

UNA GUÍA
PARA EMPRESAS
E INDUSTRIAS



CALDERAS Y
QUEMADORES A
BIOMASA PARA
AUTOCONSUMO



Edición:
**Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**
Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn · Alemania
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn · Alemania

Nombre del proyecto:
**NAMA: Energías renovables para
Autoconsumo en Chile**
Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago · Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:
Ana Almonacid/ Stephan Remler

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

Responsable:
Christian Malebrán/ Marcel Silva

Título:
**Calderas y Quemadores a Biomasa
para Autoconsumo:
Una Guía para Empresas e Industrias**

Autor:
Sylvae Consultores

CALDERAS Y QUEMADORES A BIOMASA PARA **AUTOCONSUMO**

UNA GUÍA
PARA EMPRESAS
E INDUSTRIAS



INTRODUCCIÓN	04
La biomasa leñosa en Chile	05
Biocombustibles sólidos	05
Biocombustible sólido según aplicación	07
Sistemas térmicos en base a biomasa	07
Calderas	08
Quemadores a base de Pellets	09
¿Qué debo tener en cuenta para instalar un sistema a biomasa?	10
¿Qué ahorro puedo obtener?	10
¿Cuánto cuesta una solución térmica con biomasa?	10
Precios de Biocombustibles y Equipos	10
Mantenimiento y Operación	11
Alternativas de financiamiento	11
Financiamiento convencional	11
Modelo ESCO	11
Ejemplo	13
Marco Regulatorio	14
Normas para los biocombustibles sólidos	14
Ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	14
Planes de Descontaminación	15
Reglamento de calderas y generadores de vapor	15
Análisis de rentabilidad	15
Análisis de caso	15
Diseño e implementación de un proyecto térmico con biomasa	17
ANEXO	19
GLOSARIO	21

Introducción

La biomasa es una alternativa de energía renovable para autoconsumo industrial en reemplazo de combustibles fósiles. Se utiliza en Chile desde hace muchos años, debido a que es un subproducto de dos grandes sectores de la producción nacional, el sector forestal y agrícola.

Entre sus múltiples beneficios se encuentran:

Otorga trabajo rural, ya que es un recurso renovable que se produce localmente

Disminuye la dependencia de combustibles importados

A diferencia de otros combustibles, no representa un peligro por emanación de gases tóxicos e inflamables en transporte y almacenamiento

Reutiliza residuos

Es carbono neutral, es decir, no tiene una contribución neta en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero; en su combustión sólo se libera la cantidad de CO₂ que se capta de la atmósfera por fotosíntesis

Implica menores costos de operación en la generación de energía para empresas e industrias que la utilizan

Con tecnologías de combustión adecuadas, se pueden lograr menores emisiones de gases contaminantes que los combustibles fósiles

La biomasa es la forma en que la naturaleza almacena la energía solar, su utilización en sistemas modernos y eficientes contribuirá al desarrollo de una economía carbono neutral.

La biomasa leñosa en Chile

De acuerdo con la Norma Chilena de Biocombustibles Sólidos – Especificaciones y Clases, NCh ISO 17225/1, la biomasa leñosa es la biomasa de árboles, matorrales y arbustos y se clasifica según su procedencia en los siguientes grupos:

- Bosques, plantaciones u otras maderas vírgenes
- Residuos y subproductos de la industria maderera
- Madera usada

FIGURA 1

Procedencia de la biomasa leñosa según NCh ISO 17225/1



La biomasa leñosa es una de las principales fuentes de energía primaria consumida en Chile. De acuerdo al Balance Nacional de Energía (2015), durante el año 2015 representó el 23,8% de la energía primaria total consumida en Chile, ocupando el tercer lugar, después del petróleo (30,1 %) y carbón (24,7%) y por sobre el gas natural (13,5%), mientras que su contribución a la matriz secundaria, para el mismo año, llegó al 17,3% del consumo total, solo siendo superada por el carbón (17,9%) y el petróleo y sus derivados (39,4%).

Biocombustibles sólidos

La calidad de los biocombustibles sólidos está determinada principalmente por su contenido de humedad, cenizas, impurezas y tamaño. La variabilidad de dichos factores define la calidad del combustible, el tipo de equipos, costos de inversión y operación asociados y en definitiva el costo de la energía generada.

Biomasa triturada



Corresponde principalmente a residuos de cosecha y manejo de bosques, los que se colectan en la superficie intervenida y se trituran mediante molinos de martillo con el fin de reducir y homogeneizar su tamaño para facilitar su transporte, almacenamiento y uso como combustible. Debido a su origen presenta un contenido de humedad heterogéneo que varía según la estación y la zona geográfica, un mayor contenido de cenizas e impurezas, tales como tierra, arena y piedras. La geometría y mayor heterogeneidad del material requiere de sistemas de alimentación a las calderas más robustos. Si bien es un combustible más económico, en comparación a las astillas y los pellets, generalmente exige mayor inversión en equipos.

Astillas



Las astillas son pequeñas partículas de madera que se obtienen del procesamiento de troncos descortezados, de bajas dimensiones y de residuos de la industria maderera, con el fin de reducir y homogeneizar su tamaño. A diferencia del triturado, el astillado se realiza mediante herramientas de corte montadas en discos o tambores que giran a gran velocidad, el resultado son partículas de madera homogéneas y estandarizadas en cuanto a tamaño, forma y contenido de impurezas. Como se producen a partir de madera virgen y limpia, sus contenidos de cenizas y otras impurezas son más bajos que los de la biomasa triturada. En Chile se utilizan mayoritariamente en la industria de la celulosa y para la producción de tableros reconstituidos de madera. Dadas sus características cada vez se están incorporando más en aplicaciones térmicas en Chile.

