

RESUMEN EJECUTIVO
JULIO DE 2026



ESTUDIO

Propuesta de Procedimientos para el Tratamiento de Sistemas de Almacenamiento en la Programación y Operación

Elaborado por



AGRADECIMIENTOS

Un esfuerzo colaborativo por el almacenamiento

ACERA A.G. agradece especialmente a las empresas que, mediante su financiamiento y compromiso, hicieron posible el desarrollo del estudio **“Propuesta de Procedimientos para el Tratamiento de Sistemas de Almacenamiento en la Programación y Operación”**.

Su apoyo permitió impulsar un análisis técnico orientado a aportar a la integración eficiente y progresiva de los sistemas de almacenamiento en el Sistema Eléctrico Nacional.

Empresas financieras

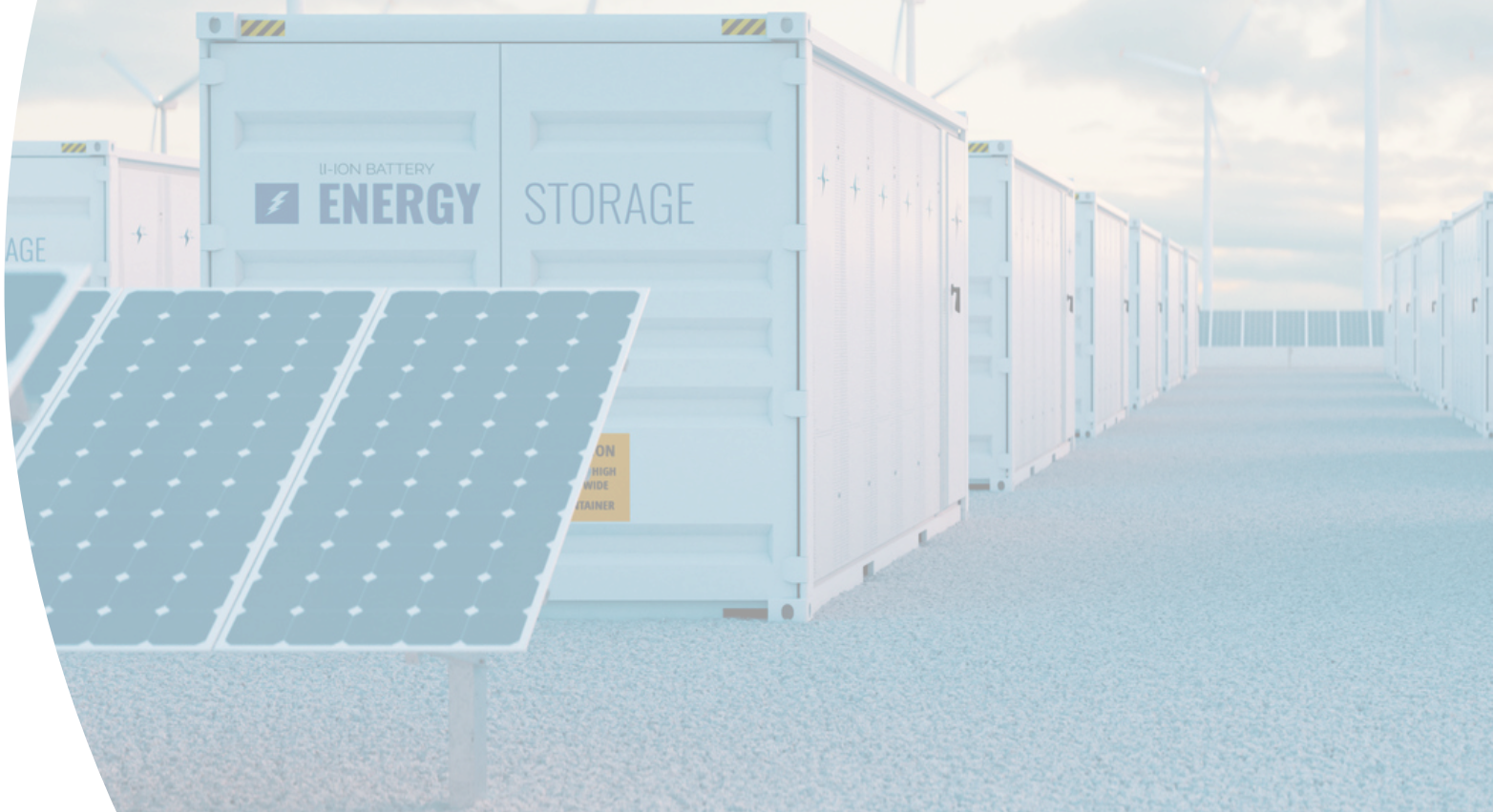


Asimismo, ACERA reconoce y agradece a Vinken por el trabajo técnico, el análisis y la elaboración del informe, así como por su contribución a una discusión informada sobre los desafíos regulatorios y operativos del almacenamiento en Chile.





Este esfuerzo refleja el compromiso compartido por avanzar hacia un sistema eléctrico más renovable, flexible, seguro y sostenible, con el almacenamiento como una tecnología clave para su transformación.





RESUMEN EJECUTIVO

Estudio: “Propuesta de Procedimientos para el Tratamiento de Sistemas de Almacenamiento en la Programación y Operación”

La creciente incorporación de sistemas de almacenamiento de energía (SAE) en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) introduce desafíos relevantes para su programación y operación eficiente. A diferencia de las tecnologías de generación convencionales, los SAE no presentan un costo marginal físico asociado a la producción de energía, sino que su valor económico está determinado por decisiones intertemporales. El uso de energía en un determinado momento implica renunciar a su utilización futura, por lo que el concepto económico relevante para su operación es el costo de oportunidad (COp) de la energía almacenada, dependiente del estado de carga y de las condiciones futuras del sistema.

El marco regulatorio vigente en Chile reconoce explícitamente el rol de los SAE y la necesidad de considerar su COp, en algún nivel, en la operación del sistema. Sin embargo, **el análisis del tratamiento operativo actual identifica oportunidades de perfeccionamiento en los mecanismos de gestión y reconocimiento del COp, asociadas a la evolución del marco regulatorio, las herramientas disponibles y la creciente penetración de los SAE.** Si bien estas limitaciones pueden resultar razonables en un escenario de baja penetración, a medida que los SAE adquieren un rol sistémico más relevante

