



Reporte elaborado por: 

## Proyecto Ballena II Identificación de zonas atractivas para almacenamiento hidráulico por bombeo en Baja California Sur

### Resumen Ejecutivo

El Proyecto ‘Ballena II’ tiene como objetivo identificar las oportunidades del uso de nuevas tecnologías a través del uso del rebombeo de agua como parte de sistemas de almacenamiento para fomentar el uso de la energía solar fotovoltaica. Actualmente, México no cuenta con proyectos de este tipo, a pesar de que las condiciones geográficas del país permitirían de manera importante una penetración y desarrollo de esta tecnología.

El rebombeo hídrico se refiere a un sistema de almacenamiento de energía a través del almacenamiento de agua en dos embalses. El método de almacenamiento consiste en el uso de la gravedad para generar energía a través del movimiento de turbinas hidráulicas. El sistema bombea agua de una reserva o embalse a desnivel durante la generación de energía excedente fuera de horarios pico de demanda y libera agua del embalse superior cuando la generación renovable decae y la demanda aumenta o permanece constante.

El desarrollo de estos proyectos utiliza electricidad de bajos costos generada en horarios fuera de demandas pico para elevar la energía al embalse superior. Durante los periodos de alta demanda, el agua almacenada en el embalse superior se libera a través de turbinas para producir energía eléctrica. El gran beneficio de estas plantas es que, a pesar de que el proceso de bombeo consume energía, el sistema permite vender energía a precios más altos en periodos de alta demanda. Además, si el costo de esa generación es igual a cero (a través del uso de energía renovable) las ganancias son siempre positivas. El desarrollo de este tipo de proyectos tiene también el beneficio de estabilizar la potencia de la red, permiten disponer de energía auxiliar en casos de emergencia así como reducir la intermitencia al ser combinada con generación renovable, entre muchas otras.

El proyecto se enfoca en identificar las características necesarias para la penetración de esta tecnología en el Estado de Baja California Sur, México. Debido a las características únicas del Estado – la desconexión del resto del Sistema Eléctrico Nacional, la alta dependencia en combustibles fósiles para la generación de electricidad y la creciente y contaminante industria de la que depende la generación de energía – la posibilidad de desarrollar nuevas medidas de almacenamiento de energía surge como una estrategia para independizar de manera sustentable la generación de energía sin tener afectaciones negativas a la sociedad, al medio ambiente y al desarrollo económico.

En este sentido, el Estado de Baja California Sur se enfrenta a un trilema energético que consiste en asegurar: la seguridad energética, la equidad energética y la sustentabilidad ambiental. Sin embargo las características del Estado por su posición geográfica y por su topografía, que antes se consideraban uno de los más grandes retos para generar electricidad a precios bajos, hoy ofrecen alternativas de generación más limpias a través del uso de energías renovables y sistemas de almacenamiento.

Actualmente se han estudiado varias alternativas para reducir emisiones de GEI, mejorar la seguridad energética y reducir los precios en la región de manera significativa. Los estudios han considerado incluso alternativas como la conexión submarina con el resto del continente, con una línea de interconexión de más de 100 kilómetros, transportar gas natural comprimido a través de barcos y por último incrementar la penetración de energía renovable y los esfuerzos de almacenamiento.

El uso de tecnología de este tipo ha comenzado a implementarse en otros países. Actualmente existen 2 proyectos de almacenamiento por bombeo de agua marina: Okinawa (ya no opera) y Tarapacá (en evaluación de impacto ambiental) son las principales plantas de bombeo de agua marina en el mundo. Estas instalaciones también podrían permitir también la desalinización de aguas utilizadas en el bombeo para abastecer a la demanda de consumo de agua.

