

Energía Marina en Chile

► Antonio Levy

Contenido

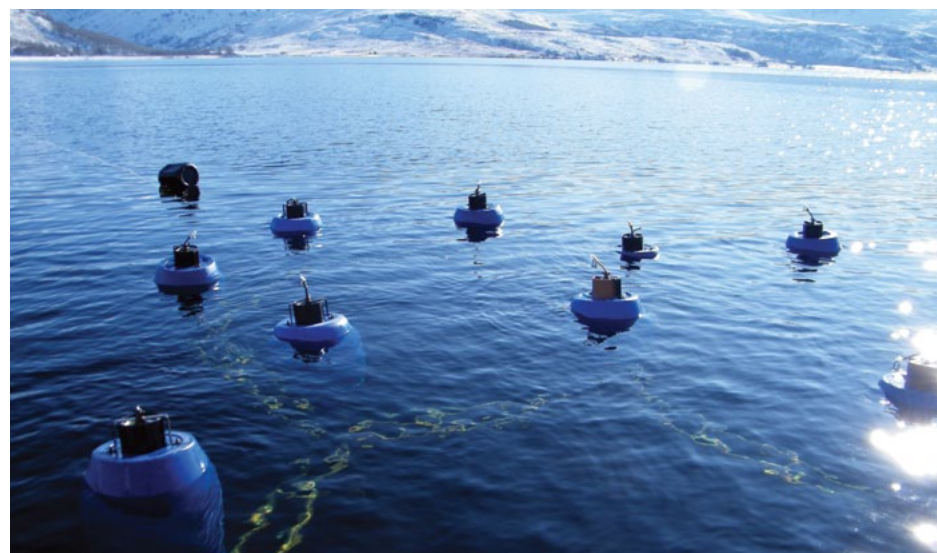
- 2 Historia reciente de Chile
- 2 Legislación para la energía limpia
- 3 Estrategia nacional de energía marina
- 4 Posibles grupos interesados en el desarrollo de la energía marina en Chile
- 6 El Canal del Chacao
- 6 Punta Arenas y la Región de Magallanes
- 7 Mecanismos de energía marina disponibles
- 8 Conceptos de proyecto en Magallanes
- 9 Conclusiones



Centro de Innovación Energética

La energía marina es reconocida, cada vez más, como una fuente de energía viable y en crecimiento. De acuerdo con las estimaciones, el potencial de generación eléctrica de la energía marina podría exceder por más de cuatro veces el consumo global actual¹. Otros estudios estiman que para el 2030, el potencial explotable de energía hidrocinética podría alcanzar 15 mil teravatios por hora (TWh), equivalente la mitad del consumo global proyectado para ese año². Incluso, las estimaciones conservadoras proyectan que la capacidad instalada futura de energía se incrementará siete veces en los próximos cinco años, alcanzando 5.5 GW para el 2017³.

Chile ha captado la atención de los promotores de la energía marina. Su larga línea costera, su poderoso oleaje y las corrientes generadas por las mareas (hasta 66kW/m y 5m/s, respectivamente)⁴ llevan a un estimado de más de 160 GW de recursos de energía mareomotriz, equivalente a



más de diez veces la capacidad instalada eléctrica del país. Obtener esta energía de los mares ayudará a atenuar la crisis energética que parece inminente para el país, producto del aumento de la demanda de energía, importaciones de energía poco fiables y las dificultades en aumentar la capacidad instalada hidráulica⁵.

¹ "Marine Energy in Chile". Documento de trabajo de Sergio Versalovic, Centro de Energía Renovable (CER), 2010. Cifra citada en Ecofys, 2009.

² Ibid., cifra tomada del PNUD.

³ "Hydrokinetic and Ocean Energy". Pike Research, 2012.

⁴ "Preliminary Site Selection, Chilean Marine Energy Resources". Investigación de Garrad Hassan, 2009.

⁵ Ibid.

Historia reciente de Chile

Entre el 2002 y el 2011, el consumo de energía de Chile creció aproximadamente de 42 mil GWh a 62 mil GWh, un incremento aproximado de 47%⁶. En el mismo período, la capacidad instalada de producción eléctrica creció más del 57%, de aproximadamente 10 GW a 16 GW⁷. En el 2009, 28 compañías generadoras, 5 compañías de transmisión y 37 compañías de distribución participaron en cuatro redes eléctricas:

- el [Sistema Interconectado del Norte Grande](#) (o SING);
- el [Sistema Interconectado Central](#) (o SIC);
- el [Sistema Aysén](#);
- el [Sistema de Magallanes](#).

