de la I+D+i en eficiencia energética y energía renovable, los principales factores asociados a la toma de decisión se encuentran en torno a los aspectos económicos, regulatorios, tecnológicos y sociales.

La metodología AHP exige la estructuración jerárquica del problema. La mayor jerarquía es ocupada por el

objetivo de decisión, el segundo nivel jerárquico está determinado por los objetivos intermedios o criterios de decisión, mientras que el último nivel jerárquico lo ocupan las diferentes alternativas que podrían brindar una solución para llegar al objetivo.

Se definieron tres objetivos de máximo nivel que corresponden a tres escenarios de toma de decisión para la priorización de la I+D+i.

Estos escenarios corresponden a: a) desarrollo tecnológico local, b) soberanía energética y c) reducción de las emisiones de GEI. En la Tabla 23 se visualizan los tres objetivos.

TABLA 23: Objetivos (escenarios) definidos para la estructuración de la metodología AHP

Objetivo de máxima jerarquía (escenario)	Característica
Escenario de desarrollo tecnológico local	Priorización del desarrollo tecnológico en áreas de conocimiento, experiencia y actividades investigativas locales.
Escenario de soberanía energética	Potencial para reducir la dependencia energética externa, ya sea en forma de electricidad o combustibles.
Escenario de reducción de emisiones de GEI derivados del aprovisionamiento y el consumo energéticos	Priorización en función del potencial de reducción de emisiones de GEI. Se utilizó datos de la IEA para las emisiones promedio de cada tecnología según análisis de ciclo de vida (LCA).

La Figura 87 muestra la estructura del árbol jerárquico de decisión para el escenario de desarrollo de tecnología local. En la Tabla 24 se hace un resumen de los escenarios, criterios y factores diseñados para la estructura jerárquica del AHP.

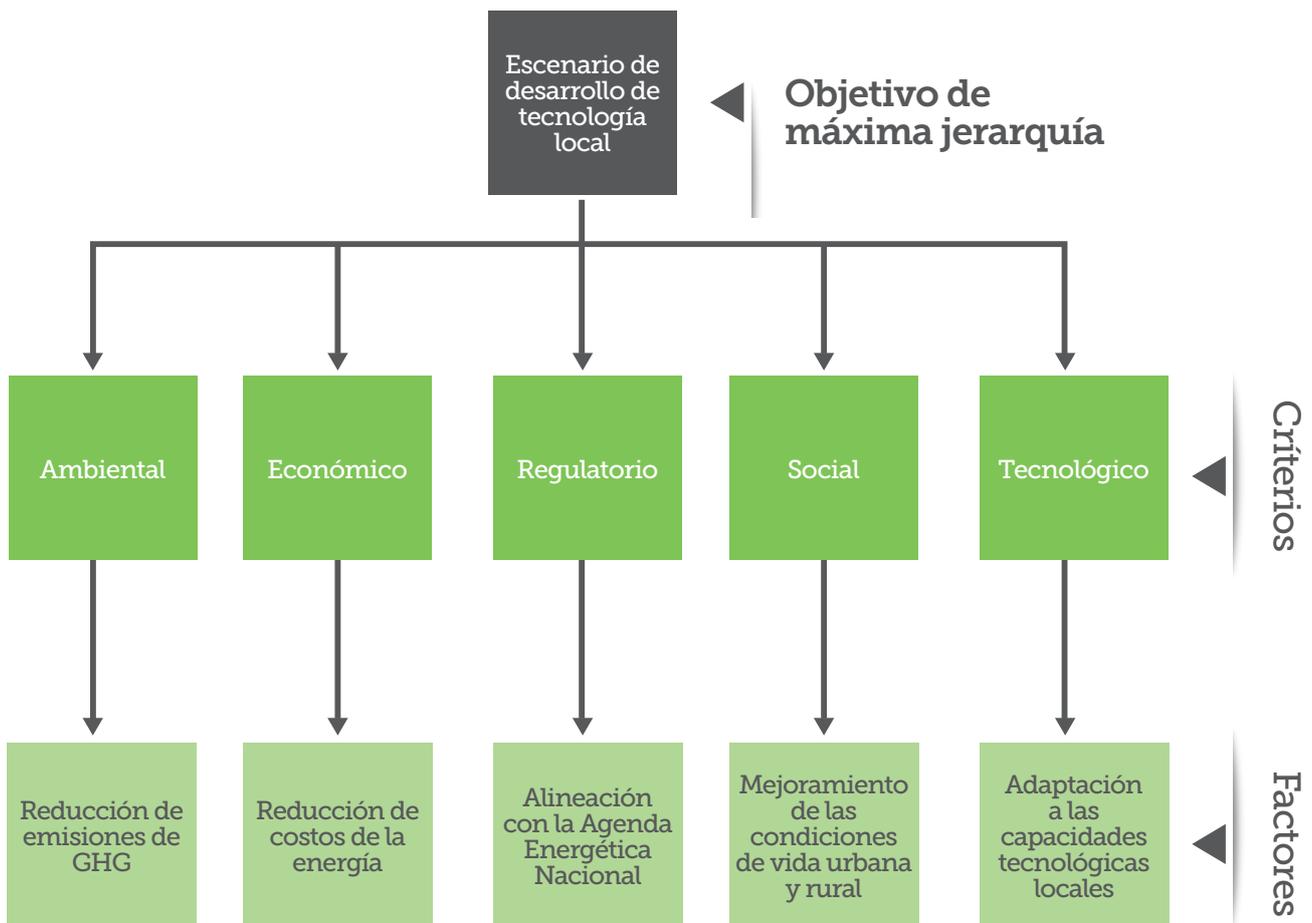
Posteriormente, mediante comparaciones pareadas de los factores versus el criterio y de este versus el objetivo, se generó una matriz de coeficientes o pesos para priorizar la importancia de las diferentes alternativas para lograr el objetivo.

Para la elaboración de la metodología AHP se utilizó la extensión DAME²⁵ para Microsoft Excel®, desarrollado por Perzina y Ramík (2014), la cual permite la construcción de la estructura jerárquica en escenarios, criterios y variantes²⁶.



Foto: www.flickr.com/photos/sandialabs/27803124995

FIGURA 87: Esquema gráfico de la estructura jerárquica utilizada en el escenario de desarrollo de tecnología local



²⁵ DAME son las siglas para definir Decision Analysis Module for Excel.
²⁶ Las variantes en Perzina y Ramík (2014) corresponden a los escenarios de decisión en este trabajo.

Foto: <http://blogthinkbig.com/wp-content/uploads/2016/06/electricidad3.jpg>

TABLA 24: Factores y criterios para cada escenario considerado en la estructura del modelo AHP

Criterio	Escenario		
	Tecnología local	Soberanía energética	Reducción de GEI
Económico	Reducción de costos de la energía	Reducción de la importación de energía	Reducción de gastos en mitigación y adaptación al cambio climático
Ambiental	Reducción de impactos locales	Uso de recursos energéticos renovables locales	Reducción de emisiones de GEI
Social	Potencial para el mejoramiento de las condiciones de vida en términos de aprovisionamiento y acceso a energía moderna		
Tecnológico	Adaptación a las capacidades tecnológicas locales		
Regulatorio	Agenda Energética		Estrategia Nacional de Cambio Climático

Además, la selección y el diseño de criterios y factores se realizaron tomando en consideración la información de contexto nacional e internacional generado durante los Capítulos I, II y III, así como la información recibida y analizada proveniente de colaboradores del sector productivo y público.

■ RESULTADOS

Una vez elaborada la estructura jerárquica y definidos los criterios y factores, se obtuvo la matriz de coeficientes o pesos que se muestran en la Tabla 25 (véase también la Figura 88). Además, la Tabla 26 muestra la relación de prioridad acorde a los pesos globales, donde 1 indica la máxima prioridad y 7 la mínima.

De esta forma, se observa que –para potenciar el desarrollo de tecnología local– es prioritaria la investigación

en tecnologías de generación eléctrica, distribución de energía eléctrica y combustibles alternativos. Para el escenario de decisión de reducción de gases de efecto invernadero, la línea prioritaria es la eficiencia en transporte, seguida de las tecnologías de generación eléctrica y la gobernanza energética. Finalmente, en el escenario de decisión de soberanía energética, es prioritaria la investigación en eficiencia en transporte, tecnologías de generación eléctrica y gobernanza energética (Tabla 26).

Se realizó además un análisis en conjunto de los tres escenarios, para lo cual se realizó un promedio simple de los tres, asumiendo que cada escenario tiene el mismo peso (todos tienen un peso relativo de 1).

La Figura 88 muestra la priorización presentada mediante un gráfico de radar para cada escenario por separado, mientras que la Figura 89 muestra el valor de prioridad tras promediar los tres escenarios.

TABLA 25: Pesos obtenidos para cada una de las líneas de investigación y escenarios considerados

Línea de investigación	Escenario			Global
	Tecnología local	Soberanía energética	Reducción de GEI	
Distribución electricidad	0,2388	0,0967	0,0748	0,1368
Tecnologías de generación eléctrica	0,2656	0,1745	0,1839	0,2080
EE Residencial y comercial	0,0665	0,0860	0,0746	0,0757
EE Industria	0,1097	0,1205	0,0789	0,1030
Combustibles alternativos	0,1614	0,1462	0,1281	0,1452
EE Transporte	0,0714	0,2147	0,2939	0,1933
Gobernanza energética	0,0866	0,1614	0,1658	0,1379

TABLA 26: Orden de prioridad para cada una de las líneas de investigación y escenarios considerados

Línea de investigación	Escenario			Global
	Tecnología local	Soberanía energética	Reducción de GEI	
Distribución electricidad	2	6	6	5
Tecnologías de generación eléctrica	1	2	2	1
EE Residencial y comercial	7	7	7	7
EE Industria	4	5	5	6
Combustibles alternativos	3	4	4	3
EE Transporte	6	1	1	2
Gobernanza energética	5	3	3	4

FIGURA 88: Visualización mediante gráfico radial de los pesos obtenidos mediante AHP de cada uno de los escenarios para la priorización del portafolio de I+D+i