Pellets



Los Pellets son cilindros conformados por partículas finas de madera comprimida. Se producen fundamentalmente a partir de residuos de la industria de transformación mecánica de la madera, como aserrín y virutas. Dadas sus características homogéneas en cuanto a tamaño, forma y densidad se comportan como un fluido, facilitando su transporte, almacenamiento y utilización en sistemas de combustión con mayor automatización, de tal manera que son el biocombustible sólido de mayor calidad. A diferencia de la biomasa triturada y astillas, los pellets no pueden ser almacenados a la intemperie, ya que la humedad los destruye.

Tabla 1. Características de biocombustibles sólidos

	Biomasa triturada	Astillas	Pellets
Poder Calorífico Inferior ¹	800 a 850 kWh /m ³ st	800 a 850 kWh /m ³ st	3120 a 3250 kWh/m ³ st
Densidad aparente ²	Aprox. 215 (kg/m ³ st)	Aprox. 215 (kg/m ³ st)	Mínimo 650 (kg/m ³ st)
Contenido de Humedad	Variable entre 25 y 40 %	Variable entre 25 y 40 %	< 10 %
Granulometría	Heterogénea	Homogénea	Homogénea
Contenido de Cenizas	>2 %	< 2 %	< 0,5 %

Biocombustible sólido según aplicación

En general, los pellets se utilizan en aplicaciones de menor potencia, mientras que las astillas y biomasa triturada se utilizan en aplicaciones de mayor potencia. En la **Tabla 2** se entregan las principales características de proyectos según tipo de combustible.

Tabla 2. Tipo de combustible según características de proyectos

Características del proyecto	Combustible	
	Pellets	Astillas / Biomasa triturada
Rango de Potencia	<150 kW	>150 kW
Horas de operación	<1800 horas	>1800 horas
Disponibilidad de espacio	Limitado	Sin restricción
Accesibilidad	Áreas urbanas	Áreas rurales o periféricas
Requerimiento de personal	Menor requerimiento	Mayor requerimiento
Combustible	Se requiere Combustible estandarizado	Se pueden utilizar combustibles variables en humedad y tamaño
El usuario tiene disponibilidad de residuos forestales y madereros	No	Si

Fuente: Biomasse Heizanlagen für grössere Gebäude³

Sistemas térmicos en base a biomasa

Para los biocombustibles sólidos pellets, astillas y biomasa triturada, existen dos tipos de equipos, las calderas y los quemadores. Las calderas generan vapor o agua caliente a presiones normalmente mayores a la atmosférica, los quemadores son más simples y producen una llama directa. Las calderas son de mayor inversión y se emplean en aplicaciones industriales que requieren transferir calor y energía mediante un fluido. Los quemadores son de menor costo de inversión y de operación y se pueden adaptar a equipos o aplicaciones ya existentes, como, por ejemplo, hornos de panaderías, equipos para secado de productos agrícolas y en determinadas situaciones se pueden adaptar a una caldera. En la Tabla 3 se resumen los tipos de tecnologías según la aplicación.

¹ Fuente: FAO 2015, Wood Fuels Handbook < <http://www.fao.org/3/a-i4441e.pdf>>

² Fuente: Carmona, R. y Urzúa, A. 2013. Caracterización de Biomasa Leñosa con Fines Energéticos Disponible en Chile. Editorial Andros, Santiago, Chile. 131 pp.

³ Fuente: Biomasse Heizanlagen für grössere Gebäude, O.Ö- Energie Sparverband, Austria. 32 pp

Tabla 3. Comparación entre tecnología de equipos

Tecnología	Combustible preferente	Contenido de humedad	Cenizas	Producto térmico	Rango de potencia [kW]
Quemador	Pellets	Seco	<1 %	Llama directa	50 - 800
Caldera con parrilla fija	Pellets / Astillas secas	Seco	< 1 %	ACS / Calefacción / Vapor	50 - 3000
Caldera con parrilla móvil	Astillas / Biomasa triturada	Húmedo	Hasta 5 % o más ⁴	ACS / Calefacción / Vapor	Desde 150 kW

Fuente: Elaboración propia

Calderas

El universo de calderas que actualmente se comercializan es muy grande, existiendo diversas soluciones para un mismo combustible y uso. Esto implica una amplia variación en los precios de venta, los que dependen de la tecnología y la procedencia. Hay que considerar que sólo en Europa existen al menos 200 fabricantes de calderas a biomasa, que producen más de 1.000 modelos distintos. Actualmente en el país hay más de 40 empresas que comercializan calderas, de distinta procedencia y tecnologías. (Ver Anexo N°1)

Para rangos de potencia entre 50 kW y 5 MW se reconocen básicamente dos tipos de tecnologías⁵ en función del tipo de combustible: parrilla fija y parrilla móvil.

Parrilla Fija

Las calderas de parrilla fija se utilizan habitualmente en aplicaciones desde 50 kW hasta 3 MW y emplean biomasa con bajo contenido de cenizas (<1 %) y seca (CH 5% a 30%), tales como pellets y astillas. Debido a que el transporte del combustible dentro de la cámara de combustión está determinado por la velocidad de alimentación e inclinación de la parrilla, su funcionamiento para grandes potencias es limitado⁶. La combustión se realiza en una parrilla fija, generalmente de tipo retorta con alimentación inferior.

Parrilla Móvil

Las calderas de parrilla móvil se caracterizan por movilizar el combustible en la cámara de combustión, lo que favorece su secado, la velocidad de combustión y el manejo de las cenizas⁷. Esta acción mecánica se puede realizar mediante parrillas viajeras, vibratorias, giratorias y de piso caminante. Estas calderas permiten utilizar combustibles húmedos y de menor calidad.