**Figura 1: Proyectos de rebombeo hídrico usando agua de mar (2015)**

	Okinawa Island, Japón	Espejo de Tarapacá
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Año de Construcción: 1999</li> <li>• Capacidad instalada: 30 MW</li> <li>• No cuenta con sistema de respaldo renovable</li> <li>• Utiliza el mar como depósito bajo</li> <li>• Altura: 135 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Año de Construcción: 2017</li> <li>• Capacidad instalada: 300 MW</li> <li>• Cuenta con 600 MW de respaldo Solar FV</li> <li>• Utiliza el mar como depósito bajo</li> <li>• Altura: 600 m</li> </ul>
<b>Inversión</b>	<b>-\$27 MUSD</b>	<b>\$500 MUSD</b>
<b>OpEx</b>	<b>1.5% %/CapEx</b>	<b>1.5% %/CapEx</b>

Fuentes: Water Power & Dam Construction, BNamericas, Vaihalla.

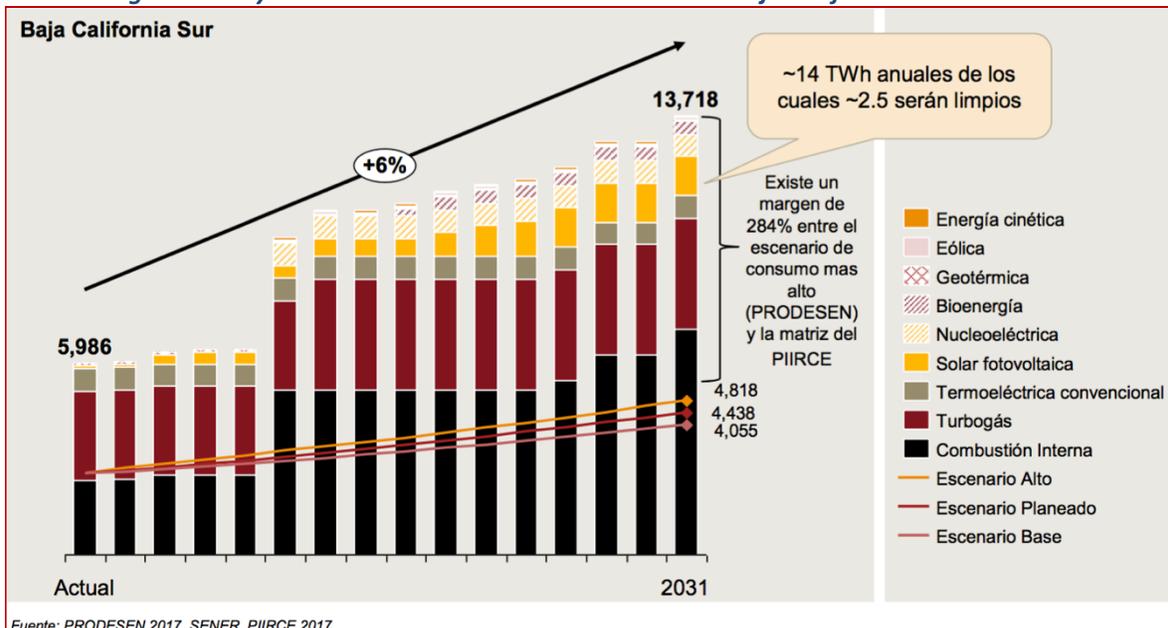
### Diagnóstico.

Actualmente el estado de Baja California Sur produce el 85% de la generación de electricidad a través de combustibles fósiles, la prospectiva de la Secretaría de Energía (SENER) para 2015 es que la zona se mantenga en esta misma trayectoria al 2029, con una relación de 85% de energía producida a través de combustibles fósiles y un 15% por medio de otras fuentes. Baja California Sur produce su propia electricidad por medio de 10 centrales que usan combustóleo y diésel. Es un sistema aislado del resto del país con una capacidad instalada de 750 MW. Actualmente es este estado representa el 0.9% del consumo eléctrico de todo el Sistema Eléctrico Nacional con un sistema de 355 Km de líneas de transmisión y 4 puntos de generación.