en la operación del SEN, estas limitaciones dejan de ser marginales y comienzan a amplificarse, afectando de manera creciente la eficiencia intertemporal del sistema.

Por un lado, el COp no es estimado mediante metodologías que internalizan de manera consistente la intertemporalidad del recurso. Así, en la práctica **la mayoría de los sistemas de almacenamiento son considerados en el Listado de Prioridad de Colocación con un costo variable que tiende a cero**, lo que no permite el aprovechamiento de su valor en periodos de estrés sistémico.

Además, **se identifican aspectos que requieren una mayor alineación y precisión entre el tratamiento en tiempo real de estos recursos y las disposiciones generales del marco regulatorio vigente.** De acuerdo con lo reportado por el CEN, la operación en tiempo real de la mayoría de los sistemas de almacenamiento sigue el último programa disponible (PCP o PID vigente) en lugar de registrarse por el Listado de Prioridad de Colocación. Luego, modificaciones a este perfil se realizan solo frente a situaciones excepcionales por razones de seguridad del sistema. El uso del último programa disponible como referencia responde al marco y a las herramientas actualmente

disponibles. En los casos analizados, las modificaciones del despacho de SAE por razones de seguridad se observan de manera recurrente y no excepcional, lo que puede acotar el aprovechamiento de su flexibilidad y restar trazabilidad al proceso. Esto hace conveniente **evaluar mecanismos de actualización más frecuente que refuercen la trazabilidad.**

Estas limitaciones observadas reflejan, en un plano estructural, las características del régimen vigente. En efecto, el régimen actual, basado en costos declarados, despacho por lista de mérito, herramientas limitadas de tiempo real y baja automatización, genera **tres brechas estructurales** para la integración eficiente de los SAE. La **brecha de señal** corresponde a la ausencia de una referencia intertemporal que refleje el COP de cada SAE, lo que se traduce en el costo variable cercano a cero ya señalado y en que la unidad aparezca al inicio del orden de despacho sin reconocimiento del valor de su energía almacenada. La **brecha de información** se relaciona con que un cálculo centralizado no cuenta necesariamente con toda la información privada requerida para representar la heterogeneidad del COP de cada agente, incluyendo su exposición contractual, preferencias de riesgo y pronósticos propios. La **brecha de automatización** refiere a que la baja frecuencia y granularidad de las instrucciones impide aprovechar el valor intra-horario del recurso.