Las parrillas móviles se pueden subdividir a su vez en dos, dependiendo del grado de humedad del combustible. Las diseñadas para combustibles de menor contenido de humedad operan usualmente en rangos de potencia que van entre los 150 kW a los 3 MW, mientras que las diseñadas para combustibles húmedos, operan desde 250 kW a potencias superiores a 20 MW.

⁴ Depende de la tecnología específica

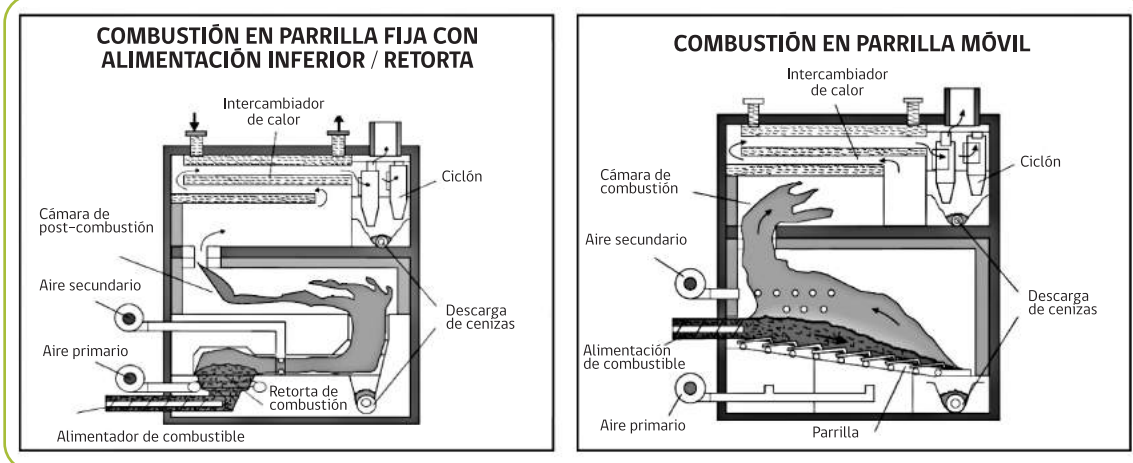
⁵ Existen muchas otras clasificaciones y tipologías para las calderas. En este caso se ha empleado una que tiene relación con los equipos que mayoritariamente se utilizan en Chile para la producción de energía a base de biomasa

⁶ Handbook of Biomass Combustion and Co - Firing.

⁷ Marutzky, R y Seeger, K. 1999. Handbook of Bio- mass Combustion and Co - Firing. Editorila DEW, 348 pp.

FIGURA 2

Esquema simplificado de parrilla fija (izq.) y parrilla móvil (der.)



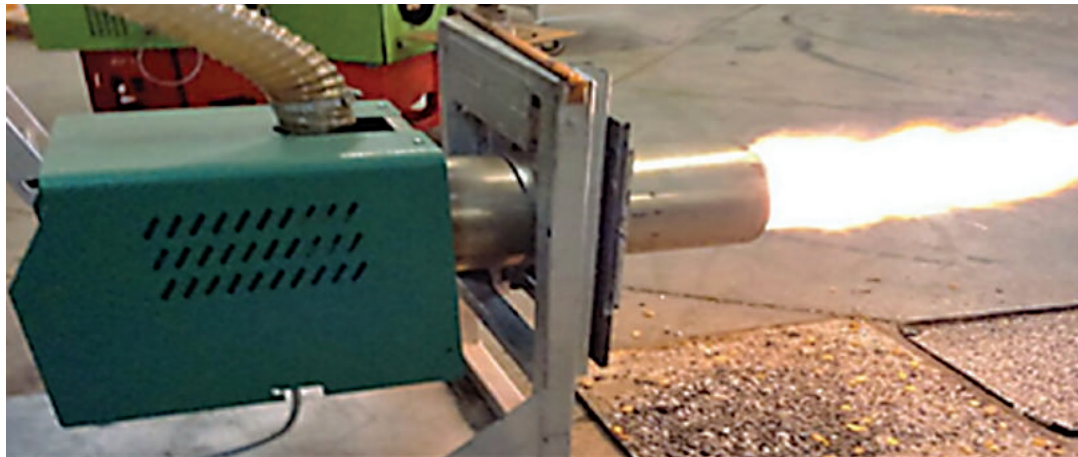
Fuente: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren⁸

Quemadores a base de Pellets

En el mercado chileno se comercializan desde hace varios años quemadores a Pellets. Estos equipos permiten sustituir quemadores de llama directa a gas o petróleo y también reemplazar leña en determinadas aplicaciones. Un importante usuario lo constituyen las panaderías y todas aquellas aplicaciones que requieran el recambio sólo del quemador y no la totalidad de la caldera. Las capacidades de los quemadores que actualmente se comercializan en el país oscilan entre 50 a 800 kW. Son eficientes, de fácil instalación, operación y mantención.

FIGURA 3

Quemador a pellets



⁸ Kaltschmitt, M y Hartmann, H. 2001. Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren, Berlin, Alemania, Editorial Springer, 770 pp.

¿Qué debo tener en cuenta para instalar un sistema a biomasa?

Los aspectos mínimos que considerar en la selección de una tecnología son los siguientes:

- Definir el uso de la unidad.
- Determinar la potencia requerida.
- Definir el o los combustibles a utilizar.
- Evaluar las alternativas locales de mantenimiento y adquisición de repuestos para los equipos.
- Verificar cumplimiento de normas ambientales y de seguridad.
- Asegurar disponibilidad de biomasa y diseñar las áreas de acopio para esta.

Dependiendo del tipo de proyecto es posible que se requiera asesoría externa.

¿Qué ahorro puedo obtener?