En este sentido, aunque el estado produce casi la misma cantidad de energía que consume, los costos de la electricidad son, en promedio, unos de los más altos a nivel nacional. La tasa de crecimiento de uso de electricidad en el estado es de 3 a 3.5% anual, por lo que, al igual que el resto del sistema interconectado Internacional requiere de una adición importante de energía. Durante el 2017, el gobierno federal ha comenzado a trabajar en establecer una línea de electrificación subte-

rránea que será clave para electrificar la zona en 2021 (cuando el proyecto esté terminado). En este sentido, el desarrollo de las energías renovables juegan un papel fundamental para substituir las plantas existentes que utilizan combustibles de origen fósil y atender el incremento de la demanda en el mediano y largo plazo. La opción del almacenamiento por rebombeo presenta una importante alternativa para atender la intermitencia del suministro por energías renovables en la zona.

**Figura 2: Proyección de Generación de Electricidad en Baja California Sur 2017-2031**



Como es posible observar en la gráfica, la participación de energías renovables se incrementará en los próximos años, sin embargo, solamente se generarán 2.5 TWh al año a través de estas energías. La inclusión de sistemas de rebombeo puede incrementar la penetración de renovables.

### Metodología:

Con base en los resultados del estudio: *Proyecto Ballena II*, se identificaron una serie de parámetros que permiten identificar las características del terreno topográfico, del sistema de transmisión, del de distribución y de las centrales de generación, así como los centros de demanda de la región. Asimismo, entre estas carteristas se incluyen proximidad a ciertas Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los factores de planta de las plantas generadoras aledañas. Así como elevaciones con suficiente altura y con posibilidades de adoptar un embalse.

Con las características necesarias para el desarrollo de proyectos de rebombeo en Baja California Sur identificadas se se establecieron, a través de un proceso metodológico, conocido como Four-

Ways-To-Play con el fin de identificar la factibilidad de proyectos a través de ciertos parámetros que permiten determinar la factibilidad y los costos-beneficios que podrían generarse del desarrollo de proyectos de bombeo. En la siguiente tabla se muestra los principales parámetros, con una descripción para cada uno, así como la asignación de una valoración (o peso) para ponderarlos en posibilidades y porcentajes de factibilidad.

