
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico de Pasada Alto Maipo (en adelante, PHAM o Proyecto) consiste en un complejo hidroeléctrico compuesto por dos centrales de pasada dispuestas hidráulicamente en serie: la Central Alfalfal II y la Central Las Lajas. Las obras principales del Proyecto se desarrollan casi en su totalidad en forma subterránea, mediante túneles en presión y casas de máquinas en caverna y una red de aducciones en su mayoría también subterráneas. El Proyecto se emplaza al sur-sureste de la ciudad de Santiago, en la comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana de Santiago, Chile. La potencia instalada total suma 531 MW, la que será entregada al Sistema Interconectado Central (SIC) mediante un sistema de transmisión que se conectará a los sistemas existentes de 110 y 20 kV de propiedad de AES Gener (en adelante, Gener o la empresa).

Respecto de nuevos desarrollos que permitan aprovechar el atractivo potencial hidroeléctrico existente en las cuencas altas del Maipo, desde la década de los 80 se han estudiado distintas alternativas, todas ellas con características similares, las que se basan principalmente en captar recursos hídricos de los ríos El Volcán y El Yeso y trasvasarlos a la cuenca intermedia del río Colorado¹, mediante conducciones en túnel.

En el análisis de alternativas de las distintas configuraciones del Proyecto, se fueron incorporando criterios técnicos, ambientales y económicos, como también los aportes de las comunidades locales y de la ciudadanía en general, que surgieron, tanto en procesos formales como informales de participación pública. Cabe señalar, al respecto, que el primer esbozo de proyecto data del año 1990.

El presente documento detalla las alternativas que han sido analizadas en el transcurso del desarrollo conceptual y de ingeniería del proyecto, previas a definir la configuración final aprobada y en ejecución.

2. OBJETIVO DEL INFORME

Desarrollar los criterios que fueron utilizados para el análisis de alternativas, describiendo la metodología empleada y cómo dichos criterios han sido incorporados efectivamente durante el diseño, desarrollo del Proyecto y durante el período de estudio de sus alternativas.

¹ Cabe señalar que los recursos hídricos antes descritos se ubican en la alta cordillera, todos afluentes al río Maipo en distintos puntos, en una trayectoria de 37 km aproximadamente (Confluencia Río Volcán – Río Maipo y Río Colorado – Río Maipo)

3. METODOLOGÍA

El Análisis de Alternativas² permite comparar sistemáticamente las alternativas compatibles con el emplazamiento, la tecnología, el diseño y la operación del Proyecto—incluida la situación "sin Proyecto"—en términos de sus posibles efectos ambientales; la factibilidad de mitigar los impactos; los costos de capital y costos de operación; su conveniencia atendiendo a las condiciones del lugar, y las necesidades institucionales, de capacitación y de seguimiento. Para cada una de las alternativas, se analizaron los principales efectos ambientales considerando la factibilidad del Proyecto, desde una visión integral y su sostenibilidad en el tiempo. Como primera cuestión y de manera de contextualizar el análisis, se describe la situación "sin Proyecto", incluyendo un análisis de fuentes de energía alternativas.

Posteriormente se identifican las alternativas analizadas (de manera cronológica) junto con una descripción detallada de sus obras y partes, dividiendo la información para la Central Alfalfal II y para la Central Las Lajas.

Una vez identificadas las alternativas y verificada su prefactibilidad técnico – económica (nivel conceptual), se procede a describir la forma en que su configuración y características fueron modificadas en el desarrollo de cada una de estas alternativas, en virtud de distintos criterios, tales como la situación de los componentes ambientales en los lugares de emplazamiento de las obras (existencia de formaciones vegetales de relevancia, fauna con algún nivel de protección, sitios arqueológicos, lugares con alto valor ambiental, entre otros) y la existencia de restricciones o condiciones de tipo normativo o indicativo respecto de la ubicación de las obras.

El análisis detallado de cada uno de estos criterios respecto de cada obra en particular, permitió ajustar el diseño inicial propuesto, recomendándose realizar adecuaciones conforme se avanzara en la etapa de ingeniería básica.

Por su parte, en forma simultánea a los avances de la ingeniería, se integraron las expectativas, preocupaciones y consideraciones aportadas por la comunidad. De esta forma, la metodología utilizada tuvo una lógica en el tiempo e incorporó criterios de mayor detalle en la medida que se avanzó con la definición del Proyecto, siempre desde un punto de vista integral.

Con relación a los criterios utilizados, éstos se agrupan en cuatro tipos: técnicos, económicos, ambientales y de contexto (relativo a las partes interesadas y al contexto local y regional donde se emplazan). Como se explica más adelante, para cada uno de ellos se definieron los más relevantes, los cuales fueron modelando las distintas alternativas respecto de sus posibles efectos ambientales y la factibilidad de mitigar los impactos, hasta concluir con la opción final, aprobada formalmente por las autoridades

² Definición según la Corporación Financiera Internacional (CFI o International Finance Corporation -IFC), OP 4.01, Octubre 1998.

4. DESARROLLO

Al analizar la situación sin proyecto y las fuentes alternativas de energía, se concluyó que:

- El PHAM aporta a la seguridad eléctrica y a la independencia de combustibles fósiles. Con costos de operación despreciables respecto de generación térmica.
- Dada la cercanía a los centros de consumo, se requiere menor necesidad de construcción de tendido eléctrico. Cabe señalar que es altamente complejo proyectar desarrollos termoeléctricos en la Región Metropolitana.
- Menor impacto en cambio climático (su operación no genera emisiones).
- Bajo impacto visual en tanto la mayor parte de su desarrollo es subterráneo.
- Mayor rentabilidad en el largo plazo. Los flujos presentan la característica de fuertes inversiones en los primeros períodos derivados de la construcción, para luego entrar en régimen de beneficios crecientes y luego de beneficios constantes.
- Contribuye al uso óptimo de los recursos hídricos de la cuenca del río Maipo, puesto que en la situación sin proyecto, corresponde a energía potencial que se desaprovecha.

Las características señaladas no pretenden desconocer el importante aporte de las centrales térmicas a la matriz energética del país, sólo corresponden a la comparación específica con el PHAM. En conclusión, el proyecto mejora significativamente la condición “sin Proyecto”.