La capacidad instalada actual es de aproximadamente 16 GW, de los cuales el SIC representa el 75%, el SING el 24%, y los sistemas de Aysén y Magallanes menos del 1%⁸.

En términos de capacidad instalada, la matriz energética de electricidad chilena se compone de generación hidroeléctrica (3%), seguida del gas natural (2%), carbón (20%) y, finalmente, diesel (15%)⁹. En términos de generación, el 37% proviene de fuentes hidroeléctricas, 26% de carbón, 22% de diesel y 10% de gas.

Mientras la hidroeléctrica y el carbón son autóctonos, la mayoría de diesel y gas natural son importados.

En 1998, una severa sequía en Chile vació las reservas y provocó caídas de tensión y apagones. La respuesta fue un incremento substancial de la capacidad instalada de plantas de gas natural, apoyadas con importaciones desde Argentina. Sin embargo, este mecanismo no duró y para 2008, la escasez crónica dio lugar a otra crisis energética seria y, desde entonces, Chile ha enfrentado el reto de como garantizar su seguridad energética. Las proyecciones estiman que para poder mantener el crecimiento económico, la capacidad instalada debe incrementarse en más de 8 GW para 2020¹⁰. Aunque los proyectos programados en la actualidad podrían proporcionar esa capacidad adicional, su implementación se ha visto retrasada por diversos problemas, que incluyen oposición popular, retrasos en la aprobación ambiental y disputas sobre derechos de propiedad.

⁶ "Gross Generation". CNE data, 2012.

⁷ "Real Production by System". CNE data, 2012.

⁸ "Generation Capacity". CNE data, 2011.

⁹ Ibid.

¹⁰ Presentación por el Ministerio de Energía de Chile, 14 de septiembre de 2011.

Legislación para la energía limpia

En respuesta a crisis pasadas y futuras, Chile ha desarrollado una serie de iniciativas para diversificar su matriz energética y acelerar la introducción, en el sector energético, de la Energía Renovable No Convencional (ERNC). La ley 20257 fue aprobada en 2008, exigiendo que para el 2024, por lo menos el 10% de la energía distribuida se derive de las ERNC, imponiendo multas a las compañías que no la

cumplan. La ley ha atraído mucho interés hacia la incorporación de la generación de energía por ERNC. Sin embargo, la regulación solo aplica a los sistemas por encima de 200 MW —el sistema SIC y el SING— y por lo tanto, están excluidas la mayoría de las localizaciones con el mayor potencial de energía marina, como son las atendidas por los sistemas de Aysén y Magallanes.



Estrategia nacional de energía marina

En el 2009, como respuesta a un estudio encargado por el [Banco Interamericano de Desarrollo](#) (BID)¹¹, el gobierno chileno anunció su compromiso de impulsar el desarrollo de sus recursos de energía marina. La estimación del estudio del potencial global de la energía generada por oleaje es aproximadamente de 160 GW, o más de 10 veces la capacidad instalada actual, y se encontró que la capacidad entre 500 MW y 800 MW puede potencial-

mente ser aprovechada de las corrientes del Canal del Chacao al lado de Puerto Montt (el cual está cubierto por la red eléctrica del SIC). Más recientemente, el gobierno actual expresó su compromiso de tener, durante su administración, al menos 1 MW de capacidad instalada de energía marina.

Escocia, que tiene un potencial de energía marina también muy alto y es líder en ese

campo, ha estado colaborando, por casi 20 años ya, con la academia, institutos de investigación y la industria. En el 2003, fue lanzado el Grupo de Energía Marina y, subsiguientemente, en el 2009, publicado su mapa de ruta, que se enfoca en cinco áreas de trabajo, que incluyen finanzas, conexión de redes, infraestructura, planificación y promoción en Europa. En el caso de Chile, se espera que pronto se da a conocer una estrategia nacional de energía

marina, que incluirá, probablemente, los siguientes puntos: marco regulatorio, cómo las agencias colaborarán con el gobierno y con otros sectores interesados, el desarrollo de proyectos piloto y mecanismos para promover la investigación, la inversión y la cooperación internacional.

¹¹ "Preliminary Site Selection: Chilean Marine Energy Resources". Garrad Hassan para el BID, 2009.