**Figura 3: Metodología para identificar sitios potenciales de almacenamiento por bombeo.**

Categoría	Parámetro	Unidad	Peso				Valoración	Descripción del Parámetro	Fuentes
			WIP1	WIP2	WIP3	WIP4			
Sistema	Ubicación	Grados (°, ',"	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Coordenadas (latitud y longitud) de las montañas identificadas. Es el punto que se utiliza como referencia para medir la distancia con otros parámetros	<a href="http://www.qsl.net/xe2zhwh/bajasu.gp">http://www.qsl.net/xe2zhwh/bajasu.gp</a>
	PML	MXN/MWh	2%	2%	2%	1%	++	PMLs altos indican mayor oportunidad para la instalación de una planta, buscando compensar la falta de generación local de energía	CENACE
	Demanda	MW	10%	2%	2%	2%	++	Zonas con mayor demanda (Constitución, La Paz y Los Cabos) tendrán mayor requerimiento de generación. Se asocian montañas con zonas de demanda	CENACE
	Distancia a Demanda	Km	10%	3%	3%	3%	+,-	Distancia los puntos de referencia (montañas) a las zonas de demanda. A menor distancia, mayor atractivo	Google Earth,
	Generación	MW	10%	14%	1%	3%	++	Zonas en las que existen centrales de generación podrían permitir la sustitución/conversión o adaptabilidad para más capacidad de generación	CENACE
	Distancia a Generación	Km	10%	15%	1%	3%	+,-	Distancia de los puntos de referencia (montañas) a las centrales de generación existentes. A menor distancia, mayor atractivo	Google Earth,
	Generación (Proyecto)	MW	5%	1%	14%	2%	++	Zonas identificadas con potenciales centrales de generación. Las centrales de hidro por bombeo podrían permitir la adaptabilidad para más capacidad de generación	SIASIC,
	Distancia a Generación (Proyecto)	Km	5%	1%	15%	2%	+,-	Distancia de los puntos de referencia (montañas) a las centrales de generación potenciales. A menor distancia, mayor atractivo	SIASIC,
	Subestación	MW	7%	1%	1%	3%	+,-	Subestaciones con mayor capacidad de interconexión disponible permitirán mayor instalación de capacidad de almacenamiento por bombeo	CENACE
	Distancia a Subestación	Km	7%	3%	3%	3%	+,-	Distancia de los puntos de referencia (montañas) a las subestaciones. A menor distancia, mayor atractivo	Google Earth,
	Consumo de Agua	Km	2%	1%	1%	2%	+,-	Si se planea instalar una planta desalinizadora, podría suministrarse de agua a los centros de demanda de este recurso. A menor distancia, mayor atractivo	
	Tarifa de Agua	\$/m <sup>3</sup>	3%	2%	2%	2%	++	Tarifas altas indican una mayor oportunidad para la instalación de una planta desalinizadora para facilitar la disponibilidad de agua	OOMSAPAS (Los Cabos, La Paz)
Terreno	Altura de Montaña	m	5%	3%	3%	15%	++	La altura de la montaña daría mayor potencial de generación de energía eléctrica	Google Earth,
	Orografía de la Montaña (Planicie)	Si / No	2%	2%	2%	12%	++	La cima de la montaña debe tener una superficie que facilite la construcción de la planta	Google Earth,
	Distancia al mar	m	5%	13%	13%	15%	+,-	Distancia de los puntos de referencia (montañas) al mar. A menor distancia, mayor atractivo	Google Earth,
	Radiación Solar	kWh/m <sup>2</sup> /día	2%	1%	1%	2%	++	Zonas con mayor irradiación solar permitirán mayor generación solar para el bombeo de agua e inyección a la red	NASA Surface meteorology and Solar Energy
	Zonas Núcleo	Km	5%	12%	12%	10%	+,-	La planta no puede ser instalada en una Zona Núcleo, debido a que son áreas exclusivas dedicadas a la conservación e investigación.	CONANP,
	Núcleos Agrarios	Km	5%	12%	12%	10%	+,-	Áreas prioritarias para Asentamientos humanos, parcelas y de uso común. Preferentemente, no debe instalarse en estas zonas)	Registro Agrario Nacional,
	Áreas Naturales Protegidas	Si / No	5%	12%	12%	10%	+,-	Preferentemente, la planta no debe ser instalada en un ANP. Si el área propuesta es demasiado atractiva, se podría pedir una autorización para el desarrollo de la obra según el art. 88 de la LGEEPA en materia de ANP	SEMARNAT, Google Earth, LGEPA

Fuente: PwC, 2017

Posteriormente, para identificar la posible implementación de un proyecto de bombeo se aplicó la metodología 'Four-ways-to-play' la cual permite identificar que la instalación del proyecto cumpla con ciertos requisitos mínimos. Este proceso metodológico permite evaluar los distintos parámetros preestablecidos y darles un valor distinto para así priorizar unos sobre otros y evitar el resultado de proyectos que tengan efectos indeseados (por ejemplo, el desarrollo de un proyecto dentro de un ANP o el desarrollo de un proyecto que requiere altas inversiones en líneas de transmisión e interconexión).