Los biocombustibles sólidos tienen menor costo que los combustibles fósiles, pero requiere de una mayor inversión en equipos. Generalmente y dependiendo de la aplicación, su escala y del biocombustible utilizado, hay un ahorro respecto al uso de combustibles fósiles. Mientras mayor sea la demanda de energía, menor será el período de retorno del capital invertido.

¿Cuánto cuesta una solución térmica con biomasa?

Los costos de inversión en equipos que funcionan con pellets son más bajos que los que funcionan con astillas. Dicha diferencia también afecta a los costos de instalación, edificación, almacenaje de los combustibles y sistemas de alimentación. Nótese que en un metro cúbico se pueden almacenar 3.120 kWh de energía en pellets y únicamente 830 kWh en astillas. Como se ha mencionado anteriormente, los pellets se comportan como un fluido con todas las ventajas que ello conlleva.

Precios de Biocombustibles y Equipos

Al momento de cotizar es necesario evaluar el costo del proyecto en su conjunto, sin embargo, los aspectos más relevantes son el precio del combustible y del equipo, ya sea caldera o quemador. Los costos de los combustibles están determinados por la ubicación del proyecto y escala de abastecimiento, en zonas con una oferta muy alta de determinado combustible su costo disminuirá, al igual que un alto consumo anual de combustible le permitirá acordar precios más convenientes con su distribuidor. Respecto a los equipos, al igual que cualquier tecnología, su precio está determinado por su nivel de automatización, la calidad de sus componentes y potencia instalada.

Tabla 4. Rango de precios de biocombustibles sólidos

Biocombustible	Precio por unidad de comercialización (industrial) ⁹	Precio por potencia (\$/kWh)
Pellets	\$ 110 - \$150 /kg	\$23 - \$31 /kWh
B. Triturado	\$5.600 - \$9.000 /m ³ st	\$6,8 - \$10,8 /kWh
Astillas	\$ 7000 - 12000 /m ³ st	\$8,5 - \$14 /kWh

Tabla 5. Costo de caldera tipo por potencia, según producto energético

Tecnología	ACS	Calefacción	Vapor
Costo de calderas por potencia (CLP/kWh)	\$ 90.000 - \$300.000	\$ 130.000 - \$400.000	\$ 280.000 - \$600.000

Fuente: Elaboración propia con datos entregados por distribuidores de equipos

Mantenimiento y operación

La mantención de los equipos y su operación por personal debidamente capacitado son decisivos para su buen funcionamiento. Dependiendo de la tecnología utilizada y la potencia instalada, el costo de mantención y operación anual puede estar entre un 7 % y 25 % de la inversión, lo que está dado principalmente por el personal necesario para su operación. Los proveedores de equipos le proporcionarán al usuario información respecto a los requerimientos de mantención para los equipos.

Alternativas de financiamiento

En el mercado chileno existen básicamente dos modelos de negocio para implementar proyectos a escala mediana en base a biomasa:

Financiamiento convencional

El interesado adquiere el equipo y se encarga de su operación, mantención y abastecimiento de combustible, en definitiva, es una compra tradicional de un activo fijo, que se puede adquirir mediante distintas opciones de financiamiento, desde la compra al contado, crédito bancario o leasing.

Desde el año 2017, el Banco Estado cuenta con un crédito especializado para proyectos de autoconsumo de energías renovables y eficiencia energética dirigido a micro y pequeñas empresas. CORFO también presta apoyo con garantías como Pre-inversión y Fogain, que permiten acceder a financiamiento bancario a quienes no cuentan con garantías suficientes.

Modelo ESCO

El interesado le compra la energía a un tercero bajo la modalidad de "Energy Service Company" (ESCO). Normalmente el proveedor del servicio es un vendedor de equipos, un vendedor o productor de biocombustibles o ambos. La ESCO se encarga desde la ingeniería hasta la instalación, operación y mantención

⁹ Depende de la zona geográfica y del volumen comercializado.

de los equipos, garantizando además el respaldo energético del cliente. La ventaja que tienen los proyectos en la modalidad ESCO es que esta se encarga de la inversión y suministra la energía al interesado.

Aspectos importantes que considerar en una relación con una ESCO son los siguientes:

- 1** Definir claramente la duración del contrato.
- 2** Garantizar un precio de energía (calor/vapor industrial/agua caliente sanitaria) indexado. Los precios se determinan al comenzar el contrato en unidades monetarias por unidad de energía, ejemplo en \$/kWh. Estos se indexan a variables que influyen en la generación de energía, por ejemplo, IPC, T/C (\$CL/USD), Precio Internacional del Petróleo u otro que las partes estimen conveniente.
- 3** Reglamentar la situación en que alguna de las partes entre en insolvencia o el proyecto cierre.
- 4** Reglamentar el procedimiento que aplica cuando hay fallas.
- 5** Derechos que tienen los usuarios de intervenir en la instalación.
- 6** Cambio de propiedad.
- 7** Cambios drásticos en los precios de combustibles.
- 8** Cambio de requerimientos energéticos del usuario.
- 9** Regular de quién será la propiedad del equipo una vez el contrato termine.
- 10** Reglamentar el pago anticipado de activos.

Es recomendable que el interesado se cerciore que la ESCO tenga la capacidad financiera y técnica de proveer el servicio. Para ello debe demostrar cuáles son sus calificaciones y experiencia en contratos similares. Por último, estos contratos deben contar con cláusulas de salida y arbitraje.

Ejemplo

A continuación se destaca un proyecto de generación térmica con biomasa que corresponde a la instalación de una caldera a base de pellets en la empresa Toralla S.A. para secado de conchas.