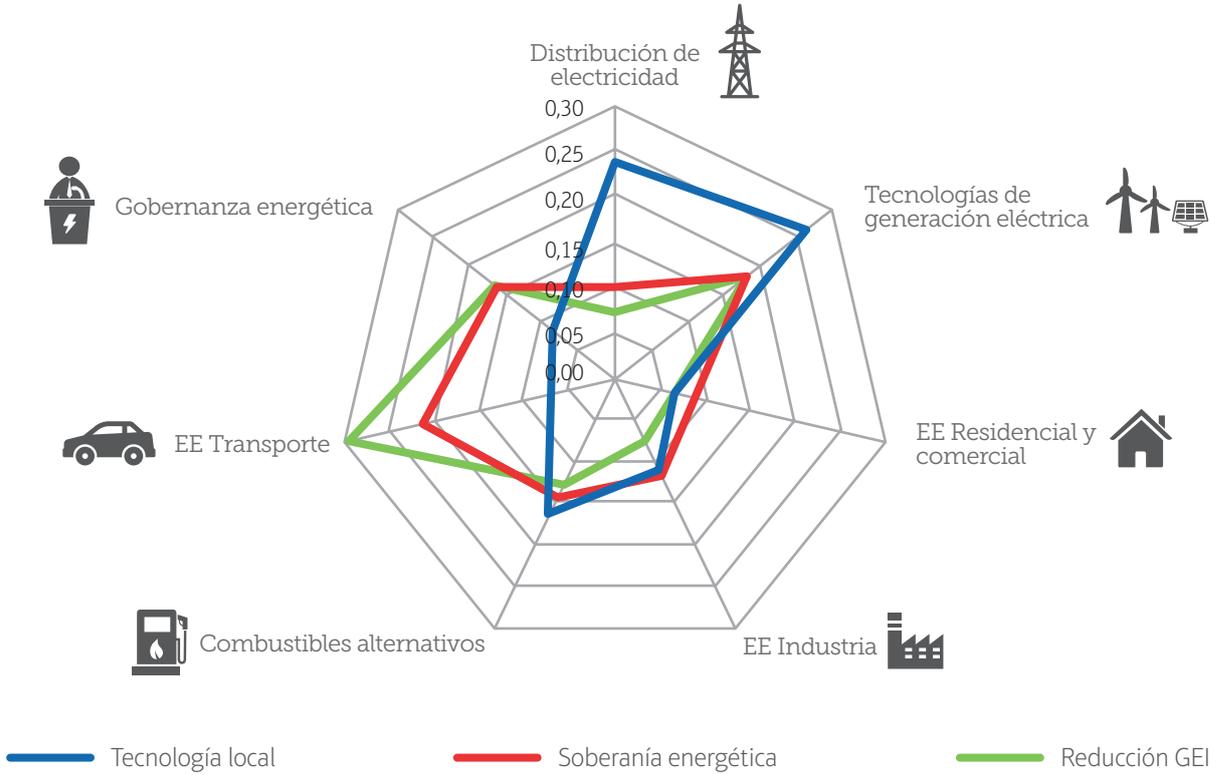
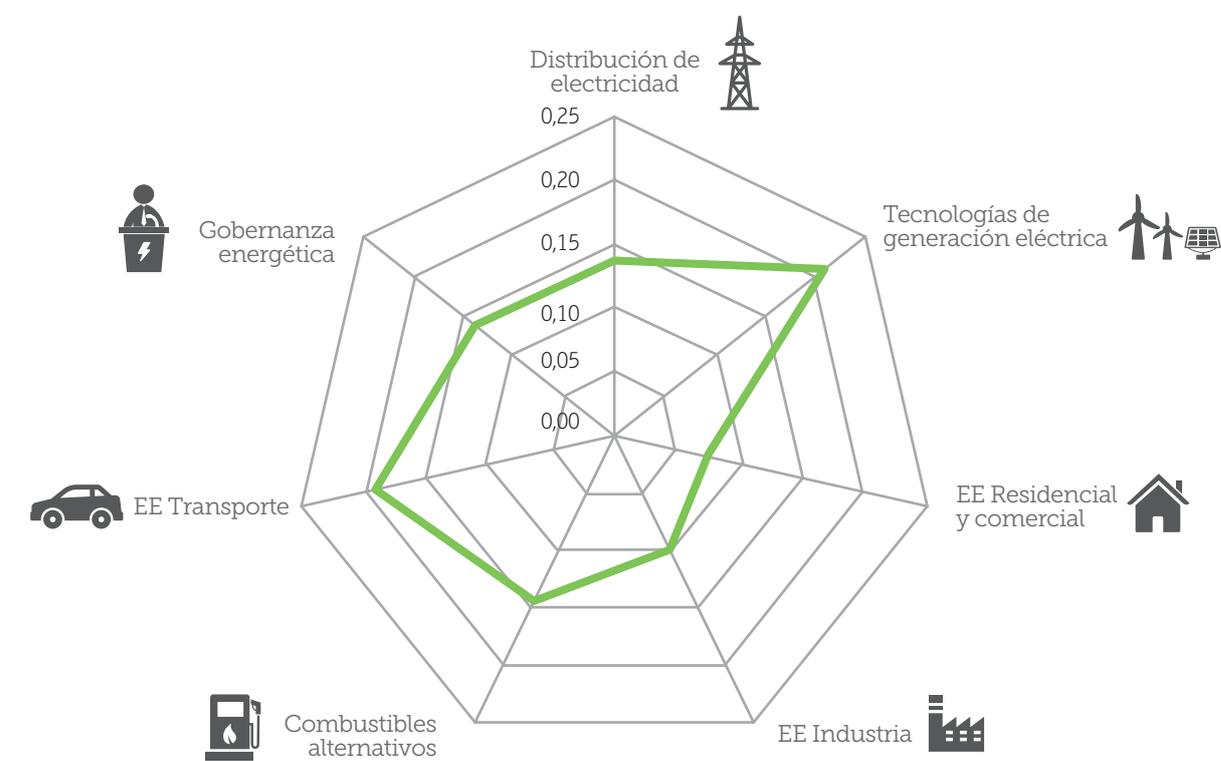


FIGURA 89: Visualización mediante gráfico radial de los pesos globales obtenidos mediante AHP para la priorización del portafolio de I+D+i



Se observa que, en el escenario de impulso de desarrollo de tecnología local, predomina la línea de tecnologías de generación eléctrica, seguida por la distribución de electricidad, el desarrollo de combustibles alternativos y la eficiencia energética en la industria. En la parte más baja de prioridad se sitúan la gobernanza energética y la eficiencia energética en el transporte, residencial y comercial.

En los escenarios de soberanía energética y reducción de emisión de GEI, la eficiencia energética en el sector transporte cobra gran relevancia y asciende al primer lugar de prioridad. Esto es concordante con la realidad nacional, pues no en vano, tal como se detalla en el Capítulo II, es el sector que consume 50% de la energía primaria del país, principalmente en combustibles fósiles. El segundo lugar de prioridad lo ocupa la línea de tecnologías de generación eléctrica, ya que tienen el potencial de reemplazar a tecnologías fósiles y utilizar recursos energéticos locales, el tercer lugar es ocupado por la gobernanza energética seguida del desarrollo de combustibles alternativos, la eficiencia energética en la industria, la distribución de electricidad y la eficiencia energética en edificios del sector residencial y comercial.

Dado que, como se mencionó, intrínsecamente cada escenario tiene un peso de 1, es decir, igual valoración, se realizó un promedio simple de los tres generando el resultado que se observa en la Figura 89. De esta forma, las cinco primeras líneas prioritarias de investigación son: a) las tecnologías de generación eléctrica, b) la eficiencia energética en el transporte, c) el desarrollo de combustibles alternativos, d) la gobernanza energética y e) la distribución de electricidad. Una posición relativamente menor corresponde a la investigación en la eficiencia energética en la industria y la eficiencia energética en el sector residencial y comercial.

Las Figuras 90 y 91 muestran un análisis de priorización de las líneas de investigación sin considerar las de más alta prioridad, es decir, sin considerar las líneas de eficiencia energética en el transporte y tecnologías de generación eléctrica. En este caso, se observa que gana mucha relevancia la línea de investigación correspondiente a los combustibles alternativos, mientras que la prioridad de las demás líneas queda balanceada, avanzando mucho la eficiencia energética residencial y la gobernanza energética. Esto se hizo con el fin de analizar cómo se distribuyen las prioridades entre líneas, una vez que se han retirados las dos de mayor valoración.

FIGURA 90: Visualización mediante gráfico radial de los pesos obtenidos mediante AHP de cada uno de los escenarios para la priorización del portafolio de I+D+i excluyendo EE en el transporte y las tecnologías de generación eléctrica

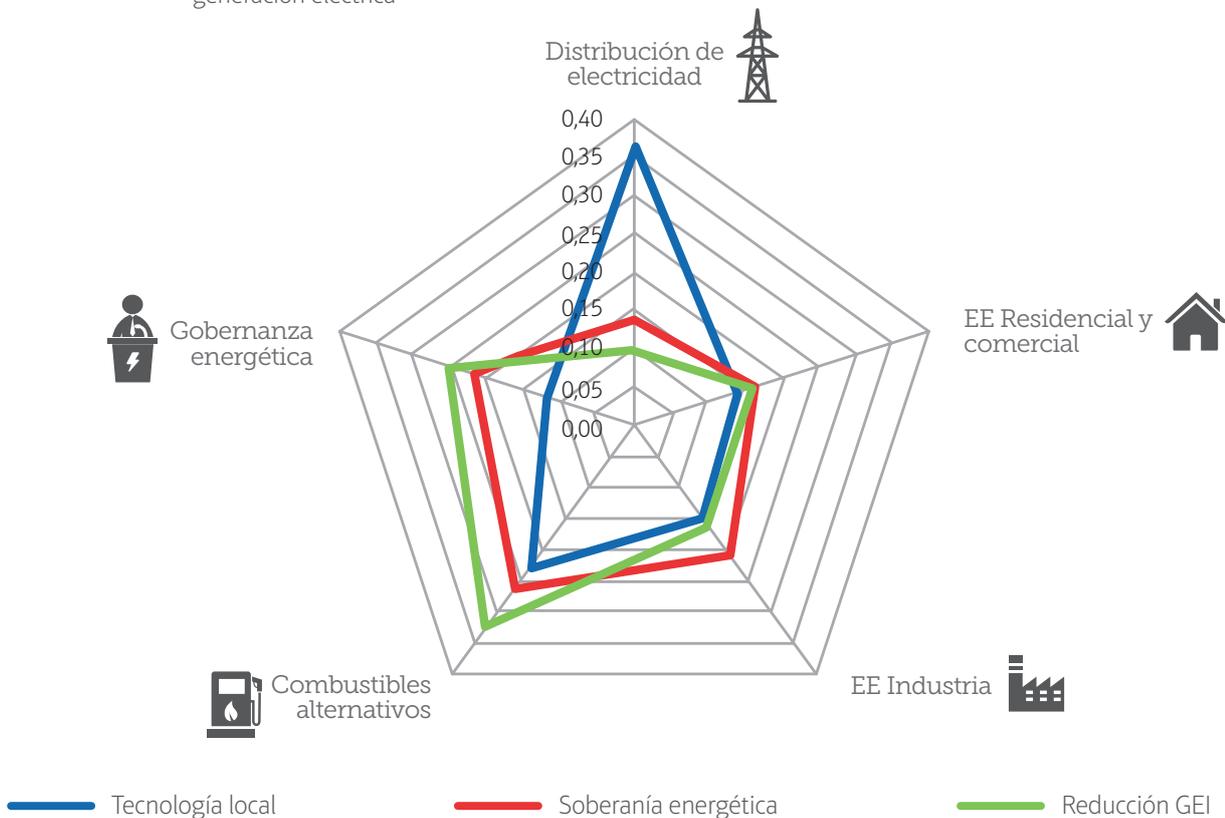
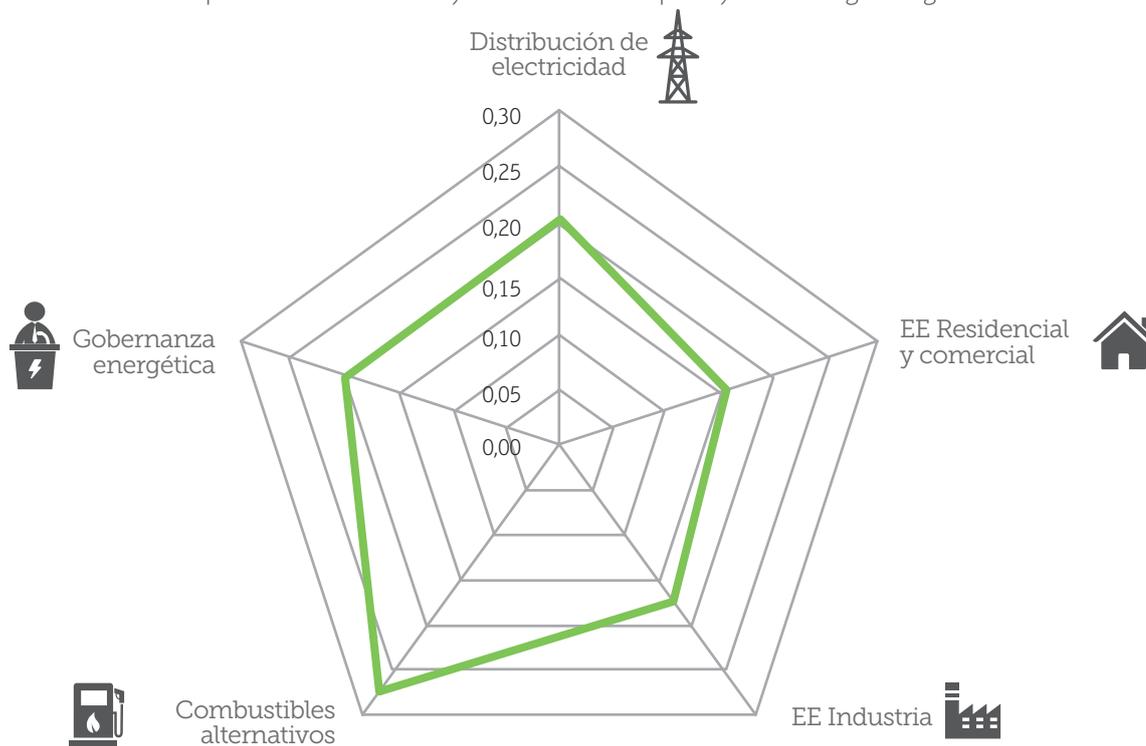


FIGURA 91: Visualización mediante gráfico radial de los pesos globales obtenidos mediante AHP para la priorización del portafolio de I+D+i excluyendo EE en el transporte y las tecnologías de generación eléctrica



De forma comparativa, es interesante analizar las diferencias existentes entre las opiniones recogidas en las encuestas al sector académico sobre qué debería ser investigado y lo que realmente se está investigando (Figura 92). Llama la atención la gran diferencia que se encuentra en la eficiencia energética en el transporte, línea prioritaria de acuerdo con los resultados de la priorización, pero muy poco relevante en cuanto a número de proyectos, su nivel de financiación y opinión de las personas encuestadas.

