



ANÁLISIS PRELIMINAR DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS EN BOLIVIA, SUS IMPACTOS AMBIENTALES Y LA COMPLEMENTARIEDAD ENERGÉTICA

Serie de documentos. Documento 4/4:

TÍTULO: *Análisis preliminar de proyectos hidroeléctricos en Bolivia, sus impactos ambientales y la complementariedad energética.*

RECONOCIMIENTOS

Este informe fue preparado por ENERGETICA y el equipo compuesto por *Miguel Fernández Fuentes y Annelisse Martínez Domínguez*, a solicitud de WWF-Bolivia.

ENERGETICA

ENERGETICA es una organización no gubernamental boliviana que trabaja en el campo de la energía, el desarrollo sostenible y el cambio climático. Busca contribuir a la construcción de un modelo de energía sostenible, beneficiando con su trabajo a los grupos menos favorecidos, fortaleciendo el uso de las energías renovables, la eficiencia energética y el acceso a la energía, promoviendo soluciones que sean competitivas, con equidad e inclusión social, para impulsar una transición energética justa.

WWF

WWF es una de las organizaciones independientes de conservación más grandes del mundo. Cuenta con el apoyo de más de 5 millones de personas y una red mundial activa en más de 100 países. La misión de WWF es detener la degradación del ambiente natural del Planeta y construir un futuro en el que los seres humanos vivan en armonía con la naturaleza, al conservar la diversidad biológica del mundo, garantizar que sea sostenible el uso de los recursos naturales renovables y promover la reducción de la contaminación y el consumo excesivo.

Edición digital: Febrero del 2020 por WWF Bolivia - World Wildlife Fund.

Cualquier reproducción total o parcial de esta publicación debe indicar el título de la obra y acreditar al editor mencionado como el titular de los derechos de autor.

Diseño y diagramación: WWF – Bolivia, ENERGETICA.

Fotografías: WWF – Bolivia, ENERGETICA y Pixabay.

© WWF Bolivia, 2020

Todos los derechos reservados

Deposito Legal: 2-3-839-2021

ISBN: 978-9917-9861-3-3

Serie de documentos elaborados a solicitud de WWF por:



CONTENIDO

	Pág.
1. Introducción.....	1
2. Metodología.....	3
3. Potencial hidroeléctrico de Bolivia.....	3
4. Impactos ambientales en proyectos hidroeléctricos.....	6
5. Identificación de cartera de proyectos hidroeléctricos.....	11
6. Ubicación geográfica de los proyectos.....	14
7. Análisis de 12 proyectos hidroeléctricos y sus características.....	17
8. Comparación de proyectos: Potencia y Energía Vs. Área inundada.....	20
9. Formulación preliminar criterios de análisis de viabilidad para proyectos hidroeléctricos.....	23
10. Complementariedad solar, eólica e hidroeléctrica.....	28
11. Conclusiones y Recomendaciones.....	39

ANÁLISIS PRELIMINAR DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS EN BOLIVIA, SUS IMPACTOS AMBIENTALES Y LA COMPLEMENTARIEDAD ENERGÉTICA



© Global Warming Images WWF

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al estudio Evaluación de los Recursos Hidroenergéticos de Bolivia (OLADE, ENDE, 1984) el potencial hidroeléctrico de Bolivia está estimado en 39.856,90 MW de capacidad instalada, la misma que puede generar 177.999,80 GWh de energía eléctrica.

En el mismo documento se informa que en el país existen abundantes corrientes de agua que pueden ser aprovechadas para la generación eléctrica. La mayor parte de esos cursos de agua están situados entre los grandes ríos que circundan los departamentos de Pando y Beni, en toda la pendiente descendente de la franja oriental de los andes a los valles, franja que va desde los Yungas de La Paz en el norte del país hasta Tarija en el sur.

En la perspectiva de construir una matriz energética neutra en emisiones de CO₂ para Bolivia, que supone desplazar a los hidrocarburos y utilizar de manera intensiva los recursos renovables, en el país destacan por su potencial la energía solar, hidroeléctrica y eólica y en menor grados (por limitaciones de orden económico) la biomasa y la geotermia.

En el país existen abundantes corrientes de agua que pueden ser aprovechadas para la generación eléctrica. La mayor parte de esos cursos de agua están situados entre los grandes ríos que circundan los departamentos de Pando y Beni.

La prospectiva realizada hacia el año 2040 (Figura 1, Modelamiento del Sistema Energético Boliviano al 2040 según metas del IPCC, ENERGETICA, WWF, 2020) muestra que el sector eléctrico podría tener una dimensión de 28 GW, de los cuales casi un tercio sería hidroeléctrica de embalse (aproximadamente 8 GW).

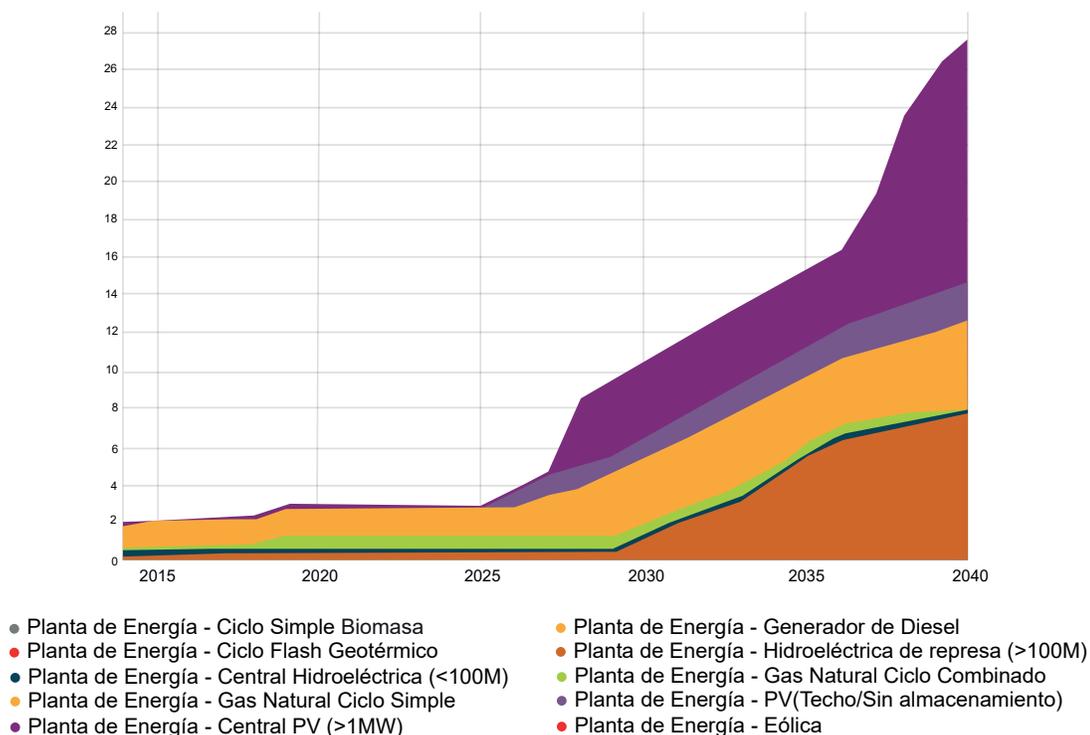


Figura 1. Proyecciones y composición de la potencia eléctrica instalada [GW] en el Sistema Eléctrico Boliviano para el periodo 2014-2040 (Escenario Óptimo).
Fuente: Elaboración propia

Bajo ese entendido, es necesario desarrollar la hidroenergía pero de una manera tal que el impacto ambiental sea el menor posible. Asimismo, es crucial la utilización de herramientas estandarizadas para la toma de decisiones.

Al momento ENDE tiene una cartera de proyectos hidroeléctricos profusa, de los cuales algunos de ellos como Rositas, Chepete, El Bala han generado polémica por el tamaño, pero también por los impactos ambientales que podrían generar, debido sobre todo a su ubicación o cercanía con áreas protegidas.

Bajo ese contexto, este documento tiene el objetivo de realizar una identificación inicial de impactos ambientales en proyectos hidroeléctricos en cartera de ENDE e, identificar la necesidad de complementariedad energética con otras fuentes renovables.

2. METODOLOGÍA

Para realizar este análisis se ha seguido la siguiente metodología:

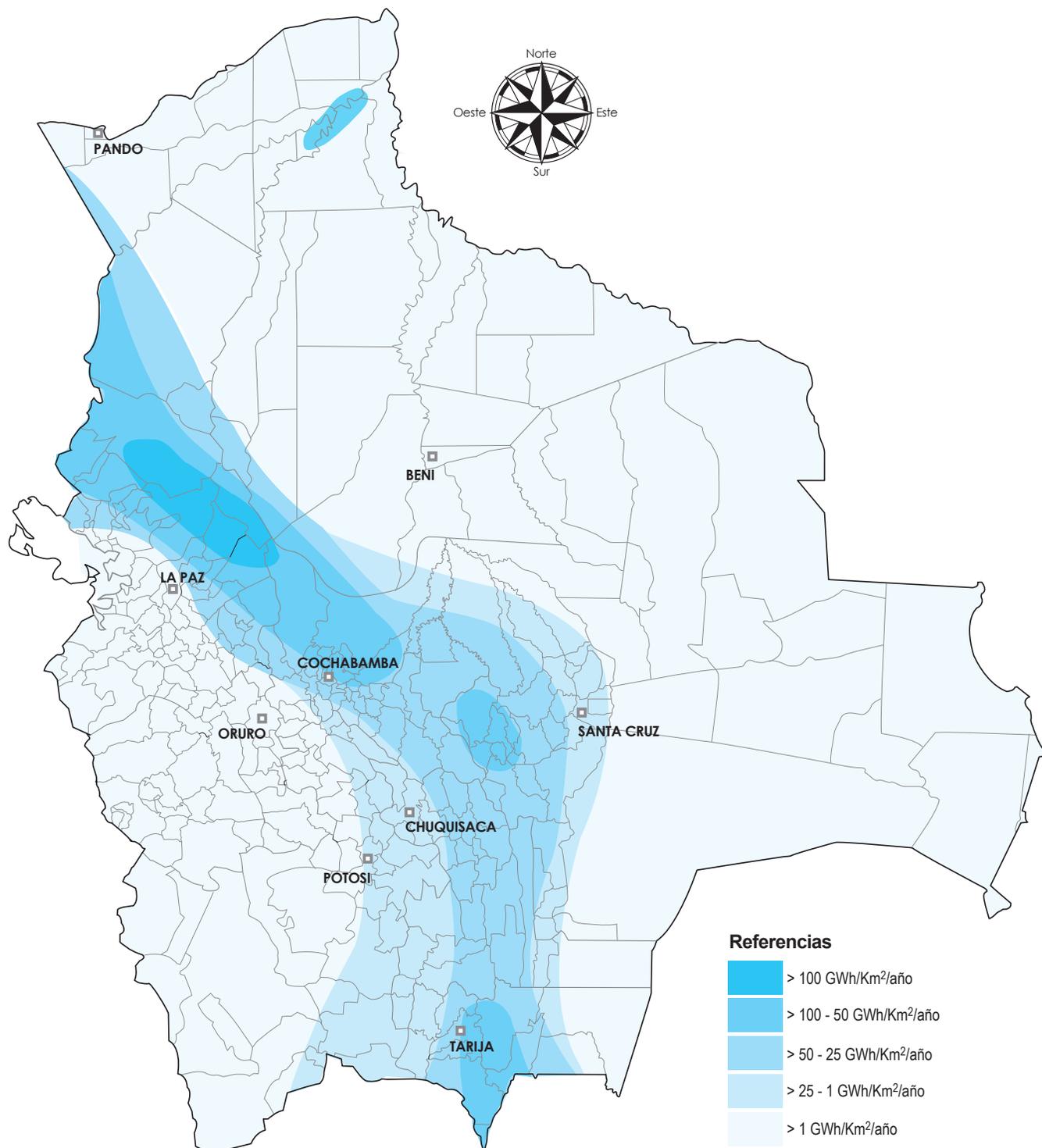
- a) Identificación de proyectos en base a información disponible de ENDE.
- b) Recopilación de datos de proyectos (ubicación, características, etc.).
- c) Ubicación en un SIG para verificar si está en Área Protegida, Parque Nacional.
- d) En caso de disponer de la información de altura de represa y ubicación, estimar el área de inundación y área de afectación.
- e) Comparación de proyectos, Potencia Vs. Área inundada.
- f) Revisión de información para cada proyecto respecto a la cuenca y sus características ambientales.
- g) Construcción de una tabla que sintetice la información obtenida.
- h) Elaboración de juego de mapas en SIG.
- i) Análisis de energía solar y eólica – intermitencia.
- j) Determinar la necesidad de complementariedad hidro- solar -eólica.

3. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DE BOLIVIA

A mediados de la década de los 80, la Empresa Nacional de Electricidad - ENDE junto con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) realizó una evaluación general de los recursos hidroenergéticos de Bolivia (Mapa 1), concluyendo que el potencial hidroeléctrico está concentrado en su mayor parte en las cuencas altas del río Beni y Mamoré y cauce principal de los ríos Grande, Pilcomayo y Bermejo.



Mapa 1
Potencial Hidroeléctrico de Bolivia
POTENCIAL HIDROÉLECTRICO ESPECÍFICO GWh/año/Km²



Fuente: Evaluación de los recursos hidroenergéticos de Bolivia, ENDE - OLADE, 1984;
Recursos hidroenergéticos y medio ambiente, ENDE 1993

Justamente en las zonas detalladas en el anterior párrafo, se encuentran algunos de los proyectos más controversiales debido a la magnitud de las centrales y los sitios de emplazamientos, los cuales coinciden con áreas ambientalmente sensibles, tanto aguas arriba como aguas abajo (Energía Bolivia, 2019).

Revisando el potencial por cuencas se confirma que el mayor potencial se encuentra en el Amazonas (Ver Tabla 1). Situación que se explica porque es la región que cuenta con los ríos de mayor caudal y permanente escurrimiento debido a que recibe las mayores precipitaciones del país, en época seca se beneficia del deshielo de la Cordillera y también porque cuenta con las caídas de agua con pendiente alta debido a su colindancia con los Andes.

Al Amazonas le sigue la Cuenca del Río de La Plata (Ver Tabla 1), cuyos principales ríos, desde la perspectiva hidroeléctrica, son el Pilcomayo y el Bermejo, junto a sus afluentes como los ríos Pilaya, Cotagaita, San Juan del Oro, y Tarija. Sin embargo, el arrastre de un considerable volumen de sedimentos en todos estos ríos los hace poco atractivos en primera instancia. Posteriormente se encuentra la Cuenca del Altiplano o Endorreica (Ver Tabla 1), cuyo reducido potencial está concentrado en los afluentes del Lago Titicaca, el río Desaguadero y los salares.

Tabla 1. Potencial Hidroenergético de Bolivia por Cuenca

Cuenca	Amazonas	Río de la Plata	Altiplano	Total
Potencia (MW)	34.208,5	5.359,9	288,5	39.856,90

Fuente: Energía Bolivia, 2019

Según los datos del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas en la investigación realizada por la Organización Plataforma Energética el año 2011, se menciona que Bolivia sólo usa el 1,19% de su potencial hidroeléctrico. Esto quiere decir que el país utiliza sólo 475,6 Megavatios (MW) de un total aproximado de 40 Gigavatios (GW) potenciales (Plataforma Energética, 2011).

4. IMPACTOS AMBIENTALES EN PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

De manera general, la construcción de proyectos hidroeléctricos genera impactos positivos y negativos, cuya magnitud depende de muchas variables, principalmente el tipo de central, el sitio de emplazamiento y las características ambientales e implicaciones socio económicas de la cuenca.

Entre los impactos positivos más destacables está la generación de energía eléctrica “limpia”, en caso de centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas, que no se encuentren en áreas tropicales, pero sobre todo en centrales de pasada o sin embalses de regulación, energía a bajo costo y regulación de inundaciones, entre otros. De la misma manera estos proyectos pueden aportar a la generación de bienestar para la población en general y las naciones, en la medida que sean ejecutados de una manera apropiada y cuidadosamente planificada.

A continuación, se mencionan desde el punto de vista técnico, las ventajas de las centrales hidroeléctricas.

- El almacenamiento de energía (agua en embalses) que se puede disponer el momento que sea necesario, gracias a la energía potencial contenida en las caídas de agua, el monitoreo de los regímenes de lluvia, caudales, etc. (Energías Renovables, 2018).
- El contar con un embalse hace que las hidroeléctricas cuenten con una flexibilidad alta y gracias a una adecuada velocidad de reacción, ante cambios súbitos, permite mantener la estabilidad del sistema eléctrico nacional, proporcionando flexibilidad operacional que mantengan el equilibrio entre oferta y demanda (Itaipú Binacional, 2018).
- Las obras civiles y equipos tienen una larga vida útil (de más de 50 años), que se debe mayormente a que la tecnología de turbinas y generadores es conocida y los costos de operación y mantenimiento son bajos, esto permite construir la seguridad energética y dar estabilidad de precios de largo plazo.
- En proyectos múltiples, gracias a las represas se puede combinar el uso de agua para riego o agua potable, reduciendo la vulnerabilidad ante extremos climáticos como las sequías.
- La seguridad de una planta hidroeléctrica es alta en comparación con la energía nuclear.
- Es una fuente limpia con relación a los combustibles fósiles.

La construcción de proyectos hidroeléctricos genera impactos positivos y negativos, cuya magnitud depende de muchas variables, principalmente el tipo de central, el sitio de emplazamiento y las características ambientales e implicaciones socio económicas de la cuenca.

- Es una fuente limpia con relación a los combustibles fósiles.

Evidentemente, con esta tecnología también hay desventajas en su utilización, la mayoría de ellas relacionadas con aspectos ambientales. En general, los aspectos más críticos al parecer están asociados a dos variables de los proyectos: sus dimensiones y su ubicación.

En ese sentido, se pueden mencionar las siguientes desventajas:

- La retención de agua en los reservorios modifica el régimen hidrológico e hidráulico, afecta al transporte de sedimentos, a los procesos de escorrentía y cambia la geomorfología de los ríos antes y después de la represa.
- Potenciales impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos. Se afectará la fauna piscícola, debido a la fragmentación de los ríos, principalmente si se construye sobre ríos donde hay variedades migratorias de peces. La inundación puede generar impactos importantes sobre flora y fauna.
- La creación de embalses puede inundar extensiones de terreno cultivables. Si los embalses son relativamente grandes y en áreas boscosas se pueden generar grandes cantidades de emisiones de metano que pueden hacer que pierda su carácter de “energía limpia”, además de existir pérdidas de agua por evaporación y degradación de la calidad de agua.
- De igual manera, las inundaciones por el llenado del reservorio resultan en la pérdida de flora ribereña, migración de especies de aves, y otros animales también pierden su hábitat.
- Las comunidades que habitan en el área de influencia pueden verse afectadas y en casos desplazadas, con los consecuentes impactos sociales y económicos que provienen de la destrucción de sus medios de vida.
- Durante el proceso de construcción, que puede durar varios años, también se puede generar impactos ambientales importantes, debido al movimiento de tierras, construcción de caminos, implantación de campamentos temporales, etc.



A continuación se detallan los impactos identificados.

La construcción de represas para la generación hidroenergética causa modificaciones de los hábitats. Se producen cambios en las comunidades biológicas y en el funcionamiento ecológico de los ríos, como consecuencia de estas modificaciones algunas especies desaparecen. Para conservar la integridad ecológica de los ríos y mantener las funciones ecosistémicas se aplica el concepto de caudal ecológico. Opperman, J., G. Grill and J. Hartmann, (2015) en el “Poder de los Ríos” mencionan que “De todas maneras, al construir represas se afecta los ríos de dos maneras principales: la fragmentación y la regulación”.

Fragmentación. Las presas cambian la conectividad de los canales fluviales, fragmentando los ríos y evitando el movimiento de los peces migratorios aguas arriba y aguas abajo – los cuales, en muchos sistemas, representan el recurso pesquero más importante – y de otros organismos acuáticos. Las presas con embalses grandes pueden atrapar sedimentos y nutrientes que sostienen las planicies de inundación, los deltas y los estuarios.

Regulación. Las presas que crean embalses y almacenan agua también pueden alterar el patrón del flujo hidrológico de los ríos, por ejemplo, reduciendo o eliminando los pulsos de inundación que conectan los ríos con sus planicies de inundación productivas.

Según un reporte de The Nature Conservancy realizado el 2015, los ecosistemas y las especies de agua dulce ya han disminuido drásticamente en las últimas décadas debido al impacto de las represas¹. Constantemente se ha encontrado que la infraestructura hídrica, particularmente las presas, se encuentran entre las principales causas de disminución de la biodiversidad y los ecosistemas de agua dulce, particularmente en América del Sur la cuenca del Amazonas tiene el mayor impacto potencial de la alteración hidrológica afectada por la regulación (El poder de los ríos, 2015 19 McLellan et al., 2014, 20 Richter et al., 1997; McDonald et al., 2012; Reidy et al., 2012).

La construcción de represas para la generación hidroenergética causa modificaciones de los hábitats, se producen cambios en las comunidades biológicas y en el funcionamiento ecológico de los ríos.

¹ El Índice del Planeta Vivo, que mide las tendencias para las especies de vertebrados, muestra una reducción del 76 por ciento para las especies de agua dulce que se han rastreado desde 1970 – una impresionante pérdida que es de cerca del doble de la disminución medida para los ecosistemas terrestres o marinos.

Otros impactos negativos como la destrucción de bosques, de los hábitats de vida silvestre, de los suelos productivos, del paisaje, de reubicación de comunidades, son causados por la inundación de áreas muy extensas. A continuación, una breve síntesis de algunos.

Uso de suelo. Los embalses afectan directamente al uso del suelo, ocasionando un cambio en el mismo. El tamaño del reservorio creado para una central hidroeléctrica variará en función a la potencia instalada y la topografía del terreno. En terrenos planos el área de inundación será mayor que en sitios montañosos o cañones en los cuales los reservorios pueden ser más profundos.

Recursos hidrobiológicos. Se asume que una presa fragmenta la red de canales por arriba y por debajo de ella, aunque las presas pueden incluir estructuras para promover el paso de los peces y/o el paso de sedimentos, lo cual puede mitigar algunos de los impactos de esta fragmentación. Los sistemas de traspaso de peces hasta la fecha no han demostrado eficiencia, por lo que las presas se constituyen en una barrera para la migración de peces. El paso de sedimentos es relativamente raro, y el paso de peces con frecuencia no se incluye en la construcción de las presas. De hecho, en gran parte del mundo la eficacia del paso de peces es relativamente baja o desconocida (El poder de los ríos 2015 véase Brown et al 2013; Noonan et al., 2012). Adicionalmente, no solo las especies acuáticas son afectadas, también especies terrestres que dependen de los aportes de sedimento u organismos acuáticos.

Emisiones GEI. Para el caso de las centrales hidroeléctricas con embalses la emisión de gases de efecto invernadero se producen durante la etapa de construcción e instalación, así como durante la operación. Dichas emisiones varían mucho según el tamaño del embalse y la naturaleza del terreno que fue inundado por el embalse (IPCC, Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation 2011).

- Centrales de pasada emiten entre 0,0045 y 0,014 kg/kWh
- Centrales a gran escala construidas en zonas semiáridas emiten aproximadamente 0,027 kg/kWh.
- Centrales construidas en zonas tropicales emiten 0,227 kg/kWh.

Población afectada. Otro tipo de impactos, como la afectación a población indígena y ribereña que vive en la zona, el desplazamiento y reasentamiento de la población, los efectos sobre la población aguas abajo que ven modificadas sus condiciones de entorno y sobrevivencia, etc., de tipo social y económico, afectan de manera fuerte y son una fuente de conflictos para el proyecto (Análisis de los Principales Proyectos Hidroenergéticos en la Región de la Amazonía. INPA DAR-CLAES, 2014).

Regulación Ambiental. En Bolivia para la ejecución de un proyecto hidroeléctrico, de acuerdo con la normativa vigente, es necesaria la obtención de la Licencia Ambiental. El Decreto Supremo No. 3856 del 3 de abril del 2019, modifica el Reglamento de Prevención y Control Ambiental – RPCA aprobado mediante DS 24176 el año 1995. El nuevo Decreto establece las categorías de los proyectos según su naturaleza. En el caso de los proyectos hidroeléctricos los mismos corresponden a Categoría 1, 2 y 3 dependiendo de las características de cada proyecto.