FIGURA 4

Caldera para secado de conchilla y transformación en carbonato de calcio

Tabla 6. Caldera a biomasa instalada en empresa Toralla S.A.	
De la caldera	
Empresa en la que se implementó	Toralla S.A.
Año de implementación	2014
Ubicación (Región, comuna)	Región de Los Lagos, comuna de Chonchi
Uso de la caldera (calefacción, ACS, etc)	Secado de conchilla, transformación en carbonato de calcio
Procedencia/fabricante	Italia
Empresa desarrolladora	Sumitomo technologies
Inversión (estimada)	\$14.000.000
Potencia instalada (kW)	1.000
Combustibles aceptados	Pellets de madera procesados
Rendimiento (aproximado)	100%
Del combustible	
Consumo anual de combustible (kg/año)	460.800 kg/año
Costo (\$/kg) y condiciones de abastecimiento	100 \$/kg puesto en Chonchi
Empresa proveedora	Ecomas
Formato de entrega	Pallet de 1.440 kg
Combustible reemplazado	Gas natural
Del proyecto	
Modelo de negocio (inversión propia, ESCO)	Inversión propia
Principales dificultades, implementación y operación de la caldera	Sin dificultades, ha funcionado muy bien

Marco Regulatorio

Los aspectos legales que se deben considerar en la instalación y operación de equipos generadores de calor en base a biomasa de mediana potencia (no considera el uso residencial de biomasa) tienen que ver con las normas para los biocombustibles sólidos, requisitos ambientales para la instalación de calderas y quemadores, consideración de los planes de descontaminación ambiental que son de alcance comunal y las normas específicas que regulan la operación y certificación de calderas.

Normas para los biocombustibles sólidos

Los biocombustibles sólidos están normados en Chile desde el año 2013, mediante la norma chilena NCh 3246/1-2011, actualizada por la norma NCh ISO 17225 del 2017. Si bien esta norma no es obligatoria, entrega pautas de calidad para los biocombustibles sólidos. En consecuencia los usuarios deben exigir que los combustibles que les suministren estén estandarizados de tal manera de garantizar el cumplimiento de las normas ambientales y requerimientos del equipo.

Ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

Se debe hacer una evaluación de cada proyecto para determinar si incurre en alguna de las causales que lo obligue a someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, las que se listan en el artículo 3 del Decreto Supremo N° 40 del Ministerio de Medio Ambiente, siendo las siguientes las características más típicas de este tipo de proyectos que los obligan a someterse al SEIA:

- Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW.
- Proyectos industriales que se ejecuten en zonas declaradas latentes o saturadas y que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de la saturación o latencia de la zona, producido o generado por alguna(s) fuente(s) del proyecto o actividad, igual o superior al cinco por ciento (5%) de la emisión diaria total estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada, para ese tipo de fuente(s).
- Instalaciones fabriles cuya potencia instalada sea igual o superior a dos mil kilovoltios-ampere (1600 kW), determinada por la suma de las capacidades de los transformadores de un establecimiento industrial. Tratándose de instalaciones fabriles en que se utilice más de un tipo de energía y/o combustibles, el límite de dos mil kilovoltios- ampere (2.000 KVA) considerará la suma equivalente de los distintos tipos de energía.

Más información en:

<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1053563&idVersion=2014-10-06>

Planes de Descontaminación

Entregan las condiciones para operar en zonas declaradas en estado de latencia o saturación de material particulado fino y gases tóxicos. Estos planes deben ser estudiados previo a la instalación de una solución térmica.

Más información en:

http://www.calefaccionsustentable.cl/?page_id=48

Reglamento de calderas y generadores de vapor

El Decreto N° 10 del Ministerio de Salud, entrega las especificaciones técnicas y de seguridad para instalación, mantención y operación de calderas y autoclaves. Además, determina la obligación de registrar cada equipo, previo a su instalación, en la institución de salud respectiva a la zona de emplazamiento.

Más información en:

<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1055319&buscar=calderas>

Análisis de rentabilidad

La rentabilidad de proyectos térmicos con biomasa en comparación con aquellos que funcionan con combustibles fósiles está dada básicamente por los rendimientos de los equipos, el diferencial de precios entre biocombustibles y combustibles fósiles.

Análisis de caso

Dependiendo del número de horas de trabajo y del diferencial de precios puede haber ahorros importantes en la inversión en proyectos en base a biomasa versus proyectos que utilizan combustibles fósiles. Con un esquema de trabajo de 5.000 horas al año, los períodos de recuperación de la inversión para astillas pueden ser de entre 1,6 y 2,1 años respecto al diésel y gas natural respectivamente. En el caso de los pellets, los períodos de recuperación de la inversión pueden ser de 3,4 y 15,4 años, para diésel y gas natural, respectivamente. Los detalles de este ejemplo se desarrollan a continuación:

Se considera un requerimiento de 1,2 MW de salida empleando astillas, pellets, diésel y gas natural. De acuerdo a información de mercado disponible, la inversión en una caldera a pellets puede ser un 15 % más baja que en una caldera a base de astillas y a su vez las calderas a base de combustibles fósiles requieren una inversión 2,5 veces inferior a la de astillas. Para efectos de este ejemplo, se asume que la inversión se realizará a través de un crédito con 20% de pie, 7,5 % de interés anual y un plazo de 12 años. Los datos están en pesos chilenos y se indican en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Comparación entre proyectos con biomasa y combustibles fósiles