Algo similar, pero en menor medida, sucede con la eficiencia energética en la industria. Sin embargo, obviando el nivel de financiación, se encuentra una razonable coincidencia en las tecnologías de generación eléctrica, distribución de electricidad, combustibles alternativos y gobernanza energética, campos en los cuales se desarrolla la mayor parte de la investigación científica en energía en el Ecuador.

Como se puede ver en la Figura 92, de acuerdo con la opinión de las personas encuestadas, existe una tendencia hacia las tecnologías de generación eléctrica; por otra parte, desde la perspectiva de financiamiento, se observa que los recursos son dirigidos al desarrollo de combustibles alternativos, la eficiencia en el sector residencial y la gobernanza energética. En cuanto al desarrollo de proyectos, se observa que la mayoría se orientan a combustibles alternativos, tecnologías de generación eléctrica, distribución de electricidad y gobernanza energética; sin embargo, la priorización utilizando el método AHP se concentra en la eficiencia energética del sector tecnologías de generación, combustibles alternativos, eficiencia energética en el transporte y gobernanza energética. Esto sustenta el hecho de la necesidad de un método de priorización objetiva de la investigación, dado que se demuestra que –a pesar de existir una opinión sobre qué debe ser investigado– los hechos muestran que la investigación se inclina en otra dirección.



Foto: www.flickr.com/photos/presidenciaecuador/8519382538

FIGURA 92: Visualización mediante gráfico radial de la importancia de cada línea de investigación de acuerdo los proyectos finalizados y en ejecución y a la opinión de los investigadores e investigadoras

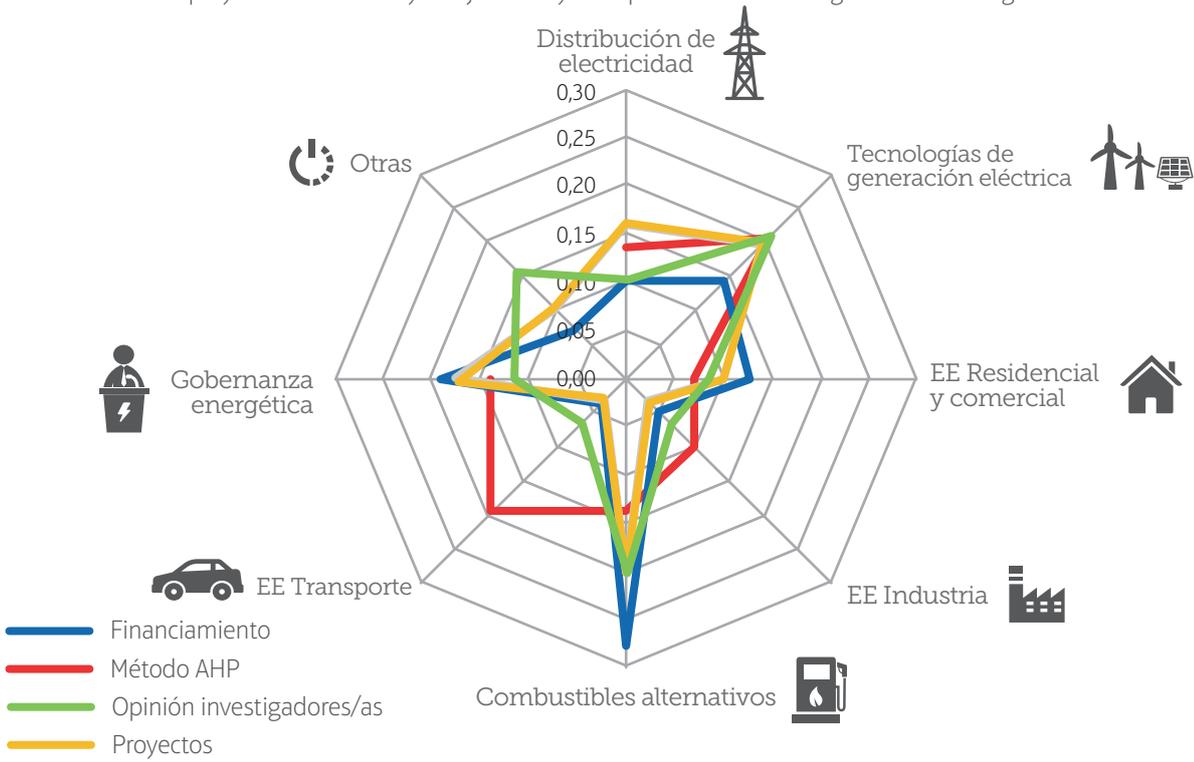
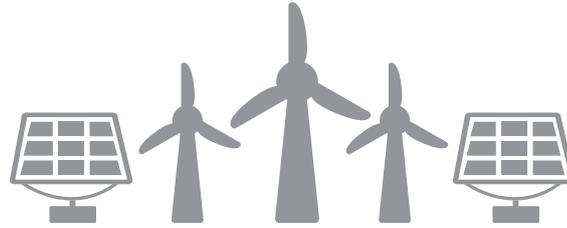


Foto: <http://newsroom.united.com/AltAirbiofuels>



OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+i) EN LAS LÍNEAS PRIORITARIAS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA RENOVABLE

En este acápite se partirá de la priorización de los tres escenarios en conjunto. De esta forma, las líneas que se consideran prioritarias mediante la metodología detallada corresponden a: a) tecnologías de generación eléctrica, b) eficiencia energética en transporte, c) combustibles alternativos y d) gobernanza energética.

En este apartado se realiza una priorización de las sublíneas dentro de las cuatro líneas priorizadas anteriormente. Este trabajo se realizó utilizando nuevamente el método AHP, para lo cual se consideraron

los mismos criterios descritos anteriormente, es decir: ambiental, social, económico, regulatorio y tecnológico.

Las líneas no prioritarias se presentan de forma más general.

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Los avances en generación de electricidad pasan por el desarrollo de nuevas tecnologías capaces de lograr eficiencias mayores en la conversión de las fuentes de energía primaria en electricidad, así como fomentar una mayor utilización de tecnologías ya existentes que presenten mayores eficiencias.

FIGURA 93: Relevancia actual por proyectos y por nivel de financiamiento y priorización mediante el método AHP de las sublíneas de investigación de la línea tecnologías de generación eléctrica

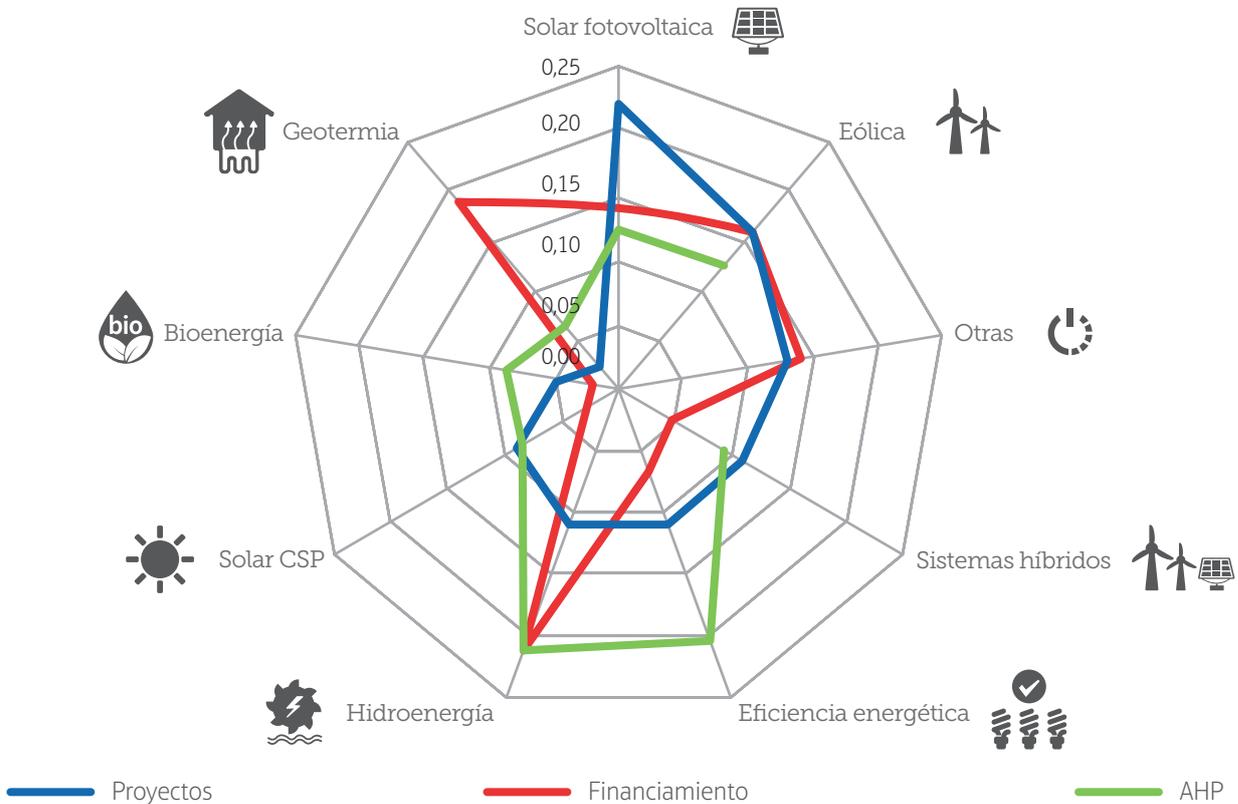




Foto: www.flickr.com/photos/energiaecuador/20992210333

La Figura 93 muestra los resultados de la priorización aplicando la metodología AHP para diversas sublíneas en el campo de las tecnologías de generación eléctrica comparados con el número relativo de proyectos y el nivel de financiación en la actualidad. Las sublíneas claramente prioritarias son la hidroenergía y la eficiencia energética en la generación de electricidad. Luego se encuentran la tecnología solar fotovoltaica y la eólica, seguidas del estudio de sistemas híbridos, solar de concentración para la generación eléctrica y bioenergía para la generación eléctrica, ocupando el último lugar la geotermia.

Estos resultados contrastan con la investigación llevada a cabo actualmente, en la que, a nivel de proyectos, predomina claramente la tecnología fotovoltaica, seguida de la tecnología eólica, otras tecnologías y sistemas híbridos. A nivel de financiación, hay una coincidencia con la priorización en la tecnología hidroeléctrica, pero una gran disparidad en la geotermia debido al elevado nivel de financiación que requieren los proyectos de esta tecnología.

TECNOLOGÍA HIDROELÉCTRICA

De acuerdo con el plan de electrificación 2013-2022 (CONELEC, 2013), se espera que en el 2022 algo más de 80% de la electricidad sea generada por centrales hidroeléctricas. Las políticas de estado actuales han impulsado el desarrollo hidroeléctrico nacional con la inclusión de 2807 MW hasta 2016. Es por ello que resulta de vital importancia la investigación en este campo.

A continuación se detallan las oportunidades de investigación en esta fuente energética que se pueden investigar en el país, especialmente en microhidroeléctricas:

- a. Integración en la red eléctrica de las centrales hidroeléctricas
- b. Optimización de la operación de las centrales hidroeléctricas
- c. Predicción a corto y medio plazo de la producción eléctrica

- d. Estudios socioeconómicos y ambientales de la energía hidroeléctrica
- e. Análisis de los sistemas de almacenamiento hidráulico (bombeo inverso)
- f. Estudios de la vulnerabilidad frente al cambio climático
- g. Aplicaciones locales de la microgeneración hidroeléctrica

TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La tecnología solar fotovoltaica ofrece grandes oportunidades en el Ecuador. A pesar de ello, en la actualidad se dispone de un mapa de irradiación solar basado únicamente en datos satelitales (CONELEC, 2008), por lo que resulta necesario hacer una actualización y una validación con mediciones terrestres. Por tanto, es evidente que hay que implementar una red radiométrica en el país para la obtención de datos fiables de irradiación solar. En este sentido, también resulta importante estudiar la influencia del cambio climático en el recurso solar a medio y largo plazo.