Las categorías establecen el tipo de estudios específicos y complementarios que se debe realizar, es decir:

- Categoría 1 Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental EEIA Analítico e Integral.
- Categoría 2 Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental Analítico Específico.
- Categoría 3 Programa de Prevención y Mitigación.

El procedimiento para la obtención de la Licencia Ambiental (Declaratoria de Impacto Ambiental) tiene los siguientes pasos:

- Categorización del proyecto mediante el Formulario de Nivel de Categorización
- Elaboración de los documentos que correspondan según categoría asignada.

Otros impactos, de tipo social y económico, como la afectación a población indígena y ribereña que vive en la zona, el desplazamiento y reasentamiento de la población, los efectos sobre la población aguas abajo, son una fuente de conflictos para los proyectos.

En el caso de las categorías 1 y 2, además de todos los estudios complementarios que deben realizarse según los factores afectados, el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental debe incluir los resultados de la consulta pública que se realiza desde el inicio para tener aceptación incluso de la intervención para realizar los estudios.

La consulta pública se realiza con todos los afectados que se encuentran en el área de influencia directa e indirecta del proyecto, es decir, poblaciones, empresas, instituciones, etc. Consiste en la exposición y explicación del proyecto y los impactos asociados, así como las medidas de mitigación propuestas.

Una vez realizada la consulta previa se presenta el documento de resultados a la instancia ambiental correspondiente para su aprobación y posterior emisión de la Licencia Ambiental.

5. IDENTIFICACIÓN DE CARTERA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

Actualmente existe una agenda de proyectos de energía renovables muy profusa y dinámica que maneja el Gobierno a través de la Empresa Nacional de Electricidad - ENDE. La última revisión de proyectos hidroeléctricos de ENDE en ejecución (ENDE 2018), y de proyectos en estudio (ENDE 2018), muestra un total de 28 proyectos, de los cuales han ingresado en operación dos (Misicuni y San José) y están en construcción otros dos (Ivirizu y Miguillas).

El total de potencia prevista con estos proyectos es de 14.466,45MW, más de 7 veces la potencia instalada del sector eléctrico en 2016. El menú de proyectos comprende centrales desde 1,5 MW, hasta plantas de 3.300 MW. Asimismo, las configuraciones muestran centrales de pasada (prácticamente sin embalse), centrales en cascada (varias plantas sucesivas que aprovechan el mismo caudal), centrales con embalses de regulación diaria y, finalmente, centrales con embalses de regulación anual. De muchos de los proyectos en estudio aún no se tiene información oficial sobre su configuración final.

La siguiente Tabla muestra los proyectos hidroeléctricos que están en ejecución y estudio.

El total de potencia prevista con estos proyectos es de 14.466,45MW, más de 7 veces la potencia instalada del sector eléctrico en 2016.

Tabla 2. Proyectos Hidroeléctricos en Ejecución y en Estudio a junio 2019 (ENDE)

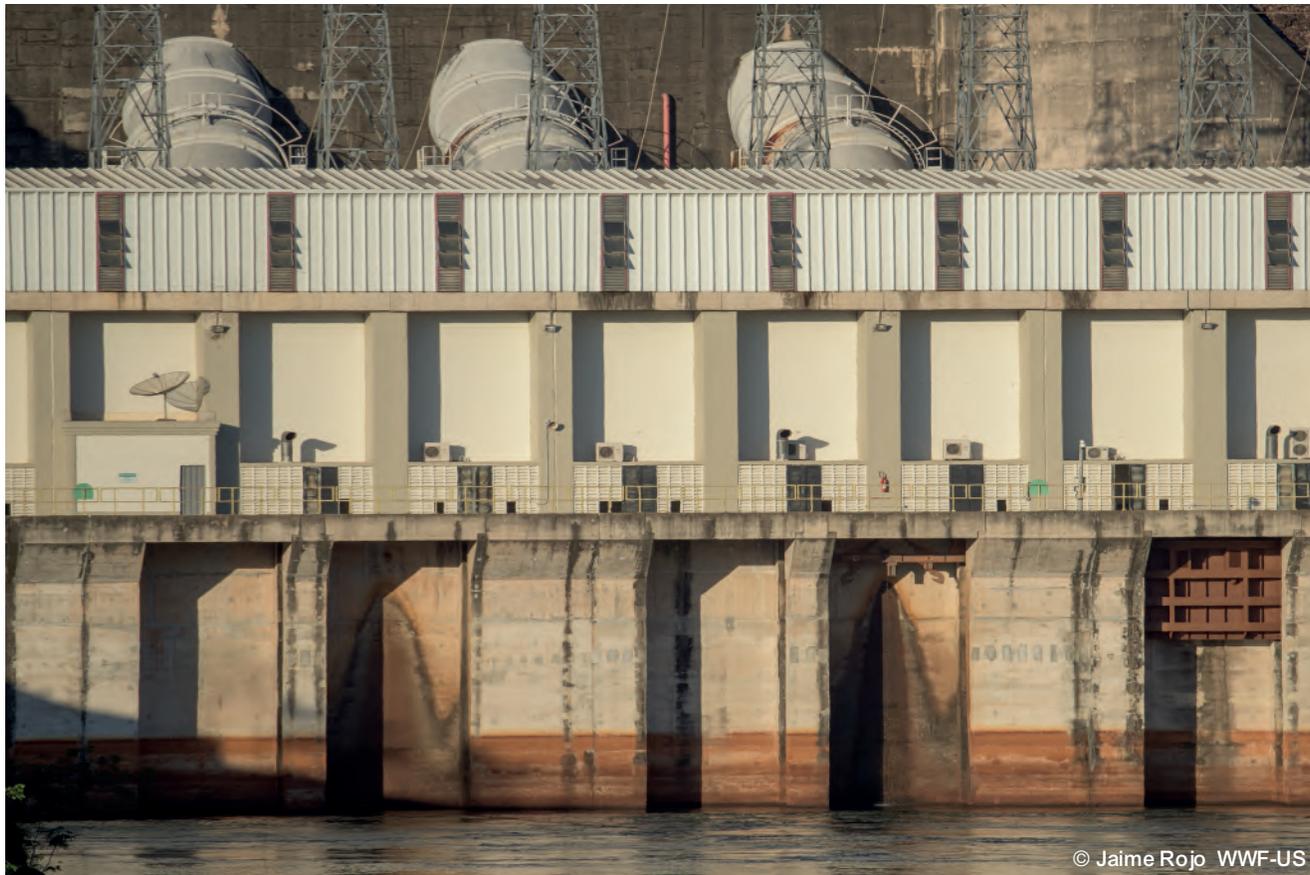
No.	Proyecto	Departamento	Sub - Proyecto	Etapa o Estado del Proyecto			Potencia [MW]
				Ejecutado	Ejecución	Estudio	
1	San José	Cochabamba	San José I	X			55,0
2			San José II	X			69,0
3	Corani	Cochabamba	Adición 5ta Turbina	X			15,4
4	Misicuni	Cochabamba	Misicuni	X			120,0
5	Miguillas	La Paz	Miguillas		X		203,0
6	Ivirizu	Cochabamba	Ivirizu		X		290,2
7	El Cóndor	Potosí	El Cóndor		X		1,5
8	Huacata	Tarija	Huacata		X		10,7
9	Banda Azul	Cochabamba	Banda Azul			X	133,7
10	Icona	Cochabamba	Icona			X	101,6
11	Ambrosía	Cochabamba	Ambrosía			X	84,9
12	Santa Bárbara	Cochabamba	Santa Bárbara			X	144,0
13	Juntas Corani	Cochabamba	Villa Jorca			X	140,0
14			Santa Rosa I			X	300,0
15	Oquitas	Santa Cruz	Oquitas			X	125,0
16	Cambarí	Tarija	Cambarí			X	93,0
17	Molineros	Potosí y Cochabamba	Molineros			X	100,8
18	El Bala (*)	La Paz y Beni	Chepete			X	3251,0
19			El Bala			X	425,0
20			Rositas			X	600,0
21			Jatun Pampa			X	130,0
22			Seripona			X	400,0
23			Cañahuecal			X	500,0
24			Las Juntas			X	170,0
25	Ocampo			X	300,0		
26	Peña Blanca			X	500,0		
27	La Pesca			X	700,0		
28	Aguas Calientes II	Chuquisaca	El Pescado			X	184,0
29			Arenales			X	94,0
30	Laram Kkota	La Paz	Laram Kkota			X	10,9
31	Repotencia- miento del Río Yura	Potosí	Kilpani			X	1,6
32			Landara			X	0,1
33			Punutuma			X	0,6

34	Proyecto Hidroeléctrico		Chiuta	X	26,0
35	Río Chayanta	Potosí	Inkapinkina	X	36,0
36			Kirki	X	115,0
37	Proyecto Hidroeléctrico	Chuquisaca	Incahuasi	X	18,0
38	Río Incahuasi				
39	Proyecto Hidroeléctrico	La Paz	Huancané	X	110,0
40	Río Coroico		Pabellonani	X	50,0
			Tiquimani	X	50,0

La premisa que guiaba la construcción de esta cartera de proyectos era la de convertir a Bolivia en exportador de electricidad y generar ingresos económicos similares a los que se generan a través de la explotación de hidrocarburos.

Situación Actual

Del portafolio de proyectos a la fecha se tienen dos en ejecución, Miguillas en La Paz e Ivirizu en Cochabamba, específicamente en el Parque Nacional Carrasco; el resto se encuentra en la elaboración de los estudios de pre-factibilidad y diseño final.



Respecto a los proyectos en ejecución, es importante ejecutar las medidas correspondientes para mitigar los efectos que son causados tanto por la ejecución como por la operación de estos. Es importante revisar el caudal ecológico para considerar los requerimientos específicos de la cuenca aguas abajo.

Si bien existen varias metodologías que han sido desarrolladas por diferentes instituciones para la determinación de caudal ecológico, de una revisión de estudios se puede afirmar que el criterio que se utiliza en Bolivia depende del tipo de proyecto, de la empresa que realiza el proyecto y los requerimientos técnicos necesarios para lograr los objetivos de generación eléctrica. Uno de los criterios más utilizados es determinar como caudal ecológico el 10% del caudal de la curva de probabilidad. Sobre este valor, una vez que los proyectos entran en funcionamiento, se regula el caudal en función a las necesidades que se detecten (como sucedió con el proyecto San José). En el caso de los proyectos en estudio, es importante reevaluar los estudios existentes considerando los posibles impactos negativos que han de producir a corto, mediano y largo plazo, y tanto en las áreas de influencia directa como las indirectas, sobre todo aquellos que se encuentran en, o cerca de áreas protegidas o zonas muy sensibles.

De manera general, la construcción de proyectos hidroeléctricos genera impactos positivos y negativos, cuya magnitud depende de muchas variables, de los cuales se puede considerar como más importantes, el tipo de central, el sitio de emplazamiento y las características ambientales e implicaciones socio económicas.