Posibles grupos interesados en el desarrollo de la energía marina en Chile

Instituciones gubernamentales

► **CORFO** (Corporación de Fomento de la Producción de Chile): corporación que promueve la inversión, innovación y desarrollo de la industria nacional, incluyendo herramientas específicas para la energía marina.

► **CER** (Centro de Energía Renovable): una agencia CORFO focalizada en la energía renovable.

► **CONICYT** (Comisión Nacional para la Investigación Científica y Tecnológica): comisión nacional que promueve la investigación científica y tecnológica incluyendo la energía marina.

Ministerio de Defensa:

Subsecretario de la Marina: autoriza toda producción y/o proyecto de investigación en la costa o en aguas internacionales.

► **DIRECTEMAR** (Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante) refuerza las normas existentes relacionadas con cualquier operación marina (está jerárquicamente bajo la Marina).

► **SHOA** (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico): monitorea, registra, y provee una alerta temprana de posibles peligros en torno a las condiciones marinas para cualquier operación civil o militar.

Comisión Nacional para la Utilización de las Costas: coordina 12 servicios y agencias públicas para asegurar que la zonificación refleje un uso racional de la línea costera nacional.

► **Ministerio de Energía**: establece las políticas y regulaciones sobre energía, incluyendo el marco regulatorio de referencia que provee las condiciones apropiadas de mercado para el desarrollo de nuevas tecnologías.

► **Ministerio del Medio Ambiente**: establece políticas ambientales y directrices; y gestiona el sistema de control del impacto ambiental.



Instituciones gubernamentales

► **Ministerio de Bienes Nacionales**: es responsable de reconocer, administrar y gestionar el territorio estatal, así como asegurar su sostenibilidad.

► **Ministerio de Obras Públicas** (MOP): está a cargo de la infraestructura pública, incluyendo caminos, puertos y protección costera.

► **INH** (Instituto Nacional de Hidráulica): es responsable de las investigaciones científicas y tecnológicas en los proyectos marítimos en dinámica de fluidos, tal como los puentes y posibles dispositivos de energía marina.

(continúa en la página siguiente)

Posibles grupos interesados en el desarrollo de la energía marina en Chile *(continuación)*

Organizaciones claves y grupos interesados en Chile

► **ACERA** (Asociación Chilena para la Energía Renovable): promueve las ERNC y fomenta un marco regulatorio para ofrecer incentivos. Su meta es lograr un 30% de participación de las ERNC para el 2030.

► **AKALUF** promueve la energía marina en Chile a través de la organización de talleres y seminarios, selección de emplazamientos, temas de medioambiente y peritajes in situ de recursos energéticos.

► **ASMAR** (Astilleros y Maestranzas de la Armada): desempeña todos los trabajos de mantenimiento de los barcos de la naval chilena. Tiene la capacidad técnica de instalar y cumplir con el mantenimiento de los dispositivos de energía marina al sur de Chile.

Fundación ► **CEQUA** (Centro de Estudios del Cuaternario de Fuego-Patagonia y Antártica): centro de investigación científica y tecnológica enfocado en los temas ambientales.

Corporación ENERMAR: la primera asociación privada en enfocarse exclusivamente en la promoción de la energía marina. Convoca a las partes interesadas para facilitar los diseños y la implementación de recursos de energía, planificación de proyectos y equipos de medición y generación eléctrica.

Universidades: algunas universidades chilenas, como la Universidad Católica y la Universidad de Concepción, han mostrado gran interés en el desarrollo de la energía marina.

Organizaciones internacionales

► **IEA** (Agencia Internacional para la Energía): trabaja para asegurar energía limpia, confiable y accesible para los países miembros, y provee un punto de enfoque para el diálogo mundial sobre energía.

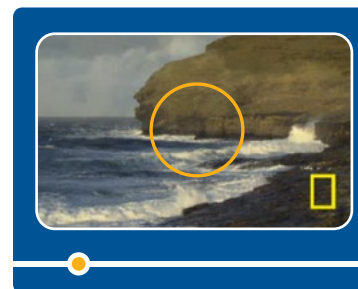
► **OES** (Sistema de Energía Oceánica): promueve la investigación, el desarrollo y la demostración de las tecnologías de energía marina entre los países (Chile aún no es miembro).

► **IRENA** (Agencia Internacional de Energía Renovable): provee un punto focal para la cooperación internacional y la sinergia para la comunidad de energía renovable.