La tecnología fotovoltaica se puede utilizar en dos modalidades básicas: instalaciones conectadas a la red eléctrica e instalaciones aisladas de la red, que se suelen utilizar para electrificación rural. En el primer caso, estas tecnologías ofrecen la oportunidad de suavizar los picos de demanda, lo que evitaría que se pongan en marcha centrales termoeléctricas, reduciendo así las emisiones de GEI. Estos picos de demanda son especialmente importantes en zonas de la Costa donde existen equipos de climatización y donde el problema se acentuará en el futuro con la implementación de las cocinas de inducción. Esto abre la oportunidad para la implementación de instalaciones fotovoltaicas en zonas urbanas. En el segundo caso, actualmente las compañías eléctricas están desarrollando programas de electrificación rural. También es relevante investigar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos autónomos en condiciones de altas temperatura y humedad, que pueden provocar fallos prematuros de los equipos.

Durante los últimos cinco años, la producción de celdas solares orgánicas ha logrado alto interés científico y tecnológico, con el potencial de alcanzar rendimientos cercanos al 12% (Figura 94). La gran biodiversidad del país ofrece la oportunidad de desarrollar celdas solares orgánicas a partir de pigmentos vegetales.



Foto: www.flickr.com/photos/sandialabs/5058559942/in/album-72157622745855769



Foto: <http://likethis.pt/wp-content/uploads/2015/06/Parque-E%C3%B3lico-de-Mosqueiros.jpg>

Los puntos más relevantes para investigar en esta tecnología son:

- a. Instalación de una red radiométrica y actualización del mapa de irradiación solar global (directa y difusa)
- b. Técnicas de medición y predicción del recurso solar
- c. Influencia del cambio climático en el recurso solar a mediano y largo plazo
- d. Estudios de integración de la energía solar fotovoltaica en la red eléctrica
- e. Adaptación y desarrollo de tecnologías de celdas orgánicas
- f. Utilización de la energía solar fotovoltaica y térmica para uso residencial e industrial
- g. Estudios sociales y ambientales de la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos

TECNOLOGÍA EÓLICA

El Atlas Eólico del Ecuador (MEER, 2013) muestra un gran potencial a lo largo de la cordillera andina: Gracias a estudios de prefactibilidad en algunos de ellos

se sabe que existen factores de planta bastante elevados, lo que conduciría a que la generación eólica sea altamente competitiva.

Al igual que el caso de la energía solar, para el despliegue de la energía eólica es necesaria y prioritaria la validación del atlas con mediciones de estaciones terrestres.

Otro punto destacable es la exitosa experiencia de contar con un parque eólico por encima de 2.700 msnm, lo cual representa un banco de pruebas muy conveniente para el desarrollo de esta tecnología en condiciones similares, tanto dentro como fuera del país.

Además, debe analizarse la integración de la energía eléctrica de origen eólico en la red eléctrica, para lo cual es necesario el desarrollo de métodos de predicción avanzados mediante modelos matemáticos, físicos, estadísticos o sus combinaciones. Esto permitirá una integración y un uso seguro de la energía generada en la matriz energética nacional.

Las oportunidades de investigación más relevantes en este campo son:

- a. Validación del atlas eólico con mediciones terrestres
- b. Técnicas de medición y predicción del recurso eólico

- c. Optimización de la implantación de los parques eólicos
- d. Sistemas automáticos de control, monitoreo y gestión de los parques eólicos, especialmente en zonas de altura y con condiciones extremas
- e. Integración en la red eléctrica
- f. Estudios socioeconómicos y ambientales de la energía eólica
- g. Diseño y fabricación de aerogeneradores de pequeña y mediana escala

SISTEMAS HÍBRIDOS

En muchas ocasiones, la solución óptima para abastecer una determinada demanda de electricidad pasa por la combinación de diversas fuentes de energía, que pueden ser renovables o de origen fósil. Conocer cuál es su combinación óptima requiere el uso

de potentes herramientas de optimización y del conocimiento en detalle de los recursos energéticos disponibles, así como los perfiles de demanda.

Los principales aspectos a investigar en este campo son:

- a. Desarrollo de herramientas y metodologías para el diseño óptimo de los sistemas híbridos
- b. Optimización económica y ambiental de los sistemas híbridos de generación
- c. Desarrollo de metodologías para la generación de archivos meteorológicos tipo
- d. Análisis de integración de las diferentes fuentes energéticas

BIOENERGÍA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Dada la gran diversidad de fuentes de bioenergía, existen numerosas tecnologías para generar electrici-



Foto: <http://www.chilesustentable.net/wp-content/uploads/2015/07/Geotermia.jpg>

dad a partir de estas. La más común es la combustión directa de la biomasa para la generación de vapor que activa una turbina en la que se acopla el generador eléctrico. En el caso de los motores de combustión interna, se pueden utilizar fácilmente biocombustibles líquidos o gaseosos. Estos biocombustibles pueden proceder de procesos de gasificación/pirolisis de biomasa sólida o digestión anaeróbica.

Algunas líneas de investigación en bioenergía para generación eléctrica son:

- a. Recursos y potencial de usos de la bioenergía para la generación eléctrica
- b. Procesos de conversión termoquímica
- c. Procesos de conversión bioquímica
- d. Estudios de impacto ambiental
- e. Cogeneración (generación simultánea de electricidad y calor)



- f. Integración con sistemas de generación convencionales
- g. Integración con otras fuentes de energía renovables

GEOTERMIA

En el Ecuador, la energía geotérmica actualmente está en fase de exploración. En ninguna de las áreas prospectivamente interesantes se ha llegado hasta la fase de perforación con el fin de determinar con exactitud el recurso potencial aprovechable. A diferencia de otras fuentes de energía renovable, la identificación y evaluación del potencial geotérmico requiere de elevadas inversiones en la etapa de exploración, lo que hace necesario acceder a capitales de riesgo. Por esto, el desarrollo de esta fuente de energía renovable es menos competitivo y, por lo tanto, su desarrollo en el país es prácticamente nulo (Peláez y Espinoza, 2015).

Las opciones más importantes para investigar en esta tecnología se detallan a continuación:

- a. Estudios de recurso y potencial geotérmico
- b. Técnicas de medición del recurso geotérmico
- c. Utilización de la energía geotérmica de baja entalpía para aplicaciones industriales, residenciales y comercio

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE

El transporte es un servicio básico para las personas y la economía del país, pero también es el mayor consumidor de energía. En el 2013, el transporte terrestre demandó 84% de la energía de este sector, seguido por el transporte marítimo, con 10%, y el transporte aéreo, con 6%. Esta realidad también provoca que el transporte sea el primer sector en contaminación del aire y uno de los mayores emisores de GEI. Además, es necesario considerar que aproximadamente la mitad de los combustibles que se utilizan en el sector transporte se deben importar, con el consiguiente efecto negativo en la balanza comercial del país.

Aunque existen numerosas posibilidades tecnológicas para la reducción del consumo de energía en este sector, resulta evidente que también son necesarias investigaciones socioeconómicas para una transición de un modelo de transporte de personas basado en el vehículo privado a un modelo basado en el transporte

público masivo. En el caso de las mercancías, también se deben promover estudios para la optimización de sistemas de transporte masivos existentes y la propuesta de nuevos sistemas, especialmente entre los centros logísticos más importantes del país.

Entre las soluciones tecnológicas destacan: vehículos eléctricos ligeros; sistemas eléctricos de transporte masivo de personas como ferrocarril, tranvía, trolebús y metro; gestión inteligente del tránsito, y, finalmente análisis de combustibles alternativos en medios de transporte terrestre, marítimo y aéreo.

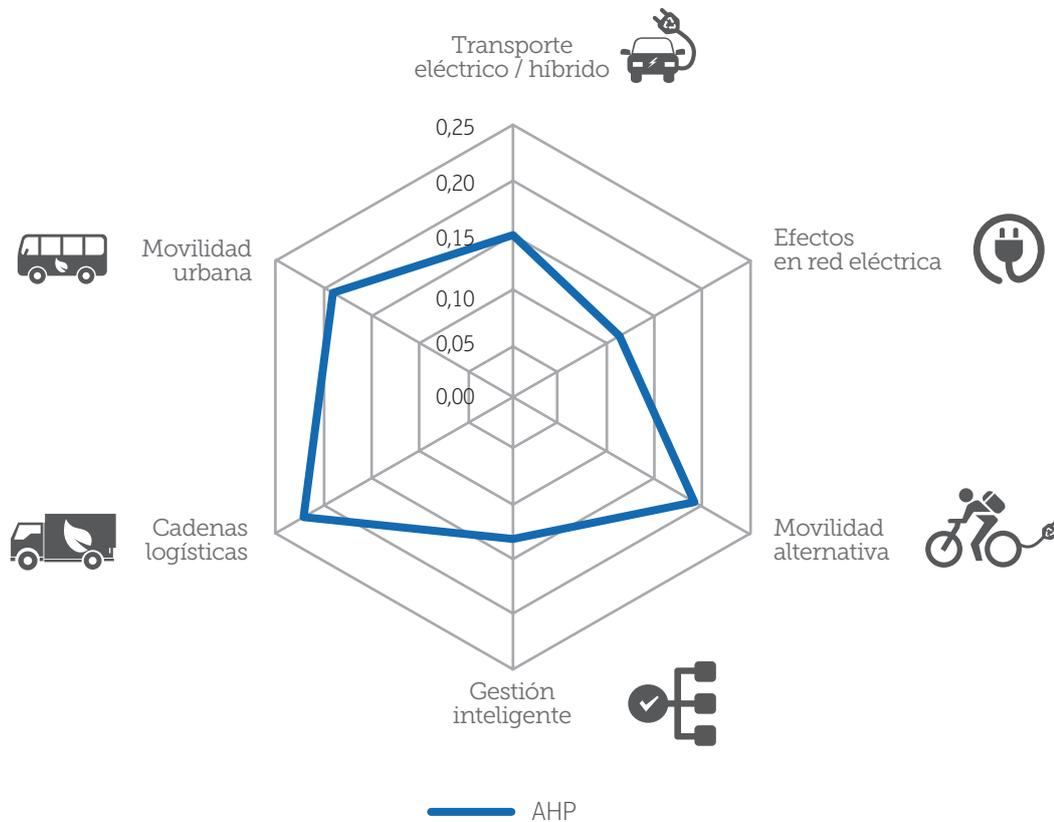
Entre las soluciones no tecnológicas podemos destacar el desarrollo de iniciativas y plataformas para el uso compartido de vehículos; estudios de cadenas logísticas; estudios de la movilidad urbana; estudios para la promoción del uso de la bicicleta, especialmente en entornos urbanos, y estudios urbanísticos

para la implantación de sistemas de transporte alternativos.

A continuación se resumen los temas de investigación más pertinentes en el sector transporte:

- a. Sistemas eléctricos e híbridos de transporte
- b. Efectos sobre la red eléctrica de la introducción masiva de transporte eléctrico
- c. Sistemas de movilidad alternativa e integración con los sistemas masivos de transporte
- d. Gestión inteligente del tránsito
- e. Estudios de las cadenas logísticas
- f. Estudios de la movilidad urbana

FIGURA 94: Priorización mediante el método AHP de las sublíneas de investigación de la línea Eficiencia Energética en el Transporte²⁷



²⁷. Dado que hay muy pocos proyectos en esta línea de investigación, el gráfico presenta únicamente los resultados obtenidos en el AHP.



Foto: Birmingham News Room.

La Figura 94 muestra los resultados de la priorización aplicando la metodología AHP para diversas sublíneas en el campo de la eficiencia energética en el transporte. Las sublíneas prioritarias son los estudios de cadenas logísticas, movilidad urbana, y transporte eléctrico e híbrido. Luego se encuentran la movilidad urbana, gestión inteligente y efectos sobre la red eléctrica.