Respecto de las alternativas analizadas a través de los años se identifican las siguientes:

- Alternativa 1:** Estudio de Prefactibilidad Complejo Hidroeléctrico Alfalfal II – Las Lajas. Gerencia de Ingeniería y Obras. División Construcción e Ingeniería. CHILGENER. Junio 1990.
- Alternativa 2:** Expansión Hidroeléctrica del SIC: Central Alfalfal II, Central Nueva Maitenes, Central Las Lajas. CHILGENER. 1994.
- Alternativa 3:** Estudio de Factibilidad. Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. Arcadis. Abril, 2006. Este Estudio analizó la configuración más rentable, priorizando la configuración de las centrales Alfalfal II y Las Lajas dispuestas en serie, descartando la Central Nueva Maitenes.
- Alternativa 4:** Configuración de Proyecto descrito en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto Hidroeléctrico de pasada Alto Maipo, presentado al SEIA en junio de 2007, desistido por la empresa en mayo de 2008. Cabe mencionar que este desistimiento fue una decisión de AES Gener en virtud de nuevas adecuaciones al proyecto producto de la incorporación de requerimientos de la comunidad local en cuanto a la ubicación de algunas de sus obras (las que se detallan más adelante). De esta forma, para efectos de contar con un proceso aprobatorio lo más transparente desde sus inicios, se tomó la decisión de ingresar nuevamente al SEIA, permitiendo que el proceso de Participación Ciudadana formal (aquel que es parte de la evaluación ambiental en el SEIA) contara con la descripción del proyecto actualizada.
- Alternativa 5:** Configuración de Proyecto descrito en el EIA del Proyecto Hidroeléctrico de pasada Alto Maipo, presentado al SEIA en mayo de 2008. Aprobado ambientalmente en marzo de 2009.

El detalle comparativo de las alternativas según las principales obras para cada Central (Alfalafal II y Las Lajas), se puede ver en el Informe Tablas 1 y 2.

En el desarrollo de cada alternativa, se emplearon distintos criterios, los que se fueron aplicando en la medida de que cada alternativa contara con la factibilidad técnica y económica, a lo menos a nivel de prefactibilidad del Proyecto. Lo anterior dado las complejidades de la zona: condición de alta montaña, situación de diversidad de tipos geológicos, factibilidad de derechos de aguas, condiciones ecológicas de las subcuencas involucradas, etc., de manera de trabajar con las comunidades con la información lo más detallada posible, en un marco realista y responsable respecto de la búsqueda de adecuaciones al Proyecto.

Este trabajo con la comunidad se realizó de manera anticipada a lo exigido por la legislación nacional, inclusive en etapas anteriores de factibilidad del Proyecto. En este sentido, se identificó que las preocupaciones eran factibles de abordar a través del diseño del proyecto y sus mitigaciones, descartando su inviabilidad.

Los criterios técnicos incluyen análisis de las siguientes variables:

- Hidrología.
- Geología y Geotecnia.
- Criterios de diseño hidráulico.
- Criterios de construcción túneles y ventanas de acceso.
- Criterios de diseño construcción caminos de acceso.

Los criterios económicos incluyeron variables:

- Técnicas (características eléctricas).
- Evaluación financiera.
- Costos.
- Producción de energía.
- Venta de energía por contrato.
- Precios de venta.
- Inversiones.

En la aplicación de criterios ambientales se incluyeron las siguientes variables o componentes:

- Medio físico.
- Medio humano,
- Medio construido.
- El uso de los elementos del medio ambiente comprendidos en el área de influencia del proyecto,
- Los elementos naturales y artificiales que componen el patrimonio histórico, arqueológico, antro-po-arqueológico, paleontológico, religioso y, en general, los que componen el patrimonio cultural,
- Paisaje
- Las áreas donde puedan generarse contingencias sobre la población y/o el medio ambiente, entre otros.

- Las consideraciones más relevantes respecto a la normativa ambiental aplicable al Proyecto.

Así, ya a nivel de factibilidad, fueron identificados y caracterizados los aspectos ambientales más relevantes, permitiendo luego realizar la evaluación de impacto. Entre ellos, se destaca:

- Hidrología y Limnología.
- Calidad de las Aguas.
- Declaratorias Específicas de Uso del Suelo.

En las primeras alternativas, la evaluación de impacto se realizó sobre la base de aquellos componentes que pudieran verse afectados por el Proyecto, permitiendo ir descartando configuraciones que presentarían impactos significativos de difícil mitigación o que se definiera *a priori* que no tendrían factibilidad ni aceptación. En la medida que se obtuvo mayor información de terreno y mayor detalle respecto de la ingeniería del Proyecto, se verificó una evaluación de impacto ambiental de mayor profundidad.

De esta forma, se fueron identificando impactos ambientales, los que se tuvieron a la vista en la medida que se avanzó con la ingeniería del PHAM. Según componente ambiental, los impactos identificados corresponden a los siguientes:

Componente	Identificación del Impacto	Observación
Social, Económico e Infraestructura	Mejora en el suministro eléctrico	La satisfacción de crecientes demanda de energía eléctrica y la minimización de la dependencia energética de países extranjeros.
	Incremento en la oferta de empleo, comercio local	La generación de empleo minimizará la cesantía local y regional, diversificando además la actividad comercial.
	Alteraciones en vías locales	La Ruta G-25 entre Puente Alto y San José de Maipo presenta una creciente afluencia de vehículos.
Aguas Superficiales	Disminución del caudal superficial en río Colorado entre captación Alfalfal y descarga Central Las Lajas	Impacto permanente durante la operación del Proyecto.
Calidad del Aire	Alteraciones de la calidad del aire por emisiones de material particulado y gases de combustión por movimientos de tierra, vehículos y maquinarias.	Se controla con medidas de mitigación durante la construcción.
Niveles de Ruido	Aumento de Nivel de Ruido en lugares habitados cercanos a la nueva ruta G-25 en sector Las Lajas	Se controla con medidas de mitigación durante la construcción.
Vegetación, Flora y Fauna	Pérdida de cobertura vegetal en sector Central Las Lajas y Obras asociadas.	La superficie a intervenir será menor considerando que la mayor parte de la obra es de tipo subterránea. Presencia de matorral y bosque nativo de tipo esclerófilo en este sector.
	Pérdida de cobertura vegetal por construcción	Debido a requerimientos de caminos nuevos.