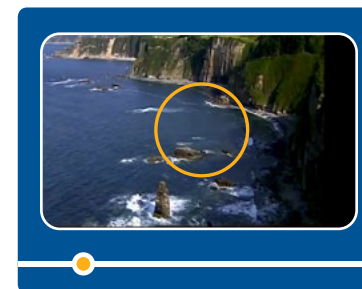
Gremio de energía marina (Marine Energy Trade Groups): vincula, en varios países, a la industria, al ámbito académico, al gobierno y a la sociedad civil con la energía marina e hidrocinética, e incluye:

- **OEG**: Grupo de Energía Oceánica (Reino Unido);
- **OREC**: Coalición Oceánica de Energía Renovable (Estados Unidos); y
- **OREG**: Grupo Oceánico de Energía Renovable (Canadá).

Información adicional sobre energía marina



Energía del oleaje y marea para un premio monetario

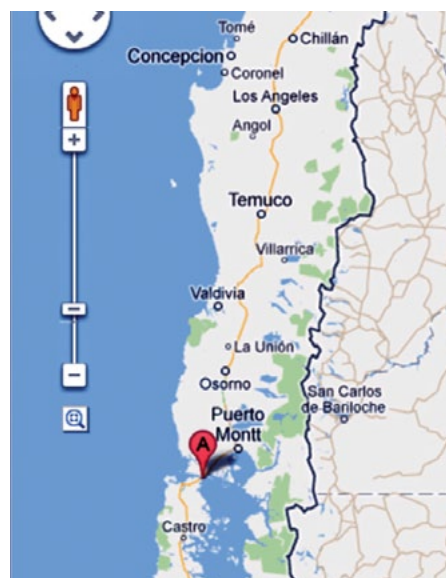


Energía del mar

El Canal del Chacao

El Canal del Chacao se encuentra en el extremo sur de la red eléctrica del SIC y muy cerca de la ciudad de Puerto Montt, una ciudad de 175 mil habitantes. Con picos en las corrientes marinas de 3.5 a 5m/s¹² y energía cinética pura de 674MW¹³, el Canal del Chacao fue identificado por Garrad Hassan como la zona más prometedora para el desarrollo de proyectos de energía de corrientes marinas del país¹⁴. El Ministerio de Energía y la CER están buscando opciones de desarrollo de un proyecto, con el apoyo del BID, para aprovechar este potencial. La tecnología específica seleccionada para esta aplicación dependerá de variables como la intensidad de las olas, nivel y variabilidad de las corrientes y el flujo de embarcaciones a través del canal, todo lo cual depende de la ubicación escogida para el dispositivo marítimo.

Canal del Chacao



Fuente: Google Maps

Punta Arenas y la Región de Magallanes

Magallanes, la región al extremo sur de Chile, es un área remota y escasamente poblada, que se localiza entre los océanos Pacífico y Atlántico. Su capital, Punta Arenas, tiene una población de aproximadamente

120 mil personas. El pueblo más cercano, Puerto Natales (20 mil habitantes), se encuentra a 250 kilómetros. En comparación, Chiloé, al extremo sur del sistema SIC, se localiza a más de 1.500 kilómetros al nor-

te). La economía local se basa primordialmente en ganado, actividades portuarias, silvicultura, pesca y exploración petrolera. Con picos promedio de corrientes de marea de 4 m/s en el Estrecho de Magallanes, esta región fue igualmente identificada como una de las zonas más prometedoras para el desarrollo de energía Marina en Chile.

Características regionales de generación

La generación de energía en la región está cubierta por cuatro sistemas independientes: Punta Arenas, Puerto Natales, Puerto Williams, y Porvenir. El resto de la demanda de la región, en su mayoría industrial, está cubierta por sistemas independientes. Los sistemas de Magallanes tienen una capacidad instalada aproximada de 100 MW. Los generadores en Magallanes y Aysén están integrados verticalmente, por lo que cada compañía generadora ([Edelmag](#) y [Edelaysen](#)) es responsable de generar, transmitir y distribuir. Aunque son privadas, estas compañías cumplen con un mandato gubernamental de proveer energía. Por lo tanto, el crecimiento de la energía renovable está ligado directamente a las políticas del gobierno. Asimismo, el gobierno subsidia la energía eléctrica, que es actualmente generada a partir del diesel en Aysén y del gas

Región de Magallanes



Fuente: Arkapatagonia.com.

natural producido localmente en Magallanes. Se prevé que los suministros autóctonos se agoten en cuatro o cinco años, convirtiendo las minas de carbón locales en una posible alternativa para el futuro cercano.