No se muestran los datos de la investigación actual debido al relativamente reducido número de proyectos (cinco), de los cuáles tres corresponden a transporte eléctrico, uno a cadenas logísticas y otro se relaciona con el impacto de los centros de servicio automotriz.

COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

El Ecuador es un gran productor de biomasa debido a que dispone de ingentes recursos agrícolas, forestales y pecuarios de cuyos desechos se puede obtener suficiente materia orgánica para producir energía limpia y renovable. Su óptimo aprovechamiento dependerá, en gran medida, de la información que se disponga respecto a la localización de dichos recursos, la cantidad de residuos orgánicos disponibles, las condiciones de los cultivos (en el caso de la agricultura) y el potencial calórico determinado (Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad et al., 2014).

En el Atlas de Bioenergía del Ecuador (Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad et al., 2014) se han identificado tres sectores con po-

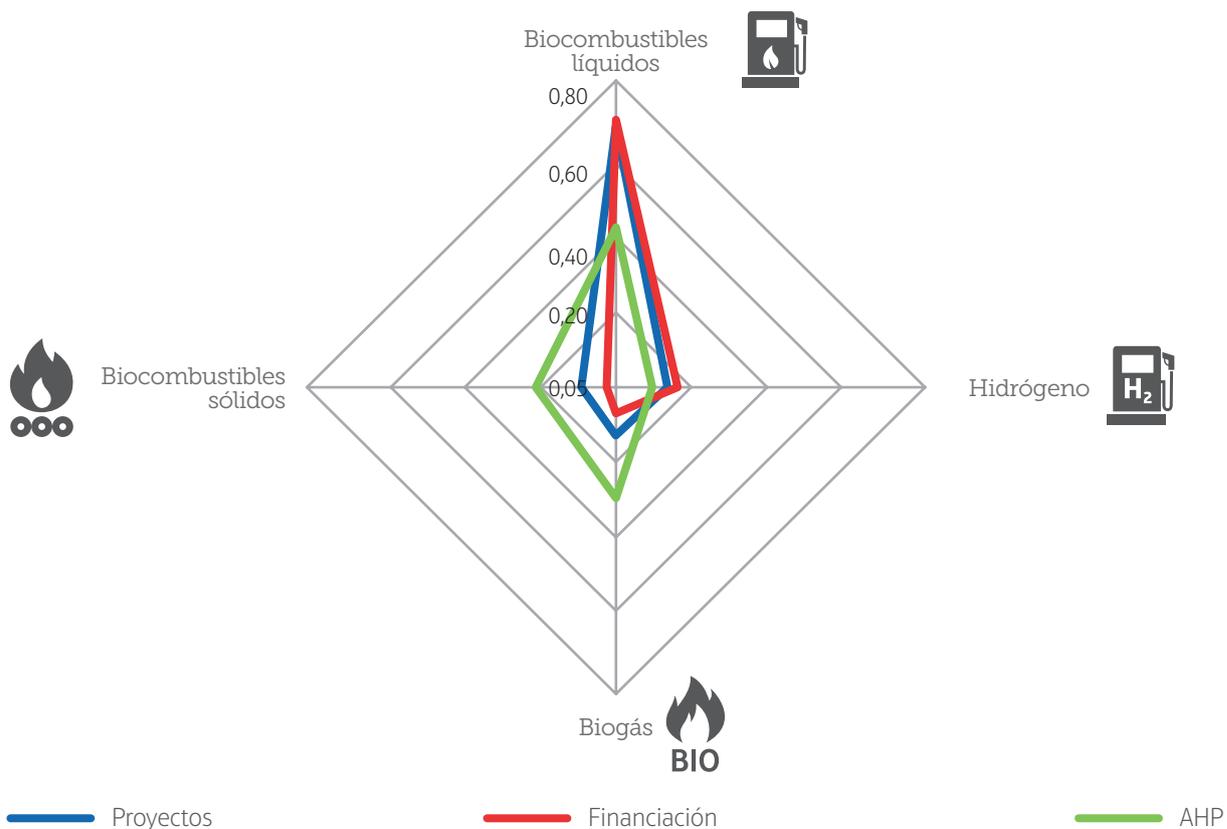
tencial bioenergético: en primer lugar está el agrícola, con productos como el arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, maíz duro, palma africana, palmito, piña y plátano. El segundo es el sector pecuario, con las actividades avícola, porcina y vacuna, y el tercero es el forestal.

Las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos son dos básicamente: a) mediante el empleo de procesos de conversión de la energía de la biomasa en calor y/o electricidad, b) mediante la conversión en otra forma de energía en estado líquido (por ejemplo, etanol, biodiesel, aceite de pirolisis, etc.) o gaseoso (tales como gases de síntesis o biogás).

Los procesos para obtener energía a partir de la biomasa se dividen en termoquímicos y bioquímicos. Los procesos termoquímicos abarcan combustión, torrefacción, gasificación, pirolisis, licuefacción, extracción con agua caliente y explosión con vapor. Los procesos bioquímicos incluyen la fermentación, la digestión anaeróbica (DA) y la hidrólisis enzimática (Peláez y Espinoza, 2015). En los últimos años se están desarrollando técnicas avanzadas que permiten convertir la celulosa, la lignina y otros productos procedentes de residuos vegetales en combustibles líquidos, de tal modo que se pueden evitar los cultivos energéticos que compiten con los cultivos para usos alimentarios.

Asimismo, resulta relevante realizar estudios de las cadenas logísticas de suministro de combustibles para reducir el consumo de energía en su transporte, y los correspondientes análisis de impacto socioeconómico y ambiental.

FIGURA 95: Relevancia actual por proyectos y por nivel de financiación y priorización mediante el método AHP de las sublíneas de investigación de la línea de combustibles alternativos



La Figura 95 muestra los resultados de la priorización aplicando la metodología AHP para diversas sublíneas en el campo de los combustibles alternativos, comparados con el número relativo de proyectos y el nivel de financiación en la actualidad. Los resultados de la investigación mantienen la tendencia actual, pero con un peso relativo de los biocombustibles líquidos e hidrógeno más bajos, y un peso relativamente más elevado en el biogás y los biocombustibles sólidos.

Las sublíneas de investigación en este sector se indican a continuación:

- Recursos y potencial de usos de la bioenergía y subproductos
- Procesos de conversión bioquímica
- Procesos de conversión termoquímica
- Técnicas para la producción de recursos bioenergéticos (agrícolas, forestales, biotecnología y otros)
- Análisis de las cadenas logísticas de suministro de biocombustibles

- Investigación para el escalamiento de sistemas de producción de biocombustibles
- Estudios socioeconómicos y ambientales de la bioenergía

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD

El incremento considerable en el aporte hidroenergético hará que el uso de la electricidad en el país cambie en el futuro y se empiece a incursionar en sectores tradicionalmente abastecidos por combustibles fósiles, tales como el transporte o la cocción. Este nuevo reto para la hidroelectricidad y otras fuentes de energía renovable deberá acompañarse del uso de nuevas tecnologías que abarquen los campos de la generación, el control, la gestión de la demanda y las comunicaciones. En enero de 2013, el MEER, con el apoyo de varios actores del sector, presentó el Programa de Redes Inteligentes Ecuador (REDIE), que busca incorporar un nuevo modelo de gestión del sistema eléctrico, sustentado en tecnologías avanzadas de

medición, monitoreo y comunicación. Este modelo involucraría desde la producción hasta el consumo de la energía eléctrica (Peláez y Espinoza, 2015). Entre los objetivos del programa se incluyen optimizar para planificar y operar los sistemas eléctricos, mejorar la calidad de servicio de energía y la capacidad de respuesta ante imponderables, y conocer la forma en que los clientes consumen la energía eléctrica. Esta modernización del sistema eléctrico ecuatoriano permitirá tener un registro en tiempo real de todo lo que sucede en sus elementos, desde las fuentes de generación hasta los usuarios finales, lo cual también forma parte del proceso de eficiencia energética liderado por el MEER.

A menor escala, existen también avances en la investigación sobre redes inteligentes en algunas universidades del país. Por ejemplo, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca desarrolla un proyecto de investigación denominado “Control Óptimo de Demanda y Generación de una Micro-red eléctrica mediante Sistema de Control de Red”, basado en teoría de juegos. Esta misma universidad tiene proyectado, para finales de 2015, inaugurar en su campus de Balzay (Cuenca), una microrred eléctrica inteligente destinada a actividades de investigación y docencia en energía renovable y eficiencia energética. La instalación podrá conectarse con la red pública y

contará con fuentes de generación renovable (fotovoltaica, eólica, microhidroeléctrica) y no renovable (generadores diésel y a gas) y varios sistemas de almacenamiento, así como sistemas de medición, control y comunicación.

Las sublíneas de investigación destacables en la distribución de electricidad son:

- a. Calidad de la electricidad
- b. Integración de renovables
- c. Redes eléctricas inteligentes
- d. Generación distribuida
- e. Eficiencia energética en electricidad
- f. Electrónica de potencia
- g. Herramientas de planificación
- h. Transmisión DC (corriente continua)
- i. Almacenamiento y pilas de combustible
- j. Integración del vehículo eléctrico en la red

FIGURA 96: Relevancia actual por proyectos y por nivel de financiación y priorización mediante el método AHP de las sublíneas de investigación de la línea de distribución de electricidad

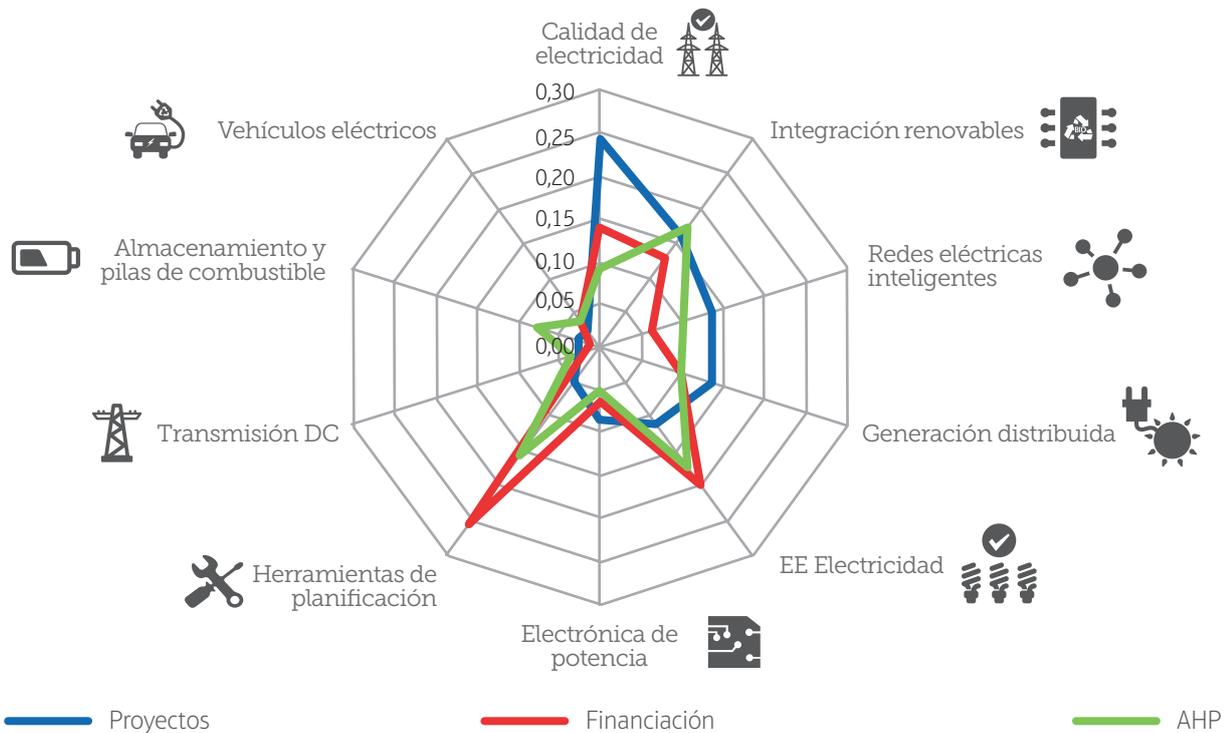




Foto: www.flickr.com/photos/sandialabs/5856870893/in/album-72157622745855769/

La Figura 96 muestra los resultados de la priorización aplicando la metodología AHP para diversas sublíneas en el campo de la distribución de electricidad, comparados con el número relativo de proyectos y el nivel de financiación en la actualidad. De acuerdo con los resultados de la priorización, las tres sublíneas más importantes son a) la integración de energías renovables en la red eléctrica, b) el desarrollo de herramientas de planificación y c) la eficiencia energética en la transmisión y distribución de electricidad. Después le siguen redes eléctricas inteligentes, generación distribuida, calidad de la electricidad y almacenamiento y pilas de combustible. En último lugar se encuentran la electrónica de potencia, la integración de los vehículos eléctricos en la red y la transmisión en corriente continua (DC). Los resultados de la priorización coinciden de forma aproximada con el nivel de financiación de los proyectos. Sin embargo, no sucede lo mismo con el número de proyectos, en los que predomina la calidad de la electricidad y, a mayor distancia, la integración de renovables, redes eléctricas inteligentes y generación distribuida.