Componente	Identificación del Impacto	Observación
	de caminos de acceso a faenas.	
Paisaje y Estética	Inserción de elementos antrópicos en la configuración del paisaje natural y semi natural existente.	Principalmente caminos ya que la mayoría de las obras son subterráneas. Impacto permanente.

Con mayor nivel de información de terreno, cuestión que se verifica con mayor detalle en las alternativas asociadas a los estudios de impacto ambiental, se pueden observar modificaciones en los trazados y ubicación de las obras del Proyecto que permiten mitigar o bien evitar impactos identificados, según se describe en el análisis de alternativas por central.

La alternativa finalmente aprobada formalmente por la autoridad incluye medidas de manejo y gestión ambiental que tienen como objetivo minimizar, reparar y/o compensar los efectos adversos del PHAM.

Respecto de los criterios sociales y de contexto, para todas las alternativas, en la medida que se tuvo mayor certeza respecto de la configuración y tipo de obras, se fue avanzando en la difusión y sociabilización del Proyecto con la comunidad, autoridades y otros actores involucrados o interesados.

Las preocupaciones centrales que se recogieron y que fueron modelando las alternativas corresponden a las siguientes:

- Afectación de derechos de agua de terceros
- Control de contratistas
- Localización de las líneas de alta tensión
- Localización de marinas
- Efectos de las tronaduras
- Molestias por tránsito de camiones
- Molestias asociadas a la subestación eléctrica.
- Efectos sobre las veranadas y arrieros.
- Afectación de vegas.
- Disponibilidad de aguas en estero Aucayes
- Impacto ambiental de la construcción de caminos
- Respeto de los derechos de la empresa sanitaria Aguas Andinas
- Efectos sobre sitios arqueológicos
- Disminución de caudales e interferencias
- Efectos sobre bocatomas de terceros
- Efectos sobre actividades recreativas y turísticas

Las alternativas fueron incorporando estas preocupaciones en mayor o menor medida (algunas de ellas preocupaciones “históricas”). En algunos casos implicaron cambios en el diseño del PHAM; en otros, la adopción de medidas de control, de mitigación o compensación, según fuera el caso. Durante la descripción de los cambios que se definieron para cada alternativa y para cada una de las centrales, que se detalla en adelante, se podrá comprender cómo las anteriores preocupaciones fueron modificando las alternativas a través del tiempo.

Alternativas para Central Alfalfal II y para Central Las Lajas

Las tablas siguientes, resumen el análisis de alternativas según los distintos criterios utilizados para cada una de ellas:

Alternativa	Análisis Criterios Técnicos
Alfalfal II 1	Conforme a la verificación de aspectos geológicos en terreno, se definió un proyecto compuesto por centrales de pasada en serie, en el que la mayoría de sus obras y partes se dispondrían de manera subterránea. Esta alternativa prioriza el diseño según el uso racional de los recursos desde un punto de vista hidráulico y de generación (captación de recursos desde alta montaña en Valle Río Volcán, inclusión de recursos desde cajón Las Cortaderas en conducción hacia Valle río Yeso, interconexión de Embalse El Yeso, Laguna Negra y Laguna Lo Encañado).
Alfalfal II 2	Eliminación de interconexión de cuerpos de agua, entre otros, para evitar la intervención de la laguna Negra. Cambio de ubicación de la caverna de máquinas (se desplaza al interior del macizo donde está la cámara de carga de la Central Maitenes) de manera de empalmar con la aducción de la central en serie posterior.
Alfalfal II 3	Utiliza criterios técnicos de mayor detalle al contar con estudios básicos e información de terreno. Confirma la factibilidad de proyectar su diseño principalmente de manera subterránea, aprovechando de manera integral los recursos hídricos disponibles pero sobre la base de información de factibilidad de terreno y sus respectivos análisis y estudios.
Alfalfal II 4	La principal diferencia que presenta esta alternativa es que el diseño final no considera embalse en el sector de Lo Encañado, aunque se continúa utilizando la Laguna Lo Encañado como cámara de carga y regulación horaria de la Central Alfalfal II. La eliminación del peralte de la Laguna Lo Encañado definió un cambio en el estanque de contrapunta, el que se dispuso al poniente de la actual central Alfalfal I, con una capacidad total de 425.000 m ³ . El diseño de este estanque opera como cámara de carga de la central Las Lajas.
Alfalfal II 5	Dado el valor ambiental del sector Lo Encañado (identificado en las prospecciones de terreno y manifestados como de interés por parte de la comunidad), se decide eliminar la conexión con la laguna Lo Encañado. Esto significa una serie de ajustes, donde el principal corresponde a incorporar una Cámara de carga para la Central Alfalfal II, de manera de otorgar estabilidad al sistema hidráulico de la Central. A la vez, constituye la cámara de expansión de la chimenea de equilibrio. La Cámara de carga está ubicada en el sector Alto Aucayes, unos 2 km hacia el oeste de dicho estero, a una altura de 2450 msnm. La cámara de carga, cuyo volumen total es de 48.100 m ³ , irá completamente excavada en roca.

Alternativa	Análisis Criterios Económicos
Alfalfal II 1	Dada la situación de escasez de Gas Natural proveniente de Argentina y las ventajas comparativas del PHAM (principalmente por su ubicación estratégica de cercanía a los centros de consumo y la seguridad de entrega de suministro eléctrico al SIC, frente a una demanda creciente), se hace factible y atractivo avanzar en el Proyecto. Posteriormente, luego de revisar los criterios económicos específicos (según potencia firme y otras características del proyecto y del mercado), se concluye la conveniencia del PHAM respecto de su rentabilidad. El PHAM se diseñó desde sus inicios como centrales en serie, en el que la rentabilidad estaba dado por el aporte de ambas; en este sentido, no se contemplaron alternativas a la Central Alfalfal II.