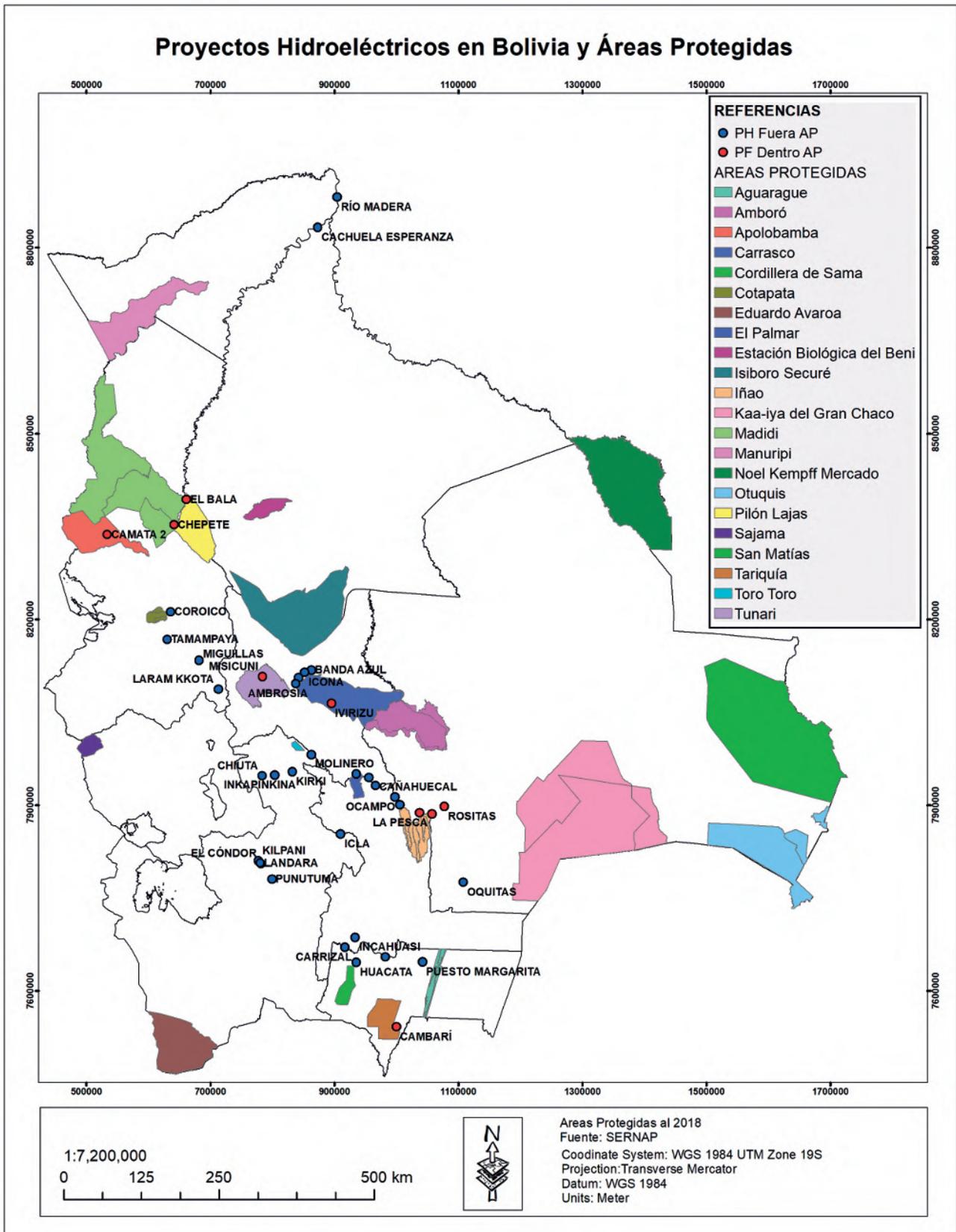
6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PROYECTOS

En el Mapa 2 se muestra los proyectos identificados en Tabla 1. Es posible apreciar que la mayoría de los proyectos se encuentran en la cordillera oriental, en la parte alta de las subcuencas principales de Bolivia, coincidente con el estudio de ENDE y OLADE, el cual estima el alto potencial energético debido a las variaciones altitudinales y a la gran cantidad de ríos que se forman en la misma.

El Mapa 3 hace referencia a la ubicación en área protegidas, así como también de sitios designados como Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR), de los cuales Bolivia tiene actualmente 11 sitios con una superficie total de 14'842.405 hectáreas.

De esta manera se puede tener una primera impresión sobre los proyectos que puedan afectar estos sitios de interés ambiental prioritario.

Mapa 2
Proyectos Hidroeléctricos en Bolivia y Áreas Protegidas



7. ANÁLISIS DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

A partir de la información disponible, se ha logrado identificar las características técnicas, cantidad de energía generada, su ubicación geográfica respecto a la cuenca y la incidencia respecto a áreas de conservación natural de 12 proyectos hidroeléctricos. Para el resto de los proyectos, no se encontró información actualizada respecto a los estudios de pre-factibilidad o factibilidad.

Tabla 3. Característica técnicas de 12 proyectos hidroeléctricos identificados

Proyectos	Potencia MW	Departamento	Alto de presa (m)	Cota de coronación (msnm)	Subcuenca	Río	Área inundación (km ²)	Parte de la cuenca	Área Protegida	Características	Impactos
1. Proyecto Hidroeléctrico Ivirizu	290	Cochabamba	105	2 1 8 0 (2175)	Río Mamoré	Ivirizu	1	Se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Mamoré. El gradiente altitudinal va desde los 4700 hasta los 300 msnm	Parque Nacional Carrasco	Central Sehuencas Embalse de regulación de 40 hm ³ . Presa de 105 m de altura, túnel de aducción de 5401 m de longitud, chimenea de equilibrio, galería blindada de 714 m, dos tuberías forzadas. Central Juntas Utiliza los caudales regulados de la central Sehuencas y una captación adicional sobre el río Ivirizu.	Una de las regiones más biodiversas del país (jaguar, jucumari, especies endémicas, amenazadas) (SERNAP, Maravillas Naturales de Bolivia), no investigada en su totalidad, no se sabe que especies pueden verse afectadas Habrá desplazamiento de fauna, como parte de un proceso de sobrevivencia debido a la destrucción de su hábitat. No existe documentación científica y sistemática que dé cuenta de casos «exitosos» de traslado de especies.
2. Proyecto Hidroeléctrico Icona	102	Cochabamba	120		Río Mamoré	Río Paracti	4	Se encuentra aproximadamente en la parte media de la cuenca del río Espíritu Santo, en la subcuenca del río Paracti.	Ninguno	Es parte de un complejo de centrales hidroeléctricas en cascada. San José I y II, Banda Azul, Icona, Santa Bárbara, Ambrosía, las cuales aprovechan los gradientes altitudinales del río Paracti y el río Juntas Corani. Se prevé una presa de 100 metros y un embalse de aproximadamente 190 hm ³	
3. Proyecto Hidroeléctrico Molineros	100,8	Potosí y Cochabamba	200		Río Grande	Caine	90	El proyecto se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Grande, en la primera subcuenca del río Caine.	Ninguno	En esta Sub-cuenca se encuentran los valles de Cochabamba, caracterizados por una gran producción agrícola que, combinados con los riesgos geológicos (depósitos aluviales, fluvio lacustres, fluvio glaciales, coluviales, lacustres, morrenas y dunas) y la poca cobertura vegetal natural, hacen que la Sub-cuenca sea considerada como una de las de mayor impacto en términos de riesgos de erosión a pesar de sólo tener un 87,8% de su superficie, en la clasificación de riesgo moderado alto y alto.	Retención de sedimentos que son necesarios aguas abajo en las planicies de inundación. Disminución del tiempo de vida útil de la central. Altos costos de mantenimiento

4. Proyecto Múltiple Hidroeléctrico Rositas	600	Santa Cruz	162	595 (nivel máximo operativo: 605)	Río Grande (medio) o Guapay	Río Grande, además ríos Masicuri y Ñancahuazú	449	<p>El proyecto se ubica en la parte baja de la cuenca, en la última estratificación de la cordillera antes de ingresar a la llanura Chaco -Beniana.</p> <p>El área del proyecto presenta una topografía ondulada con presencia de pequeños valles. También existe pie de monte y llanura Chaqueña, que conforman una planicie con ligeras ondulaciones y algunos niveles de terrazas a través del río Grande.</p> <p>Las pendientes oscilan entre 60 a 85%.</p>	<p>Es el último aprovechamiento de un complejo de centrales hidroeléctricas ubicadas a lo largo de la cuenca del río Grande.</p> <p>Este proyecto demandará un costo muy elevado, afectará a 5 municipios Vallegrande, Gutiérrez, Cabezas, Postrervalle y Lagunillas, y tres áreas de interés ecológico.</p> <p>Se firmó el contrato para la ejecución del proyecto antes de obtener la licencia ambiental.</p> <p>Actualmente paralizado</p>	<p>Afectará 10 comunidades que deberán ser reubicadas y otras 23 que serán afectadas, además de los parques Iñao, Área de Manejo Integrados Río Grande Valles y Área Protegida Municipal Parabanó.</p> <p>También se tiene previsto el desmonte de 28.512 hectáreas del bosque seco boliviano-tucumano transicional (50%) y del bosque chiquitano transicional (41%).</p> <p>Durante los cuatro años que se estima dure el desmonte, se cuantificó la extracción de una biomasa de 6.878.491 toneladas. Tiempo estimado de construcción 8 años</p>	
5. Proyecto Hidroeléctrico Carrizal	346	Tarija - Chuquisaca	160	2206	Río Pilcomayo	Camblaya	20	<p>El proyecto se encuentra en las nacientes de uno de los afluentes del río Pilcomayo, el río Camblaya, en la parte alta de la cuenca del río Pilcomayo, en una gradiente altitudinal de 2200 a 2100 msnm.</p> <p>Este sector genera un aporte considerable de sedimentos para la parte baja de la cuenca.</p>	<p>Ninguna</p>	<p>Aprovechamiento de la cuenca de los ríos Tumusla, San Juan del Oro y Camblaya, con un área de 40.417 km² y un caudal medio de 43,3 m³/s.</p> <p>El proyecto cuenta con dos componentes, hidroeléctricos y de riego en la zona de Villamontes-Sachapera, Ivibobo y Crevaux (Tarija).</p>	<p>Podría generar retención de una importante cantidad de sedimentos que son necesarios aguas abajo para el desarrollo normal de los ecosistemas.</p>
6. Proyecto Hidroeléctrico Huacata	10,67	Tarija			Río Pilcomayo	Río Huacata	1,54			<p>Ya cuenta con una presa y un embalse, se prevé la construcción de una central hidroeléctrica para el aprovechamiento energético</p>	<p>Al existir la presa los ecosistemas aguas abajo puede que ya se hayan adaptado y no se tenga mayores impactos</p>
7. Proyecto Hidroeléctrico Cambari	93	Tarija	120	635	Río Pilcomayo	Tarija		<p>Se encuentra dentro el sistema de la cuenca del río Pilcomayo – Bermejo.</p>	<p>Reserva Nacional de Flora y Fauna Tariquíá</p>	<p>El proyecto consta de una presa de 120 m, que generará un embalse en el núcleo de la Reserva Nacional Tariquíá.</p>	<p>Esta Reserva es importante porque constituye área de transición de biodiversidad que vincula los ecosistemas de Bolivia y Argentina.</p>
8. Proyecto Hidroeléctrico Madera	1500	Pando			Río Madera	Río Madera		<p>Se encuentra en la llanura de inundación del río Madera, sin embargo, su principal afluente es el río Beni</p>		<p>No se cuenta con mucha información respecto a este proyecto, salvo la ubicación aproximada.</p>	<p>Al ser parte de un complejo hidroeléctrico en una misma cuenca, la magnitud de los impactos es mayor, como retención de sedimentos, eutrofización del agua estancada, corte en procesos migratorios y reproductivos de fauna acuática, emisión de gases por las características de la vegetación.</p>

9. Proyecto Hidroeléctrico Cachuela Esperanza	990	Pando	37	122 (114-119)	Río Beni Río Beni	690	<p>Se ubica en la parte baja de la cuenca del río Beni, en la desembocadura antes de la confluencia con el río Madera, llanuras de inundación. Sobre el río Beni, en los municipios de Guayaramerín (Beni) y Nueva Esperanza (Pando).</p> <p>El sitio de emplazamiento de obras, coincide con el afloramiento rocoso de la población de Cachuela Esperanza.</p>	<p>Represa de 37 m de altura sobre el río Beni, el área mínima de afectación o de impacto alto por la construcción de la represa llegaría a 57.508 ha, superficie que se incrementa a 221.101 ha.</p> <p>Es un área que periódicamente es afectada por el fenómeno del Niño (ENSO) el cual causa daños en la producción y la productividad agropecuaria, la caza, la pesca y la recolección forestal maderable y no maderable.</p> <p>La construcción de una represa tendría efectos adicionales, debido a los niveles de saturación de suelos que se registran antes de la llegada de extremos pluviales y la disminución de escorrentía o drenaje.</p>	<p>Se producirá tres veces menos energía (990 MW) con relación a las plantas de Santo Antonio (3300 MW) y Jirau (3150 MW) en Brasil.</p> <p>En cuanto al área inundada la represa de Cachuela Esperanza inundará (690 Km²) que es tres veces mayor que el área de las represas brasileras.</p> <p>El impacto de Cachuela Esperanza en temas como la emisión de GEI mucho mayor debido a la superficie inundada, principalmente.</p> <p>Se prevé al menos 50 comunidades (organizaciones comunarias) afectadas en algún grado y serios impactos a los ecosistemas involucrados</p>
10. Proyecto Hidroeléctrico Chepete	3251	La Paz y Beni	183 (desde la fundación)	400	Río Beni Beni	677	<p>Parte baja de la cuenca andina del río Beni, justo donde el río cruza las últimas estribaciones de la cordillera de los Andes antes de ingresar a la llanura amazónica, antes de la población de Rurrenabaque y San Buenaventura.</p> <p>En el sitio del proyecto se observa una serie de serranías que intercalan valles aluviales, selvas húmedas.</p>	<p>Altos costos de inversión, tanto para las vías de acceso como para las obras de la planta misma.</p> <p>El costo estimado por GEODATA en base a diferentes proyectos es de \$US 4719 mil MM.</p> <p>Como referente proyectos camineros con similares características, aún se encuentran en construcción y sus costos se han incrementado en más del 50 %.</p>	<p>El río Beni es el que mayor cantidad de sedimento arrastra en la cuenca del río Madera, lo que técnicamente ocasionaría una gran acumulación en el embalse, que representa costos millonarios para el dragado. Se observa un fuerte sesgo hacia favorecer los indicadores financieros y económicos en el estudio de identificación del proyecto.</p> <p>Sin embargo, si se tomaran en cuenta los altos costos ambientales y los impactos en temas de biodiversidad, emisión de GEI, ruido, entre otros, a corto, mediano y largo plazo, y tanto en el área de influencia directa como indirecta, la probabilidad de que el proyecto sea viable técnica económica y ambientalmente es muy baja y los riesgos que conlleva son muy altos.</p>
11. Proyecto Hidroeléctrico El Bala	425	La Paz y Beni	215 y 217	635	Río Pilcomayo Tarija	94	<p>Parte baja de la cuenca andina del río Beni, justo donde el río cruza las últimas estribaciones de la cordillera de los Andes antes de ingresar a la llanura amazónica, antes de la población de Rurrenabaque y San Buenaventura.</p> <p>En el sitio del proyecto se observa una serie de serranías que intercalan valles aluviales y selvas húmedas.</p>	<p>El Bala tiene un costo muy elevado en comparación al Chepete, tomando en cuenta que generará una décima parte del primero y los costos ambientales serán igual de elevados.</p>	<p>Impactos negativos, provocados por la construcción de caminos nuevos, extracción de áridos para la construcción, desmonte y llenado de embalses, impactos asociados al tendido de la línea de transmisión.</p>
12. Central Hidroeléctrica Camata	45				Río Camata		<p>Es parte de un estudio para la identificación de pequeñas centrales hidroeléctricas en diferentes cuencas del país, entre las posibilidades están los ríos Chayanta, Coroico, Tamampaya, Camata y Incahuasi.</p> <p>Se prevé que entre todos sumen aproximadamente 200 MW</p>	<p>Al ser parte de un complejo hidroeléctrico en una misma cuenca, la magnitud de los impactos es mayor, como retención de sedimentos, eutrofización del agua estancada, corte en procesos migratorios y reproductivos de fauna acuática, emisión de gases por las características de la vegetación.</p>	

8. COMPARACIÓN DE PROYECTOS: POTENCIA Y ENERGÍA VS. ÁREA INUNDADA

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, el uso de fuentes de energía renovables conviene justamente, porque las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), son mínimas en su ciclo de vida, en relación a las fuentes convencionales.

Sin embargo, en el caso de las hidroeléctricas que tienen embalses la discusión está abierta sobre si los GEI que se evitarán, por dejar de usar combustibles fósiles, compensarán aquellos que se emitirán como consecuencia de la masa vegetal que queda bajo el agua (en función del tipo de terreno que sea inundado), y justificarán su empleo más allá de otros impactos adyacentes. En esos casos, es evidente que es necesaria una adecuada valoración de impactos y beneficios en múltiples dimensiones (Fearnside 2015). Una herramienta útil es la medición de la huella de carbono de estas hidroeléctricas.

Un indicador adicional que puede ayudar en la toma de decisiones entre varios proyectos es hacer relaciones entre la potencia y energía que producirá cada proyecto, por unidad de área inundada, y ver el impacto desde un punto de vista energético. Con datos recopilados de ENDE 2018, se construye la siguiente tabla que compara diferentes proyectos en operación, en construcción y en estudio.

Un indicador adicional que puede ayudar en la toma de decisiones entre varios proyectos hidroeléctricos es, hacer relaciones entre la potencia y energía que producirá cada proyecto por unidad de área inundada y ver el impacto desde un punto de vista energético.

² Al comparar la huella de carbono de una hidroeléctrica, si la misma está por debajo de la alternativa térmica más eficiente disponible en el contexto, se puede tener seguridad de no contribuir a incrementar las emisiones de CO₂.

Tabla 4. Proyectos hidroeléctricos con embalses (ejecución, estudio y en operación)

Proyecto	Potencia (MW)	Energía (GWh)	Embalse (km ²)
Chepete	3251,0	15470,0	677 ⁽³⁾
Cachuela	990,0	5465,0	690 ⁽⁴⁾
Rositas	600,0	3000,0	449 ⁽⁵⁾
El Bala	425,0	2195,0	94 ⁽⁶⁾
Ivirizu	290,0	1119,0	1 ⁽⁷⁾
Complejo Corani - Santa Isabel - San José	271,0	1677,0	18 ⁽⁸⁾
Misicuni	120,0	217,0	4,6 ⁽⁹⁾
Icona	102,0	447,0	4,23 ⁽⁶⁾
Molineros	101,0	442,0	90 ⁽⁶⁾
Carrizal	346,0	1515,0	20 ⁽⁶⁾
Huacata	10,7	16,4	1,54 ⁽⁶⁾
Cambarí	93,0	407,0	22,5 ⁽⁶⁾

Nota: Elaboración propia. Para el caso de los proyectos Icona, Molineros y Carrizal se estimó el área del embalse mediante el análisis espacial realizado en el GIS Arc GIS en función a información obtenida de la altura de la presa y el GDEM de ASTER con 30 mts de resolución. (GeoBolivia, consultado 2020). Por otro lado, en estos proyectos la generación de energía se estimó utilizando un factor de planta de 0,5 en promedio.

Si construimos la relación de densidad de potencia y energía que se generará por cada km² de terreno que se inunde (la superficie del embalse), se podría contar con criterio adicional de calificación de proyectos. La siguiente tabla muestra esa relación.

³ Datos extraídos de (Lopez Camacho 2016).

⁴ Datos extraídos de (Molina 2010).

⁵ Datos extraídos de (EPTISA 2017).

⁶ Datos extraídos de (ENDE 2018).

⁷ Datos extraídos de (Medina Candia 2018).

⁸ El complejo Corani – Santa Isabel – San José tiene como embalse de regulación anual la laguna de Corani (ENDE Corani 2018), la generación anual de San José está estimada en 754 GWh (ENDE Corani 2018).

⁹ Datos extraídos de (Empresa Misicuni 2009).

Tabla 5. Densidad de potencia y energía generada por km² de embalse

Proyecto	Potencia (MW)	Embalse (km ²)	Densidad MW / km ²	Energía (GWh)	Densidad GWh / km ²
Chepete	3251,0	677 ⁽¹⁾	4,8	15470,0	22,9
Cachuela	990,0	690 ⁽²⁾	1,4	5465,0	7,9
Rositas	600,0	449 ⁽³⁾	1,3	3000,0	6,7
El Bala	425,0	94 ⁽⁴⁾	4,5	2195,0	23,3
Ivirizu	290,0	1 ⁽⁵⁾	290	1119,0	1119,0
Complejo Corani - Santa Isabel - San José	271,0	18 ⁽⁶⁾	15,1	1677,0	93,2
Misicuni	120,0	4,6 ⁽⁶⁾	26,1	217,0	47,2
Icona	102,0	4,23 ⁽⁶⁾	24,1	447,0	106,0
Molineros	101,0	90 ⁽⁶⁾	1,1	442,0	4,9
Carrizal	346,0	20 ⁽⁶⁾	17,3	1515,0	76,0
Huacata	10,7	1,54 ⁽⁶⁾	6,9	16,4	10,6
Cambarí	93,0	22,5 ⁽⁶⁾	4,1	407,0	18,0

Fuente: Elaboración propia con base en ENDE 2018.

Como se ve en la Tabla 5, el proyecto más grande en cartera es Chepete, el cual generará 3251 MW y su embalse será de 677 km². Este proyecto generará 4,8 MW y 22,9 GWh año por cada km² de embalse. Si comparamos con el proyecto Misicuni actualmente en operación, su embalse es de 4,6 km², genera 26,1 MW por km² y 47,2 GWh por km² de embalse. La densidad energética de Misicuni es más de 5 veces que Chepete en potencia y más del doble en energía. En el caso del complejo Corani – Santa Isabel – San José, tres hidroeléctricas en cascada que aprovechan el embalse de la laguna de Corani de 18 km², la densidad energética es de 3 a 1 con relación a Chepete y 4 a 1 en energía.

La comparación más extrema es entre el Proyecto Ivirizu y Rositas, guardando las dimensiones absolutas de cada proyecto, Ivirizu generará 279 MW/km² de embalse, mientras que Rositas generaría 1,3 MW/km² de embalse. En términos de energía, Ivirizu generará 1.119 GWh/km² de embalse, mientras Rositas aportaría con 5 GWh/km² de embalse.

Según el Panel Internacional de Cambio Climático-IPCC, (CDM UNFCCC, 2006), indica que centrales hidroeléctricas con una densidad mayor a 10 W/m² (10), son proyectos elegibles, en los cuales las emisiones del embalse pueden ser omitidas¹⁰.

¹⁰ Panel Internacional de Cambio Climático (CDM UNFCCC, 2006).

En este sentido, las densidades de potencia y energía permiten establecer una conclusión técnica preliminar de que, los proyectos hidroeléctricos más efectivos por unidad de área de embalse son los que se encuentran en las faldas de las cordilleras (Ivirizu, Misicuni, Corani-Santa Isabel- San José) ya que presentan una densidad de potencia mayor a 10 MW/km² . Con estos criterios se podría decir que, desde el punto de vista de la densidad energética de embalse, Rositas resulta ser el proyecto con el rendimiento más pobre por cada km² de terreno que se inunde para el embalse, en esa línea los proyectos más ineficientes serían Rositas, Cachuela Esperanza, El Bala y Chepete.

En casos donde hay áreas inundadas se debe complementar estos indicadores físicos con otros como, por ejemplo, la estimación de las emisiones de GEI en los embalses. Es decir, si la intención es desplazar centrales térmicas, el parámetro de emisiones debería ser crucial para lograrlo. Así si una central hidroeléctrica de embalse emite más CO₂ que una central de gas natural por ejemplo, de antemano es contraproducente, pues no logra rebajar las emisiones y además generar otros impactos negativos en el medio.

9. FORMULACIÓN PRELIMINAR CRITERIOS DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

En base a la información recopilada, como la ubicación de los proyectos tanto respecto a zonas biogeográficas como a áreas protegidas (Mapa 2), las características técnicas de cada proyecto (Tabla 3) y bibliografía revisada se han definido algunos criterios que podrían ayudar en la identificación de proyectos hidroeléctricos y su posterior evaluación de factibilidad.

Estos criterios fueron definidos principalmente en función a información disponible de manera pública y que permite, con un análisis rápido, dar un indicio sobre la factibilidad técnica (aspectos energéticos y económicos) del proyecto y, la sensibilidad ambiental en función de las diferentes zonas en las cuales se planifica implementar centrales hidroeléctricas.

A efecto de disponer de una valoración cada criterio estará sujeto a una valoración entre -1 y 1, donde, -1 es una situación de muy alto riesgo, 0 significa sujeto a estudios y +1 situación razonable con impactos controlados.

En la Tabla 6 se explican las consideraciones tomadas para la definición de criterios.

Tabla 6. Criterios de Análisis de Viabilidad para Proyectos Hidroeléctricos

	Criterio	Condición	Ponderación	Situación previsible o acciones a realizar
Cr1	Ubicación respecto a un área protegida	Centro del área protegida	-1	Mayor intervención del área (apertura de caminos, campamentos, maquinaria, etc.).
		Límite del área protegida	0	Elaboración de estudios específicos para definir la sensibilidad del área (zonas endémicas, lugares de reproducción, paso migratorio, etc.).
		Fuera área protegida	1	No afecta ningún área protegida.
Cr2	Zonas biogeográficas	Bosques amazónicos (elevada cantidad de vegetación, especies acuáticas, especies dependientes)	-1	Debido a las condiciones climáticas y la gran cantidad de biomasa que queda sumergida, la generación de GEI es muy elevada incluso comparando con otros problemas.
		Bosques secos interandinos	0	Evaluación del aporte de sedimentos y escenarios de endemismo.
		Puna	1	Posiblemente uno de los escenarios más proclives para la creación de embalses debido a la escasa cantidad de materia orgánica.
Cr3	Costo/Potencia	Menor a USD2500/KW	1	Puede ser económicamente competitivo contra otras tecnologías.
		Mayor a USD 2500/KW	-1	La viabilidad económica es dudosa, exige un mayor tiempo de recuperación.
Cr3	Tasa de generación kW/km2	< 10 MW/km2	-1	Mayor impacto ambiental.
		> 10 MW/km2	+1	Menor impacto ambiental.