GOBERNANZA ENERGÉTICA

Las tecnologías energéticas por sí solas son insuficientes para abordar los retos energéticos y ambientales a mediano y largo plazo. Por ello resulta también primordial investigar los temas relacionados con la gobernanza energética, que incluye todas las interacciones del sistema energético con la sociedad y el medio ambiente. Se trata de una disciplina

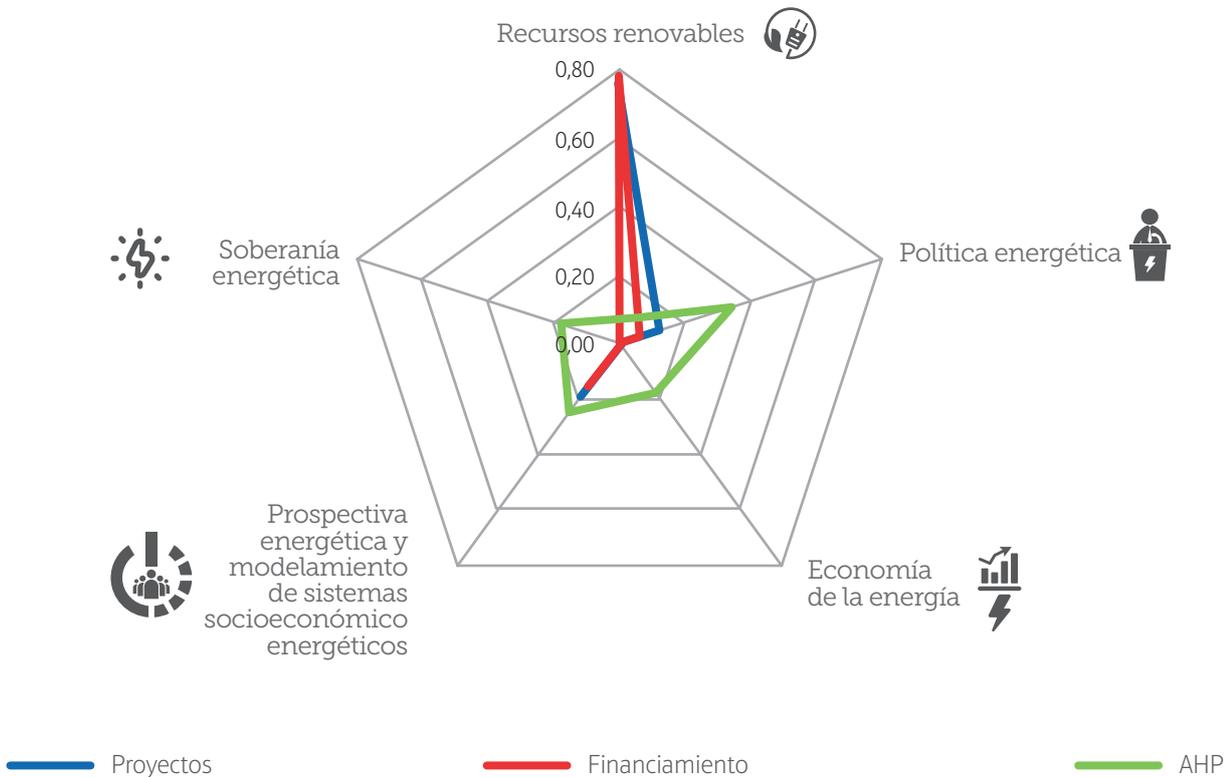
transversal que abarca temas de política energética, ambiente, soberanía energética, aspectos sociales y modelización socioeconómica de sistemas energéticos, considerando el comportamiento energético de la sociedad y la economía.

A continuación se detallan las líneas más relevantes a investigar en el campo de la gobernanza energética:

- a. Recursos renovables
- b. Política energética
- c. Economía de la energía
- d. Prospectiva energética y modelamiento de sistemas socioeconómico-energéticos, considerando aspectos ambientales
- e. Soberanía y seguridad energética

La Figura 97 muestra los resultados de la priorización de estas sublíneas junto con la importancia relativa respecto al número de proyectos y nivel de financiación. Se observa que se debería priorizar, en primer lugar, la investigación en política energética. En segundo término, con valores similares, se deberían dedicar esfuerzos a estudios sobre gobernanza energética y modelamiento de sistemas socioeconómico-energéticos, economía de la energía y soberanía energética. Al final aparecen los estudios y análisis de recursos renovables, que justamente es la línea que en la actualidad presenta un mayor número de proyectos y nivel de financiación respecto al resto de sublíneas consideradas.

FIGURA 97: Relevancia actual por proyectos y por nivel de financiación y priorización mediante el método AHP de las sublíneas de investigación de la línea de gobernanza energética



EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA

El sector industrial ha experimentado un aumento en el consumo de energía de 50%, desde el año 2007 hasta el 2013, pasando de 12.000 kBEP a 18.000 kBEP. Las fuentes energéticas más importantes, y que han experimentado un aumento más elevado, son el diésel y la electricidad. El principal sector industrial responsable de este aumento es el sector manufacturero, destacando la industria agroalimentaria (elaboración de bebidas y lácteos; camarón, productos cárnicos, pescado, banano, etc.) y, en menor medida, el cultivo y procesado de flores naturales, la industria textil y de cueros, los productos de madera, los productos plásticos, los productos de metal y los productos de papel.

Buena parte de la energía consumida en estas industrias se suele dedicar a procesos térmicos de baja temperatura como el secado, el lavado, la pasteurización, la esterilización y los tratamientos térmicos. Excepto en el caso de la esterilización, que requiere temperaturas aproximadas a 150 °C, el resto de procesos requieren temperaturas relativamente bajas, entre los 40 y los 90 °C. Estos márgenes de temperatura de operación resultan muy apropiados para la tecnología solar térmica, aunque su uso está poco

extendido en el país por los bajos costos de la energía convencional y la falta de personal capacitado en este campo. Dadas estas necesidades y el recurso solar relativamente importante en el país, una línea de investigación interesante es la integración de sistemas solares térmicos en procesos industriales.

También se puede aumentar la eficiencia energética en este sector con diseños de calderas de combustión eficiente, análisis de la integración de sistemas de recuperación de calor industrial, optimización de sistemas de control e integración de sistemas de generación simultánea de calor y electricidad (cogeneración).

Las sublíneas prioritarias a investigar en este sector son:

- Sistemas de combustión eficiente
- Valorización energética de residuos
- Sistemas de recuperación de calor industrial
- Diseño y optimización de sistemas de control
- Integración de sistemas de cogeneración en aplicaciones industriales



- f. Integración de energías renovables, especialmente solar térmica para procesos industriales

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS DEL SECTOR COMERCIAL Y RESIDENCIAL

Este sector también ha experimentado un crecimiento sostenido de la demanda energética en la última década. En el caso del sector residencial domina el consumo de GLP sobre la electricidad, que sobre todo se utiliza para cocinar alimentos y la preparación de agua caliente sanitaria. Actualmente, el Gobierno Nacional impulsa la sustitución de cocinas de GLP por cocinas de inducción eléctrica. En este sentido, es de alta importancia estudiar los efectos de la implementación de este programa en la red eléctrica.

Para la preparación de agua caliente sanitaria, una opción tecnológica muy adecuada es la solar térmica de baja temperatura, aunque su desarrollo todavía no es relevante debido a los bajos precios de la energía, la falta de información y la carencia de una industria local que fabrique productos de calidad. Por ello, también resulta interesante investigar opciones de integración arquitectónica con tecnologías termosolares en los edificios.

La electricidad, tanto en el sector doméstico como en el comercial, se utiliza para activar equipos eléctricos, iluminación y equipos de aire acondicionado. También es conocido que muchos edificios no presentan las condiciones de comodidad adecuadas debido

a la mala calidad de la construcción, materiales de construcción no apropiados y condiciones climáticas locales. Aunque una forma de suplir esta carencia es mediante sistemas activos, tanto para calefacción como para refrigeración, estos conllevan un elevado consumo energético. Por ello, resultan necesarios criterios de diseño bioclimáticos y mapas de zonificación climática adaptados a la realidad del Ecuador para evitar o reducir el consumo de energía de estos sistemas. También resulta interesante investigar sobre sistemas de iluminación natural, así como analizar las opciones de integrar sistemas de generación eléctrica basados en energías renovables, como la solar fotovoltaica y los sistemas de control inteligentes.

Las sublíneas prioritarias a investigar en este sector son:

- Criterios para el diseño bioclimático en el Ecuador
- Estudios de confort para el diseño de edificios
- Elaboración de mapas de zonificación climática
- Análisis y desarrollo de materiales locales de construcción
- Integración de las energías renovables en la edificación
- Diseño de sistemas de iluminación natural
- Sistemas de control inteligentes
- Electrodomésticos eficientes





CONCLUSIONES

Utilizando las metodologías de *technology road-mapping*, complementada con Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se priorizaron las líneas de investigación más relevantes tomando en consideración tres escenarios de análisis que son: la soberanía energética (el potencial que tiene la I+D+i para reducir la dependencia energética externa ya sea en forma de electricidad o combustibles); el desarrollo tecnológico local (el potencial que tiene la I+D+i para el desarrollo tecnológico en áreas de conocimiento, actividades de investigación y experiencia local), y la reducción de GEI derivados del aprovisionamiento y consumo energético (definido como el potencial del desarrollo e implementación tecnológica para la reducción de emisiones de GEI).

Una vez que se ha analizado el contexto energético, las actividades científicas y tecnológicas (a escala global, regional y nacional), así como los tres escenarios de decisión, se considera que las líneas prioritarias de investigación corresponden a: tecnologías de generación eléctrica, eficiencia energética en el transporte y combustibles alternativos.

La línea de investigación en tecnologías de generación eléctrica resulta prioritaria porque considera

las capacidades tecnológicas e investigativas existentes en el sector académico, principalmente en la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. Además, las tecnologías de generación eléctrica contribuyen al uso eficiente de los recursos energéticos (solar, eólico, biomasa) y a la reducción de la contaminación producida en la generación termoelectrónica debido a la quema de combustibles fósiles. En este sentido, según la priorización propuesta, es preponderante la investigación en hidroenergía, eficiencia en la generación energética, energía solar fotovoltaica y eólica.

La eficiencia energética en el transporte es una línea muy poco desarrollada en el sector académico nacional. Tanto la ejecución de proyectos como el financiamiento recibido dan cuenta de esta realidad. Sin embargo, su prioridad radica en el potencial para mejorar la soberanía energética (mediante la reducción de las importaciones de combustibles), reducir el consumo energético y contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la I+D+i en lugar de generar tecnologías, debe orientarse al estudio y diseño de medidas y estrategias que mejoren los sistemas de transporte



(especialmente terrestre), faciliten la introducción de la movilidad eléctrica, movilidad alternativa, mejoren la gestión del tránsito, entre otras.

La I+D+i en combustibles alternativos analiza la gran demanda de combustibles principalmente en el sector transporte sin dejar de considerar su utilización en la industria y la generación eléctrica. El uso de combustibles alternativos representa una oportunidad de reducir las importaciones de derivados del petróleo (soberanía energética), utilizar fuentes que principalmente constituyen desechos y reducir las emisiones de GEI al reemplazar los combustibles fósiles por esta fuente de energía renovable. Además, el sector académico local cuenta con experiencia y capacidades generadas en esta línea, propiciadas por la disponibilidad de la biomasa en el Ecuador y su potencial de aprovechamiento energético.