Un hallazgo central del análisis es que estas brechas tienen un efecto multiplicativo: cada una amplifica el efecto de las demás y, operando de forma simultánea, el sistema carece de todo mecanismo endógeno de corrección. El error en la señal se congela en la programación, se ejecuta sin retroalimentación del estado real del recurso y persiste hasta el siguiente ciclo. Con





todo, **no es necesario eliminar todas las brechas para obtener mejoras sustanciales: basta con introducir un mecanismo de corrección, una válvula de escape en el ciclo de retroalimentación**, como recalculer la señal de COP con mayor frecuencia. Además, cabe precisar que la brecha de señal no es intrínseca a la lista de mérito como mecanismo, ya que en el límite una lista de mérito actualizada a muy alta frecuencia se aproximaría al uso óptimo del recurso. **La brecha surge de la combinación de lista de mérito con baja frecuencia de actualización**, por lo que es teóricamente eliminable pero prácticamente inevitable bajo el marco vigente.

Estas brechas son especialmente relevantes en un régimen altamente centralizado y basado en costos auditados como el del SEN. A diferencia de esquemas basados en ofertas, donde los agentes internalizan ex-ante su mejor estimación del COP en sus decisiones operativas, **el régimen actual no cuenta con un mecanismo descentralizado que permita compensar eventuales brechas en la representación intertemporal del almacenamiento**. Así, estas brechas no deben interpretarse como fallas puntuales, sino como el resultado natural de operar recursos altamente intertemporales bajo un esquema administrativo, con herramientas limitadas, asimetrías de información y reglas discretas de despacho.

Sobre la base de este diagnóstico, **el informe desarrolla un marco conceptual para analizar la operación eficiente de los SAE y define un benchmark teórico de eficiencia intertemporal**. Este benchmark corresponde a un despacho centralizado que internaliza explícitamente la intertemporalidad del almacenamiento, y su rol es establecer una referencia analítica que permita evaluar de manera consistente los esquemas de implementación práctica y los resultados observados en la operación real.

A partir de este marco, **la Sección 4 organiza los posibles esquemas de operación de SAE según cuatro ejes de relajación de las restricciones vigentes:** el modelo de despacho (lista de mérito frente a despacho económico con ventana intertemporal), la estructura de mercado (costos declarados frente a ofertas), quién calcula el COP (el Coordinador frente al propio agente) y el grado de automatización. La combinación de estos ejes define una secuencia de seis esquemas, desde el caso actual sin señal intertemporal (E0), pasando por un COP regulado en lista de mérito (E1), la declaración de costos de oportunidad u ofertas simples del agente (E3) y el despacho económico centralizado (E2), hasta el despacho económico con ofertas (E4) y un mercado en tiempo real con optimización de seguridad (E5). Cada esquema se evalúa según eficiencia, implementabilidad regulatoria, requerimientos de automatización, riesgo de información y horizonte realista de implementación en Chile.

Del análisis comparativo se desprende que **la recomendación de corto plazo es implementar los esquemas E1 y E3 como un sistema de dos niveles.** En este esquema, E1 actúa como piso regulado: el Coordinador calcula un COP de referencia, mediante una fórmula trazable y auditable, para toda batería que no declare, lo que resuelve la brecha operacional de inmediato y sin requerir acción del agente. E3 opera como opción voluntaria: el agente que disponga de mejor información puede declarar su propio COP, acotado entre el piso de E1 y un techo regulado, lo que captura la heterogeneidad de preferencias que una señal centralizada no puede representar. **Ambos esquemas son complementarios y no excluyentes,** y juntos cubren las brechas que cada uno deja de forma individual. Esta solución es implementable mediante ajustes reglamentarios.

