

Resumen ejecutivo

Integración ERNC

El estudio desarrolla e implementa una metodología que incorpora criterios técnicos, económicos, legales y sociales; en un sistema de información geográfica para analizar el potencial de centrales de acumulación por bombeo en Chile.

Enero 2020

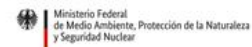


Desarrollo de metodología aplicada en Sistemas de información Geográfica (SIG) para identificar potencial de centrales de bombeo con agua de mar en Chile

Enero 2020



Por encargo de:



de la República Federal de Alemania



Por encargo de:



de la República Federal de Alemania

Resumen ejecutivo

La introducción masiva de energías renovables de fuente variable, principalmente eólica y solar, en la matriz eléctrica plantea el desafío de encontrar alternativas de almacenamiento que permitan dar flexibilidad operacional al sistema. Como alternativa de almacenamiento, existen las centrales de acumulación por bombeo (PHES), que básicamente son centrales hidroeléctricas que alternan ciclos de generación y bombeo estableciendo un ciclo cerrado del agua entre dos reservorios.

En este contexto, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, en el marco de su proyecto "Descarbonización del Sector Energía en Chile" del programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética (4e), apoya al Ministerio de Energía en actividades destinadas a contribuir al cumplimiento de las metas de Chile para la protección del clima a través de una transición energética sostenible, por lo tanto, con la necesidad de implementar tecnologías como los sistemas de almacenamiento para aumentar la flexibilidad de los sistemas eléctricos y lograr reducir el impacto de la

generación con variabilidad, encargó al Centro de Energía de la Universidad de Chile desarrollar una metodología aplicada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar el potencial de centrales de bombeo en Chile.

El estudio desarrolla e implementa una metodología que incorpora criterios - técnicos, económicos, legales y sociales- en un sistema de información geográfica para analizar el potencial de centrales de acumulación por bombeo en Chile. Esta metodología se basa en la utilizada para la elaboración del Global Atlas of pumped hydro energy storage, por el grupo del Prof. Andrew Blakers en la Australian National University (ANU).

Cabe mencionar, que la metodología se centró en las centrales de bombeo que operan en la costa con un reservorio, teniendo el mar como reservorio inferior, nombradas en el estudio como centrales de agua de mar. No obstante, se obtuvo una base de datos con el potencial de centrales de bombeo con uno y dos reservorios, estos últimos nombrados en el estudio como centrales de agua de dulce.

La metodología se plantea en 8 etapas interrelacionadas, partiendo desde una revisión del estado del arte, la cual recopila y sistematiza la información pública, y la literatura académica relacionada con la tecnología de generación hidroeléctrica de bombeo a nivel nacional e internacional. Sobre esta base se construyen los criterios para la selección de zonas de potencial a identificar para su aplicación en mapas digitales con información de elevación DEM (Digital Elevation Model). Lo anterior alimenta un algoritmo computacional para la identificación de depresiones y desniveles que cumplen con los criterios de selección (topográficos, meteorológicos, eléctricos y mecánicos,

obras civiles, económicos, legales y físicos), usando como base los desarrollos de la ANU.

De la aplicación del algoritmo se obtiene una base de datos del potencial bruto de áreas de interés (Potencial de Bombeo Bruto), las cuales después son intersectadas con otras capas de información georreferenciada para determinar la disponibilidad práctica del suelo asociado al proyecto. Para ello se definen las Variables Geográficas Relevantes, las cuales fueron compiladas de fuentes oficiales considerando: áreas protegidas, asentamientos humanos, infraestructura, minería, riesgo, turismo, derechos de agua, límites y cuencas. Como resultado se obtienen tablas con estadísticas geográficas del emplazamiento de embalses.