Para el caso de la línea de gobernanza energética, cerca del 50% de los académicos encuestados consideran que se necesita investigar en esta temática, como un paso necesario para la correcta implementación de medidas, estrategias y tecnologías de eficiencia energética y energías renovables.

La línea de investigación en tecnologías para la distribución y transmisión de electricidad tiene gran importancia para el sector académico, el cual cuenta con capacidad y experiencia en este ámbito. A pesar de que su aporte a la soberanía energética y la reducción de emisiones de GEI es relativamente limitado, especialmente en términos comparativos con las demás líneas de investigación, la modernización y desarrollo tecnológico en los sistemas de distribución y transmisión son claves para la correcta implementación de las tecnologías de generación no convencionales.

Por otra parte, la evidencia encontrada muestra que el 20% de proyectos del sector académico son financiados por la industria privada, sin embargo, la realización de actividades científicas en cooperación con la industria todavía es limitada. La industria es el mayor consumidor de electricidad y un importante consumidor de combustibles por lo que existen un alto potencial para el desarrollo científico y tecnológico que permita mejoras en la eficiencia energética de este sector.

Para complementar el análisis, es necesario que se profundice en la investigación de las demandas y perspectivas del sector industrial sobre este tema.



Esto podría dar paso a cambios en la priorización propuesta, lo cual queda como un punto a realizar en futuras actualizaciones de este estudio.

Finalmente, la I+D+i en eficiencia energética en la residencia y el comercio ocupa actualmente el último lugar de prioridad. La escasa realización de investigación desde la academia, así como su bajo aporte a la soberanía energética y el limitado potencial para la reducción de emisiones de GEI son los motivos por los cuales esta línea tiene menor puntaje de prioridad que las demás. Sin embargo, algunas implementaciones tecnológicas y medidas de eficiencia energética analizadas dentro de otras líneas también se pueden integrar como eficiencia energética en la residencia y el comercio; tal es el caso de la introducción de tecnologías de energía renovable de uso doméstico (solar fotovoltaica, solar térmica), redes inteligentes, calidad de la energía, estudios socio-económicos de la energía, entre otros. Bajo estas consideraciones, se evidencia que existe un alto potencial para el desarrollo de investigación en este ámbito, si se mejora la cooperación entre el sector de la construcción y la academia.

Un ejercicio interesante resulta de retirar del análisis las líneas de eficiencia energética en transporte y tecnologías de generación eléctrica dado que son las que tienen una marcada prioridad. Esto arroja como resultado que la línea de investigación en combustibles alternativos se

vuelve la de mayor prioridad, mientras que las demás líneas quedan prácticamente balanceadas entre ellas.

La eficiencia energética residencial y comercial, y la eficiencia en la industria mejoran notablemente sus niveles de prioridad. Una interpretación de estos resultados es que, exceptuando las líneas de investigación relacionadas con los combustibles fósiles y la generación eléctrica, el resto de líneas son complementarias entre sí y tienen un efecto sinérgico para lograr el objetivo común de alcanzar y mantener la soberanía energética, desarrollar tecnología local y reducir las emisiones asociadas a la producción y uso de la energía.

Como conclusión final se puede mencionar que la metodología de AHP es adecuada para abordar el problema de priorización de las actividades de I+D+i en el contexto de las energías renovables y la eficiencia energética. Por ello este estudio puede constituir un insumo para orientar la I+D+i en el ámbito energético con miras a potenciar la introducción de la energía renovable y la eficiencia energética en el país. Esto servirá para la generación y puesta en marcha de actividades científicas así como para la toma de decisiones para la implementación de tecnologías, medidas e incentivos que permitan hacer más eficientes la producción y el consumo de energía, y la utilización de diversas fuentes energéticas locales.





RECOMENDACIONES

Las líneas de investigación en tecnologías de generación eléctrica y combustibles alternativos pueden orientarse al desarrollo tecnológico local, dadas las capacidades tecnológicas locales y la experiencia investigativa de la academia en el Ecuador. Otras líneas como la investigación en eficiencia energética en transporte y en la industria, por el contrario, no deberían orientarse al desarrollo de tecnología, sino más bien a la investigación y desarrollo de medidas, mecanismos, estrategias de implementación y otros, que permitan lograr la introducción de prácticas adecuadas, transferencia y adaptación tecnológica y mejorar los índices de eficiencia energética en estos sectores.

La I+D+i en eficiencia energética y energía renovable debe estar enfocada en la generación de proyectos transversales e integradores, evitando que los esfuerzos científicos lleguen a soluciones aisladas. Esto es particularmente importante para las líneas de investigación en distribución de electricidad, eficiencia energética en la industria, eficiencia energética residencial y comercial y gobernanza energética, dado que estas líneas tienen prioridades muy similares, por lo que en forma conjunta generarían mejores y mayores oportunidades para alcanzar los objetivos planteados de soberanía energética, reducción de las emisiones de GEI y desarrollo tecnológico local.

En el presente estudio se adoptó un alcance nacional, por lo que puede desagregarse tomando en consideración las características y necesidades específicas regionales o locales. Tomando en cuenta información detallada

sobre condiciones sociales, climáticas, hábitos de uso y consumo energético por región y líneas específicas de investigación, esto podría modificar la priorización propuesta logrando mayor detalle a escala local.

En posteriores actualizaciones de este estudio se deben integrar las opiniones y perspectivas del sector público en cuanto a políticas, planes, programas y proyectos gubernamentales para la diversificación de la matriz energética y cambio de la matriz productiva nacional. Por otra parte, es necesario profundizar el análisis del sector industrial, con el fin de identificar necesidades y expectativas de I+D+i con potencial de contribuir al mejoramiento de la eficiencia y competitividad de este sector. Esto permitiría lograr una visión integradora a la propuesta de priorización.

De forma complementaria a los resultados logrados con este estudio, es necesario que se profundice en el análisis e implementación de mecanismos efectivos para la transferencia de conocimiento y tecnología generada a través de la I+D+i, así como para el fomento del uso y la apropiación tecnológica por parte de los usuarios finales.

Dado que la generación de conocimiento y tecnología, así como las necesidades sociales son dinámicas, es necesario que los estudios de priorización y planificación de la actividad científica se conviertan en un proceso continuo. Por esto se recomienda la actualización de este estudio cada cinco años.





BIBLIOGRAFÍA

- ADRA. (2013). Adopción de la tecnología de cocinas mejoradas y empoderamiento para la mejora de la calidad de vida en comunidades rurales. Quito: ADRA ECUADOR.
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (s.f). Recuperado el 2015 de 12 de 17, de <http://www.acee.cl/areas/transportel>.
- Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. (28 de abril de 2016). Producción Anual. Recuperado el 28 de abril de 2016, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/produccion/>.
- AIHE. (2015). El petróleo en cifras 2014. Quito: Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador (AIHE).
- Beate, B. (2010). Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador, informe técnico preparado para el MEER. Quito.
- Berndes, G., Hoogwijk, M. y van der Broek, R. (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass y Bioenergy*, 25, 1 - 28.
- BID. (2013). Repensemos nuestro futuro energético. Un documento de discusión sobre energía renovable para el Foro Regional 3GFLAC. Banco Interamericano de Desarrollo - BID.
- Bloomberg Energy Finance. (2014). Clean energy investment – Q4 2013 fact pack. Bloomberg Energy Finance.
- Canseco, M. (julio de 2010). Energías renovables en América Latina. Madrid.
- Carvajal, J. (2012). Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Energías Renovables para el Ecuador. Quito.
- Castro, C. d., Mediavilla, M., Miguel, L. j. y Frechoso, F. (2013). Global solar electric potential: A review of their technical and sustainable limits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 824-835.
- Castro, C., Mediavilla, M., Miguel, L. J. y Frechoso, F. (2011). Global wind power potential. *Energy policy*, 6677-6682.
- CEPAL. (2013). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CEPAL. (2014). Eficiencia energética y movilidad en América Latina y el Caribe. Una hoja de ruta para la sostenibilidad. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cevallos, J. (2015). Estimación del consumo de combustibles en el transporte terrestre en Ecuador, documento interno de trabajo. Quito: Centro de Prospectiva Estratégica (CEPROEC), Instituto de Altos Estudios Nacionales, IAEN, Ecuador.
- Comisión Europea. (2012). Energy Efficiency Status Report. Luxemburgo: European Union Publications Office.



- CONELEC. (2008). Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica. Quito: CONELEC.
- CONELEC. (2012). Plan Maestro de Electrificación 2012-2021. Obtenido de http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10132_PME20122021.pdf
- CONELEC. (2012). Plan Maestro de Electrificación 2012-2022. Obtenido de http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10132_PME20122021.pdf
- CONELEC. (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Quito: CONELEC.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008).
- Cremonese, A., Feroldi, M., Feiden, A., Teleken, J., Gris, D., Dieter, J., ... Antonelli, J. (2015). Current scenario and prospects of use of liquid biofuels in South America. *Renewable and sustainable energy reviews* (43), 352 - 362.
- DOE, D. o. (2015). Quadrennial Technology Review - An assessment of Energy Technologies and Research Opportunities. USA: DOE - Department of Energy of United States.
- Environmental Protection Agency. (s/f). Energy Star. Recuperado el 17 de 12 de 2015, de http://www.energystar.gov/index.cfm?c=new_homes.hm_indexys=mega
- EPCE. (2014). Plan Estratégico Nacional de la Empresa Pública de Cementos del Ecuador. Quito: EPCE.
- European Commission. (2015). Bioenergy and Latin America: A multi-country perspective. Luxemburgo.
- FAO. (2013). La bioenergía en América Latina y el Caribe. Santiago: FAO.
- FEPP. (2014). Energía Renovable Para Escuelas y Centros Comunitarios del Páramo Andino. Quito: FEPP.
- Ferreira, F. C. (2012). El transporte en el balance energético de los países miembros de OLADE. Quito.
- Gazzoni, D., Azurdia, I., Blanco, G., Estrada, C. y Carvalho, I. (2010). Energía sustentable en América Latina y el Caribe: Potencial para el futuro. México: ICSU-LAC CONACYT.
- Geothermal Energy Association. (2015). Annual U.S. y Global Geothermal Power Production Report. Geothermal Energy Association.
- Global Wind Energy Council - GWEC. (s.f). www.gwec.net. Recuperado el 2 de febrero de 2016
- Goldwind. (2016). 1.5 MW PMDD Wind Turbine.
- González Gordón, I. V. (2012). Incentivos económicos para potenciar el uso de calentadores solares en el Distrito Metropolitano de Quito. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.



BIBLIOGRAFÍA

- gtmresearch. (2016). Latin America PV Playbook - 2015 Year-in-Review and Q1 2016 Market Update. gtmresearch.
- Gupta, V., Tuohy, M., Kubicek, C., Saddler, J. y Xu, F. (2014). Bioenergy Research: Advances and Applications. Elsevier.
- Holm, A., Blodgett, L., Jennejohn, D. y Gawell, K. (2010). Geothermal Energy: International Market Update. Geothermal Energy Association.
- IDB. (2014). Study on the Development of the Renewable Energy Market in Latin America and the Caribbean. Obtenido de Interamerican Development Bank Publications: <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6711/Study-on-the-Development-of-the-Renewable-Energy-Market-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>
- IEA. (2009). Global Gaps in Clean Energy Research, Development and Demonstration. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2013). Technology Roadmap Wind Energy. Paris: International Energy Agency.
- IEA. (2015). Solar Heat Worldwide. IEA.
- INEC. (2011). Censo de población y vivienda 2010. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC).
- INEC. (2014). Encuesta de edificaciones 2013. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC).
- INER. (2015). Transporte. Obtenido de Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables: <http://www.iner.gob.ec/3-levantamiento-de-linea-base-para-investigacion-en-eficiencia-energetica-en-el-sector-transporte/>.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2013). Experiencias exitosas en bioeconomía. Montevideo: IICA.
- International Energy Agency. (2010). Transport energy efficiency. París: IEA.
- International Energy Agency. (2012). Bioenergy for heat and power technology roadmap. Paris: IEA.
- ISPRES. (2009). Research and Development on Renewable Energies: A global report on photovoltaic and wind energy. Paris.
- Liu, H., Masera, D. y Esser, L. (2013). World small hydropower development report 2013. United Nations Industrial Development Organization.
- Manzano, L. (Junio de 2011). Estado actual y perspectivas de la energía solar térmica en el Ecuador. Santiago, Chile.
- Manzano-Agugliaro, F. y otros. (2013). Scientific production of renewable energies worldwide: an overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134-143.