Cabe enfatizar que, en sus etapas iniciales, E1 constituye solo una aproximación al COP



eficiente: su valor reside en aportar transparencia y trazabilidad a la señal de despacho, no en reproducir el óptimo intertemporal. Por ello, su adopción **no debe entenderse como un estado de llegada, sino como un piso transitorio sobre el cual es necesario dar celeridad a dos frentes en paralelo:** los avances regulatorios que habiliten E3, de modo que cada agente declare su propio COP y se cierre la brecha de información, y el desarrollo de herramientas en el CEN que habilite el despacho económico intertemporal de E2.

En contrapartida, **permanecer en el esquema actual (E0) representa la alternativa menos favorable desde la perspectiva de la eficiencia intertemporal, por lo que resulta prioritario avanzar gradualmente hacia una señal que reconozca el COP,** considerando el crecimiento esperado del almacenamiento en el SEN. Si el contexto regulatorio no permitiera habilitar la declaración voluntaria de costos de oportunidad (ofertas simples), **la recomendación mínima robusta es no abandonar E1 como piso de operación eficiente,** incorporando el COP regulado como señal en el Listado de Prioridad de Colocación.

Más allá del corto plazo, **la Sección 4 propone una hoja de ruta progresiva y condicional,** en la que cada etapa se habilita en la medida en que se relajan las restricciones institucionales y técnicas. En el mediano plazo, el objetivo es avanzar hacia un despacho económico intertemporal (E2), que obtiene el COP de forma endógena como variable dual del problema de optimización. E2 se ubica en el mediano plazo porque requiere capacidades de optimización intertemporal que aún no se encuentran plenamente implementadas en las herramientas operativas del CEN, cuyo desarrollo puede abordarse gradualmente en un horizonte estimado de dos a cuatro años. Cabe destacar que se trata de un riesgo tecnológico acotado, ya que los sistemas de referencia internacional disponen de estas herramientas desde hace años. En el largo plazo, la convergencia natural es un mercado pleno con ofertas y granularidad intra-horaria (E4/E5). Es importante notar que **las ofertas siguen aportando valor incluso bajo despacho económico,** ya que el COP endógeno de E2 corresponde a un agente representativo homogéneo y no internaliza la heterogeneidad de preferencias que solo las ofertas pueden capturar.



A partir de este diagnóstico, el análisis avanza desde el marco conceptual hacia una propuesta operativa concreta para el esquema de corto plazo. En particular, la Sección 5 desarrolla un **marco de implementación basado en una arquitectura de niveles** que permite aproximar progresivamente el tratamiento actual del almacenamiento al benchmark intertemporal. Esta arquitectura distingue distintos grados de sofisticación para la estimación del COp, priorizando **criterios de implementabilidad de corto plazo, trazabilidad y compatibilidad con las herramientas existentes** del Coordinador Eléctrico Nacional (CEN). Adicionalmente, se incorpora una cuantificación del esquema propuesto de aproximación del COp, contrastándolo con la metodología vigente del Coordinador y con el benchmark teórico de eficiencia intertemporal.

La propuesta reconoce explícitamente las restricciones institucionales, tecnológicas y procedimentales vigentes, y por ello no plantea una reforma estructural inmediata del diseño de mercado, sino una **estrategia de transición gradual**. La metodología permite incorporar el valor intertemporal del almacenamiento bajo el marco vigente, mediante ajustes regulatorios. Su diseño modular y trazable **asegura compatibilidad con el despacho actual**, mientras que su arquitectura conceptual **habilita una evolución futura hacia esquemas más descentralizados**.

Respecto a las condiciones habilitantes, riesgos y desafíos para la puesta en práctica del esquema propuesto, se enfatiza que la evolución hacia una mayor internalización intertemporal requiere no solo ajustes metodológicos, sino también mejoras en la frecuencia de recálculo, calidad de pronósticos, telemetría del estado de carga en tiempo real, automatización de procesos y claridad en las reglas de despacho y compensación.

En consecuencia, la propuesta no solo aborda una necesidad operativa inmediata vinculada a la creciente penetración de SAE, sino que ***establece una base estructural para su integración eficiente y progresiva en el diseño de mercado chileno, alineando la operación práctica con los principios económicos que sustentan el tratamiento óptimo de recursos intertemporales.***





ESTUDIOS
ACERA



ACERA AG



@acera.ag



@ACERAAG