Aplicación de los Criterios por Proyecto

En base a la aplicación de los criterios mencionados anteriormente se determinan tres conclusiones:

Recomendable: Significa que el proyecto no presenta un índice negativo en ninguno de los criterios aplicados, está claro que como todo proyecto hidroeléctrico tiene impactos. Sin embargo, puede que los mismos puedan ser mitigados con diferentes medidas.

Evaluación complementaria: Indica que el proyecto presenta un índice negativo a alguno de los criterios y que requerirá una evaluación complementaria que tenga que ver con la ubicación, diseño o concepción del proyecto.

No recomendable: Indica que el proyecto tiene al menos dos indicadores negativos y que uno de ellos corresponde a la ubicación del mismo respecto a un área protegida, en este sentido no se recomienda ejecutar el proyecto de la manera planificada. Lo mejor sería reubicar el mismo, en busca de alternativas que impliquen menor impacto.

En base a la aplicación de los criterios mencionados se tiene los siguientes resultados en cuanto a qué proyectos no debería ser ejecutados y cuáles podrían ser opciones interesantes para generación eléctrica.

Tabla 7. Aplicación de los Criterios por Proyecto

Proyecto	Cr1: Ubicación Área protegida	Cr2: Zona Biogeográfica	Cr3: Costo/ Potencia KW	Cr4: Relación generación/área embalse	Conclusión
1. Proyecto Hidroeléctrico Ivirizu	0	0	1	1	Recomendable, pero sería necesario contar con estudios sobre el área protegida y la zona biogeográfica
2. Proyecto Hidroeléctrico Icona	1	0	-	1	Recomendable
3. Proyecto Hidroeléctrico Molineros	1	0	-	-1	Evaluación Complementaria
4. Proyecto Hidroeléctrico Rositas	0	-1	-	-1	No Recomendable
5. Proyecto Hidroeléctrico Carrizal	1	0	-	1	Recomendable
6. Proyecto Hidroeléctrico Huacata	1	0	-	-1	Evaluación Complementaria
7. Proyecto Hidroeléctrico Cambarí	-1	0	-	-1	No Recomendable
8. Proyecto Hidroeléctrico Madera	0	-1	-	-1	Evaluación Complementaria
9. Proyecto Hidroeléctrico Cachuela Esperanza	1	-1	-	-1	No Recomendable
10. Proyecto Hidroeléctrico Chepete	-1	0	-	-1	No Recomendable
11. Central Hidroeléctrica El Bala	0	-1	-	-1	No Recomendable
12. Central Hidroeléctrica Camata	0	-1	-	-1	Evaluación Complementaria

Proyectos Recomendables

El proyecto Ivirizu, si bien es un excelente proyecto en temas de rendimiento energético el problema radica precisamente en el área en el cual está siendo implementado y los impactos ambientales que serán causados desde el momento de la ejecución, puesto que se está interviniendo un área de alta biodiversidad. Este proyecto está en fase de construcción avanzada, la situación exige que se realice una evaluación sobre la intervención que se está realizando y su impacto real.

El proyecto se encuentra en el límite del Parque Nacional Carrasco y cuenta con la respectiva Licencia Ambiental. La fiscalización está a cargo del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP), quienes velan por el cumplimiento de lo establecido en la Licencia Ambiental (Opinión, 24 de enero de 2019).

Los proyectos Icona y Carrizal son recomendables en su ejecución, pues no se encuentran en ningún área protegida, se encuentran en partes altas de la cuenca y sus superficies de inundación permiten un rendimiento de generación que excede el mínimo establecido.

Proyectos con evaluación complementaria

El proyecto hidroeléctrico en el río Camata, si bien se encuentra en el área protegida Apolobamba también se trata de una zona montañosa y, dependiendo del tipo de central (ejem. de pasada) podría no causar impactos fuertes en el ecosistema. Debido a que no se cuenta con información del área de inundación o tamaño de presa, es difícil definir si presenta un índice de rendimiento de generación de energía por área inundada que pueda justificar la implementación de éste.

En el caso del proyecto Molineros, el mismo generará 1,1 MW/Km², en este sentido tampoco es justificable. Sin embargo, podría reevaluarse el proyecto y plantear nuevas alternativas que mejoren este rendimiento y sea una opción interesante, puesto que no se encuentra en un área protegida y con un buen planteamiento es posible mitigar los impactos ambientales.

En cuanto al proyecto Huacata, si bien no llega al rendimiento mínimo para ser elegible este proyecto ya cuenta con la presa y el embalse construidos desde hace años, por lo que ya es un área intervenida que de alguna manera ya se ha adaptado.

No recomendables

Después de realizada la evaluación aplicando los criterios de viabilidad en función a la información que se tiene disponible, se ve que los proyectos más controversiales efectivamente son aquellos que se ubican en áreas protegidas de gran importancia ecológica, como el Parque Nacional y el Área Natural de Manejo Integrado - ANMI Madidi, es el caso de los proyectos Chepete y El Bala; y aquellos que se encuentran en áreas tropicales como ser Cachuela Esperanza y Madera, donde según estudios generan mayor impacto por tratarse de topografías casi planas y contar con bastante biomasa, la cual generaría elevadas emisiones de GEI.

En el caso del proyecto Rositas, si bien las obras que componen el sistema hidroeléctrico no se encuentran en el área protegida, el área de inundación afecta tres áreas protegidas: Parque Nacional y ANMI Serranía del Iñao, el Área Protegida Municipal Parabanó y el Área de Manejo Integrado Río Grande Valles. Por otro lado, no cumple con el criterio de generación/área inundada, de hecho, es uno de los proyectos que tiene el rendimiento más bajo. La eventual construcción de Rositas puede significar que varias especies de animales sean expulsadas de su hábitat y las zonas de tránsito de mamíferos sean alteradas por las obras. Las represas obstruirán la libre circulación de los peces y evitarán que alcancen las regiones aguas arriba donde anualmente desovan. Según el estudio de la consultora EPTISA (2017), empresa a cargo de la elaboración de los estudios ambientales del proyecto Rositas, afirma que habrá una gran producción de GEI; señala que aún en el escenario óptimo que implica la remoción del 90% de la biomasa, no se tendría un efecto significativo en la reducción de emisiones de GEI generadas por “la desgasificación del agua que pasa por las turbinas, la descomposición anaerobia de materia orgánica que se genera por organismos autótrofos en la misma represa y por la degradación de la biomasa que queda inundada en la misma represa”.



10. COMPLEMENTARIEDAD SOLAR, EÓLICA E HIDROELÉCTRICA

El Balance Energético Nacional (BEN) del año 2014 (MHE, 2015) muestra que en el año 2014 la producción primaria de energía de todas nuestras fuentes renovables y no renovables fue de 165,8 MM bep (millones de barriles equivalentes de petróleo).

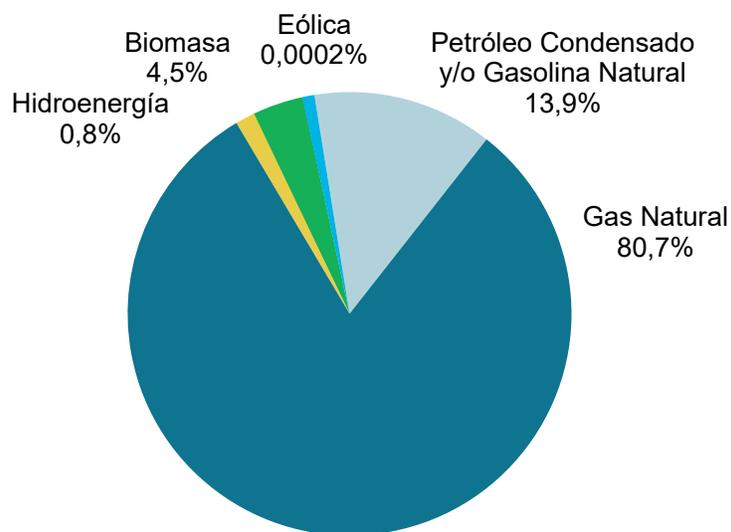


Figura 2. Estructura de la Producción de Energía Primaria. 2014.

Fuente: BEN 2014

De toda esa energía producida el 94,6% corresponde al GN e hidrocarburos líquidos, la biomasa es el 4,5% y la hidroelectricidad un 0,8%.

Bolivia es un exportador neto de energía, en 2014 se exportó 113,5 MM bep equivalente al 68,5% de toda la energía primaria producida. De toda la energía exportada 94,2% corresponde a GN, el restante 5,8% son exportaciones de hidrocarburos líquidos y GLP.

Ahora bien, analizando el consumo interno de energía según el BEN 2014, éste consumo alcanzó a 45,0 MM bep, que equivale solamente al 27% de la producción primaria de energía. Se puede ver que el sector que más energía consume es el transporte, seguido por la industria, el sector residencial y luego el sector agropecuario, pesca y minería, cerrando con el sector comercial.

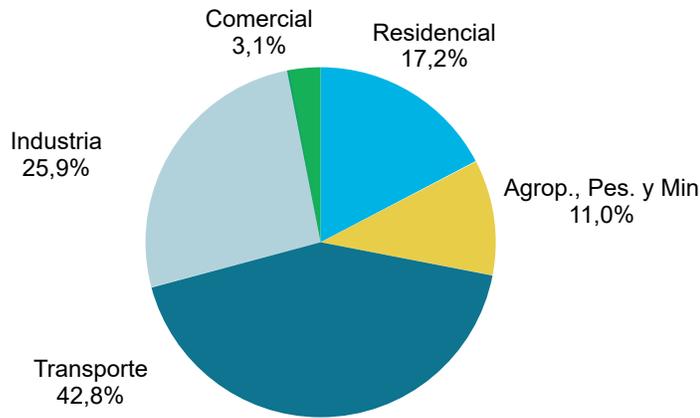


Figura 3. Estructura del Consumo Final de Energía por Sector. 2014.

Fuente: BEN 2014

Analizando la misma estructura de consumo, pero esta vez desde las fuentes energéticas que se utilizan, salta a la vista que los 45,0 MM bep son cubiertos fundamentalmente por hidrocarburos en un 75,4% (incluido el diésel importado).

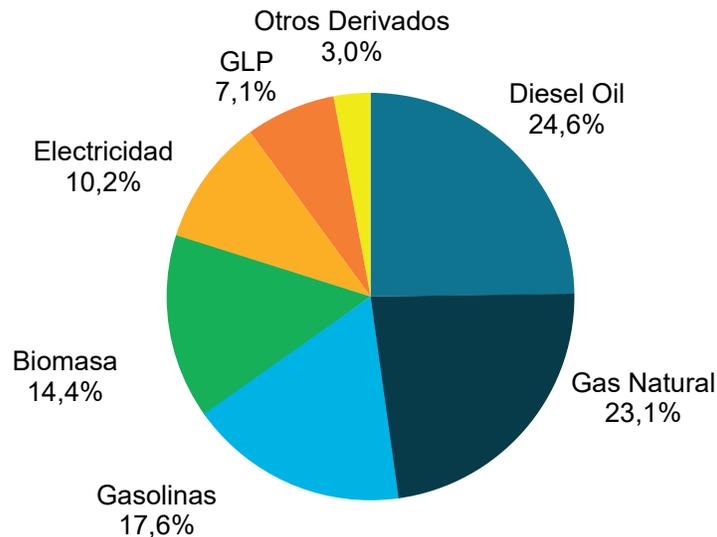


Figura 4. Estructura del Consumo Final de Energía por Fuente. 2014.

Fuente: BEN 2014

La electricidad representa solamente un 10,2% de toda la energía que consume el país (4,5 MM bep), siendo inclusive la biomasa (14,4%) más importante en términos cuantitativos. En este panorama ya se puede ver que una discusión sobre cómo se genera la electricidad si bien es importante, oculta la realidad mayor, que el 75,4 de la energía que utilizamos proviene de los hidrocarburos.