Concepto	Unidad	Astillas al 40% Humedad	Pellets	Diésel	Gas Natural
Poder Calorífico		2,8 (kWh/kg)	4,8 (kWh/kg)	10,23 (kWh/l)	9,77 (kWh/m3)
Rendimientos Equipos	%	90	92	94	94
Nº Horas trabajo	Horas	5.500	5.500	5.500	5.500
Potencia Requerida	kW	1.200	1.200	1.200	1.200
Output Energía	MWh/año	6.600	6.600	6.600	6.600
Input Energía	MWh/año	7.333	7.174	7.021	7.021
Precios de los combustibles	\$/kWh	9	26	39,7	33
Inversiones Requeridas en Caldera, Área de Acopio, construcciones	\$ CL	400.000.000	340.000.000	160.000.000	160.000.000
Financiamiento Propio	%	20%	20%	20%	20%
Tasa de Interés anual aplicable a un Crédito por Inversión en ERNC	%	7,5	7,5	7,5	7,5
Duración del Crédito	Años	12	12	12	12
Costos Anuales					
Costos de Inversión anuales	\$ CL /año	41.368.906	35.163.570	16.547.562	16.547.562
Costo de Mantenión y otros Operación	7 % de inversión anual \$CL/año	28.000.000	23.800.000	11.200.000	11.200.000
Costo de Combustible	\$ CL/año	66.000.000	186.521.739	278.744.681	233.643.163
Costo Medio anual	\$ CL/año	135.368.906	245.485.309	306.492.243	261.390.726
Gases de Efecto Invernadero Producidos	Ton CO2 eq/año	282	135	1.473	1.335
Costo por kW producido	\$ CL/kWh	21	37	46	40

Fuente: Elaboración propia

Estos antecedentes corresponden a un proyecto concreto. Sin embargo, los precios variarán en función de las condiciones específicas de cada proyecto, tales como ubicación, escala y tecnología seleccionada.

Diseño e implementación de un proyecto térmico con biomasa

Para definir un proyecto en base a biomasa es necesario seguir los siguientes pasos:

- 1** Calcular los requerimientos de energía térmica.
- 2** Definir el tipo de biomasa factibles de utilizar, según calidad, disponibilidad, seguridad de suministro y precio. Esto depende del área geográfica donde se ubica el proyecto. Es recomendable realizar una prospección de las empresas que suministran combustible.
- 3** Determinar la superficie para instalar los equipos y el almacenamiento del combustible. Por su menor densidad calórica, las biomásas requieren de mayor superficie para su almacenamiento en comparación con otros combustibles. En el caso de los pellets se debe evitar la humedad.
- 4** Contar con acceso para los camiones que abastezcan la biomasa, idealmente hasta el silo de almacenamiento.
- 5** Contactar a proveedores de equipos y solicitar cotizaciones.

Los proveedores de equipos deben contar con servicio técnico, instaladores y proveer capacitación. Se recomienda visitar proyectos instalados por el proveedor.

Los equipos deben:

- Tener un rendimiento alto y permitir una alta carga de trabajo anual.
- En lo posible aceptar el uso de un amplio rango de combustibles. La versatilidad en el uso de combustibles permite grandes ahorros y autonomía, por ejemplo, intercambiar carozos de frutos por pellets.
- Sistema de regulación de la combustión. Estos sistemas miden el nivel de oxígeno de los gases de salida como indicador de la combustión, regulándola y optimizándola. Así se obtiene una combustión constante sin emisiones extremas aun cuando la calidad del combustible varíe.
- Cumplir con la normativa nacional de emisiones. Para ello hay que cerciorarse que el equipo posea sistemas de regulación de combustión y sistemas eficaces de limpieza de los gases de salida. Además, deben tener un diseño de la cámara de combustión que minimice los gases no quemados.

- Fáciles de operar y con alta automatización, especialmente sistemas automáticos de alimentación, de limpieza de cenizas, de limpieza del intercambiador de calor y otros. Muy importante cuando no hay disponibilidad de personal.
- Bajos costos de operación, en personal, mantención y electricidad.

Estos pasos se pueden hacer directamente con el proveedor e instalador de equipos, pero en proyectos más grandes y complejos se requiere el apoyo de empresas de Ingeniería especializadas. Sin perjuicio de los requerimientos técnicos anteriores, los proyectos se deben adecuar a las condiciones locales.

Anexo

Anexo 1: Proveedores de equipos térmicos (calderas/quemadores) de autoconsumo industrial y biocombustibles (pellets/astillas/biomasa triturada) en Chile¹⁰

Nº	Nombre	Página web	Ciudad ¹¹	Mercado
1	2 D Electronica S.A.	www.2delectronica.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
2	3 Volcanes Ltda.	www.3volcanes.cl	Talca	Biomasa
3	Abasterm	www.abasterm.cl	Santiago	Equipos
4	Alto Pellet Ltda.	www.altopellet.cl	Buin	Equipos / Biomasa
5	Andes Bio Pellets S.A.	www.andesbiopellets.cl	Los Ángeles	Biomasa
6	Anwo S.A.	www.anwo.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
7	Aresol ERNC S.A.	www.aresol.com	Santiago	Equipos
8	Asse Servicios Ltda.	www.asseservicios.cl	Puerto Montt	Equipos / Biomasa
9	Avangra Consultores	www.avangra.cl	Osorno	Equipos / Biomasa
10	Badec Ltda.	www.badec.cl	Osorno	Biomasa
11	BeEfficient	beefficient.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
12	Belltti Ltda.	www.belletti.cl	Los Ángeles	Biomasa
13	Biocombustibles Patagonia Ltda.	www.biopatagonia.cl	Valdivia	Biomasa
14	Bioflam	www.bioflam.cl	Talca	Equipos / Biomasa
15	Biomasa Gestion Spa.	biomasagestion.cl	Santiago	Equipos
16	Biomasa Salinas Y Waeger Ltda.	S/I	Osorno	Biomasa
17	Biomass Technology	www.biomass.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
18	Biopower Spa.	biopower.cl	Coronel	Equipos / Biomasa
19	Buena Caldera	www.buenacaldera.cl	Villarrica	Equipos
20	Calderas Chile Ltda.	www.calderaschile.cl	Santiago	Equipos
21	Casa Del Clima	www.casadelclima.cl	Temuco	Equipos
22	Climacenter	www.climacenter.cl	Concepción	Equipos
23	Climaseguro y Cia Ltda.	www.climaseguro.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
24	Climatiza	www.climatiza.cl	Talca	Equipos
25	Comercial Bano S.P.A.	www.banochile.cl	Temuco	Equipos
26	Comercial Full Pellet SPA	www.fullpellet.cl	Puerto Montt	Biomasa
27	Comercial Y Administradora Altavista Ltda.	www.altavistachile.cl	Santiago	Biomasa
28	Cosmoplas S.A.	www.cosmoplas.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
29	ECCOSOR EIRL	www.eccosor.cl	Osorno	Equipos
30	Ecofusion	ecofusion.cl	Concepción	Biomasa
31	ECOMAS S.A.	ecomas.cl	Los Ángeles	Biomasa
32	Ecopuelche Energías Renovables	www.ecopuelche.cl	Linares	Biomasa
33	Ecotekno	www.ecotekno.cl	S/I	Equipos / Biomasa
34	Ecral Climatizaciones Ltda.	www.ecral.cl	Santiago	Equipos
35	Eneko	www.eneko.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
36	Energenix Ltda.	www.energenix.cl	Chillán	Biomasa