Alfalfal II 2	Se analizó la rentabilidad del Proyecto con y sin aducción de los afluentes al río Volcán, además de verificar la conveniencia de alternativa con y sin estanque de contrapunta (inicialmente de 270.000 m ³). La evaluación económica arrojó que la rentabilidad estaba dada con las alternativas con aducción desde el río Volcán y con estanque de contrapunta. Los resultados económicos indicaron su rentabilidad, al igual que la Alternativa 1.
Alfalfal II 3	Los análisis de sensibilidad efectuados a los indicadores económicos, producto de potenciales riesgos propios del proyecto, muestran que estos indicadores varían dentro de rangos acotados y son confiables para tomar decisiones. El escenario o configuración de aprovechamiento que resultó más atractivo desde un punto de vista económico y de rentabilidad es la combinación de las centrales en serie, Alfalfal II y Las Lajas, con una potencia nominal total de 531 MW.
Alfalfal II 4	Se mantienen las condiciones de rentabilidad. No se destacan elementos económicos adicionales que hubiesen modificado esta alternativa.
Alfalfal II 5	Se mantienen las condiciones de rentabilidad. No se destacan elementos económicos adicionales que hubiesen modificado esta alternativa.

Alternativa	Análisis Criterios Ambientales
Alfalfal II 1	Esta alternativa prioriza el diseño según el uso racional de los recursos desde un punto de vista hidráulico y de generación. El proyecto reconoce los principales aspectos ambientales que pueden incidir directamente en su diseño y rentabilidad (geología, factibilidad de recursos, características de alta montaña, etc.).
Alfalfal II 2	En consideración de la buena calidad del agua de la Laguna Negra respecto de las del Embalse El Yeso y la Laguna Lo Encañado, y su utilización para el consumo humano (agua potable), se decide no intervenir la Laguna Negra, eliminando en el diseño la interconexión de cuerpos de agua.
Alfalfal II 3	Con la información de terreno fue posible detallar los criterios ambientales, destacando la presencia de áreas con valor ambiental (áreas que cuentan con algún nivel de protección oficial, declaratorias de interés turístico, presencia de vegas y veranadas, identificación de valor ambiental de sector Lo Encañado, etc.). En virtud de ellas, esta alternativa presentó adecuaciones tales como: mejora en obras de captación de alta montaña ubicadas en cuenca del río Volcán y disminución de altura del muro para peralte de Laguna Lo Encañado. Así, el Proyecto no afecta el normal suministro de agua potable a la empresa sanitaria. Se reconoce la sensibilidad respecto de los caudales ecológicos y su potencial restricción adicional, en atención a temas ambientales.
Alfalfal II 4	La decisión de descartar el peralte de la Laguna se realizó en atención a la sensibilidad ambiental del área (distintos niveles de protección en el área de emplazamiento del PHAM, atractivo paisajístico, valor ambiental, entre otras). Se identificaron elementos del patrimonio cultural, lo que implicó, por ejemplo, el cambio de trazado de obras de cruce de río Yeso para evitar la intervención de ramal del camino del Inca. Respecto del diseño de las captaciones de alta montaña, ubicadas en veranadas y vegas, se logró mejorar aún más su diseño, minimizando su intervención y la afectación de la vegetación.
Alfalfal II 5	En conjunto con los criterios ambientales evaluado por los especialistas, los criterios de contexto permitieron comprender la valorización que otorga la comunidad, y con ello, atender las legítimas inquietudes existentes. Cabe indicar que esta alternativa pudo incluir estos asuntos luego de contar con un proceso de participación ciudadana temprana y el correspondiente al contemplado en la participación ciudadana formal, en el marco de la presentación del EIA anterior (2007) al SEIA. Las principales inquietudes y su tratamiento se desarrollan en la descripción de esta alternativa en este capítulo. Se eliminó la incorporación de recursos desde el Cajón Las Cortaderas a objeto de contribuir a la mantención del caudal ecológico de la zona del río Yeso identificada como de importancia

Alternativa	Análisis Criterios Ambientales
	<p>ambiental (AIA) en el estudio de caudales ecológicos desarrollado para el proyecto (Anexo 17 del EIA).</p> <p>Cabe mencionar que posterior a la aprobación ambiental, se ha continuado recibiendo inquietudes de parte de las autoridades y comunidad, lo que ha implicado ajustes adicionales a la alternativa 5 seleccionada. Se destaca la consulta sobre los efectos en los ríos frente a la salida brusca de servicio de las centrales (cada una por separado, o bien ambas, en caso de una caída del SIC - Blackout). Para ello se definió la incorporación de dispositivos de control e instrumentación, la implementación de un Sistema de Comunicaciones y la definición de reglas de operación, tal que:</p> <p>a) Se mantenga la continuidad del caudal del río Maipo aguas abajo de la obra de descarga, y</p> <p>b) Evitar “golpes de agua” en el río Maipo aguas abajo de la obra de descarga.</p>

Alternativa	Análisis Criterios Técnicos
Las Lajas 1	Conforme a la verificación de aspectos geológicos en terreno, se define un proyecto compuesto por centrales de pasada en serie, en el que la mayoría de sus obras y partes se dispondrían de manera subterránea. Esta alternativa prioriza el diseño según el uso racional de los recursos desde un punto de vista hidráulico y de generación.
Las Lajas 2	Con mayor información de terreno, esta alternativa verifica una mejora en su diseño desde un punto de vista técnico (hidráulico principalmente y con mayor detalle respecto de aspectos geológicos). Considera recursos provenientes de centrales Alfalfal I, Alfalfal II y Nueva Maitenes (central que se estudió como complemento en el PHAM. Recogía recursos provenientes de la hoya intermedia del río Colorado, provenientes a su vez de la Central Maitenes existente y de aguas del estero Aucayes).
Las Lajas 3	Utiliza criterios técnicos de mayor detalle al contar con estudios básicos e información de terreno. Confirma la factibilidad de proyectar su diseño principalmente de manera subterránea, aprovechando de manera integral los recursos hídricos disponibles pero sobre la base de información de factibilidad de terreno y sus respectivos análisis y estudios.
Las Lajas 4	Incluye en su diseño principalmente criterios técnicos, de manera de optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos. La principal diferencia está dada por la incorporación de los recursos provenientes del estero Quempeo (1 m ³ /s), además los aportes de la Quebrada Aucayes (2 m ³ /s). No considera Estanque de contrapunta.
Las Lajas 5	En respuesta a las inquietudes de la Comunidad, se desplazó la casa de máquinas, inicialmente proyectada en la cercanía del sector de El Manzano, hacia la ribera izquierda del Río Colorado en una caverna excavada en el macizo rocoso, en el sector del estero El Sauce. Se analizaron alternativas de emplazamiento para la casa de máquinas y sus obras anexas tomando en consideración el distanciamiento a esta localidad, como también criterios técnicos referidos a precisiones de características geológicas y geotécnicas de la zona y el contar con las alturas de caída y otros aspectos de diseño hidráulico que le dan factibilidad técnica al PHAM. Consecuentemente, se requirió realizar modificaciones respecto del emplazamiento de la subestación eléctrica y edificio de control. También se rectificaron los trazados de los túneles Las Lajas y Alfalfal II y se reubicaron algunas ventanas de acceso, lo cual a su vez, determina la relocalización de ciertos tramos de caminos y de acopios de marina.

Alternativa	Análisis Criterios Económico
Las Lajas 1	Dada la situación de escasez de Gas Natural proveniente desde Argentina y las ventajas comparativas del PHAM (principalmente por su ubicación estratégica de cercanía a los centros de consumo y la seguridad de entrega de suministro eléctrico al SIC, frente a una demanda creciente), se hace factible y atractivo avanzar en el Proyecto. Posteriormente, luego de revisar

Alternativa	Análisis Criterios Económico
	<p>los criterios económicos específicos (según potencia a firme y otras características del proyecto y del mercado), se concluye la conveniencia del PHAM respecto de su rentabilidad.</p> <p>El PHAM se diseñó desde sus inicios como centrales en serie, en el que la rentabilidad estaba dada por el aporte de distintas centrales. Para el caso de la Central Las Lajas, se contempló la conveniencia de incorporar una central adicional denominada Central Nueva Maitenes. El PHAM reconoció su rentabilidad sin considerar esta Central Nueva Maitenes, la que se continuó estudiando, descartándose finalmente en los estudios de factibilidad (Alternativa 3).</p>
Las Lajas 2	La mayor precisión de las obras, permitió evaluar su rentabilidad, la que continúa siendo atractiva al igual que la alternativa inicial, recomendando desarrollar los estudios de factibilidad de la configuración proyectada.
Las Lajas 3	Como resultado de los estudios de factibilidad, se definió que el escenario o configuración de aprovechamiento que resultó más atractivo desde un punto de vista económico y de rentabilidad es la combinación de las centrales en serie; esto es, Centrales Alfalfal II y Central Las Lajas, descartándose la construcción de Central Nueva Maitenes.
Las Lajas 4	Se mantienen las condiciones de rentabilidad. No se destacan elementos económicos adicionales que hubiesen modificado esta alternativa.
Las Lajas 5	Se mantienen las condiciones de rentabilidad. No se destacan elementos económicos adicionales que hubiesen modificado esta alternativa.

Alternativa	Análisis Criterios Ambientales
Las Lajas 1	<p>Esta alternativa prioriza el diseño según el uso racional de los recursos desde un punto de vista hidráulico y de generación.</p> <p>El proyecto reconoce los principales aspectos ambientales que pueden incidir directamente en su diseño y rentabilidad (geología, factibilidad de recursos, características de alta montaña, etc.).</p>
Las Lajas 2	Los criterios ambientales aplicados fueron aquellos relacionados con la incorporación de recursos hídricos, contemplando caudales ecológicos restrictivos. Los aspectos geológicos y de riesgos asociados fueron incorporados para el emplazamiento y diseño de sus obras.
Las Lajas 3	<p>La Central Las Lajas se desarrolla en un área donde existe mayor concentración de población. En consecuencia, los criterios ambientales se valoran no solo en función de su componente técnico sino que también según el valor que le otorgan los distintos interesados, ya sea ellos habiten en el lugar, desarrollen actividades económicas en el entorno, visitantes, turistas, etc. En este sentido, las alternativas estudiadas inician sus ajustes en función de una combinación e interacción de criterios ambientales y de contexto.</p> <p>En esta alternativa, en atención de lo anterior, se priorizó la ubicación del lugar de descarga de la Central Las Lajas en un área intervenida del Río Maipo.</p>
Las Lajas 4	<p>Con el input de la participación ciudadana temprana, tanto de autoridades locales, regional como de la comunidad local, el PHAM se fue sensibilizando respecto de otros usos e intereses, identificando las principales inquietudes de manera de incorporar medidas en el diseño y operación del Proyecto.</p> <p>El componente de principal preocupación durante la operación del Proyecto corresponde a la disponibilidad de agua para todos los usos que se verifican en la zona y la mantención de todos los derechos constituidos. El Proyecto se diseña con caudales ecológicos en atención a ello.</p> <p>Otra preocupación tiene relación con los potenciales efectos durante la construcción del PHAM y la consecuente alteración en los flujos viales, potenciales ruidos producto de tronaduras, calidad del agua, emisión de material particulado, etc. Esta alternativa contempla medidas de control que son similares a las presentadas en el EIA de 2008, las que fueron evaluadas por la autoridad, considerándose adecuadas.</p>
Las Lajas 5	La comunidad del sector El Manzano expresó su disconformidad ante las obras proyectadas en el

Alternativa	Análisis Criterios Ambientales
	<p>área, aun cuando éstas cumplieran con las disposiciones legales y normativas vigentes para su construcción y operación. Por ello se revisaron alternativas factibles desde un punto de vista técnico y constructivo, además de nuevos estudios ambientales para desplazar la ubicación de la caverna de máquinas. De esta forma, sobre la base de los resultados de sondeos y estudios de ingeniería, fue posible evaluar alternativas de relocalización de la casa de máquinas de la central Las Lajas y sus consecuentes modificaciones al resto de las obras.</p> <p>Destaca la renuncia de captación de recursos desde el estero Quempo, en atención a garantizar el caudal ecológico definido para el río Colorado.</p> <p>Se adecuaron las medidas de control del Proyecto, principalmente respecto a minimizar los efectos en los flujos viales, en los impactos acústicos durante la construcción, efectos en la calidad del agua durante la construcción de puentes u otras intervenciones de cauces, operación de los campamentos, intervención de vegetación, fauna, etc.</p> <p>De igual forma que para la Central Alfalfal II, se consideraron las inquietudes posteriores a la aprobación ambiental, en particular respecto de efectos en los ríos frente a la salida brusca de servicio de las centrales. En esta Central también se incorporaron dispositivos de control e instrumentación, la implementación de un Sistema de Comunicaciones y la definición de reglas de operación, de manera de contrarrestar potenciales efectos en el río Maipo.</p>