En un escenario de descarbonización del sector energético se plantea que se debe electrificar la economía. Esto implica que la generación con fuentes renovables será un imperativo.

La energía solar y eólica, y el problema de la intermitencia

Bolivia tiene un potencial solar muy grande. Prácticamente en cualquier lugar del territorio boliviano se puede aprovechar esta energía, con mejores condiciones y rendimientos que los mejores sitios de Europa. Como ejemplo mostramos las curvas de radiación solar extraterrestre por horas, para diferentes fechas de un año típico para la ciudad de La Paz (Birhuett G., 2016).

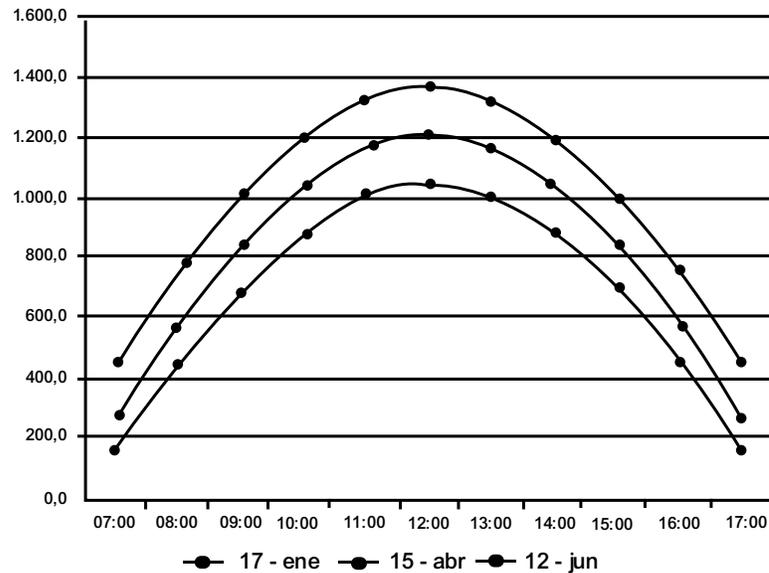


Figura 5. Irradiación horaria extraterrestre sobre una superficie horizontal en W/m^2 para la ciudad de La Paz, Bolivia

Se aprecia la regularidad de las curvas. Sin embargo, una vez que la radiación llega a tierra la energía que se recibe en cada metro cuadrado se reduce debido a que la radiación ha debido cruzar la atmósfera, las nubes, etc. Con todo, para el caso de La Paz, el promedio anual por metro cuadrado es de $6,5 \text{ kWh}/m^2/\text{día}$ (ENERGÉTICA, 2018), lo que significa $2.372,5 \text{ kWh}/m^2/\text{año}$. Significa que un metro cuadrado de superficie en La Paz recibe una cantidad de energía anual equivalente a 1,39 bep (más de 233 litros de petróleo equivalente).

Continuando con la extrapolación se puede calcular que, para generar toda la energía eléctrica que consumió el país en 2015 con energía solar fotovoltaica¹¹, se necesita solamente un área efectiva de $34,2 \text{ km}^2$ en el Salar de Uyuni (Fernandez F., 2017).

¹¹ Para el cálculo se considera un valor medio de radiación solar anual de $6,5 \text{ kWh}/m^2/\text{día}$, y una eficiencia de conversión global en electricidad del 10%, se consideran solamente instalaciones fijas y tecnología monocristalina en los paneles fotovoltaicos. Existen zonas donde inclusive se llega a $7,5 \text{ kWh}/m^2/\text{día}$.

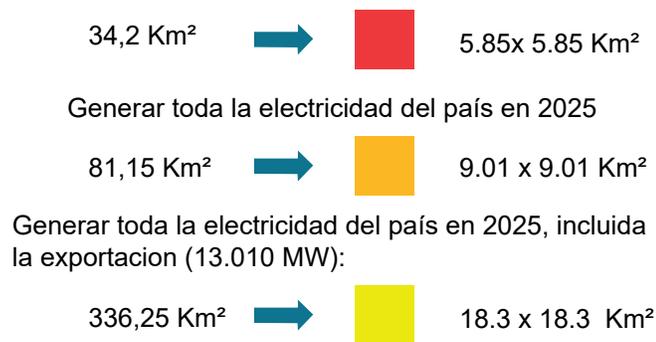


Figura 6. Datos Indicativos: Salar de Uyuni
Superficie Necesaria para Generar toda la electricidad del país en 2015

Entonces si se recibe tanta energía solar ¿por qué no aprovecharla directamente?

El gran problema de la energía solar, eólica, y en general de las energías renovables, es su intermitencia. Es decir, tienen una alta variabilidad temporal, y la explotación de este recurso se planifica sobre valores promedio y valores totales que se reciben en un ciclo, usualmente un año completo.

Como ejemplo se muestra una curva de radiación solar registrada en Cochabamba (Vargas & Abrahamse, 2014), donde se aprecia las variaciones instantáneas que se producen, así como un juego de curvas donde se ve la radiación incidente y la energía generada por un panel fotovoltaico de manera simultánea¹², mediciones realizadas en abril de 2013.

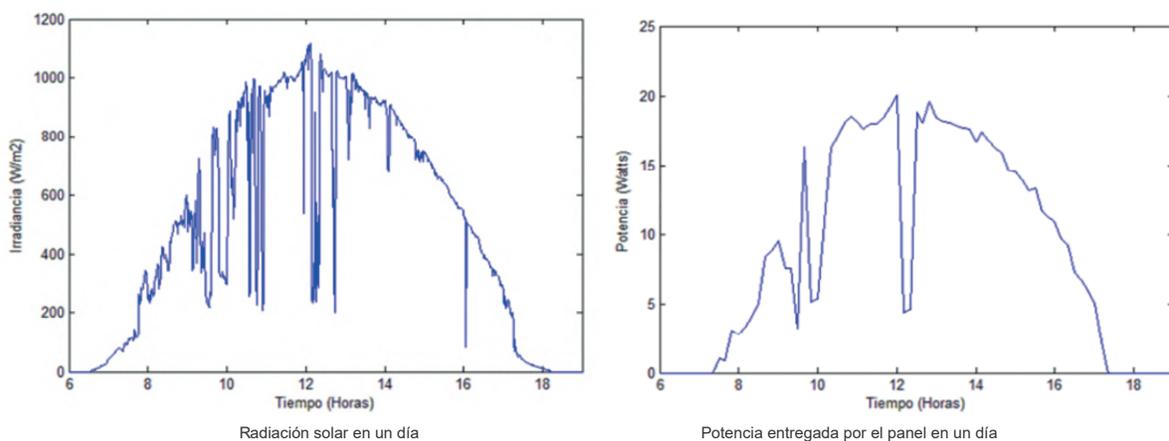


Figura 7. Radiación solar y potencia entregada por un panel fotovoltaico
Fuente: Vargas & Abrahamse, 2014

¹² El rendimiento de un panel fotovoltaico depende directamente de la radiación solar que recibe y de la temperatura que alcanzan los módulos. A mayor temperatura, menor eficiencia.

La energía solar a pesar de ser una de las fuentes más regulares y predecibles, también varía entre días y entre meses, como vemos la variación anual de la energía solar en el siguiente gráfico que corresponde a Patacamaya para el año 2011 (Torrez, Burgoa, & Ricaldi, 2013).

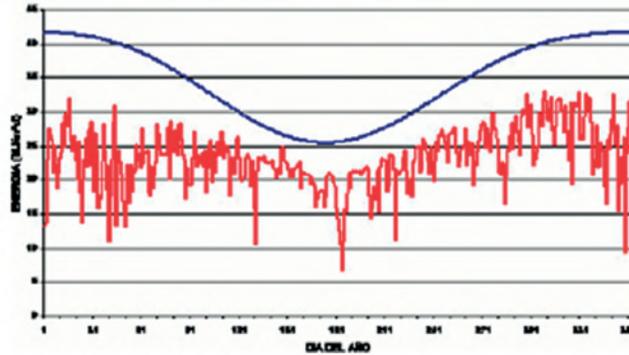


Figura 8. Energía Solar extraterrestre y energía incidente medida en Patacamaya
Fuente: Torrez, Burgoa, & Ricaldi, 2013

Estas variaciones que dependen de la radiación solar, la temperatura, una nube que pase temporalmente, o una ráfaga de viento que enfríe momentáneamente los paneles fotovoltaicos, pueden hacer variar los niveles de generación de energía y ofrecer una fuente energética altamente inestable, o mejor dicho de alta inflexibilidad en el uso.

Esta situación marca un límite técnico a la inyección de energía solar y eólica, en general en los sistemas eléctricos de todos los países, exigiendo nuevas condiciones e infraestructuras para la programación del despacho de carga.

En pequeñas instalaciones solares aisladas, el disponer de un suministro continuo de energía se logra utilizando baterías donde se acumula la energía y, a partir de ellas se puede alimentar cargas de manera regular y continua, sin los sobresaltos de la variabilidad instantánea. Los paneles fotovoltaicos cargan las baterías y la energía necesaria se extrae de las baterías. Lo más importante, las baterías nos permiten disponer de energía inclusive en horario nocturno, cuando ya no hay sol.

De manera obvia, al comparar una curva horaria de radiación solar con la curva de carga del sistema eléctrico boliviano, veremos que superponiendo las mismas, más allá de las proporciones, no existe una compatibilidad directa posible, pues la demanda de electricidad es de 24 horas, y la energía solar está disponible mientras haya sol siempre variando a cada instante.

De esta manera, la utilización efectiva de la energía solar disponible solamente podría cubrir una parte de la demanda, siempre y cuando se pueda regular apropiadamente los altibajos aleatorios que existe en la generación.

La única posibilidad de ser solar - autónomos, sería acumulando la energía en baterías. Con la tecnología actual, el costo de la energía solar acumulada podría estar en 4,4 Bs/kWh¹³ mientras que, la tarifa eléctrica actual está en 0,9 Bs/kWh a junio de 2018, casi 5 veces más de lo que actualmente se paga.

En conclusión, más allá de contar con el potencial solar y saber que existe ingentes cantidades de energía solar, aún no es posible pensar en que nuestras ciudades funcionen completamente con energía solar por razones técnicas y económicas. Al menos no, mientras no se solucione estructuralmente el problema del almacenamiento de energía, o que se pueda convencer a la población de que un incremento del 500% es aceptable, situación compleja cuando ya hubo problemas por incrementos del 3% en las tarifas el 2017 (Leon, 2017).

La situación de la energía eólica no es muy diferente en cuanto a variabilidad. Nuevamente la planificación de la explotación del recurso se realiza sobre la base de datos estadísticos pues la variabilidad instantánea es muy alta, aún en los sitios en los que el potencial eólico es alto. Gráficamente se puede ver la variación de la velocidad de viento en Las Juntas, una comunidad situada en un cañadón en la región que se denomina Río Abajo, en el punto de confluencia con el río Caracato, La Paz, donde existe una estación meteorológica (Torrez S., Ghezzi, & Palenque, 2009).

La única posibilidad de ser solar - autónomos, sería acumulando la energía en baterías.

¹³ Se considera un sistema de 1,5 kWp, 5,5 kWh/m² día de radiación solar, baterías solares plomo ácido, profundidad de descarga de 30%, 4 años de vida útil para las baterías, con una inversión de \$US 9.300.