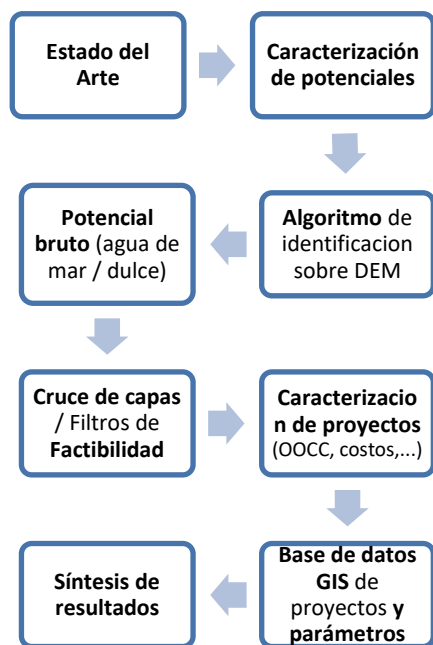


Figura 1. Metodología general

Posteriormente, los proyectos viables desde el punto de vista del uso de suelo son caracterizados en forma más detallada, incluyendo una estructura de costos. Esta estructura de costos es determinada y parametrizada en la revisión del estado del arte y refinada usando otras capas de información georreferenciada, como accesos y dimensionamiento más detallado de obras civiles, cercanía al sistema de transmisión y robustez del mismo en la zona.

Para el análisis de sitios se procede a probar distintos tamaños de proyectos en rangos de las variables de diseño energía almacenable y tiempo de almacenamiento (6 y 18 horas). La energía determina la localización y geometría de las murallas de dique, resumidas en el volumen de modelación, que a su vez determina sus costos. El tiempo de almacenamiento, o capacidad de regulación entendida como el tiempo mínimo de vaciado de un reservorio lleno, determina la potencia de diseño del proyecto, y de allí su tamaño general y costos respectivos. A dichos proyectos tipo, por medio de su caracterización, se le aplica el modelo de dimensionamiento de costos. Los resultados son clasificados en clases de mejor (más económico) a peor con etiquetas, comenzando con clase "A" hasta clase "E". Por lo tanto, en un mismo sitio es posible plantear proyectos de distinto tamaño, los que tendrán mayor o menor bondad económica.

Finalmente, se construye una base de datos vectoriales para caracterizar zonas de desarrollo de proyectos, identificando volúmenes del reservorio, capacidad nominal de diseño, entre otras variables. Adicionalmente se genera un catálogo (tipo atlas) de sitios y sus características más relevantes, y se construyen tablas y gráficos de resumen de potenciales por

región y subsistemas eléctricos del país, entre otros.

Cabe destacar que la identificación del potencial y la estructura de costos de componentes adicionales no considera el origen del llenado de agua de los reservorios (agua dulce) y el recubrimiento de suelo; dependientes de las características y condiciones locales del emplazamiento, tampoco considera los costos asociados a la desanilización del agua en centrales con agua de mar.

Como resultado de la metodología, el Potencial de Bombeo Bruto (ANU) que se obtiene del algoritmo son 87622 sitios para proyectos de centrales de bombeo. Posteriormente, se aplican las siguientes etapas de la metodología, como son los filtros de exclusión territorial, de baja bondad topográfica y económica (Clase superior a E), obteniendo 3191 sitios para centrales de bombeo con agua de mar y 15894 con agua dulce, lo cual da un total de 19 mil proyectos de centrales de bombeo en todo el país. Estos resultados, se muestran en tablas para cada tipo de central (agua dulce y de mar) con el detalle del número de sitios por región, por clase y tiempo de almacenamiento.

Adicionalmente, se analizan las capacidades de los potenciales en cada región (dependientes del tamaño de los proyectos) bajo ciertos criterios de contabilización dada la superposición de

reservorios en un mismo sitio. El primer análisis hace un recuento por región y clase de la energía almacenable considerando el proyecto de mejor clase en cada sitio en el caso de haber superposición, y en los casos en que resulta más de un proyecto viable en la misma categoría de clase se opta por aquel de mayor tamaño. Bajo estos criterios se obtiene un potencial para proyectos con agua de mar de 3.000 GW de capacidad instalada y 44,7 TWh de energía almacenable, y para agua dulce 25.000 GW y 259 TWh.

Complementariamente, el segundo análisis hace el recuento por región considerando únicamente el proyecto de mayor tamaño de energía almacenable en un sitio en el que hay superposición, obteniendo un potencial para proyectos con agua de mar de 4.200 GW de capacidad instalada y 73 TWh de energía almacenable, y para agua dulce 26.000 GW y 269 TWh,

El resultado principal del estudio es la distribución geográfica de todas las categorías de potenciales centrales de bombeo. En los mapas de la figura 2 se aprecia que en las regiones extremas se concentran los principales clústeres de sitios con mayor potencial para centrales con agua de mar, especialmente de aquellos reservorios con mayor capacidad de embalsamiento.