Alternativas de Trazado para la Nueva Línea de Transmisión

El sistema de transmisión eléctrica autorizado del PHAM consta de dos líneas de 17,1 km de extensión total, que permitirá conectar al Sistema Interconectado Central (SIC) las centrales Las Lajas y Alfalfal II. Estas líneas corresponden a:

- Línea entre S/E Maitenes y S/E Alfalfal: de un circuito de 110 kV y 7,6 km de longitud.
- Línea entre Central Alfalfal II y S/E Alfalfal: de dos circuitos de 220 kV y 9,5 km de longitud.

Con esta configuración, el Proyecto aprovechará la línea de transmisión existente entre la S/E Alto Maipo y la S/E Maitenes para la conexión de la Central Las Lajas.

Al respecto, se debe indicar que durante las etapas tempranas del diseño del PHAM se analizaron distintas posibilidades de conexión al SIC entre las que se encuentran:

1. Conexión de ambas centrales a la SE Nueva Florida 220 Kv (con y sin uso de servidumbre para línea de 110 kV existente).
2. Conexión de ambas centrales a la SE Los Almendros 220 Kv (con y sin uso de servidumbre para línea de 110 kV existente).
3. Conexión simultánea de ambas centrales a la SE Nueva Florida y Los Almendros 220 Kv (con y sin uso de servidumbre para línea de 110 kV existente).
4. Conexión de ambas centrales vía Central Alfalfal I (con y sin uso de servidumbre para línea de 110 kV existente).
5. Conexión separada de las centrales. Alfalfal II a Alfalfal y Las Lajas a Florida (con y sin uso de servidumbre para línea de 110 kV existente).
6. Conexión separada de las centrales a SE Nueva Florida (con y sin uso de servidumbre para línea de 110 kV existente).

7. Alternativa Vigente. Conexión simultánea de ambas centrales al sistema 110 kV Maitenes y Quelltehues con Florida y al sistema 220 kV Alfalfal Los Almendros.

En el análisis de cada alternativa planteada se tomaron en consideración los siguientes criterios:

Técnico: en tanto en el área donde se emplaza el PHAM ya se encuentran operando centrales hidroeléctricas y, en consecuencia, subestaciones y líneas eléctricas asociadas, se tomó en consideración los requerimientos de nuevas líneas, capacidad de líneas existentes, requerimiento de ampliación o construcción de subestaciones eléctricas, el aprovechamiento de las franjas de servidumbre existentes y, por sobre todo, el cumplimiento de la normativa sectorial, principalmente de los aspectos regulados tendientes a entregar seguridad en el suministro eléctrico.

Económico: se analizaron los costos asociados, cuyo monto valorizado en el “Costo Total” corresponde a la suma de la inversión inicial más el costo de las pérdidas actualizadas por transmisión. El Costo Total de cada alternativa permitió considerar aspectos de eficiencia.

Ambiental: el diseño final del trazado se estableció como resultado de un estudio de las distintas variables de localización de modo de minimizar los impactos, considerando las características naturales del área prevista para el emplazamiento del Proyecto. En consecuencia, el trazado se estableció próximo a la vialidad existente y proyectada (futuro camino de acceso a la Central Alfalfal II), aprovechando fajas de terrenos ya intervenidas, y evitando la habilitación de nuevos accesos para la construcción de las torres.

Social y de Contexto: uno de los aspectos más sensibles de las líneas eléctricas, desde su perspectiva social, corresponde a la necesaria obtención de servidumbres de paso, las cuales “gravan” las franjas de ocupación de los predios o propiedades que las contienen. Así, el análisis de alternativas privilegió el uso de líneas existentes y la menor afectación de predios o propiedades de terceros. En este caso se afecta sólo un predio cuya propiedad es del Fisco, administrada por el Ejército de Chile, y se cuenta con un acuerdo para ingresar al predio con ambas instituciones.

Aplicando los criterios antes detallados, se arribó a la conclusión que la alternativa propuesta a evaluación por las autoridades, y la que en definitiva se aprobó, corresponde a la que pondera de mejor forma las distintas variables, complementando y sirviendo al PHAM de manera sustentable.

Una vez seleccionada la alternativa, se procedió a la etapa de ingeniería básica, la que cuenta con todos los antecedentes y referencias de terreno para realizar el micro-ruteo. De este modo, los criterios considerados para la localización del Proyecto fueron los siguientes:

- Se privilegiaron las áreas próximas a la vialidad y huellas existentes, así como las áreas ya intervenidas para la ubicación de torres.
- La ubicación de las estructuras se estableció prefiriendo las áreas sin vegetación nativa en categoría de conservación.

En relación a la selección del tipo de torres, se escogió las de tipo reticuladas autosoportantes porque es el tipo de estructura que puede ser llevada a sitios de topografía abrupta con una mínima intervención de terreno, no requieren de tirantes que aumentarían el área de influencia y mayores servidumbres, ni estructuras de grandes volúmenes y peso que requerirían caminos y huellas para vehículos pesados de transporte.

En relación a aspectos constructivos, corresponde señalar que el diseño de las fundaciones para torres nuevas indica mayoritariamente fundaciones de tipo parrilla, lo que permite utilizar el material de la excavación en el mismo relleno, minimizando, en la medida de lo posible, los requerimientos de hormigón para fundaciones.

El método constructivo de las líneas nuevas y ampliación de la S/E Alfalfal, propone acceder a las estructuras utilizando los caminos principales; es decir, Ruta G-345 y futuro camino de acceso a la Central Alfalfal II. Es importante consignar que de no ser posible acceder al sitio contemplado para la construcción de las estructuras mediante las vialidades antes mencionadas, se privilegiará el transporte de las estructuras y otros elementos mediante métodos de tracción animal, empleando las huellas existentes u otros métodos para evitar o minimizar la habilitación de huellas y caminos en el sector.