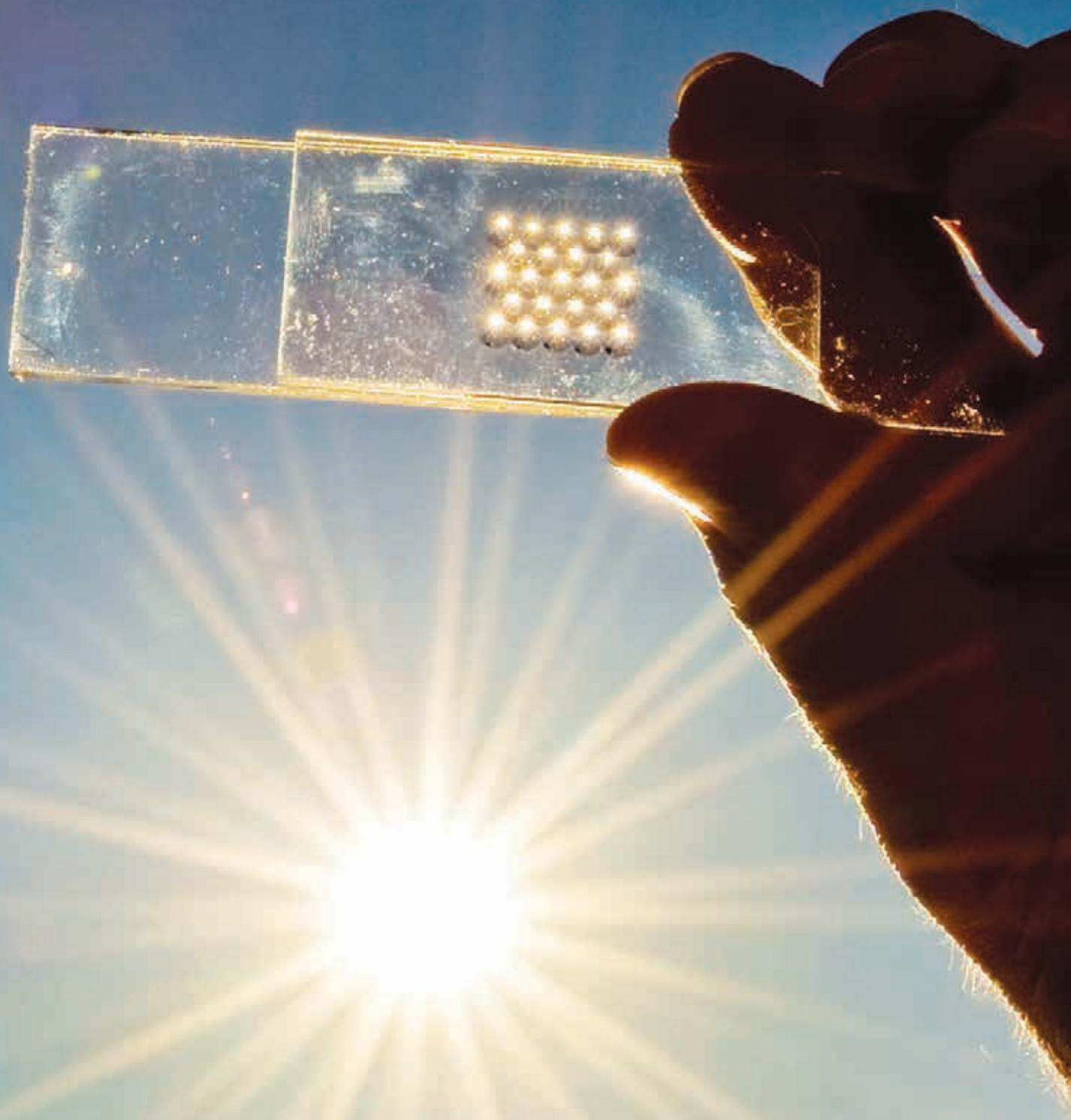


- MCPEC, MEER, INP. (2014). Atlas Bioenergético del Ecuador. Quito.
- MEER. (2013). Atlas Eólico del Ecuador. Quito.
- MEER. (2015). Cero combustibles fósiles en Galápagos. Obtenido de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable: <http://www.energia.gob.ec/cero-combustibles-fosiles-en-galapagos-2/>.
- MEER. (2015). Dirección de Eficiencia Energética. Obtenido de Eficiencia Energética Sector Industrial: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/>.
- MEER. (15 de Julio de 2015b). Electrificación rural con energías renovables. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de <http://www.energia.gob.ec/electrificacion-rural-con-energias-renovables/>.
- MEER. (Abril de 2015c). Rendición de cuentas 2014. Quito, Ecuador.
- MICSE. (2013). Balance Energético 2014. Quito.
- MICSE. (2014). Balance Energético Nacional. Quito.
- MICSE. (2014a). Balance Energético Nacional 2014, Año Base 2013. Quito: MICSE.
- MICSE. (2014b). Rendición de Cuentas 2013. Quito: MICSE.
- MICSE. (2015). Balance Energético Nacional 2015, Año Base 2014. Quito: MICSE.
- MINTUR. (2011). Boletín de estadísticas 2006-2010. Quito: Ministerio de Turismo.
- MINTUR. (2014). Boletín de estadísticas turísticas 2009-2013. Quito: Ministerio de Turismo.
- MTOP. (2011). Plan de Renovación Vehicular. Obtenido de Ministerio de Obras Públicas: http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/13-01-2012_Especial_RENOVA.pdf.
- Ni, J., Naveau, H. y Nyns, E. (1993). Biogas: exploitation of a renewable energy in Latin America. *Renewable Energy*, III (6), 763 - 779.
- OLADE. (15 de Julio de 2015). Sistema de Información Energética Regional. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de <http://sier.olade.org/default.aspx>.
- OLADE/BID. (1983). Memorias del I Seminario Latinoamericano de Geotermia. Quito: OLADE/BID.
- Peláez, M. y Espinoza Juan. (2015). Energías renovables en el Ecuador: Situación actual, tendencias y perspectivas. Cuenca.

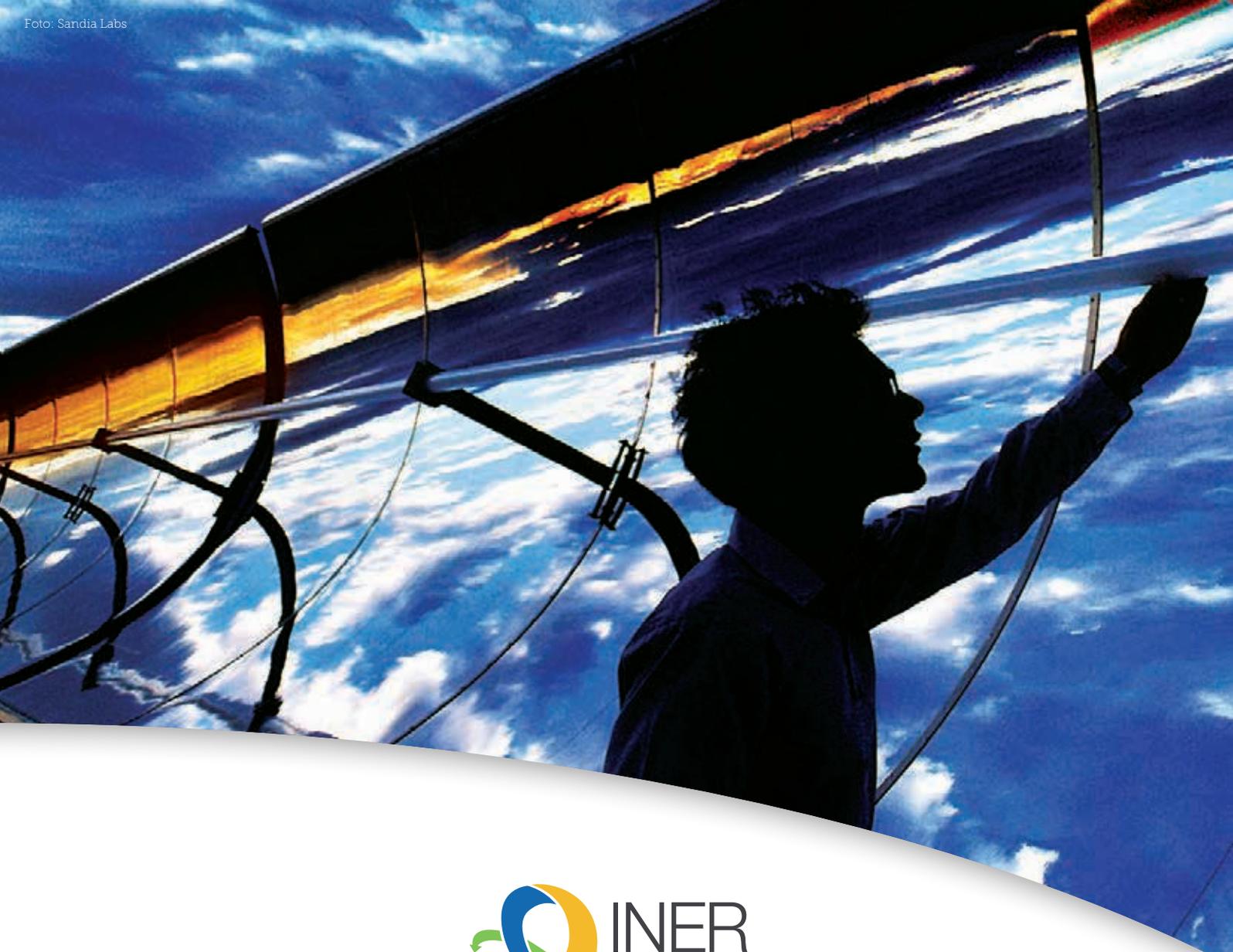


BIBLIOGRAFÍA

- Perzina, R., & Ramík, J. (2014). Microsoft Excel as a tool for solving multicriteria decision making. *Procedia Computer Science*(35), 1455 - 1463.
- Phaal, R., Farrukh, C. y Probert, D. (2004). Technology roadmapping. *Technological Forecasting & Social Change*, 71, 5 - 26.
- Regueiro, R. (2014). El desarrollo eólico en Brasil, España y Ecuador: reflexiones a partir del marco normativo. *Revista de Estudios Económicos y Empresariales*, 75-94.
- REN21. (2015). Renewable 2015 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
- RIAC. (2012). Señales de competitividad de las Américas. RIAC.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83 - 98.
- Sánchez Riofrío, J. L. (2013). Análisis de viabilidad de una posible sustitución del subsidio al gas por un subsidio a paneles solares térmicos en la ciudad de Quito. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- SENPLADES. (2013). Plan Nacional Para el Buen Vivir. Quito.
- Sheinbaum-Pardo, C. y Ruiz, B. (2011). Energy context in Latin America. *Energy* (40), 39 -46.
- Stieljes, L. (1985). Statistical and probabilistic approach to volcanic hazard for the location of geothermal wells and plant in Fournaise active volcanoes (Reunion Island). *International Symposium on Geothermal Energy*. Davis (USA).
- Tech4CDM. (2010). La energía eólica en Ecuador. Quito.
- Tissot, R. (2012). Latin America´s energy future.
- Tugrul, D. y Terry, O. (2008). Implementing technology roadmap process in the energy services: A case study of a government agency. *Technological Forecasting & Social Change* (75), 687 - 720.
- World Bank. (2015). World Bank Database. Recuperado el 15 de julio de 2015, de <http://data.worldbank.org/country/ecuador>.
- World Energy Council. (2013). World Energy Resources. Londres: World Energy Council.
- Wu, T., Hongmei, Z. y Xunmin, O. (2014). Vehicle Ownership Analysis Based on GDP per Capita in China: 1963–2050. *Sustainability* (6), 4877-4899.







Con el apoyo de:



Implementada por
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



ISBN 978-9942-8620-1-3



9 789942 862013