**Figura 4: Metodología Four-Ways-To-Play**

Way to Play	Nombre	Descripción
-------------	--------	-------------

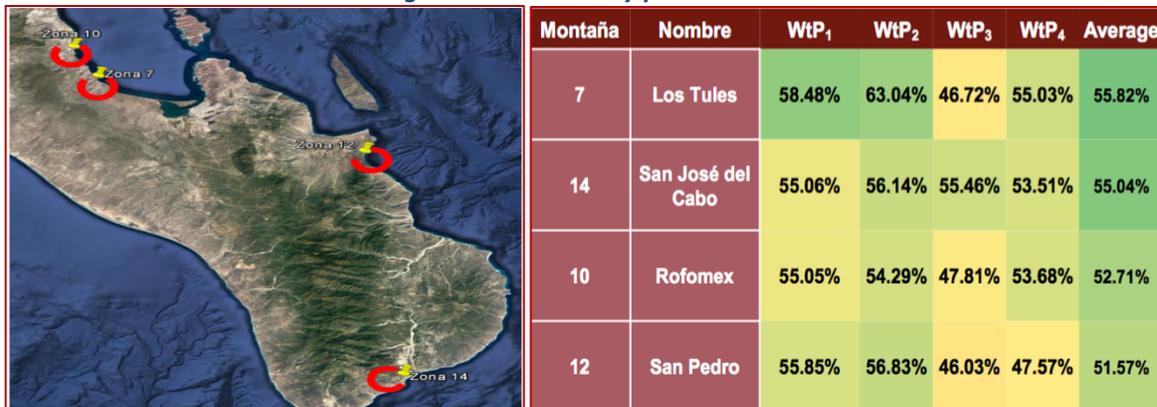
1	Ubicar centrales cerca de las zonas de mayor demanda	Se propuso un modelo con un mayor incremento en los parámetros de distancias a la demanda, subestaciones y generación, así como la capacidad de generación. Se les asignó un peso medio a las zonas núcleo y ANP.
2	Facilitar la sustitución de generación fósil	Para promover el uso de energías limpias se contempló como opción la sustitución o soporte a las centrales de generación fósil que se encuentran ubicadas en BCS
3	Habilitar instalaciones de generación limpia	Se les asignó un mayor peso a los proyectos potenciales de generación limpia para promover y adaptar la tecnología hídrica por bombeo para estas plantas.
4	Lograr mayor economía de escala en centrales solar FV + hídrico por bombeo	Debido a la regionalización de los consumos y centrales de generación, se dio mayor peso a los parámetros de terreno como altura, cercanía al mar y a las ANP.

Fuente: PwC, 2017.

## Resultados

Con base en la aplicación de esta metodología de identificación de zonas se identificaron 13 con potenciales de albergar un proyecto de rebombeo en el estado de Baja California Sur. Sin embargo, una vez aplicada la metodología de *Four-Ways-to-Play*, la ponderación de todos los parámetros depuró las opciones a 4 zonas con altos potenciales para el desarrollo de sistemas de rebombeo hídrico. Las zonas ubicadas en Los Tules, San José y Rofomex son las más atractivas porque presentan el mayor peso y probabilidad en promedio de albergar un proyecto con base en las características identificadas anteriormente.

**Figura 5: Resultados y potenciales.**

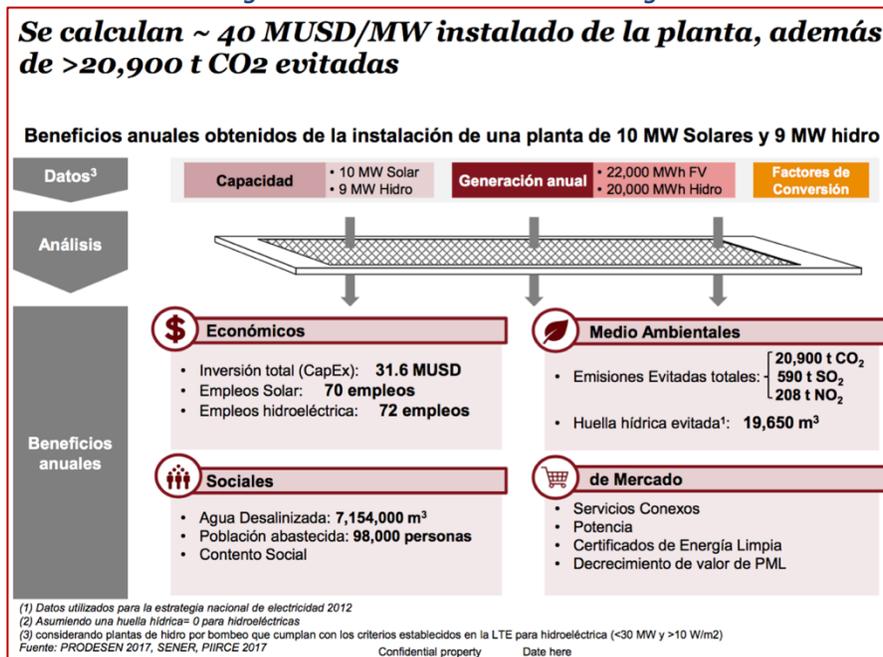


Fuente: PwC, 2017

Como se mencionó anteriormente, el estado cuenta con sistemas de interconexión limitados, por lo que cada propuesta de localización para el desarrollo de un proyecto se evaluó tomando en consideración -y con particular interés en relación con la proximidad con los centros de generación-, las subestaciones, la demanda próxima y las capacidades locales de la red.