¹⁰ Esta lista fue confeccionada con las empresas proveedoras identificadas a octubre del 2017

Anexo 1 (continuación): Proveedores de equipos térmicos (calderas/quemadores) de autoconsumo industrial y biocombustibles (pellets/astillas/biomasa triturada) en Chile¹⁰

Nº	Nombre	Página web	Ciudad ¹¹	Mercado
37	Energías Industriales S.A.	eisa.cl	Santiago	Biomasa
38	Energo Pacífico Sur SpA	energo-group.eu	S/I	Equipos
39	Engie Services Chile	www.e-cl.cl	Santiago	Equipos
40	Europellet Energía Ecológica	www.europellet.cl	Santiago	Biomasa
41	Fastpellet Ltda.	www.fastpellet.cl	Puerto Montt	Biomasa
42	Forestal Acza S.A.	www.acza.cl	Santiago	Biomasa
43	Forestal Flor Del Lago S.A.	www.flordellago.cl	Villarrica	Biomasa
44	Forestal Forvir Ltda.	www.forestalforvir.cl	Puerto Varas	Biomasa
45	Forestal Rio Calle Calle S.A.	www.frcc.cl	Santiago	Biomasa
46	Friotermica	www.friotermicaltda.cl	Los Ángeles	Equipos / Biomasa
47	Full Madera Ltda.	www.fullmadera.cl	Santiago	Biomasa
48	Ignisterra S.A.	www.ignisterra.com	Villa Alemana	Biomasa
49	Ingeniería HVAC Ltda	www.ingenieriahvac.cl	Osorno	Equipos
50	Ingeniería y Construcción Cq Ltda.	www.cqclima.cl	Concepción	Equipos
51	Lsolé Chile S,PA	lsole.cl	Santiago	Equipos
52	Maderas Prosperidad Ltda.	www.prosperidad.cl	Talca	Biomasa
53	Maderas Radiata S.A.	www.radiata.cl	Chillán	Biomasa
54	Maderera Nueva Bilbao Ltda.	www.nuevabilbao.cl	Talca	Biomasa
55	Neumann	www.neumann.cl	Concepción	Equipos
56	Nova Clima	novaclima.cl	Santiago	Equipos
57	Nueva Energía	www.nuevaenergia.cl	Santiago	Equipos
58	Pellet Delivery	www.pelletdelivery.cl	Santiago	Biomasa
59	Pellet Fuel	www.pelletfuel.cl	Santiago	Equipos
60	Pel-Lets	www.pel-lets.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
61	Pro Energy S.A.	www.proenergy.cl	Los Ángeles	Biomasa
62	ProPellet	propellets.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
63	Recal	www.recal.cl	Santiago	Equipos / Biomasa
64	Servimet Servicios Integrales Ltda.	www.servimet.cl	Santiago	Equipos
65	South American Pellet	sudamericanpellet.cl	Buín	Biomasa
66	Super Pellets Biomass Technology	www.superpellets.cl	Santiago	Biomasa
67	Sur Pellet Ltda.	www.surpellet.cl	S/I	Biomasa
68	Tecsol Energy Chile Ltda.	www.tecsol.cl	Rancagua	Equipos / Biomasa
69	Termoservic	termoservic.cl	Santiago	Biomasa
70	Traiguén Energy S.A.	www.traiguenenergy.com	Traiguén	Biomasa
71	Tym Energy	tym.cl	Concepción	Equipos
72	Viguera Y Compañía Ltda.	caloreiciente.cl	Temuco	Biomasa
73	Wörner Energía Spa	www.wenergie.cl	Santiago	Equipos / Biomasa

Fuente: Elaboración propia (Fecha de consulta: agosto 2017)

¹¹ Ciudad donde se encuentra la casa matriz, oficina central o dirección comercial. Esto no implica que no realicen servicios en otras ciudades del país.

Glosario

Aplicaciones modernas con biomasa forestal: Corresponde a la combustión de biomasa forestal normalizada en artefactos estandarizados de alta eficiencia y con sistemas de abatimiento de contaminantes.

Aplicaciones tradicionales con biomasa forestal: Corresponde a la combustión directa de biomasa forestal no necesariamente normalizada en artefactos ineficientes y sin sistemas de control de emisiones con fines principalmente de calefacción y cocción de alimentos.

Aserrín: Partículas pequeñas originadas en el proceso de aserrío de la madera, su tamaño no le permite ser empleado como materia prima para la elaboración de celulosa, sin embargo, se emplean en la producción de combustibles sólidos como pellets y briquetas.