¹² Garrad Hassan, p38.

¹³ Garrad Hassan, p61, Energía Media Anualizada, después de correcciones espaciales, flujos y reflujos.

¹⁴ Garrad Hassan, p46. Los criterios de selección incluyen niveles de recursos, profundidad disponible, conexión de red eléctrica, puertos cercanos, y ausencia de conflictos potenciales con otros grupos de usuarios o áreas ambientales protegidas.

Mecanismos de energía marina disponibles

Los siguientes son algunos de los mecanismos de energía marina que están siendo considerados para ser aplicados en la región de Magallanes. Téngase en cuenta que ésta es apenas una lista, porque hay otras opciones tecnológicas viables.

Open Hydro

Turbina de centro abierto:
Puede ser montada sobre una
plataforma en el fondo del mar.



Fred Olsen

Boya generadora de energía
(punto de absorción):
La energía se produce al hacer rodar y
modular el movimiento de la superficie.



Ocean Renewable Power Company (ORPC Compañía de Energía Oceánica Renovable)

Turbina de eje horizontal tipo Venturi:
diferentes módulos pueden utilizarse para
aprovechar la energía de ríos pequeños,
mareas superficiales, o mareas profundas
y corrientes oceánicas.



Flumill

Turbina de tornillo helicoidal sólida:
puede operar en océanos/corrientes
de marea a menos de 1 m/s de flujo;
de bajo costo y sin partes móviles
en la turbina, lo que ayuda a bajar
los costos globales.



Minesto

Turbina cometa: pequeña y liviana
para transportar: habilidad única
para operar a baja velocidad.



Ocean Power Technologies Power Buoy

Boya flotante (punto de absorción):
Aprovecha el movimiento vertical
debido a la energía del oleaje.



Conceptos de proyecto en Magallanes

“Primera Angostura”/IMPA

El concepto de este proyecto, desarrollado por la empresa de ingeniería local [IMPA](#) (Ingeniería Mecánica Proyectos y Asesorías) consiste en una estación de generación de altos niveles de hidrógeno alimentada por la energía marina obtenida de la Primera Angostura de Magallanes. Aunque esta área tiene poderosas corrientes, es remota (a 160km desde Punta Arenas) y la demanda local es escasa. La IMPA tiene gran experiencia en la fabricación de sistemas hidráulicos y de tuberías. El proyecto prevé un tipo de sistema [Open Hydro](#) y va a ser una réplica del proyecto Bella Coola en Canadá [HARP](#) (Hydrogen Assisted Renewable Power). Además de generar hidrógeno, un dispositivo marino puede potencialmente satisfacer la demanda de los 50 residentes de Punta Delgada y la infraestructura necesaria para que los ferris crucen el canal (principalmente para instalaciones de luz y calefacción), lo que requiere una capacidad aproximada de 250 kW.

“Primera Angostura” Estrecho de Magallanes/Primavera

Este proyecto, desarrollado por Alakaluf Ltd. y respaldado por la comunidad de Primavera en Tierra del Fuego, generará 250kW para surtir electricidad para 450 residentes de Cerro Sombrero y Bahía Azul y el centro de investigaciones y santuario de aves en Bahía Lomas. Se han considerado posibles tecnologías para esta iniciativa como la tecnología de Ocean Renewable Power Company, Flumill, o un dispositivo tipo Fred Olsen.



Primera Angostura en el Estrecho de Magallanes Magellan

Isla Capitán Aracena/Cría de salmón

El concepto es proponer una alternativa a la generación por medio de diesel para la pesca de salmón, localizada fuera del litoral, que podría estandarizarse eventualmente y aplicarse en la industria. Cada pontón de salmón (en la actualidad hay 200 en Chile) requeriría una capacidad instalada de aproximadamente 250kW, incluyendo las viviendas y operaciones. Como la pesca se traslada periódicamente, se ha sugerido un dispositivo de energía “cometa” Minesto.