Sobre la base del recuento de sitios se construye una estimación de costos unitarios promedio, obteniendo como resultado el costo promedio del potencial de centrales con agua de mar de 1.427 [USD/kW] para 6 horas de almacenamiento y 2.041 [USD/kW] para 18 horas. Los valores medio de costos de los potenciales entre centrales con agua dulce y de mar identificados son similares entre sí, siendo estos levemente más bajos para almacenamiento de 6 horas con agua dulce. En síntesis, ambos potenciales de almacenamiento por bombeo (ya sea proyectos con agua dulce o de mar) son abundantes y competitivos entre sí.

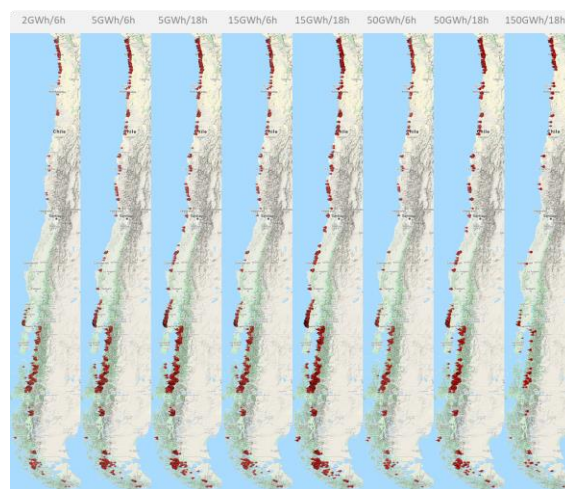


Figura 2. Distribución geográfica de todas las categorías de centrales con agua de mar
La metodología desarrollada en Sistemas de Información Geográfica para identificar el potencial de centrales de

bombeo en Chile fue aplicada para obtener una base de datos con la estimación de sitios de centrales de bombeo y la capacidad de generación, entre otras opciones.

Por otro lado, la herramienta geográfica permite hacer consultas respecto a los distintos criterios disponibles y tiene un gran potencial para categorizar sitios favorables para proyectos con uno o dos reservorios, lo cual es de utilidad para ejercicios de planificación. Además, puede ser útil para inversionistas o tomadores de decisión que deseen invertir/promover en centrales de bombeo, dada la necesidad de contar con este tipo de opciones de almacenamiento para aumentar la flexibilidad del sistema eléctrico y reducir el impacto de la generación variable.

En la síntesis de resultados, de acuerdo con los criterios y filtros definidos en el modelo, se identificaron 19 mil sitios para proyectos de bombeo, los que se concentran principalmente en las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá por el norte y Los Lagos, Aysén y Magallanes por el sur.

De acuerdo con los valores medios calculados para proyectos con agua dulce y de mar, se puede concluir que las dos tecnologías son abundantes y

competitivas entre sí. Un análisis más detallado de los sitios identificados y su contexto geográfico permitiría construir curvas de costo de potencial por profundidad de explotación, para su integración en el desarrollo de la matriz eléctrica futura del país.

Por último, dentro de las principales recomendaciones del estudio se considera el mejorar el modelo de costos de acuerdo con especificaciones de proyectos que sean aplicables a Chile. Ello permitirá elaborar una base de antecedentes que permita refinar aún más la categorización de la clase de proyectos.

En esta misma línea, la habilitación de la infraestructura hidráulica asociada a las centrales de bombeo pondría además un foco multipropósito (no sólo energético), apoyando otros tipos de industrias como la agrícola, o para aportar en reducir los impactos derivados de la grave crisis hídrica.

Finalmente, el desarrollo masivo de esta tecnología puede dar un impulso al desarrollo de la industria de la desalinización e incluso de la industria hidrógeno en el norte del país, aprovechando su potencial de energía fotovoltaica. Todo ello en un contexto de adaptación al cambio climático.

Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Descarbonización del Sector Energía en Chile

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:

Rainer Schröer

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción, ISBN: 978-956-8066-23-9. Primera edición digital: enero 2020

Cita:

Título: Desarrollo de metodología aplicada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar potencial de centrales de bombeo con agua de mar en Chile
Autor(es): GIZ, Centro de Energía Universidad de Chile, Ministerio de Energía, Australian National University
Revisión y modificación: Nataly Montezuma, Camila Vázquez
Edición: Nataly Montezuma
Santiago de Chile, 2020
85 páginas
Sistemas de Información Geográfica – Centrales de bombeo – Hidroeléctricas – Descarbonización – Energía

**Aclaración:**

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Descarbonización del Sector Energía en Chile" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, enero 2020

Por encargo de: