

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:



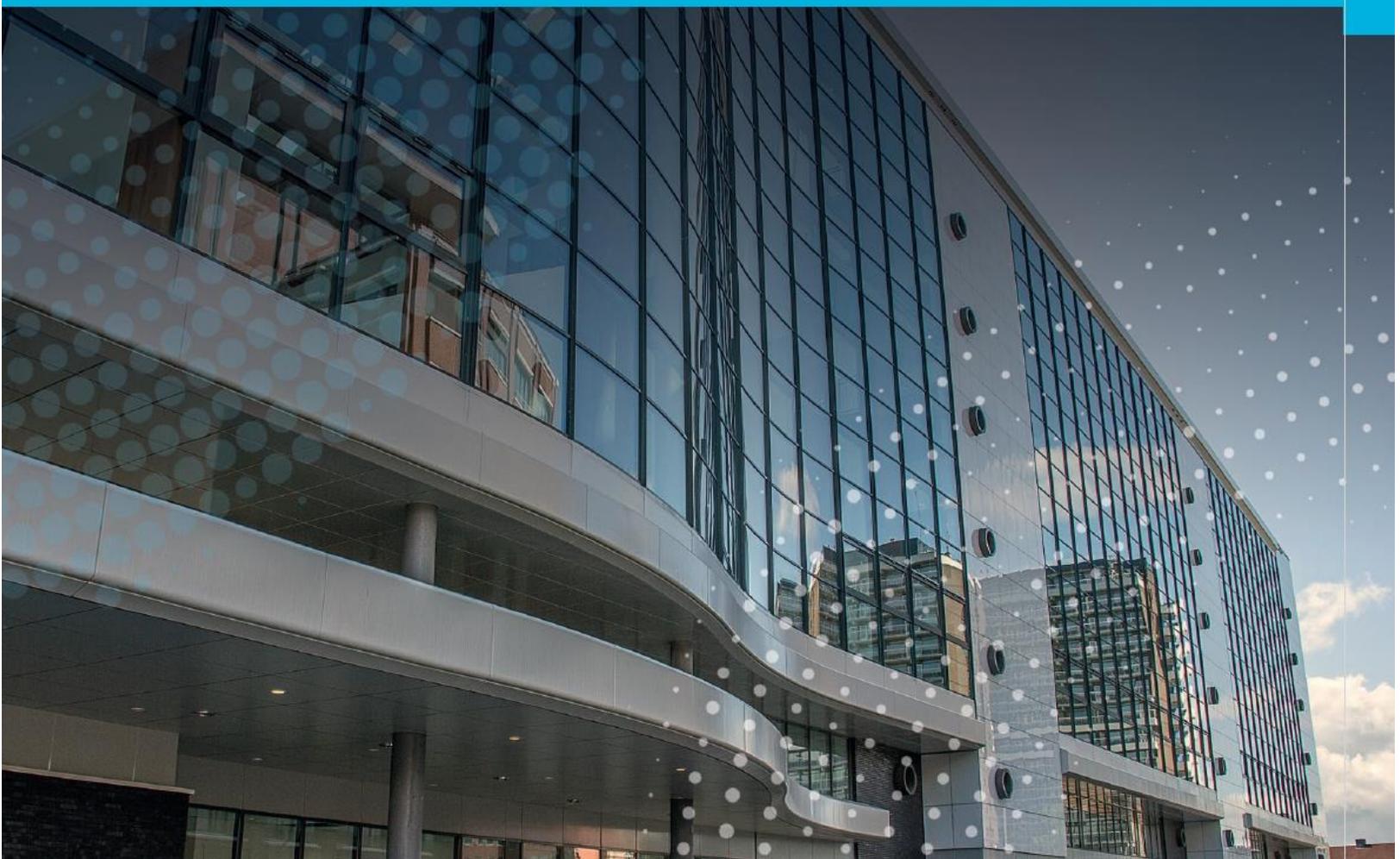
Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania



Agencia de
Sostenibilidad
Energética

Manual de Cogeneración: Guía para la Toma de Decisiones





Este Manual de cogeneración: “Guía para la toma de decisiones”, fue preparado por encargo del proyecto “Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores Industrial y Comercial en Chile” implementado por el Ministerio de Energía, Agencia Sostenibilidad Energética y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania.

Manual de Cogeneración:
Guía para la toma de decisiones.

Manual de cogeneración: Guía para la toma de decisiones.

Publicado por:

Proyecto "Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores de la Industria y el Comercio en Chile"

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago • Chile
www.minenergia.cl

Agencia de Sostenibilidad Energética
Monseñor Nuncio Sótero Sanz 221
Providencia • Santiago • Chile
www.acee.cl

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Federico Fröebel 1776
Providencia • Santiago • Chile
www.giz.de

Responsables:

Rainer Schröer, GIZ

Revisión de contenidos:

Cecilia Figueroa, Marco Céspedes, Raúl Gálvez, GIZ

Consultores:

Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT
Diagramación:
Paola Femenías

Santiago de Chile, Agosto 2020.

Manual de Cogeneración:
Guía para la toma de decisiones.

Aclaración:

El presente manual fue preparado por encargo del proyecto “Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores Industrial y Comercial en Chile” implementado por el Ministerio de Energía, Agencia Sostenibilidad Energética y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Sin perjuicio de ello, las conclusiones, opiniones y recomendaciones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. De igual forma, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar no constituye en ningún caso una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.

Manual de Cogeneración: Guía para la toma de decisiones.

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en conjunto con el Ministerio de Energía y la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE), están desarrollando el proyecto Reducción de emisiones a través de la aplicación de la cogeneración en los sectores comercial e industrial en Chile, que persigue fomentar la implementación de proyectos cogeneración en los sectores industrial y comercial, reforzando además iniciativas en el sector público en Chile. El proyecto se enmarca en la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania, donde el aporte alemán es financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania, con fondos provenientes de la “Iniciativa Internacional para la Protección del Clima” (ICI), que desde el 2008 apoya medidas de protección climática en países en vías de desarrollo y emergentes.

En conjunto con el Ministerio de Energía y la Agencia de Sostenibilidad Energética, el proyecto persigue la reducción de barreras a las inversiones en tecnologías de cogeneración, aumentando la aceptación de la cogeneración como una alternativa energética técnica y económica, contribuyendo al éxito de las iniciativas y a la creación de un mercado para la cogeneración. En este marco, se apoya el esfuerzo de reforzar el rol de la cogeneración eficiente como un componente relevante de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y, además, fortalecer el intercambio técnico sobre el tema de la eficiencia energética, entre los ministerios involucrados en el proceso climático.

A fin de reforzar la difusión de esta tecnología, sus ventajas y posibles aportes a la eficiencia en el uso de la energía en establecimientos industriales y comerciales y lograr un efecto multiplicador, se ha elaborado el presente Manual de Cogeneración, que entrega desde información general sobre esta tecnología, hasta conocimientos especializados necesarios para su instalación y diseño, así como información relativa a aspectos financieros para el desarrollo de este tipo de proyectos.

El presente tomo corresponde a la Guía para la Toma de Decisiones, enfocado a dar información general y relevante sobre la tecnología de Cogeneración, sus ventajas y la forma de implementar un proyecto de Cogeneración.

Índice

1	Objetivos de esta guía.	1
1.1	¿A quién está dirigida esta guía?	1
1.2	¿Cómo leer esta guía?	1
2	¿Qué es Cogeneración?	2
3	¿Cuáles son los beneficios de la Cogeneración?	3
4	¿Cómo se integra la Cogeneración en las líneas estratégicas de la organización?	4
5	¿Cuáles son los factores de éxito en los niveles de decisión?	6
6	¿Cuáles son los factores clave para asegurar la factibilidad económica de un proyecto?	7
7	¿Cuáles son los sectores con potencial de Cogeneración?	8
7.1	Sector Industrial.	9
7.2	Sector Comercial.	9
7.3	Sector Público y ONG.	10
7.4	Sector ESCO.	10
8	¿Cuál es el ecosistema de actores clave en un proyecto de Cogeneración?	10
9	¿Cuáles son las ETAPAS de decisión en un proyecto de Cogeneración?	12
9.1	ETAPA 1: Consideraciones iniciales	13
9.2	ETAPA 2: Calificación de potencial	14
9.3	ETAPA 3: Prefactibilidad	15
9.4	ETAPA 4: Factibilidad	17
9.5	ETAPA 5: Ingeniería de detalles	18
9.6	ETAPA 6: Implementación, seguimiento y operación	20
10	Bibliografía	22

Índice de ilustraciones:

Ilustración 1: Comparación entre un sistema convencional de generación y Cogeneración.	2
Ilustración 2: Beneficios de la Cogeneración.	3
Ilustración 3: Sectores con potencial de Cogeneración.	8
Ilustración 4: Actores clave en un proyecto de Cogeneración.	11
Ilustración 5: Etapas y actividades de un proyecto de Cogeneración.	13

Índice de tablas:

Tabla 1: Consideraciones iniciales necesarias para Cogeneración.	13
Tabla 2: Consideraciones iniciales favorables para Cogeneración.	14
Tabla 3: Actividades mínimas calificación del potencial.	14
Tabla 4: Actividades mínimas estudio de prefactibilidad.	16
Tabla 5: Actividades mínimas estudio de factibilidad.	17
Tabla 6: Actividades mínimas ingeniería de detalles.	18
Tabla 7: Actividades mínimas Implementación, seguimiento y operación.	20

Glosario.

CHILLER DE ABSORCIÓN: Es un equipo de enfriamiento de agua que, a través de un proceso de absorción utiliza una fuente de calor para la refrigeración. En sistemas de trigeneración, el chiller de absorción, emplea parcialmente la energía térmica generada por el cogenerador para la generación de frío.

COGENERACIÓN: Es la generación eficiente y de forma simultánea, de energía eléctrica y térmica útil, a partir de un único proceso de consumo energético primario usando una o varias fuentes, para el uso de uno o varios consumidores [1].

ESCO: Empresas de servicios energéticos que están orientadas a mejorar el uso de la energía en las empresas. Esto lo realizan mediante el financiamiento o cofinanciamiento de proyectos y ejecución de soluciones de eficiencia energética. La que a su vez se paga por medio de los ahorros obtenidos.

GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI): Son gases que se encuentran en la atmósfera y que favorecen la acumulación de energía de radiación del sol en la atmósfera.

GENERACION ELÉCTRICA CONVENCIONAL: Proceso de generación de energía eléctrica a partir de un combustible fósil o proveniente de energía renovable, donde no se aprovecha el calor residual.

GLP: Gas licuado de petróleo.

kWc: Unidad de medida de Potencia instalada de equipos en referencia a la potencia térmica de enfriamiento.

kWe: Unidad de medida de Potencia instalada de equipos en referencia a la potencia eléctrica.

kWt: Unidad de medida de Potencia instalada de equipos en referencia a la potencia térmica de calor.

MATERIAL PARTICULADO: Es un contaminante atmosférico que corresponde a partículas líquidas y sólidas, las que se clasifican según grupo de tamaño MP 10 (grueso, diámetro menor a 10 micrones) y MP 2.5 (fino, diámetro menor a 2.5 micrones) [2].

TRIGENERACIÓN: Es la generación eficiente y de forma simultánea, de energía eléctrica y térmica útil, en forma de calor y frío, a partir de un único proceso de consumo energético primario usando una o varias fuentes, para el uso de uno o varios consumidores. Para la generación de frío, generalmente, se utilizan sistemas de absorción.

1 Objetivos de esta guía.

El objetivo general del Manual de Cogeneración es entregar de manera organizada y explícita la información para el diseño, la evaluación y la Toma de Decisiones en un proyecto de Cogeneración.

Los objetivos específicos de la Guía de Toma de Decisiones son:

- Presentar a los tomadores de decisiones los beneficios de la Cogeneración.
- Dar a conocer los diferentes actores que participan en temas de Cogeneración en Chile.
- Detallar las Etapas de un proyecto de Cogeneración desde su evaluación y planificación hasta el diseño e implementación.

1.1 ¿A quién está dirigida esta guía?

Esta guía está dirigida a profesionales con cargos de alta dirección, responsables de las definiciones estratégicas en la empresa (dueños de empresas, gerentes generales) y a profesionales con responsabilidades gerenciales sectoriales (gerencias de operaciones, gerencias técnicas, etc.).

Con ello se persigue difundir esta tecnología a distintos niveles de la toma de decisión en empresas, de manera de aportar con información relevante, tanto a nivel de los lineamientos estratégicos de la institución, fundamentados en la misión y visión de la empresa, como a nivel decisonal táctico y operacional, de manera de facilitar la comunicación entre ambos niveles y posibilitar la discusión y Toma de Decisiones sobre una base de información común.

1.2 ¿Cómo leer esta guía?

El desarrollo de esta Guía se presenta a través de preguntas y respuestas ordenadas secuencialmente, según el avance lógico de las etapas que deben cumplirse para un adecuado análisis de iniciativas de Cogeneración, de manera de facilitar la Toma de Decisiones sobre la oportunidad de mejorar la eficiencia de procesos de abastecimiento energético, que contribuyan a la disminución de costos energéticos de la empresa, al cuidado del medio ambiente y a la protección del clima.

La primera parte de esta guía, hasta el capítulo 7, está orientada a informar, ayudar y acompañar la Toma de Decisiones de la alta gerencia y dirección de la empresa. A partir del capítulo 8, esta guía se orienta a un segundo nivel de Toma de Decisiones, que es de competencia de gerencias sectoriales, como la gerencia técnica o de operaciones, detallando los elementos más importantes a considerar por cada uno en cada una de las Etapas que debe seguir un proyecto de Cogeneración.

2 ¿Qué es Cogeneración?

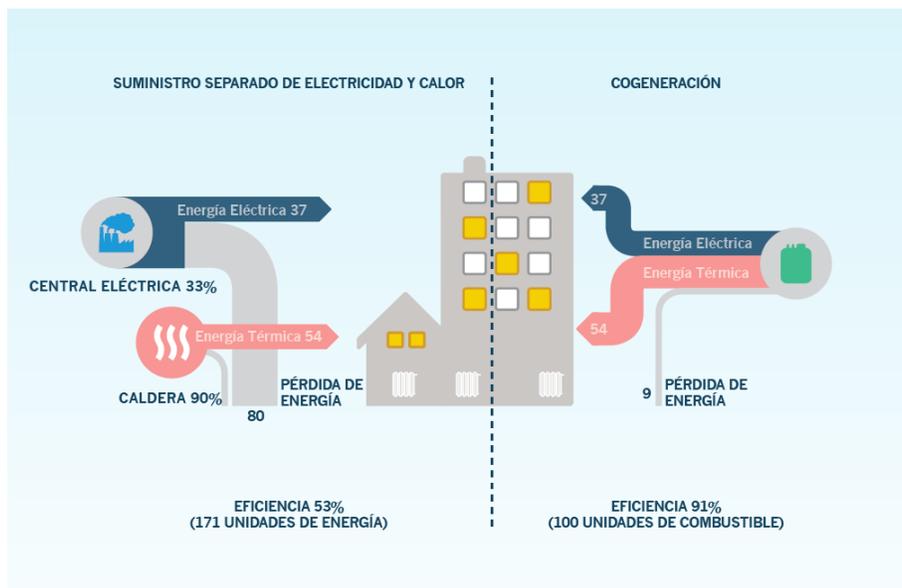
La Cogeneración es la generación simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (calor) a partir de un único proceso de consumo de energético primario. Este principio incluye todas las tecnologías en las cuales las energías eléctrica y térmica son conjuntamente generadas por una unidad o sistema y utilizadas por uno o más consumidores [1].

A través de un proceso de Cogeneración se alcanzan altos niveles de eficiencia, debido a la utilización de la energía residual (calor) como un subproducto de la generación eléctrica. Así, la Cogeneración es mucho más eficiente que la producción de electricidad convencional y de calor por separado.

A continuación, en ilustración N°1, se compara la eficiencia de un sistema de Cogeneración con un sistema de generación convencional (generación eléctrica y de calor por separado). Se observa que un sistema convencional requiere 171 unidades de combustible, de las cuales 111 unidades de combustible (generación y distribución de la energía eléctrica requerida) se utilizan para generar 37 unidades de electricidad, que corresponden a un 33% de eficiencia y las 60 unidades de combustible restantes (generación térmica) se emplean para generar 54 unidades de energía térmica, a un 90 % de eficiencia.

En el caso presentado, la eficiencia global del sistema convencional se cuantifica en un 53%. A diferencia del sistema de Cogeneración que presenta una eficiencia global de un 91%, es decir, requiere 100 unidades de combustible, para generar la misma cantidad de energía eléctrica (37 unidades de electricidad) y térmica (54 unidades de energía térmica).

*Ilustración 1: Comparación entre un sistema convencional de generación y Cogeneración.
Adaptado de [2] y [3].*



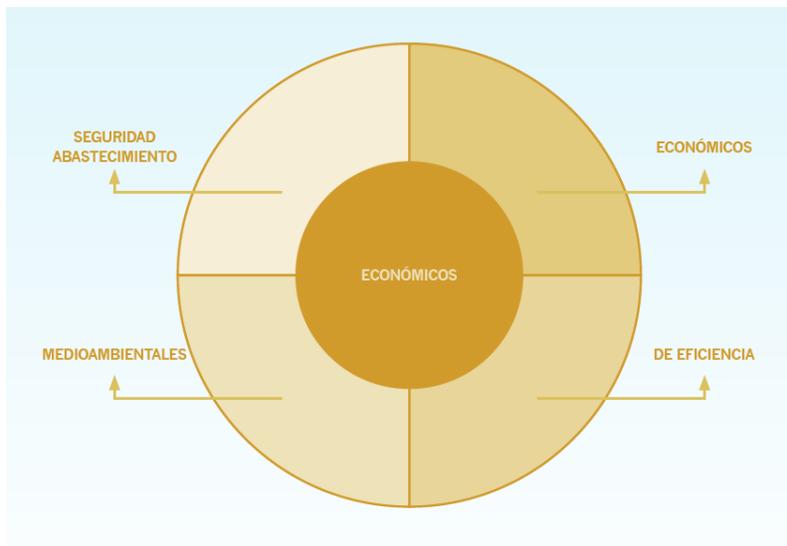
Las tecnologías para Cogeneración están disponibles en el mercado desde hace varias décadas y comprenden desde equipos de bajas potencias eléctricas (algunos kW hasta decenas de kW) hasta proyectos de gran envergadura (varias decenas de MW), pasando por proyectos intermedios de cientos de kW o algunos MW de potencia eléctrica.

En el rango de baja a media potencia eléctrica (pocos kW hasta algunos MW) existen equipos modulares prefabricados, que incorporan años de investigación y desarrollo en sus diseños y que requieren menores tareas y esfuerzos para su integración en sistemas térmicos y eléctricos existentes.

3 ¿Cuáles son los beneficios de la Cogeneración?

El interés creciente en fomentar la Cogeneración se explica por los beneficios que son reconocidos en todo el mundo, posibles de resumir en: seguridad del abastecimiento energético; beneficios económicos y medio ambientales, además de una mayor eficiencia.

Ilustración 2: Beneficios de la Cogeneración.



En situaciones de inseguridad de abastecimiento eléctrico, que se encuentran sobre todo en territorios extremos y/o insulares o donde el suministro eléctrico no es constante o continuo, las instalaciones de todo tipo, como industriales, comerciales o de operación crítica, quedan expuestas a estas variaciones. La Cogeneración es una tecnología de generación en el sitio y puede diseñarse para soportar operaciones continuas, proporcionando electricidad confiable o apoyando con la estabilización de la red eléctrica.

La Cogeneración puede producir ahorros económicos al generar electricidad y, con ello, disminuir la dependencia de la electricidad de la red y de sus precios. La cuantificación del ahorro económico dependerá mayoritariamente de la energía eléctrica cogenerada y del diferencial de precio entre la electricidad y el combustible utilizado en la Cogeneración. Lo

anterior se cumple siempre y cuando el costo por unidad de energía de electricidad ahorrado sea capaz de cubrir los costos del combustible utilizado en la Cogeneración, así como los costos de inversión, operación y mantención de los equipos.

En los sistemas convencionales de generación de electricidad y calor de una empresa, normalmente más de la mitad de la energía se pierde en forma de calor. En los sistemas de Cogeneración, parte de esta energía se aprovecha para los procesos térmicos de la empresa, aumentando la eficiencia global del sistema.

Considerando que, a través de la Cogeneración, la eficiencia en el uso del combustible aumenta a más del doble, en comparación con la generación termoeléctrica convencional (esto es, sin aprovechamiento de calor residual). La Cogeneración hace un aporte importante a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire. Así como, se reducen las pérdidas de transmisión y distribución de la electricidad de la red, al generarse la energía eléctrica en el lugar de consumo.

4 ¿Cómo se integra la Cogeneración en las líneas estratégicas de la organización?

Las empresas u organizaciones que son altamente competitivas se planifican estratégicamente para cumplir con sus objetivos tanto en el corto, como en el mediano y largo plazo. Las empresas o instituciones definen sus líneas estratégicas con el fin de crear de valor para la organización o para sus stakeholders. Por lo que, para lograr la aprobación del proyecto de Cogeneración por la alta dirección, esta debe aportar a los resultados estratégicos de la empresa, pues solo así será de interés y se priorizará el financiamiento de la implementación.

La Cogeneración crea valor en líneas estratégicas relacionadas a las sustentabilidad o uso eficiente de los recursos energéticos y/o económicos. Si las organizaciones tienen que cumplir con resultados en esas líneas estratégicas será prioritaria la implementación de un proyecto de Cogeneración, en comparación con empresas que han priorizado otro tipo lineamientos. Para la presentación de cualquier proyecto de Cogeneración, será una herramienta de venta que se cuantifique el impacto en los lineamientos estratégicos de la empresa o el valor que generan en sus stakeholders.

Otro aspecto clave para la integración del proyecto de Cogeneración en las líneas estratégicas es el horizonte de tiempo que se establecen las organizaciones para alcanzar los resultados y el retorno de la inversión esperado. Generalmente los proyectos de Cogeneración se llevan a cabo en empresas que se planifican en el mediano y largo plazo, sin embargo, existen modelos de negocio que permiten la implementación de Cogeneración también en el corto plazo.

Para mayor claridad, se presentarán tres grupos con los posibles casos que se pueden dar ante el desarrollo de un proyecto de Cogeneración:

- Empresas con instalaciones existentes que presentan una mayor flexibilidad financiera
- Empresas con instalaciones existentes que presentan una mayor restricción financiera
- Empresas que requieren de nuevas instalaciones.

Las empresas que se planifican en el mediano y largo plazo tienen una mayor flexibilidad financiera, sus prioridades definidas y reaccionan estratégicamente ante estímulos externos del mercado, pueden asignar fondos para la inversión en el presupuesto anual u obtener financiamiento externo, usando un modelo de negocio que le permita implementar un proyecto de Cogeneración, incluyendo las adaptaciones de sus sistemas existentes para la incorporación de un equipo de Cogeneración. En este caso hay que prestar un mayor interés en analizar Cogeneración cuando se requiere una remodelación total o parcial de la central térmica, dado que se presenta una condición favorable donde se debe priorizar la seguridad operacional de la empresa y los recursos financieros están disponibles.

Distinto es el caso de las empresas que planifican su estrategia para obtener resultados en el corto plazo. Ellas cuentan con una menor flexibilidad financiera para inversiones adicionales. Desde ese punto de vista, un modelo de negocio de venta de energía, en el que un tercero realiza la inversión del proyecto y vende energía cogenerada a la empresa, evitando así el riesgo económico de la inversión, aparece como una alternativa para la incorporación de procesos de Cogeneración en ellas. Por ejemplo, una empresa distribuidora de combustible o una empresa de servicios energéticos, puede implementar una solución tecnológica de Cogeneración en un tercero, con la finalidad de aumentar los ingresos por venta de combustible o por venta de energía, al mismo tiempo que, el tercero recibe los beneficios económicos de la instalación de Cogeneración.

Por otra parte, existe otro grupo de empresas que implementan proyectos de Cogeneración desde la fase de diseño de una nueva instalación, en estos casos, la inversión del sistema de Cogeneración se contempla en la planificación financiera y técnica, por lo tanto, el proyecto se implementa en conjunto con la construcción de las instalaciones y los beneficios se obtienen desde el inicio de la implementación del proyecto. Esta opción se sugiere para empresas u organizaciones que forman parte de los sectores en la cuales se usa ampliamente la Cogeneración, que tendrán una operación constante durante el año y/o que están ubicadas en zonas donde el acceso a la energía es limitado, por lo que requerirán autogenerar su propia energía.

En términos generales, las empresas que se planifican en el corto plazo evalúan su desempeño año tras año, por lo que requieren resultados y beneficios inmediatos, mientras que las empresas que se planifican en el mediano y largo plazo asumen que los resultados y beneficios son progresivos y fijan sus objetivos considerando un horizonte de 3 a 5 años, o más. En estos casos, la implementación de un proyecto de Cogeneración podrá estar alineada con los objetivos trazados en la planificación estratégica de la empresa, con los resultados esperados y con los plazos previstos para la obtención de los beneficios.

Cuando se analiza un proyecto, no solo se debe analizar desde el punto de vista técnico económico, sino que también se deben integrar otras perspectivas como: las líneas estratégicas de la empresa y de los beneficios anexos que se pueden generar a raíz de la implementación del proyecto de Cogeneración. Teniendo lo anterior en consideración, se pueden encontrar las herramientas de venta necesarias para lograr posicionar el proyecto en la alta dirección o en un cliente.

5 ¿Cuáles son los factores de éxito en los niveles de decisión?

En la medida que las decisiones de incorporar la tecnología de Cogeneración se definan desde los lineamientos estratégicos de la empresa, será más nítido y fácil de transmitir al resto del equipo de trabajo.

Adicionalmente, se identifican algunos factores previos que facilitan, específicamente, la implementación de Cogeneración en los diferentes niveles de decisión.

Decisiones nivel estratégico:

- La empresa cuenta con una visión de largo plazo que considera la sustentabilidad, el uso eficiente de los recursos energéticos o la optimización de su operación.
- La empresa cuenta con metas en el corto, mediano y largo plazo relacionadas con su misión y visión. El proyecto de Cogeneración se deberá presentar como una de las alternativas tecnológicas a considerar para alcanzar esos objetivos.

Decisiones nivel táctico:

- Se asignan responsabilidades y funciones en el personal interno de la empresa, y se dedican horas de trabajo para el desarrollo de las actividades que deriven del proyecto de Cogeneración.
- El personal interno está capacitado para la implementación y operación del proyecto de Cogeneración.

Decisiones nivel operacional:

- En general, la implementación de proyectos se fundamenta en base a la mejora operacional y eficiencia económica. El proyecto de Cogeneración debe cumplir con esta base, para lograr un mayor compromiso de los actores involucrados en el nivel operacional.
- La empresa u organización asigna recursos para el asegurar el funcionamiento de los equipos, entendiéndose que la no operación del cogenerador representaría una pérdida en eficiencia y de beneficios económicos.

Líneas transversales:

- Se cuenta con sistemas de registro de información y monitoreo del proceso productivo, lo cual es fundamental para el levantamiento de la información en el

diseño del proyecto de Cogeneración y para la medición de los impactos luego de la implementación del proyecto.

6 ¿Cuáles son los factores clave para asegurar la factibilidad económica de un proyecto?

Existen factores que son claves para el éxito económico del proyecto de Cogeneración y pueden influir en la toma la decisión en las etapas de estudio y de implementación de un proyecto de Cogeneración.

- **La diferencia entre el precio de la energía eléctrica y el precio del combustible** es clave para determinar el potencial económico de un proyecto de Cogeneración. Mientras mayor sea el precio de la energía eléctrica en comparación con el precio del combustible, mayor será el beneficio económico que se puede obtener con el proyecto de Cogeneración.
- Para que un proyecto de Cogeneración sea exitoso, se debe evaluar la disponibilidad de combustibles alternativos en la etapa de factibilidad, así como asegurar en el suministro de éste. Al optar por un combustible menos costoso y contaminante, se aumenta la diferencia con el precio de la energía eléctrica, mejorando así la evaluación económica del proyecto. Sin embargo, para que lo anterior se cumpla, es primordial tener un **suministro confiable del combustible** que permita la operación continua del cogenerador y que se alcancen así las horas proyectadas de operación.
- **Las horas de operación anual del cogenerador** son claves para la factibilidad económica del proyecto. Una alta utilización del cogenerador generará más ahorros anuales y el periodo de recuperación de la inversión será menor. Para ello, se debe seguir una metodología adecuada para determinar las demandas horarias de energía del proyecto y seleccionar el cogenerador que mejor se ajuste a la operación de la instalación. En la guía de diseño de instalaciones de Cogeneración se presenta una metodología para determinar la potencia óptima del cogenerador.
- En la etapa de evaluación de un proyecto de Cogeneración, es importante que el tomador de decisión del proyecto tenga en cuenta que el cogenerador debe **seguir el plan de mantenimiento del fabricante** para lograr el mayor rendimiento y producción de energía. Si se cuenta con el personal técnico calificado para realizar estas labores, podrá realizar mantenimientos preventivos y de menor complejidad, y tendrá que externalizar los mantenimientos de mayor complejidad con el proveedor de servicios de mantenimiento. Por ello, cuando se seleccione un cogenerador este deberá servicio técnico para prestar la asistencia necesaria cuando se requiera. Por otro lado, si no se cuenta con personal técnico calificado, lo recomendable es externalizar completamente el servicio de mantenimiento con el proveedor de servicios o establecer un modelo de negocio que permita que un

tercero se haga cargo de la operación y mantenimiento del cogenerador y sus sistemas.

Por otro lado, para la tranquilidad del tomador de decisión, el proyecto de Cogeneración se integra a los sistemas existentes, porque siempre se tiene el respaldo que la operación y la producción no se verá afectada. Las industrias e instalaciones de mayor consumo energético deberán integrar el mantenimiento del cogenerador y sus sistemas a el sistema de gestión existente. En cambio, aquellas que carecen de un sistema de gestión, podrán establecer paradas programadas junto con el mantenimiento de otros u externalizar el mantenimiento.

- El último de los factores clave para asegurar la factibilidad económica de un proyecto de Cogeneración es la selección del **modelo de negocio**. Si en un proyecto de Cogeneración se alinean los objetivos estratégicos de dos o más instituciones, el riesgo disminuye para el beneficiario del proyecto de Cogeneración y los beneficios se reparten según como se establezca en el acuerdo entre las partes. Se recomienda incluir a otros actores clave de la Cogeneración cuando el nivel de ahorros del proyecto sea significativo y/o cuando no se cuenten con los recursos económicos disponibles para la inversión. Los actores clave de un proyecto de Cogeneración se presentan en la sección N°8 de esta guía.

7 ¿Cuáles son los sectores con potencial de Cogeneración?

Normalmente la tecnología de Cogeneración se considera para el sector industrial debido a las magnitudes de demanda energética que este sector conlleva, sin embargo, en la actualidad existen nuevas tecnologías que se adecúan a requerimientos de diferentes magnitudes de consumo, lo que ha permitido diversificar la Cogeneración a instalaciones del sector Comercial, Residencial y Público.

A continuación, se presentan los sectores donde se observa mayor potencial para Chile.

Ilustración 3: Sectores con potencial de Cogeneración.



Frente a una sociedad, consumidores o clientes que al momento de optar por un servicio o producto, cada vez valoran más las empresas que contribuyen a propósitos de aminorar efectos negativos en la salud del propio consumidor, en el impacto que genera su cadena de producción y cuán amigable es con el medio ambiente, los sectores productivos o de servicios han debido ir cambiando su conciencia respecto a sus modelos de negocio a modelos que busquen triple impacto: rentabilidad económica, sociedad y medio ambiental. Así, una marca puede lograr comunicar a través de sus productos el efecto que tiene su consumo, y si va en sintonía con el consumidor, éste logrará identificarse con ese producto y preferirlo.

En ese contexto, la Cogeneración es una oportunidad para diferentes sectores no solo por su potencial técnico sino también porque va en la línea de las nuevas exigencias competitivas por la sustentabilidad de los procesos y eficiencia operacional, en el uso de los recursos energéticos y económicos.

A continuación, se describen algunos casos de sectores específicos a modo de ejemplificar la oportunidad de plantearse Cogeneración como propuesta de valor para sus stakeholders.

7.1 Sector Industrial.

En el rubro productivo, la aceptación de las instalaciones de producción por parte de la comunidad y el cumplimiento de las exigencias establecidas por las autoridades locales es de gran importancia para su operación continua. Para ello es fundamental garantizar el cuidado del medio ambiente, reduciendo emisiones y gestionando de mejor forma los recursos energéticos. Adicionalmente, la empresa puede acceder a mercados más exigentes o establecer nuevas relaciones con proveedores, que trabajen en la misma línea estratégica. Principalmente en empresas que establecen relaciones comerciales en el extranjero como: Alimentos y bebidas, pesca y acuicultura, minería, agroindustria y celulosa y papel, etc.

La Cogeneración es una oportunidad también en industrias que tengan la obligación de tratar sus residuos orgánicos antes de su disposición final, como empresas de crianza de animales, del rubro alimenticio en general, etc. En estos casos, se puede utilizar dichos residuos para la producción y aprovechamiento de biogás en sistemas de Cogeneración, en lugar de quemarlo en una antorcha. El uso de Cogeneración permitirá disminuir los consumos internos de energía eléctrica y en suministrar la energía térmica requerida para el tratamiento de residuos y otros procesos productivos internos, en algunos casos, la empresa podría lograr la independencia de los combustibles fósiles.

7.2 Sector Comercial.

En el caso de los hoteles, edificios residenciales, oficinas y centros deportivos, los clientes son cada vez más exigentes en cuanto al uso eficiente de los recursos energéticos disponibles, para ellos es importante tener el menor impacto posible en el medio ambiente. En instalaciones localizadas en territorios aislados, de difícil acceso o prístinos, los

empresarios hoteleros necesitan además ofrecer seguridad de suministro eléctrico y térmico en sus instalaciones, sin dañar el entorno. En el caso de clínicas y hospitales, la Cogeneración les permite dejar de depender parcialmente de la red y operar a un costo menor.

7.3 Sector Público y ONG.

Existen instituciones que aspiraran a ser sustentables o eficientes económicamente en el uso de la energía, pero el desarrollo de las actividades que se necesitan para lograrlo dista de su línea de negocio, pues aún no tienen las capacidades internas o no está dentro de sus prioridades disminuir costos en energía. En estos casos, como por ejemplo: Hospitales, centros de salud, piscinas municipales y otros edificios públicos; una alternativa puede ser la externalización de la implementación y operación de un proyecto de Cogeneración con empresas especialistas, ya que pueden operar a un menor costo, entregando seguridad y confiabilidad en el suministro de la energía, al comprometerse con el mantenimiento y operación de los sistemas.

7.4 Sector ESCO.

La Cogeneración, también crea nuevas oportunidades de negocio para las empresas desarrolladoras de proyectos enfocadas en entregar valor a través de diferentes soluciones energéticas, en crear propuestas a la medida de un cliente específico o para un conjunto de clientes de similares características y necesidades comunes. Las propuestas energéticas relacionadas a Cogeneración cada vez adquieren mayor importancia en empresas de servicios energéticos y en proveedores de combustible, dado que amplían sus opciones de negocio y/o aumentan las ventas por suministro energético.

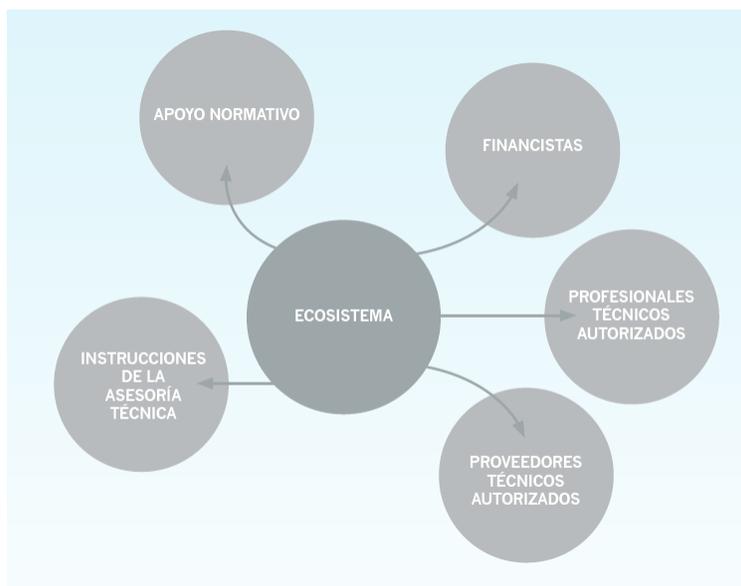
En un mercado tan exigente y competitivo, los factores tales como la sustentabilidad, la eficiencia operacional, la buena relación con sus clientes y proveedores y la generación de valor agregado para todos los participantes del ecosistema de la empresa, diferencian y posicionan a las empresas.

La Cogeneración debe ser vista como una tecnología que se caracteriza por usar eficientemente los recursos energéticos y económicos disponibles, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir las pérdidas de distribución al generar la energía en el lugar de consumo.

8 ¿Cuál es el ecosistema de actores clave en un proyecto de Cogeneración?

A continuación se presentan los principales actores que participan durante el proceso del desarrollo de un proyecto de Cogeneración, y se describen según el apoyo que entregan en las Etapas de avance en que se encuentre el proyecto:

Ilustración 4: Actores clave en un proyecto de Cogeneración.



- **Instituciones de asesoría técnica:**
Ofrecen el acompañamiento técnico necesario para la evaluación de proyectos de Cogeneración, éstos pueden asistir todo el proceso de Toma de Decisiones. Como por ejemplo:
 - GIZ
 - Agencia de Sostenibilidad Energética
- **Profesionales técnicos especializados:** Corresponden a profesionales que, en base a experiencia y formación, aseguran el cumplimiento de una evaluación técnica detallada, garantizan la correcta Toma de Decisiones y apoyen en la correcta implementación del proyecto. Se podrá acudir a los siguientes actores:
 - Consultores especializados
 - Profesionales de Empresas distribuidoras
- **Proveedores de tecnología y servicios:** son empresas que cuentan con amplio conocimiento técnico de sus equipos, proporcionan servicios y repuestos que permiten asegurar la operación del o los cogeneradores.
 - Fabricantes de equipos.
 - Representantes de equipos.
 - Proveedores de servicios post venta y mantención.
- **Actores Financistas:** La toma de decisión para el desarrollo de un proyecto, considera como elemento crítico el financiamiento del proyecto, por lo que se sugiere seguir las indicaciones de la Guía de Evaluación Financiera y acudir, sea que se opte por un modelo de inversión propia o tipo ESCO, a los siguientes actores para evaluar las alternativas de financiamiento:

- Empresas distribuidoras y ESCOs
 - Bancos
 - Otros Financistas
- **Apoyo Normativo:** El desarrollo de un proyecto de Cogeneración implica el cumplimiento de diferentes normativas relativas a electricidad, combustibles y construcción, por lo que deberá acudir a los siguientes actores para obtener apoyo en las diferentes tramitaciones asociadas al proyecto:
 - Superintendencia de Electricidad y Combustibles: Institución responsable de supervigilar el mercado de la energía, en cumplimiento de las regulaciones emitidas por el Ministerio de Energía.
 - Superintendencia de Medio Ambiente: A cargo de fiscalizar cumplimiento de todo instrumento de carácter ambiental que establezcan regulaciones legales emitidas por Ministerio de Medio Ambiente.
 - Ministerio de Energía: ¹Institución responsable de elaborar y coordinar, de manera transparente y participativa, los distintos planes, políticas y normas para el desarrollo del sector energético del país [4].

9 ¿Cuáles son las ETAPAS de decisión en un proyecto de Cogeneración?

En la Toma de Decisiones de cualquier proyecto se debe contar con un respaldo técnico adecuado que asegure el cumplimiento de los objetivos, de manera de entregar confianza a la alta dirección de la organización o empresa y obtener su compromiso con el proyecto. Para esto, es muy importante la delegación de funciones en personal calificado para entender y comprender todos los conceptos asociados a la Cogeneración.

Un adecuado dimensionamiento del sistema, diseño e implementación, son críticos para el éxito de cualquier proyecto de Cogeneración que se ejecute. Dependiendo de las características de cada proceso productivo, es posible que en un proyecto de Cogeneración existan diferentes tecnologías y configuraciones que sean técnicamente factibles para su implementación, quedando en ese caso, la decisión final sujeta al análisis financiero.

Lo anterior se podrá ir dilucidando al avanzar el proyecto. En el siguiente diagrama, se mencionan las Etapas que pueden identificarse en un proyecto de Cogeneración. Posteriormente se describirá el objetivo de cada una, las actividades mínimas que debe cumplir y los resultados esperados, y si corresponde, los actores claves relacionados con dicha Etapa que se recomienda contactar.

¹ Fuente: [4]

Ilustración 5: Etapas y actividades de un proyecto de Cogeneración.



9.1 ETAPA 1: Consideraciones iniciales

Aquí se señalan condiciones que puede o no cumplir el caso de análisis. El cumplimiento de uno o más de los aspectos listados a continuación, es el primer indicador para visualizar que la instalación en análisis, puede ser un buen candidato para implementar un sistema de Cogeneración:

Tabla 1: Consideraciones iniciales necesarias para Cogeneración.

Si	No	Condiciones necesarias
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El precio de la electricidad es mayor que el precio del combustible o energético que se opte utilizar para cogenerar.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Los procesos operan más de 5.000 horas al año (es decir, más de la mitad del año).
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tiene alta demanda eléctrica y térmica durante toda la operación de las instalaciones (como vapor, agua caliente, agua fría o aire caliente).

Si inicialmente en su instalación cumple con todas las consideraciones mencionadas, puede evaluar el potencial para cogenerar y se recomienda continuar con la Etapa 2.

Adicionalmente, se presentan condiciones favorables para la implementación Cogeneración. Si la empresa o institución cuenta con alguna de las condiciones mencionadas el proyecto tendrá más posibilidades.

Tabla 2: Consideraciones iniciales favorables para Cogeneración.

Si	No	Condiciones favorables
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dentro de la programación de los años siguientes, está considerado el reemplazo, actualización o modernización de los equipos térmicos centrales de la instalación (como generadores, calderas y enfriadores).
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Para los siguientes años se prevé una expansión de las instalaciones o un nuevo proyecto de construcción.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Existe la política institucional de contribuir al medio ambiente mediante estrategias de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El suministro eléctrico no es 100% confiable siendo esto, una permanente y amenaza directa para la producción u operación de sus instalaciones.

Actores clave: Instituciones de asesoría técnica y/o profesionales técnicos especializados.

9.2 ETAPA 2: Calificación de potencial

El objetivo de la calificación de potencial es realizar una evaluación técnica preliminar y de rentabilidad del proyecto de Cogeneración que sea la base de las Etapas siguientes.

En esta Etapa se debe considerar que la información de las instalaciones existentes debe corresponder a datos reales, por lo que se debe contar con la información histórica de consumos o aproximaciones fiables de ellas. En el caso que se trate de instalaciones nuevas, se considerarán proyecciones de consumo en base a perfiles de demanda estimados y a la experiencia de la empresa (o de otras plantas o instalaciones de similares características).

Tabla 3: Actividades mínimas calificación del potencial.

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 2	Resultados esperados
Determinar barreras y condiciones básicas	Estudio de brechas: Capacitación, organizacional, financieras, etc.
	Análisis de las condiciones básicas para Cogeneración: Espacios disponibles, acceso a combustible, estado de los sistemas existentes, etc.
Análisis de demandas energéticas	Descripción general del proyecto
	Análisis de facturaciones de consumos y costos de los energéticos

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 2	Resultados esperados
	Balances de energía y visualización general de los flujos de energía
	Estimación inicial de cargas térmicas, eléctricas, tamaño del sistema y operación de la instalación
Evaluación económica preliminar	Estimación de ahorro de costos energéticos

Si el proyecto cumplió:

- muestra un potencial técnico y
- la evaluación económica preliminar muestra un nivel de ahorro atractivo.

Se recomienda continuar con la Etapa 3. Para ello, es conveniente contar con la experiencia y asesoría de un técnico especializado independiente, que analice el proyecto de forma adecuada e imparcial.

Actores clave: Instituciones de asesoría técnica y/o profesionales técnicos especializados.

9.3 ETAPA 3: Prefactibilidad

La Prefactibilidad corresponde a una etapa fundamental, donde a partir de información existente, se evalúa técnica, económica y financieramente la viabilidad del proyecto. Típicamente en esta Etapa, es donde se va consolidando la decisión de llevarse a cabo el proyecto, por lo que es muy importante su revisión y la utilización de la información más confiable posible. Así entonces, para el caso de proyectos de instalaciones existentes, se utilizará información histórica de consumos y de la operación; también mediciones existentes de energía eléctrica y térmica.

En caso de proyectos que consideren instalaciones nuevas, se deberán estimar los perfiles de demanda en base a estimaciones de la operación de los principales sistemas consumidores de energía y a la experiencia de la empresa (o de otras plantas o instalaciones de similares características).

Cabe señalar que este análisis debe ser realizado por un ingeniero o desarrollador de proyectos experimentado e independiente, con experiencia tanto teórica como práctica en este tipo de proyectos, que pueda identificar previamente sobrecostos y problemas a lo que se pueda enfrentar la instalación. Además, el desarrollador de proyectos deberá incluir a los stakeholders del proyecto en los análisis económicos para evaluar todas las opciones de financiamiento y evaluación de escenarios de precios posibles.

A continuación, se describen las actividades mínimas y resultados de esta Etapa:

Tabla 4: Actividades mínimas estudio de prefactibilidad.

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 3	Resultados esperados
Determinar curvas de carga	Factores que afectan a la demanda. Por ejemplo: Turnos, productividad o condiciones climáticas, etc.
	Eficiencia del sistema
	Perfiles de carga estimados de las demandas de energía
Ingeniería conceptual	Dimensionamiento preliminar de equipos
	Estrategia de operación de la Cogeneración
	Definiciones de conexión e integración del sistema de Cogeneración
	Componentes principales del sistema de Cogeneración
	Evaluación técnica de diferentes configuraciones y alternativas tecnológicas para el sistema de Cogeneración
Otras consideraciones técnicas	Disponibilidad de espacio
	Disponibilidad de combustible
	Disponibilidad de tecnología
	Disponibilidad de servicios post-venta
	Cumplimiento de normas
Determinar costos y beneficios económicos	Costos de inversión
	Costos de energéticos
	Costos de mantenimiento
	Beneficios comparando la situación actual con el proyecto de Cogeneración (ahorros, ingresos por venta de energía, etc.)
Evaluación económica, normativa y ambiental	Consideraciones ambientales y permisos normativos
	Análisis económico, de sensibilidad y de ciclo de vida del proyecto
	Comparación y evaluación de escenarios

Una vez realizada todas las actividades descritas y si se cumple que:

- El proyecto es técnicamente factible y
- Económicamente viable.

Se recomienda continuar con la Etapa 4, Factibilidad del proyecto. Nuevamente, para ello es altamente recomendable contar con apoyo técnico especializado e independiente.

Actores clave: Instituciones de asesoría técnica, profesionales técnicos especializados, proveedores de tecnología y servicios y de apoyo normativo.

9.4 ETAPA 4: Factibilidad

En esta Etapa se determinará la factibilidad de un proyecto de Cogeneración, para lo cual se deberá disponer de información con un mayor nivel de profundidad que en la Etapa anterior. Para esto, será importante complementar los datos faltantes en base a mediciones, y contar con cotizaciones de todos los equipos y servicios analizados.

Tratándose de proyectos nuevos, se deberá simular los perfiles de demanda en base a la operación horaria estimada de los principales equipos o sistemas consumidores de energía y considerando los factores que afectan a la demanda.

Tabla 5: Actividades mínimas estudio de factibilidad.

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 4	Resultados esperados
Ingeniería base	Completar la información de la Etapa anterior
	P&ID preliminares (Piping and Instrumentation Diagram) y diagramas unilineales
	Actualización y ajuste de perfiles de carga
	Dimensionamiento de equipos principales y secundarios
Evaluación económica detallada ²	Determinación de costos de inversión de todos los equipos
	Determinación de costos de mantenimiento
	Estimación de costos de los energéticos y otros costos (administración, seguros, intereses, etc.)
	Estimación de beneficios por producción de energía eléctrica a la red (Autoconsumo e inyección a la red)
	Análisis económico detallado, indicadores y ciclo de vida del proyecto
	Análisis de sensibilidad
Financiamiento y contratos	Análisis de alternativas de financiamiento internas
	Análisis de alternativas de financiamiento externas y modelos de negocio
	Análisis de contratos con proveedores de equipos y servicios
Análisis permisos y normativas	Análisis de permisos ambientales, de construcción y operación, eléctricos, de combustibles, etc.

² Se sugiere para esta actividad, seguir la Guía Financiera del Manual de Cogeneración.

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 4	Resultados esperados
	Análisis de permisos de conexión
	Tramitación de permisos y otros
Actualización de análisis de brechas	Análisis de requerimientos técnicos para la implementación y operación
	Análisis de requerimientos organizacionales para la implementación y operación
	Plan de cierre de brechas y otras necesidades

Para el desarrollo de esta etapa es conveniente contar con el apoyo técnico de un profesional con experiencia e independiente, esto es, que no tenga lazos comerciales con proveedores de tecnología o empresas proveedoras del servicio, de manera de tener un análisis lo más objetivo posible y basado en consideraciones técnico-económicas lo más certeras posible.

Si, una vez desarrolladas las actividades mínimas descritas de esta Etapa, el análisis de factibilidad obtiene como resultado que el desarrollo del proyecto implica un beneficio económico para la organización y se ha definido una opción de financiamiento viable, debe tomarse la decisión de inversión del proyecto para pasar a la Etapa 5, Ingeniería de Detalles del proyecto.

Actores clave: Instituciones de asesoría técnica, profesionales técnicos especializados, proveedores de tecnología y servicios, de apoyo normativo y actores financieros.

9.5 ETAPA 5: Ingeniería de detalles

Esta Etapa considera el diseño del proyecto de Cogeneración, definiendo las especificaciones técnicas, los plazos de construcción y el presupuesto detallado.

Tabla 6: Actividades mínimas ingeniería de detalles.

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 5	Resultados esperados
Plan de implementación	Asignación de responsabilidades internas
	Planificación de las actividades
	Planificación de medición y verificación de ahorros
	Planificación de logística de suministros
	Planificación de capacitaciones
	Planificación de mantenciones
Ingeniería de detalles	Completar la información de la Etapa anterior
	P&ID y diagramas unilineales definitivos

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 5	Resultados esperados
	Planos de disposición espacial, conexión e integración de equipos térmicos
	Especificaciones técnicas de conexiones e integración hidráulica y eléctrica
	Especificaciones técnicas de equipos principales y secundarios
	Especificaciones de obras civiles y de montaje de equipos
	Cubicaciones y presupuesto
Plan de obras civiles y de montaje	Asignar responsabilidades internas y externas (jefe de proyecto, contratistas, proyectistas, instaladores, consultores, etc.)
	Planificación de las actividades para obras civiles montaje de equipos
Documentos de licitación, contratos y compra de equipos	Elaboración de documentos de licitación y adjudicación
	Elaboración de órdenes de compra y adquisición de equipos
	Elaboración y firma de contratos

Es importante considerar los modelos de negocio para el funcionamiento del proyecto por lo que invitamos a revisar la guía de evaluación financiera.

La ingeniería de detalles puede encargarse al proveedor de equipos o de servicios (ESCO) dentro de una licitación más amplia. Importante es, en estos casos, contar con el apoyo de un profesional técnico especializado que pueda analizar las propuestas de solución y/o de especificaciones, de manera de obtener el equipamiento óptimo

Antes de continuar con la Etapa de implementación, es importante considerar lo siguiente:

- Ejecutar actividades adicionales requeridas por el proyecto.
- Evaluar y revisar las condiciones de los contratos de servicios y adquisiciones con los proveedores de servicios y equipos.
- Solicitar documentación referente a los equipos (documentación de origen, garantías y otros.)

Actores clave: Instituciones de asesoría técnica, profesionales técnicos especializados, proveedores de tecnología y servicios, de apoyo normativo y actores financieristas.

9.6 ETAPA 6: Implementación, seguimiento y operación

Esta Etapa considera la implementación del proyecto y posterior mantención del sistema de Cogeneración, asegurando que proporcione los ahorros de energía esperados y reduzca las emisiones al funcionar de manera confiable y eficiente.

Tabla 7: Actividades mínimas Implementación, seguimiento y operación.

Actividades mínimas por desarrollar en Etapa 6	Actividades específicas
Construcción y montaje	Ejecución de obras civiles
	Montaje e integración de equipos principales y secundarios
Pruebas iniciales y cumplimiento de protocolos	Pruebas de conexión e integración de los equipos térmicos
	Pruebas de Hermeticidad
	Pruebas de conexión eléctrica
	Pruebas de sistemas de control, monitoreo, reporte y verificación
	Ajustes y optimización de los sistemas
	Recepción de pruebas según protocolos
Marcha blanca	Mediciones de los parámetros y valores de operación del sistema
	Periodo de prueba de los sistemas
	Ajustes y optimización de los sistemas
	Entrega y recepción según protocolos
	Autorización de inicio de operaciones
	Capacitación a operadores
Operación y seguimiento	Inicio de la operación definitiva del sistema
	Inicio de la gestión de mantenimiento y activos
	Evaluación de resultados y mejora continua

Finalmente, durante la operación del cogenerador es importante considerar lo siguiente:

- Planificar y dar prioridad al mantenimiento preventivo del cogenerador, de acuerdo con las disposiciones del fabricante y el proveedor
- Gestionar adecuadamente los activos de la empresa para obtener los ahorros esperados.
- Revisar que las condiciones de precios de los energéticos se mantengan dentro de los rangos esperados.
- Mantener las condiciones de operación de las instalaciones de acuerdo con lo considerado en la planificación y revisar los efectos de cambios que puedan afectar la operación del cogenerador (como baja en las demandas o variaciones de las temperaturas, etc.)

Actores clave: Instituciones de asesoría técnica, profesionales técnicos especializados, proveedores de tecnología y servicios, de apoyo normativo y actores financieristas.

10 Bibliografía

- [1] AgenciaSE, «Cogeneración Eficiente,» 6 12 2019. [En línea]. Available: <https://www.cogeneracioneficiente.cl/>.
- [2] Minambiente, «Aire Chile,» 2019. [En línea]. Available: <http://airechile.mma.gob.cl/faq>. [Último acceso: 2 12 2019].
- [3] EPA, «EPA,» 2 Mayo 2019. [En línea]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies.pdf.
- [4] ASUE, «BHKW-Kenndaten 2014/2015,» Berlin, 2014.
- [5] Minenergía, «Energíagob,» 06 12 2019. [En línea]. Available: www.energia.gob.cl/sobre-el-ministerio.
- [6] GIZ, *Curso de diseño de instalaciones de Cogeneración*, 2018.