Isla Capitán Aracena/ Cría de salmón

Seno Otway/Pecket

Localizado junto a la mina de carbón Pecket, el seno Otway tiene un alto potencial de energía marina generada por oleaje. Aunque la corriente es relativamente baja, la frecuencia del oleaje es de 15 a 21 segundos. Los operadores de la mina de carbón están estrechamente ligados a una empresa de ingeniería ([Ingeniería Civil Vicente](#)), que posee los recursos y la capacidad técnica como para mantener el dispositivo. Asumiendo que el carbón fuera utilizado para remplazar el gas natural para la mayoría de la energía requerida localmente, la compañía podría interesarse en agregar un componente de energía marina para mejorar la sostenibilidad de la energía mixta. Otra ventaja de este sitio es la conectividad. La mina utiliza actualmente generadores de diesel



Muelle de Descarga de carbón, en el canal Otway

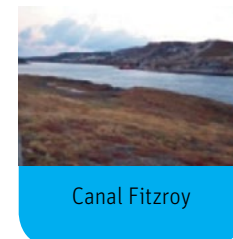
para proveer energía para los buques de carga en el muelle, lo que se requiere por solo unos cuantos días al mes. Como los generadores están conectados a la red eléctrica de Punta Arenas (100MW) a través de la subestación, esto podría servir como punto de conexión para una instalación de energía generada por oleaje.

Plataformas de Petróleo/ENAP

La compañía de gas chilena, [ENAP](#) (Empresa Nacional del Petróleo), posee cuatro plataformas que no se están utilizando y que podrían adaptarse para recibir los dispositivos de generación de energía de olas y de las corrientes marinas. Una capacidad instalada de aproximadamente 2 MW podría suplir la energía de los procesos de las plataformas (en la zona están operando actualmente, en total, más de 40 plataformas), y ser aprovechada por los aproximadamente 100 residentes de los campos de ENAP en el pueblo de Posesión. Esta alternativa también constituye una oportunidad para ENAP para involucrarse en la energía renovable.

Canal Fitzroy/ENERMAR

ENERMAR, trabajando con Alakaluf en Chile y Aquatera en Escocia, está considerando un proyecto en el Canal Fitzroy para suplir de energía marina a los 70 residentes del apartado pueblo de Villa Posomboy, en Río Verde, lo que requeriría de una capacidad instalada de 100kW. Será utilizado un tipo de dispositivo ORPC.



Canal Fitzroy

Conclusiones

El BID está en continuo contacto con el Ministerio de Energía y otros actores claves para apoyar la generación de energía marina con una perspectiva de sostenibilidad económica y ambiental. El país posee recursos extraordinarios, capacidad técnica para mantener o incluso ensamblar dispositivos de energía marina, y un gobierno que ha expresado su compromiso con la energía renovable. No obstante, realizar el potencial de la energía marina requerirá mucho esfuerzo. Algunos de los recursos de energía marina más prometedores de Chile se encuentran alejados de los centros de consumo, y el principal incentivo regulador tras el desarrollo del ERNC no aplica a las regiones con el mayor potencial. Por lo tanto, a corto plazo, los proyectos con el mayor potencial para alcanzar la implementación serán aquellos conectados a la red eléctrica del SIC, en especial aquellos en el canal del Chacao.



Ésta es la primera publicación de una nueva serie dedicada a ofrecer información concisa sobre innovación energética. Esta serie es publicada por el [Centro de Innovación Energética \(CIE\)](#), parte integrante de la [División de Energía](#) del BID, en el [Departamento de Infraestructura y Medioambiente](#).

Quisiéramos agradecer a [Juan Paredes](#), de la División de Energía, y a [Sergio Andrade Barrientos](#), de Alakaluf, por su significativa contribución a la integridad técnica de este trabajo, así como reconocer los aportes de José Miguel Arriaza, del Ministerio de Energía de Chile, y de Wesly Ureña-Vargas y Christoph Tagwerker, de la División

de Cambio Climático. También agradecemos a [Scottish Development International](#) para darnos la permisión de usar sus fotos.

Estamos agradecidos con [Leandro Alves](#), Jefe de la División de Energía; [Ramón Espinasa](#), Jefe de Equipo del CIE y con Tomás Sebastián Serebrisky, Asesor Principal del Sector Económico, por su compromiso y apoyo al CIE y a esta nueva serie.

Esta serie está coordinada por [Annette Hester](#), con la colaboración de Andrés Robles y Federica Bizzocchi.

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores

y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables.

© Banco Interamericano de Desarrollo, 2012. Todos los derechos reservados; esta publicación puede reproducirse libremente para fines no comerciales.



Centro de Innovación Energética