Durante la construcción y previo al movimiento de tierra para el emplazamiento de las torres de alta tensión, el método constructivo indica:

- el rescate de las especies vegetales, arbustos principalmente, los cuales serán trasplantados en las proximidades de las torres. Esta actividad no afectará a especies nativas en categoría de conservación.
- Se estima un total de 1.300 m³ de material excavado para las fundaciones y malla de tierra de la línea, el cual será reutilizado como relleno en las fundaciones en un 50% aproximadamente; el material sobrante será dispuesto en forma compacta y uniforme en zonas aledañas a las obras, de modo de alterar lo menos posible la forma original del terreno, así como las formaciones vegetacionales allí existentes.
- Una vez ejecutadas las obras de construcción, se limpiarán todos los eventuales residuos y elementos menores que pudieran quedar en los sectores aledaños a las estructuras y frentes de trabajo, y que no hayan sido retirados durante la ejecución de la obra.

Con lo anterior, se estima que el Sistema Eléctrico propuesto para dar servicio al PHAM minimiza los impactos ambientales y sociales.

5. CONCLUSIONES

Según se desprende del análisis, la alternativa seleccionada es la que incorpora de manera armoniosa las variables técnicas, económicas, ambientales y de contexto, permitiendo contar con un proyecto sostenible en el tiempo

Su configuración final da cuenta de los siguientes aspectos:

Sistema Alto Volcán: en la conducción hacia el Yeso, se elimina la incorporación de recursos desde el Cajón Las Cortaderas a objeto de contribuir a la mantención del caudal ecológico de la zona del río Yeso identificada como de importancia ambiental.

Obras en Valle del Río Yeso: elimina la Laguna Lo Encañado como parte del PHAM.

Al no contar con la Laguna como cámara de carga, fue necesario incorporar una Cámara de carga para la Central Alfalfal II, de manera de otorgar estabilidad al sistema hidráulico de la Central. A la vez, constituye la cámara de expansión de la chimenea de equilibrio.

Por su parte, se sostuvieron diversas reuniones con representantes de organismos públicos con competencia ambiental relacionadas con el proyecto, instituciones y organismos del ámbito local, las cuales constan en el EIA presentado.

Las principales inquietudes que fueron recogidas por el Proyecto corresponden a:

- Ubicación del proyecto en un Área de Preservación Ecológica definida por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS). En este sentido, fue necesario demostrar que el proyecto, se ajusta a la planificación territorial vigente y cumple con los requisitos indicados en el PRMS.
- La localización de sitios de acopio de marinas tal que no afecte las cuencas hidrográficas.
- Afectación de especies protegidas de flora y fauna: ejecución de planes de rescate y traslado bajo la supervisión técnica de profesionales calificados e implementación de un plan de seguimiento ambiental que asegurará la supervivencia de las especies.
- Asegurar las características de humedad y continuidad del drenaje en el sector de vegas: mencionado anteriormente.
- No Afectación del Monumento Natural El Morado: el túnel El Volcán cruzará a una profundidad del orden de 1000 metros en promedio, y no considera ventanas, caminos u otras instalaciones que puedan afectar esta área bajo protección.
- Privilegiar empleo mano de obra local: contratación de mano de obra local durante la construcción del Proyecto.

De la misma forma, el Proyecto recogió las inquietudes de la comunidad en forma paralela a la formulación del EIA, a través de una serie de acercamientos a la comunidad local interesada en el Proyecto. Estas sesiones consistieron en asambleas abiertas, reuniones y entrevistas, de las cuales se recogieron las inquietudes planteadas por la comunidad (ver Anexo 44 del EIA del 2008)

Las principales inquietudes de las comunidades locales y sus implicancias en el Proyecto corresponden a:

- Riesgo de avalanchas: el proyecto incorporó como criterio de localización de obras e instalaciones, la probabilidad de riesgos de avalancha, como condición esencial de su diseño.
- Afectación del Turismo: si bien no se contempla su afectación, el PHAM contempla medidas de compensación favorables al desarrollo turístico.
- Afectación de derechos de agua de terceros y necesidad de caudales ecológicos: corresponde a un elemento de cumplimiento de la legislación.
- Control de contratistas: se requiere un estricto control contractual de cumplimiento de exigencias ambientales a los subcontratistas.
- Localización de marinas: corresponde a 14 sitios de acopio. Su localización definitiva considerará el distanciamiento a población o viviendas destinadas a habitación permanente o provisoria, zonas

de bajo impacto visual, adosada a elevaciones naturales, zonas de bajo valor edafológico y alejados de los cauces de agua.

- Efectos de las tronaduras: no se prevén efectos significativos.
- Molestias por tránsito de camiones: el proyecto contempla una serie de medidas de mitigación de emisiones al aire y de efectos sobre la vialidad, asociados al tránsito de camiones.
- Impacto visual subestación eléctrica: el proyecto contempla una serie de medidas de mitigación del impacto visual por la presencia de la S/E (diseño de una subestación encapsulada).
- Pérdida de animales por robo y atropellos: se dispondrán de cláusulas especiales en los contratos con Contratistas y la obligación de mantener una coordinación con los ganaderos y arrieros.
- Efectos sobre las veranadas y arrieros: además de las medidas de diseño, el PHAM considera el monitoreo ambiental en estas formaciones.
- Disponibilidad de aguas en el estero Aucayes: definido por los derechos de terceros y los caudales ecológicos validados por la Autoridad.
- Impacto ambiental de la construcción de caminos: definición de medidas de control ambiental para las componentes aire, ruido, suelo, flora y fauna asociadas al trazado y construcción de caminos.
- Efectos sobre sitios arqueológicos: se contemplan medidas de acción en caso que durante los trabajos de construcción se detecte un hallazgo de esta naturaleza.
- Disminución de caudales e interferencia con otras actividades: cuestión que fuera revisada y consultada por la autoridad durante la tramitación del EIA, llegando a la conclusión de la no alteración significativa de estos elementos del medio ambiente.
- Afectación de bocatomas de terceros: el PHAM contempla adecuaciones a las captaciones de terceros en caso que éstas, presenten un desmedro en su funcionalidad en situación con proyecto.