Biocombustible: Combustible producido a partir de biomasa o residuos de esta.
Biocombustible sólido: Combustible sólido producido a partir de biomasa y sus derivados.

Bioenergía: Energía renovable producida a partir de materia orgánica. La materia orgánica puede emplearse directamente como combustible o procesarse para dar origen a combustibles líquidos o gaseosos.

Biomasa: Materia orgánica disponible de manera renovable. La Biomasa incluye restos de bosques y de industrias madero - forestales, cultivos agrícolas y restos de ellos, madera y restos de madera, desperdicios animales, restos de operaciones ganaderas, algas, plantas y árboles de rápido crecimiento y residuos municipales e industriales.

Biomasa forestal procesada: Biomasa forestal tratada para mejorar sus propiedades como biocombustible. De estos tratamientos se obtienen combustibles líquidos, gaseosos y densificados.

Biomasa Lignocelulósica: Biomasa de origen particularmente leñoso, para diferenciarla de Biomasa agrícola, de Biomasa de origen animal o de Biomasa acuícola. En definitiva, biomasa rica en celulosa, lignina y hemicelulosas.

Eficiencia energética en equipos de combustión: Es la relación entre la energía aprovechable en un equipo de combustión y la energía contenida en el combustible utilizado, se expresa en porcentaje.

Contenido de Humedad de la Biomasa: Como la madera es un material higroscópico, es inevitable la presencia de agua en ella. El contenido de humedad influye esencialmente en el poder calorífico del combustible. El contenido de humedad además influye en el tratamiento y almacenamiento de la Biomasa y desde luego en el transporte.

Existen dos maneras de expresar el contenido de humedad, sobre la base del peso seco y sobre la base del peso húmedo.

$$CH\% = \frac{Pv - Ps}{Ps} \times 100 \quad \text{y} \quad CH\% = \frac{Pv - Ps}{Pv} \times 100$$

Donde:

Pv es Peso verde (húmedo)

Ps es Peso Seco

Los productos forestales recién cortados pueden tener un Contenido de humedad base seca sobre el 100, lo que implica que poseen más agua que Biomasa, a esos niveles el poder calorífico es prácticamente nulo.

La relación entre el poder calorífico y la densidad está dada por:

$$PCI = \frac{PCI_0 \times (100 - CH\%) - 2,44 \times CH\%}{100}$$

Donde:

PCI es poder calorífico inferior, a una humedad dada en MJ/kg

PCIo es el PCI con el material anhidro.

CH% es el contenido de humedad base verde.

Densidad de la Madera: La definición es la típica, vale decir, relación entre masa y volumen. Sin embargo, debido a que la madera siempre aparece con un determinado contenido de humedad hay diferentes definiciones de densidad considerando ese factor: La Densidad anhidra, relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra, es decir, es la masa anhidra partida por el volumen anhidro. La Densidad Aparente: relaciona la masa y el volumen a un mismo contenido de humedad. La Densidad Básica: relaciona la masa seca con el volumen a un determinado contenido de humedad.

Factor de apilamiento: Es la relación entre volumen estéreo y sólido. Es muy importante de considerar en la comercialización de biomasa. Por ejemplo, la leña se vende en muchos casos en metros apilados o estéreos, lo mismo ocurre con las astillas y el material triturado. Este factor depende del tamaño del material. Para efectos prácticos considerar que un metro cúbico sólido de madera genera 1,5 metros cúbicos de leña y 2,5 metros cúbicos de astilla.

Leña: Biocombustible derivado de la madera que conserva su composición original.

Poder calorífico: Cantidad de energía por unidad de masa o de volumen que se deriva de una combustión completa.

Volumen estéreo o aparente: Volumen apilado de un cúmulo de material, para este documento será utilizado principalmente en biocombustibles. A diferencia del volumen sólido, este incluye el volumen correspondiente a espacios entre las partículas apiladas.

Volumen sólido: corresponde al volumen total sin espacios entre partículas. Este puede ser calculado desde el volumen aparente mediante un Factor de apilamiento.

Equivalencias Energéticas entre unidades de Biomasa						
Unidad	kcal	Joule	kJ	kWh	MWh	BTU
kcal	1	4186,8	4,1868	$1,163 \times 10^{-3}$	$1,163 \times 10^{-6}$	3,9683
Joule	$2,39 \times 10^{-4}$	1	0,001	$2,78 \times 10^{-7}$	$2,78 \times 10^{-10}$	$0,94782 \times 10^{-3}$
kJ	$2,39 \times 10^{-1}$	1.000	1	$2,78 \times 10^{-4}$	$2,78 \times 10^{-7}$	0,94782
kWh	859,845	$3,6 \times 10^6$	3.600	1	0,001	3.412,152
MWh	$0,88598 \times 10^6$	$3,6 \times 10^9$	$3,6 \times 10^6$	1.000	1	3.412.512
BTU	0,252	1.055,053	1,055	$0,293 \times 10^{-3}$	$0,293 \times 10^{-6}$	1

Abreviaciones usadas en la guía

ACS	Agua caliente sanitaria
PDA	Plan de descontaminación ambiental
PCI	Poder calorífico inferior
Watt (W)	Unidad de Potencia
Joule (J)	Unidad de Energía
BTU	British Thermal Unit
m ³ st	Metro cúbico estéreo
CH%	Contenido de humedad en porcentaje
Kilo (k)	1×10^3
Mega (M)	1×10^6
Giga (G)	1×10^9



CALDERAS Y
QUEMADORES A
BIOMASA PARA
AUTOCONSUMO

UNA GUÍA
PARA EMPRESAS
E INDUSTRIAS



Aclaración

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “NAMA: Energías Renovables para Autoconsumo en Chile” implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la NAMA Facility del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB) de Alemania y el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (DBEIS) de Gran Bretaña. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, Marzo 2018