En este mismo sentido, el desarrollo de la evaluación presenta la situación actual de la tierra, la topografía, los Precios Marginales Locales (PML) y la posibilidad de competir en el mercado con el desarrollo de una planta de bombeo, particularmente a través de la combinación de energía renovable (solar FV) con el sistema de almacenamiento hídrico a través de la proyección de Costos Nivelados de Energía (CNE) por este tipo de instalación. Finalmente estos resultados incluyen la demanda de agua a nivel local, la posibilidad de desarrollar proyectos con el uso de agua salda (para evitar estrés hídrico en la región).

**Figura 5: Costos nivelados de la energía**



La figura anterior muestra los Costos Nivelados de la Energía (CNE) proyectados para el desarrollo de los proyectos de generación de energía solar combinada con un sistema de almacenamiento por bombeo hídrico en la región de Baja California Sur. Los datos muestran que al establecer un sistema de 10 MW de energía solar es posible desarrollar un sistema de 9MW de almacenamiento por bombeo, lo que tendría una generación neta de 40,000 MWh por todo el sistema. Este proceso generaría una inversión de 31.6 millones de dólares por el proyecto, produciría alrededor de 70 empleos para la energía solar y otros 72 para la operación y mantenimiento de los embalses de bombeo. Lo anterior indica un CNE de alrededor de 31 dólares por Megawatt generado en este sistema.



Reporte elaborado por: 

Sin embargo, los beneficios son mucho más amplios que otros proyectos de energías renovables. De acuerdo con los resultados se obtendrían cerca de 7 millones de metros cúbicos de agua desalinizada anualmente, que a su vez tendrían una huella hídrica evitada de hasta 19,650 metros cúbicos de agua; una población que podría beneficiarse de la generación eléctrica de casi 100,000 personas y una importante reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes criterio (CC) de hasta 20,900 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 590 toneladas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y 208 toneladas de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El potencial de reducción de emisiones del proyecto es de 1.04 tCO<sub>2</sub>/MWh

Finalmente, el desarrollo del proyecto traería beneficios para la región y el mercado eléctrico al establecer servicios conexos, incrementar y estabilizar la potencia de la red, producir Certificados de Energías Limpias y, al mismo tiempo reducir el valor de los PML al producir energía con costos de generación cero por un mayor tiempo.

## Referencias

- \*\*El estudio completo puede encontrarse en el siguiente enlace: [www.iniciativaclimatica.org](http://www.iniciativaclimatica.org)
- SENER (2017). 'Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN), 2017. México: Secretaría de Energía (SENER), Disponible en: <http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2017/PRODESEN-2017-2031.pdf> Consultado en: Junio de 2017.
- SENER (2016), Prospectiva de gas natural 2016-2030, Secretaria de Energía, México, 2016.
- SENER, (2017) (b) Sistema de información energética, Secretaría de Energía, Mexico, 2017.
- CFE. CFE 2016, Reporte Anual. México. 2017. Disponible en: <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/63/2017/may/CFE-20170508.pdf> Consultado en: Junio de 2017.
- SENER, (2016) (c). Reporte de avances de energías limpias para el segundo semestre del 2016 Disponible en: <https://www.gob.mx/sener/documentos/informe-sobre-la-participacion-de-las-energias-renovables-en-la-generacion-de-electricidad-en-mexico-al-30-de-junio> Consultado en: Junio de 2017.
- La Jornada 28 de Junio de 2017. "Anuncia CFE proyecto de interconexión que unirá BCS con la red nacional de electricidad" Disponible en línea en: <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2017/06/28/anuncia-cfe-proyecto-de-interconexion-que-unira-bcs-con-la-red-nacional-de-electricidad> Consultado en: Junio de 2017.