Cabe mencionar que posterior a la aprobación ambiental se han realizado una serie de ajustes menores en atención a preocupaciones de la comunidad y de la autoridad.

Entre ellas, cabe mencionar la consulta respecto de los efectos en los ríos frente a la salida brusca de servicio de las centrales (cada una por separado, o bien ambas, en caso de una caída del SIC - Blackout), lo que implicó realizar una serie de estudios, incorporar dispositivos de control e instrumentación, implementación de un Sistema de Comunicaciones y definir reglas de operación, tal que:

- a) Se mantenga la continuidad del caudal del río Maipo aguas abajo de la obra de descarga, y
- b) Evitar “golpes de agua” en el río Maipo aguas abajo de la obra de descarga.

Con lo anterior, en caso de detención de la central Alfalfal II, será posible mantener durante todo el período del fenómeno transitorio la invariabilidad del caudal del río Maipo aguas abajo de la descarga de la central Las Lajas.

En el caso de un Blackout, es decir, al detenerse ambas centrales simultáneamente, se iniciará la descarga de los caudales que estaban siendo generados, a través de los vertederos ubicados en los ríos Yeso y Colorado.

En el mismo instante anterior, la central Las Lajas iniciará su operación en modo de by-pass, entregando hasta el 50% del caudal de diseño de esta central ($65 \text{ m}^3/\text{s}$) mediante el uso de los deflectores de chorro, y ocupando los volúmenes acumulados tanto en la cámara de Carga como en el túnel de descarga.

Por último, cabe mencionar que la recuperación de los volúmenes de reserva se efectuará utilizando un esquema de operación inversa al descrito, de modo que la entrega de caudales al río Maipo se efectuará cuando los caudales en éste comiencen a disminuir, producto de la demora en que el efecto de reiniciar su captación en las bocatomas se haga evidente en el punto de restitución al río Maipo. El principio para esta operación es exactamente el mismo, esto es, no alterar el régimen del río Maipo en los puntos de captación de los usuarios de aguas abajo.

De esta forma, tal como se indicó inicialmente, de manera posterior a la aprobación ambiental, y una vez definida la configuración de la Alternativa 5 como la definitiva, se realizaron una serie de ajustes al PHAM, algunos debido a criterios técnicos y otros en atención a lo solicitado por las autoridades, que no correspondieron a modificaciones de consideración para efectos del SEIA. Entre ellos se destaca, la reducción de volumen de la cámara de carga Alfalfal II, reubicación de Bocatoma La Engorda, Eliminación de Pozo de Toma y el cambio de la cota de turbina.

Respecto de la Central Alfalfal II, los principales aspectos abordados por la alternativa seleccionada corresponden a:

- *Cámara de carga:* también opera como estanque de contrapunta para la Central Alfalfal II. Se emplaza junto a la ribera derecha del Río Colorado, en parte excavado y en parte desarrollado mediante muros de tierra. El volumen útil del estanque es de 300.000 m^3 (en la alternativa anterior el volumen correspondía a 425.000 m^3), desarrollado en una superficie de 75.000 m^2 . Se contempló la instalación de una membrana impermeabilizante en toda la superficie del estanque, un piso de hormigón en el fondo así como también obras para el vaciado y seguridad.
- *Modificación de la ubicación de la casa de máquinas:* se desplaza hacia la ribera izquierda del Río Colorado (sector estero El Sauce) en una caverna excavada en el macizo rocoso. Este cambio de ubicación se realizó en atención a lo solicitado por la comunidad de El Manzano.

En efecto, el Proyecto, en atención a la sensibilidad ambiental del sector El Manzano (esencialmente en su componente social), tuvo que revisar alternativas factibles desde un punto de vista técnico y constructivo, además de nuevos estudios ambientales, para desplazar la ubicación de la caverna de máquinas. De esta forma, sobre la base de los resultados de sondajes y estudios de ingeniería, fue posible evaluar alternativas de relocalización de la casa de máquinas de la central Las Lajas, y consecuentemente de la subestación eléctrica y edificio de control, cuyo emplazamiento se previó inicialmente en el sector El Manzano, así como también la eliminación de la ventana de acceso al túnel ubicada originalmente en este sector, con lo cual se elimina el frente de trabajo y por lo tanto, el flujo vehicular previsto para el mismo.

Todo lo anterior, en respuesta a las inquietudes manifestadas por la comunidad del sector El Manzano, quienes expresaron su disconformidad ante las obras proyectadas en el área, aun

cuando éstas cumplieran con las disposiciones legales y normativas vigentes para su construcción y operación.

Así, las adecuaciones descritas implicaron una rectificación de los trazados de los túneles Las Lajas y Alfalfal II y la reubicación de algunas ventanas de acceso, lo cual a su vez, determina la relocalización de ciertos tramos de caminos y de acopios de marina.

En atención a criterios ambientales, el Proyecto renuncia a la captación de recursos desde el Estero Quempe, cuestión que estuvo siempre contemplada en el PHAM. Lo anterior, en virtud de garantizar el caudal ecológico del río Colorado, flujo que fue definido no solo en función de variables hídricas sino también ambientales y en consideración de otros interesados.

De esta forma, al igual que para la Central Alfalfal II, tal como se indicó inicialmente, de manera posterior a la aprobación ambiental, y una vez definida la configuración de la Alternativa 5 como la definitiva, se realizaron una serie de ajustes al PHAM, algunos debido a criterios técnicos y otros en atención a lo solicitado por las autoridades, que no correspondieron a modificaciones de consideración para efectos del SEIA. Entre ellos se destaca, el cambio de la cota de turbina, ajustes de la Obra de Descarga al río Maipo y último tramo del trazado del túnel de descarga, aumento de la cámara de expansión de la chimenea de equilibrio de la central Las Lajas, incorporación de estaciones fluviométricas en el río Maipo aguas arriba y abajo de la obra de descarga al río Maipo, sumado al uso de deflectores de chorro durante salidas de servicio de la Central Las Lajas, para el control de las descargas de aguas durante operaciones eventuales.