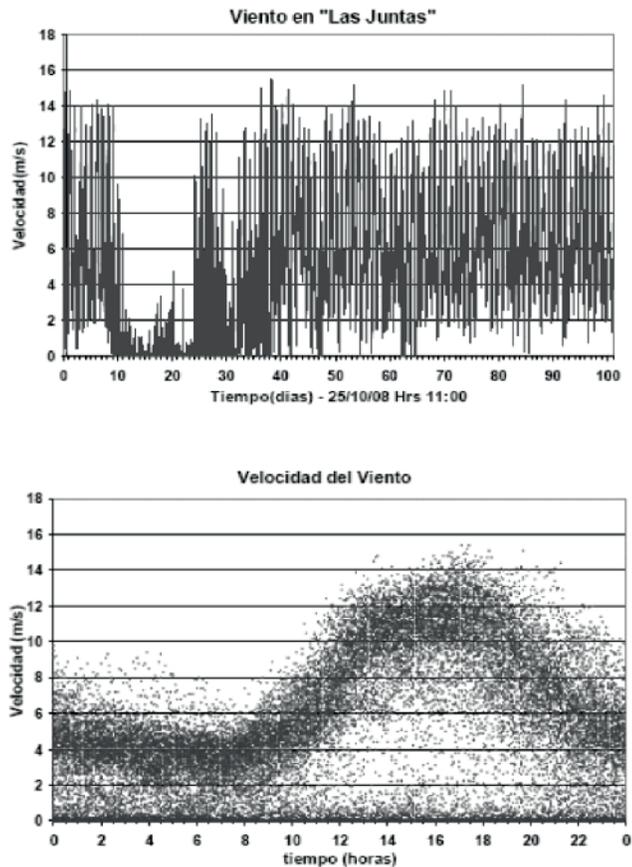


Figura 9. Variaciones de velocidad de viento diarias y periódicas en Las Juntas (La Paz).
Fuente: Torrez S., Ghezzi, & Palenque, 2009

En este contexto es necesario puntualizar que la intermitencia de las energías renovables, en especial la solar y la eólica, condiciona necesariamente a combinar estas fuentes “no flexibles” con fuentes flexibles que permitan justamente cubrir los altibajos de generación. En Bolivia en este momento quienes permitirán modular la intermitencia de estas fuentes, son las turbinas a gas natural del SIN y las plantas hidroeléctricas de embalse.

En perspectiva de construir una matriz de energía sostenible, se deshecha la opción de contar con fuentes de origen fósil en esta nueva matriz de generación. Sin duda, las instalaciones fotovoltaicas y eólicas a nivel mundial son las de más alto crecimiento en los últimos años, y con precios en descenso continuo (REN 21, 2018). Como ya se ha visto la alta intermitencia o variabilidad de estas fuentes de energía y su dificultad de almacenamiento, hace que las mismas se deban consumir el momento que se generan. La incorporación de solar y eólica en los sistemas eléctricos implica adecuaciones tanto en infraestructura como en lógica de despacho y aspectos económicos¹⁴.

¹⁴ Los sistemas eléctricos desarrollados tradicionalmente, se basan en gestionar fuentes centralizadas térmicas e hidroeléctricas y que pueden almacenar su energía (combustibles fósiles, agua).

Existen de momento dos pasos para enfrentar el reto, el primero es una mejora en la predicción de la generación solar y eólica, y el segundo es disponer de fuentes de energía renovables flexibles, listas para responder a la intermitencia de las fuentes “no flexibles”.

Puesto que las variaciones de la energía solar y eólica son consecuencia de fenómenos climatológicos y físicos, que a su vez varían con el tiempo y pueden ser objeto de tratamiento probabilístico, es posible modelar su comportamiento. Cada vez hay mayor precisión para pronosticar la generación solar o eólica para periodos de tiempo que permitan adecuar una respuesta del sistema. Por otro lado, la modelación de la demanda es altamente efectiva ya, y se la practica regularmente en los sistemas de programación de despacho.

La mejor forma de incorporar la generación fotovoltaica y eólica pasa por disponer de un sistema de respaldo que sea capaz absorber la intermitencia de las variaciones y responder rápidamente ante los requerimientos que se presenten desde el lado de la demanda. Si bien, actualmente este rol lo juegan las centrales térmicas que tienen reserva “rotante”, generadores que están activos en todo momento, listos para responder a estas fluctuaciones¹⁵, el siguiente paso es sustituirlos por fuentes de energía renovable “flexibles” que, como parte del sistema permita el aprovechamiento de la energía solar y eólica.

Revisando los potenciales de energía renovable del país, salta a la vista que la hidroeléctrica de embalse es una de las pocas fuentes de energía renovable que puede responder a esta demanda.

Por otro lado, revisando la cartera de proyectos hidroeléctricos de Bolivia se puede ver que, todos los proyectos en mayor o menor grado tienen afectaciones ambientales importantes.

En ese sentido, la etapa crítica de una central hidroeléctrica es la de diseño y planificación, donde se debería abordar de manera debida la identificación, estudio y predicción de impactos negativos y mediante herramientas técnicas de toma de decisiones sobre la viabilidad o no de los diferentes proyectos. En el marco del desarrollo sostenible supone el reto más importante de estos proyectos (Malagon, 2018).

Al parecer, dadas las ventajas de la hidroelectricidad y, considerando que su presencia habilita la utilización de los potenciales solares y eólicos, la necesidad de contar con más plantas hidroeléctricas en Bolivia es perentoria.

¹⁵ Profesionales del sector eléctrico tradicional contrapesan la seguridad de producción de energía manifestando que, por cada unidad de potencia de energía intermitente (solar o fotovoltaica) debe preverse necesariamente una unidad de potencia “flexible”, lo que redundaría en un encarecimiento de la energía. Afortunadamente no son la mayoría.

¿Hidroelectricidad sostenible, es posible?

La sostenibilidad de las hidroeléctricas es un debate importante y las decisiones deberían tomarse sobre la base de un balance de beneficios y daños que provoquen los proyectos. Para esto, lo importante es que se establezca un mínimo de bases técnicas de discusión que permita evaluar todos los aspectos de las hidroeléctricas.

A nivel internacional existen al menos tres guías que pretenden evaluar la sostenibilidad o no de los emprendimientos hidroeléctricos. Estos son:

- 1) El Protocolo de Evaluación de la Sustentabilidad de la Hidroelectricidad (HSAP, por su sigla en inglés) versión 2011 (IHA, 2018), un instrumento aceptado y utilizado por una gran mayoría de instituciones internacionales, incluidas instituciones ambientalistas;
- 2) Criterios y Guías de Buenas Prácticas de la Comisión Mundial de Represas (WCD, 2000), un reporte crítico a la situación de muchas grandes represas que incluye sugerencias para no repetir los errores detectados;
- 3) Estándares del Instituto de Hidroelectricidad de Bajo Impacto (LIHI, 2016), un mecanismo que, de aplicarse posibilita la certificación del bajo impacto ambiental de las hidroeléctricas. Estas tres referencias al menos son aceptadas por una gran mayoría de países como documentos referenciales para los estudios de sostenibilidad.

Una revisión al Protocolo de Evaluación de la Sustentabilidad de la Hidroelectricidad muestra con suficiencia los impactos en la parte social, ambiental, técnica y económica. El Protocolo examina las cuatro etapas de un proyecto: inicial, preparación, implementación y operación de un proyecto. En diferentes grados, según cada etapa, evalúa la necesidad demostrada del proyecto, el análisis de alternativas (en la etapa inicial), las políticas y planes, el riesgo político, la capacidad institucional, riesgos técnicos, riesgos ambientales y riesgos económicos.

Una revisión al Protocolo de Evaluación de la Sustentabilidad de la Hidroelectricidad muestra con suficiencia los impactos en la parte social, ambiental, técnica y económica.

Esto incluye la realización de consultas, localización, el diseño, la gestión de impactos ambientales y sociales, el recurso hídrico, seguridad de la infraestructura, viabilidad económica y financiera, los beneficios del proyecto, las adquisiciones, las comunidades y medios de vida afectados, aspectos de reasentamiento, pueblos indígenas, condiciones de trabajo y empleo, patrimonio cultural, biodiversidad, erosión, sedimentación, calidad de agua, planeamiento del embalse, régimen de flujo agua abajo. Para el efecto dispone de una escala de medición y calificación que permite emitir resultados y dictámenes (Hydropower Sustainability, 2018).

En este contexto se puede afirmar que existen las herramientas necesarias que permitan evaluar y calificar la sostenibilidad de los proyectos hidroeléctricos, asegurando que los mismos sean una contribución efectiva a la construcción de una matriz de energía sostenible.

En la línea de construir una matriz energética sostenible, proceso que conllevará sin duda varias décadas, las fuentes más prometedoras son la hidroeléctrica, la solar y la eólica, por precio, por disponibilidad tecnológica y por seguridad en el aprovechamiento de los recursos. Otras fuentes como la biomasa, por ejemplo, o la geotermia, están en proceso de consolidarse y con seguridad en el futuro serán una opción más.

Dada la intermitencia de la energía solar y eólica y la necesidad de tener fuentes flexibles basadas en energía renovable que permitan su aprovechamiento, la hidroeléctrica de embalse se constituye en la mejor opción que dispone el país, hasta que se presente una forma más económica de almacenar energía.

Si se quiere una participación importante de energía solar y eólica en la matriz energética boliviana, sin duda, serán las plantas hidroeléctricas con embalse las que harán posible este ingreso (considerando que en un futuro tendremos que relegar el uso de energía térmica de origen fósil).

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el caso de los proyectos en etapa de estudio, es importante reevaluar los documentos e informes existentes tomando en cuenta y valorando correctamente todos los impactos negativos que han de producir a corto, mediano y largo plazo, tanto en las áreas de influencia directa como las indirectas, sobre todo aquellos que se encuentran en o cerca de áreas protegidas o zonas muy sensibles.

A partir del análisis realizado a los 12 proyectos seleccionados, es posible formular las siguientes conclusiones:

- Realizar el cambio en la matriz energética del país a costa de perder áreas de interés ecológico y generar reubicación de comunidades puede generar conflictos y demuestra que los proyectos no fueron adecuadamente planificados.
- La ubicación de las represas en los ríos afectarán el ecosistema acuático pues las represas, en algunos sitios, pueden aumentar el riesgo de inundaciones, afectar la calidad del agua y modificar los patrones migratorios de los peces; pero también, según su ubicación, pueden ofrecer oportunidades de pesca, turismo y convertirse en una fuente de energía.
- Proyectos que se encuentran en la parte media de la cuenca generan retención de sedimentos que afectan la vida útil de los embalses, así como al desarrollo natural de los ecosistemas de la cuenca aguas abajo de los embalses, ya que deja de haber aportes de sedimentos que son vitales para el desarrollo de los ecosistemas.
- Proyectos que se encuentran en las llanuras aluviales o llanuras de inundación generan mayores áreas de inundación, por lo tanto, mayores pérdidas en temas sociales y económicos, mayor emisión de GEI.
- Una variable de medición importante para las hidroeléctricas de embalse deber ser la generación de GEI, para comparar con los proyectos convencionales. En Bolivia existe muy poca información local sobre este punto y debería considerarse a futuro, como un criterio fundamental.

Es posible tener hidroeléctricas sostenibles. La decisión sobre si la hidroelectricidad con embalse es una opción sostenible o no, depende básicamente de un análisis técnico, sólido y multidimensional. En este contexto, la aplicación del Protocolo de Evaluación de la Sustentabilidad de la Hidroelectricidad es necesaria ya que el mismo es uno de los documentos más ampliamente reconocidos y que combina aspectos, técnicos, ambientales, sociales y económicos que permite hacer una valoración adecuada de los proyectos.

Recomendaciones

Existen las herramientas necesarias que permiten evaluar y calificar la sostenibilidad de los proyectos hidroeléctricos, asegurando que las mismas sean una contribución efectiva a la construcción de una matriz de energía sostenible.

- Tomando en cuenta el gradiente altitudinal que existe en Bolivia, la generación hidroeléctrica en cascada con proyectos más pequeños, con embalses menores situados en lugares de bajo interés biológico y ecológico (como pueden ser las partes altas de la cuenca) puede ser más viable económicamente.

Los cuatro criterios utilizados para realizar una selección preliminar de proyectos y ver su

- conveniencia o no, son solamente indicativos, pues en cada caso se deberá profundizar su aplicación y complementar con otros estudios particulares. Sin embargo, permiten orientar una decisión futura para continuar el proyecto.

Para la planificación y desarrollo hidroenergético en el país es importante considerar

- estudios y/o análisis sobre conectividad de los ríos, en caso de no existir se deben promover y apoyar este tipo de análisis.

Es importante utilizar una metodología única para la evaluación de impactos ambientales,

- de tal manera que bajo parámetros estándar se pueda estimar y comparar los impactos que se provocarían con cada proyecto y también con el conjunto de proyectos. Un acuerdo sobre la aplicación del mencionado Protocolo podría direccionar la discusión a un campo técnico y científico, más allá de las campañas mediáticas y los silencios administrativos.

Se debería estudiar otras opciones de generación hidroeléctrica, como ser las centrales de

- bombeo que pueden utilizar el agua en un ciclo cerrado. Aunque inicialmente puede ser costoso, estudios internacionales muestran la viabilidad de estas centrales respecto a otras alternativas de almacenamiento de energía.

Cochabamba, febrero de 2020.



© Andrés Unterladstætter / WWF-Bolivia

Es una publicación de:

