

## ESTUDIO DE MERCADO

# BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS Y AEROTÉRMICAS EN CHILE

Por encargo de:



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

de la República Federal de Alemania

**NAMA** Facility



Department for  
Business, Energy  
& Industrial Strategy



Edición:

**Deutsche Gesellschaft für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Friedrich-Ebert-Allee 40

53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn • Alemania

I [www.giz.de](http://www.giz.de)

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.4echile.cl/nama](http://www.4echile.cl/nama)

Responsable:

**David Fuchs / Ignacio Jofré**

En coordinación con:

**Ministerio de Energía de Chile**

Av. Libertador Bernardo O'Higgins 1449, Pisos  
13 y 14

Edificio Santiago Downtown II

Santiago de Chile

T +56 22 367 3000

I [www.minenergia.cl](http://www.minenergia.cl)

#### **Aclaración**

Responsable:

**Gabriel Prudencio / Marcel Silva / Rubén  
Muñoz**

Título:

**Estudio de Mercado de Bombas de Calor**

Equipo de trabajo:

- Alfredo González (Aguasol)
- David Fuchs (GIZ)
- Elizabeth Soto (Min. Energía)
- Ignacio Jofré (GIZ)
- Katherine Navarrete (Min. Energía)
- Yanara Tranamil (Aguasol)

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

**Santiago de Chile, enero de 2020.**

## Índice

Glosario.....	5
1. Introducción.....	7
1.1    Antecedentes.....	7
1.2    Objetivos.....	7
1.3    Resumen metodológico.....	7
2. Introducción a las Bombas de Calor.....	9
2.1    Principios de funcionamiento.....	9
2.2    Clasificación de bombas de calor.....	11
2.3    Eficiencia.....	14
2.4    Refrigerantes.....	15
2.5    Tecnología Inverter – On/Off.....	18
3. Bombas de Calor Aerotérmicas - ASHP.....	19
3.1    Sistemas Aire-Aire.....	19
3.2    Unidades interiores en Sistemas Aire-Aire.....	29
3.3    Sistemas Aire-Agua.....	31
3.4    Unidades Interiores en Sistemas Aire-Agua.....	36
4. Bombas de Calor Geotérmicas-GSHP.....	39
4.1    Clasificación por Sistema de Captación.....	39
4.2    Circuito Cerrado.....	40
4.3    Circuito Abierto.....	52
4.4    Otras Generalidades.....	53
5. Casos de Éxito.....	55
5.1    Casos a Nivel Internacional.....	55
5.2    Casos a Nivel Nacional.....	59
6. Clasificación de Tecnologías por Tamaño y Área de Negocio.....	62
6.1    Bombas Aerotérmicas.....	62
6.2    Bombas Geotérmicas.....	63
7. Caracterización Cadena de Valor.....	65
7.1    Esquematización de la Cadena de Valor.....	65
7.2    Aplicaciones de la Cadena de Valor.....	78
7.3    Actores de la Cadena de Valor.....	85

7.4	Análisis FODA de la Cadena de Valor .....	108
8.	Construcción Índice de Precios .....	118
8.1	Diseño Encuesta .....	118
8.2	Selección de Participantes para Implementación de la Encuesta.....	136
8.3	Implementación de Encuesta .....	149
8.4	Resultados de la Encuesta.....	154
9.	Conclusiones.....	155
9.1	Aprendizajes del Proceso y la Encuesta.....	155
9.2	Respecto a los Índices de Precios .....	157
9.3	Globales del Estudio de Mercado .....	157
10.	Referencias .....	159

## Glosario

ACS	Agua Caliente Sanitaria
Aeroterminia	Tecnología que resume a las bombas de calor aerotérmicas o que utiliza la energía o calor disponible en el aire
AGRyd	Asociación Gremial de Riego y Drenaje
ANESCO	Asociación Nacional de Empresas de Eficiencia Energética
ASHP	Air Source Heat Pump o Bombas de Calor Aerotérmicas
BC	Bomba de Calor
BTU	British Thermal Unit (unidad térmica británica) es una unidad de energía utilizada principalmente en equipos de aire acondicionado compactos
BTU/hr	Unidad de potencia basada en sistema inglés utilizada para sistemas compactos
CChRyC	Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización
CES	Certificación Edificio Sustentable
Chiller	Bombas de calor que produce agua fría para enfriamiento y refrigeración
CLP	Pesos chilenos
Coil	Serpentín de intercambio de calor
COP	Coefficient of performance o Coeficiente de Rendimiento de una bomba de calor
Cuartil	Los cuartiles son los tres valores de la variable que dividen a un conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales. Q1, Q2 y Q3 determinan los valores correspondientes al 25%, al 50% y al 75% de los datos. Q2 coincide con la mediana
EER	Energy Efficiency Rating o Ratio de Eficiencia Energética de una bomba de calor
ESCO	Empresas de Servicios Energéticos
Fancoil	Sistema de emisión comúnmente utilizado para calentar o enfriar aire en recintos a climatizar
FODA	Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
Geotermia de baja entalpía	Aprovechamiento del calor de la tierra, asociada a bajas temperaturas o temperatura promedio natural de la tierra
GHP	Gas Heat Pump - Bomba de Calor a Gas
GSHP	Ground Source Heat Pump o Bombas de Calor Geotérmicas
ITO	Inspección Técnica de Obra

kWt	Kilo Watt Térmico
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental)
m <sup>2</sup>	Metro Cuadrado
Mediana	La mediana es una medida común del centro de los datos. La mitad de las observaciones es menor que o igual al valor y la mitad es mayor que o igual al valor
m <sub>L</sub>	Metro Lineal
RoofTop	Equipos compactos que contienen en su interior todos los elementos asociados a un circuito frigorífico. Se ubican generalmente sobre techo y por ello su nombre
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
Sistemas Emisores	Equipos encargados de suministrar o emitir calor y frío en los recintos o procesos objetivos. Se consideraron 3 tipos: radiadores, suelo radiante, <i>fancoils</i>
Split	Tecnología de bomba de calor aerotérmica consistente en una unidad interior y otra exterior utilizada generalmente para climatizar ambientes interiores
Split Inverter	Tecnología que regula automáticamente el funcionamiento del compresor interno del Split con el fin de ahorrar energía respecto a un Split On-Off
Split On-Off	Tecnología de encendido y apagado automático según consigna de temperatura definida por el usuario
UMA	Unidad Manejadora de Aire
USGBC	U.S. Green Building Council
Valores Atípicos	Corresponden a valores de datos que están muy alejados de los restantes valores de datos y que pueden afectar fuertemente sus resultados
VRV	Sistema de BC de Volumen de Refrigerante Variable

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

El proyecto “NAMA Support Project de Energías Renovables para Autoconsumo en Chile” desarrollado por el Ministerio de Energía (MINENERGIA) y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional – GIZ), tiene el objetivo principal de integrar las energías renovables para autoabastecimiento a la industria en el país. Este programa incluye líneas de trabajo como capacitación en tecnologías ERNC, identificación y análisis de proyectos, y aumento del conocimiento de profesionales dedicados al diseño e implementación de éstos. Es entonces en el contexto de este programa que surge la necesidad de realizar un estudio de mercado de bombas de calor tanto geotérmicas y aerotérmicas, que pueda analizar la situación de estas tecnologías en el mercado nacional actual.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo General

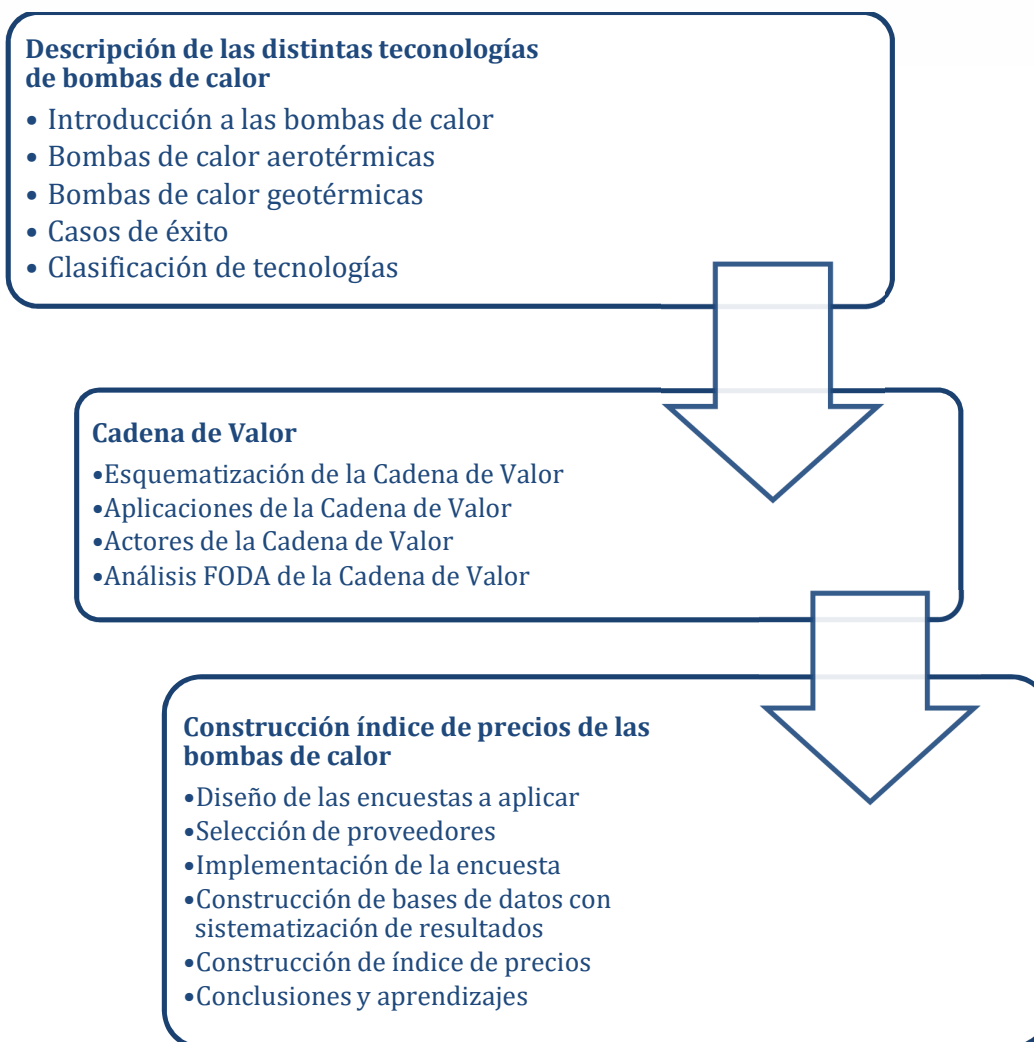
Caracterizar y analizar el mercado de bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas en Chile, en el marco del proyecto “NAMA Support Project de Energías Renovables para Autoconsumo en Chile”.

#### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Describir las distintas tecnologías existentes para bombas de calor geotérmicas y aerotérmicas que deberán ser analizadas.
2. Definir las etapas de la cadena valor de las bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas, identificando para cada etapa el valor agregado, actores involucrados, costo, temporalidad, dimensión del tamaño de mercado, brechas, entre otros.
3. Obtener un índice de precios de los sistemas de bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas, así como de equipos y obras.

### 1.3 Resumen metodológico

En función de los objetivos específicos definidos se ha trabajado el siguiente esquema metodológico que resume las diferentes secciones del estudio de mercado realizado.



**Figura 1. Esquema metodológico del Estudio de Mercado**

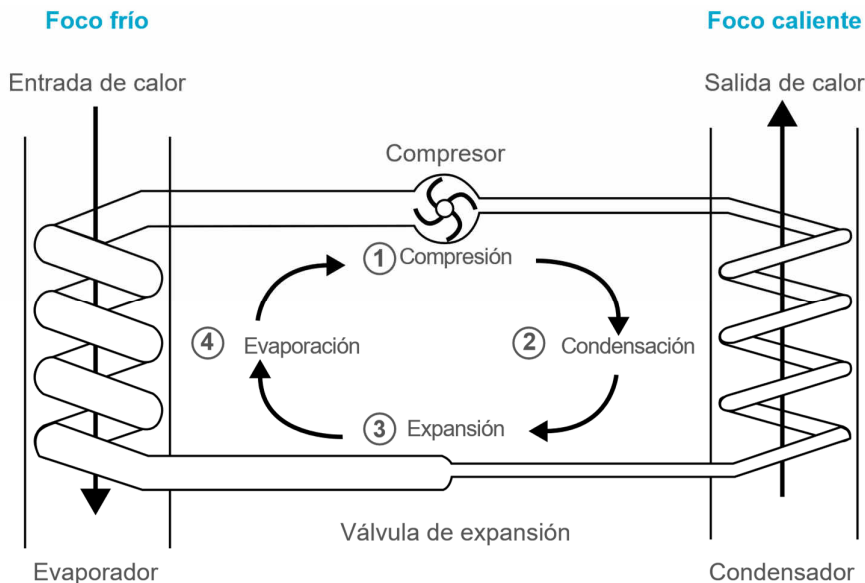


## 2. Introducción a las Bombas de Calor

Las bombas de calor son máquinas térmicas que, a través de la contribución de trabajo mecánico, permiten transferir calor desde un entorno de baja temperatura a una región cuya temperatura es mayor. Estos equipos, por tanto, son capaces de calentar espacios aprovechando el calor disponible de un medio exterior como aire, agua o tierra que está a una menor temperatura, y de manera opuesta, invirtiendo su ciclo de operación, de enfriar dichos espacios expulsando el calor a un medio de mayor temperatura [1]. En la actualidad, existen diferentes configuraciones de bombas de calor que se emplean a nivel residencial, comercial e industrial, donde su propósito puede ser climatizar ambientes, producir agua caliente sanitaria o producir calor o frío de proceso según sea el área donde se implemente. Adicionalmente, se han desarrollado proyectos de gran envergadura donde se ha implementado esta tecnología para dar lugar a la calefacción distrital [2].

### 2.1 Principios de funcionamiento

Una bomba de calor opera en base a un ciclo termodinámico cerrado cuyo fluido de trabajo corresponde a un gas refrigerante. Este último, en efecto, lleva a cabo el transporte de calor desde el medio de menor temperatura a la región que se encuentra a una temperatura superior a través de 4 procesos principales, los cuales se ilustran en la Figura 2.



**Figura 2. Bomba de calor de compresión mecánica. Fuente: [3].**

A continuación, se describen los procesos que dan lugar al transporte de energía térmica en una bomba de calor:

- **Compresión:** proceso mediante el cual el gas refrigerante eleva su presión y temperatura a través de la contribución de trabajo mecánico.

- Condensación: proceso mediante el cual el gas refrigerante cede calor a la región de mayor temperatura. En esta etapa, el fluido ingresa como vapor sobrecalentado y sale como líquido subenfriado.
- Expansión: posterior al proceso de condensación, el gas refrigerante pasa a través de la válvula de expansión donde reduce su presión y temperatura. Posterior a esta etapa, el estado del refrigerante corresponde a una mezcla de líquido y vapor.
- Evaporación: proceso a través del cual el fluido refrigerante absorbe calor de la región de menor temperatura. Posterior a este proceso, el refrigerante se encuentra en estado de vapor sobrecalentado.

Los procesos de condensación y evaporación se llevan a cabo en intercambiadores de calor que interactúan con los focos de mayor y menor temperatura, respectivamente. El proceso de expansión, mientras tanto, se realiza a través de una válvula reductora de presión. Por último, la etapa de compresión puede llevarse a cabo a través de un proceso mecánico donde se requiere un compresor eléctrico o a combustible tal como lo indica la Figura 2, o, mediante un proceso térmico. Esto último hace distinguir por lo tanto dos tipos de bombas de calor según sea el mecanismo de compresión: los sistemas mecánicos y los sistemas térmicos o de absorción.

Como su nombre lo indica, las bombas de calor por absorción implican la absorción de un refrigerante mediante un segundo fluido de trabajo, el cual recibe el nombre de fluido absorbente o de transporte. En el área de refrigeración, el sistema de absorción con mayor uso utiliza la mezcla amoníaco-agua, donde el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) actúa como refrigerante y el agua corresponde al medio de transporte o absorbente. Otras mezclas empleadas son las de agua-bromuro de litio y la de agua-cloruro de litio, en los que el agua sirve como refrigerante. Los sistemas que operan en base a estas mezclas se encuentran limitados a aplicaciones en las que la temperatura mínima es superior al punto de congelación del agua, como ocurre en aplicaciones que requieren aire acondicionado. Como puede observarse de la Figura 3, los principios de operación de una bomba de absorción son equivalentes a los sistemas de compresión, no obstante, en los sistemas de absorción se sustituye el compresor eléctrico o a combustible por un mecanismo compuesto por un absorbedor, una bomba, un generador y una válvula de expansión. Estas máquinas adicionalmente requieren de una fuente de energía térmica cuyo origen puede proceder de la energía geotérmica, solar, el calor residual de centrales de cogeneración o de vapor de proceso o del gas natural [4], [5].

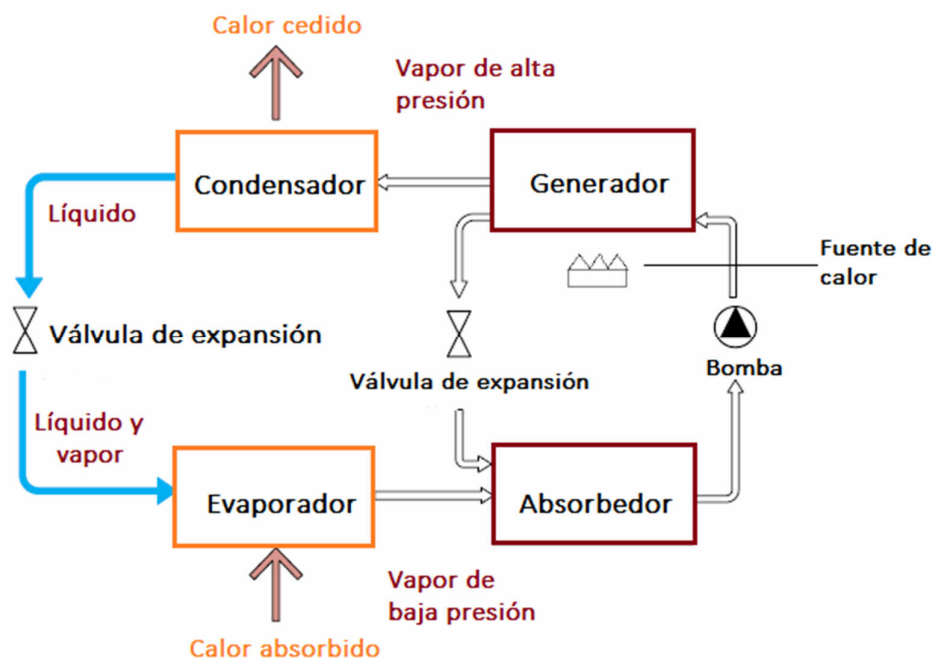


Figura 3. Bomba de calor de absorción. Fuente: adaptado de [6].

No obstante, y debido a su elevado rendimiento, las bombas de calor mecánicas corresponden a la tecnología más utilizada en la actualidad. Con estas, es posible obtener rendimientos superiores o iguales a 3, mientras que, al utilizar las bombas de calor térmicas, se obtienen rendimientos que oscilan en torno a 1 [5]. Por esta razón, a lo largo de este informe se describen las configuraciones que operan en base a un sistema mecánico cuya fuente de energía puede ser la electricidad o combustible.

## 2.2 Clasificación de bombas de calor

### 2.2.1 Según Focos de Transporte Térmico

Las bombas de calor pueden clasificarse en dos según sea la fuente de donde se extrae calor: por un lado, existen las bombas de calor que se clasifican como aerotérmicas debido a que extraen calor del aire ambiental; y, por otro lado, se encuentran los sistemas que extraen calor de la superficie y cuya denominación corresponde a bombas de calor geotérmicas. Tanto las bombas de calor aerotérmicas como geotérmicas pueden transportar dicha energía térmica a un medio que puede ser aire o agua, a partir de lo cual se obtiene la siguiente clasificación:

- Bombas de calor aerotérmicas:
  - Sistemas aire-aire
  - Sistemas aire-agua
- Bombas de calor geotérmicas:
  - Sistemas agua-aire

- Sistemas agua-agua
- Sistemas tierra-aire
- Sistemas tierra-agua

La implementación de estos sistemas depende de la aplicación que quiera llevarse a cabo, la potencia frigorífica o calorífica necesaria y el área al cual se dirija.

### 2.2.2 Según accionamiento

Asimismo, las bombas de calor pueden clasificarse según la fuente de energía que utiliza el compresor, la cual puede ser energía eléctrica o la que se obtiene producto de la combustión, siendo la primera la que tiene un mayor predominio en esta área. Respecto a la segunda clasificación, la tecnología más utilizada corresponde a la que opera en base a gas natural o gas licuado debido a su alta eficiencia de conversión en el proceso de combustión y cuya nomenclatura es GHP por sus siglas en inglés (*Gas Heat Pump*).

En la Figura 4 se ilustra el mecanismo de operación de una bomba de calor aerotérmica cuyo compresor se abastece de electricidad, donde se aprecia además que el propósito final de ésta es suministrar calefacción. Por otro lado, la Figura 5 ilustra el principio de funcionamiento de un sistema aerotérmico cuyo compresor opera en base a un motor a combustión, donde se observa que el suministro de calefacción utiliza adicionalmente el calor residual de los gases de escape.

Las bombas de calor a gas al igual que los sistemas eléctricos pueden entregar los servicios de calefacción y refrigeración de ambientes y producción de agua caliente sanitaria; además, pueden ser implementadas a nivel residencial, comercial e industrial donde se utilizarán preferentemente en áreas donde el costo de compra del combustible sea inferior al costo asociado al consumo eléctrico. Se caracterizan además por operar con un consumo eléctrico mucho menor que en las bombas de calor eléctricas ya que solo se requiere de esta fuente de energía para dar lugar a los procesos de ventilación y de control [7].

#### **Ventajas GHP:**

- Bajo consumo de electricidad.
- Alta eficiencia cuando se emplea la cogeneración de calor, frío y electricidad.
- Actualmente existen motores a gas que reducen las emisiones de dióxido de carbono.
- No se necesita un sistema eléctrico para descongelar el evaporador ya que puede emplearse el agua caliente del enfriamiento del motor.

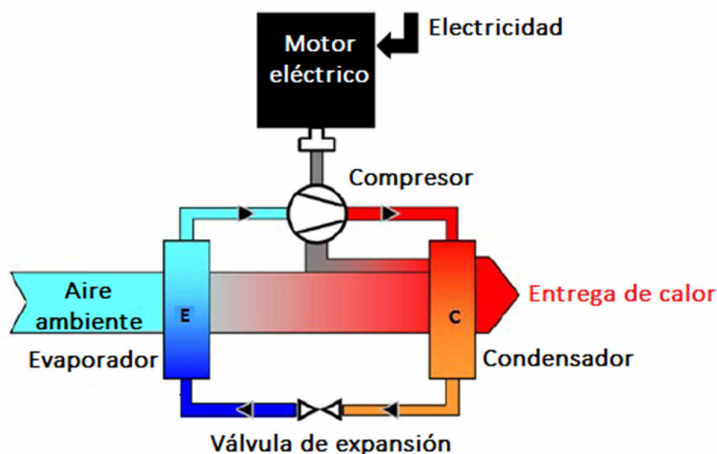


Figura 4. Bomba de calor aerotérmica con motor eléctrico. Fuente: [8].

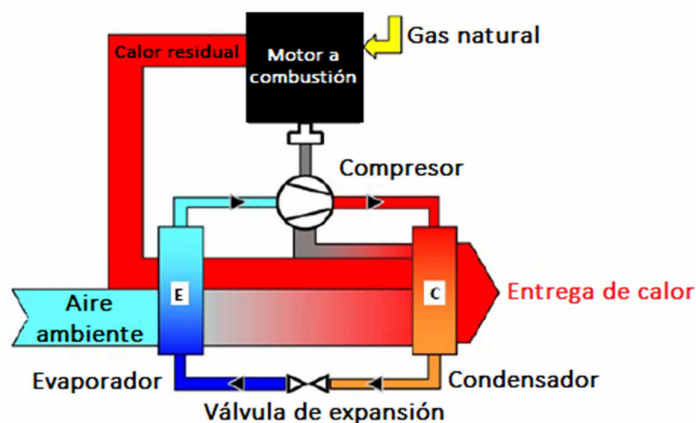


Figura 5. Bomba de calor aerotérmica con motor a combustión. Fuente: [8].

### 2.2.3 Según Reversibilidad

Las bombas de calor pueden clasificarse en sistemas reversibles y no reversibles, donde, la entrega única de calefacción o entrega única de refrigeración corresponde a sistemas no reversibles, y, el suministro de calefacción o refrigeración según sea la estación del año, corresponde a bombas de calor reversibles. Estas últimas, cuentan con un dispositivo auxiliar al interior del circuito interno denominado válvula de cuatro vías, gracias a la cual es posible revertir la función en estos equipos. Adicionalmente, con esta válvula es posible llevar a cabo el proceso de descongelamiento del ciclo térmico. La Figura 6 muestra el mecanismo de operación de un equipo reversible.

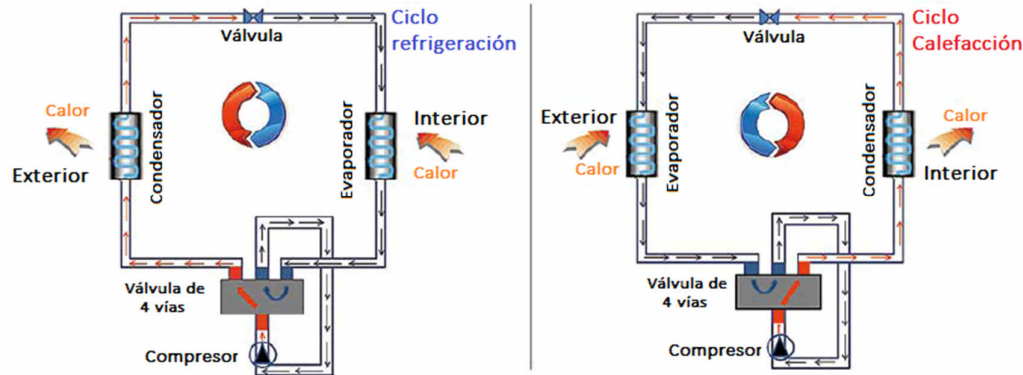


Figura 6. Circuito interno de una bomba de calor reversible. Fuente: [9].

En la Figura 7 se ilustra el funcionamiento de una bomba de calor reversible desde el punto de vista del usuario. En modo refrigeración, la unidad interior actúa como evaporador donde retira calor de la habitación y, la unidad exterior actúa como condensador donde se cede calor al ambiente exterior. Por el contrario, en modo calefacción la unidad interior corresponde al condensador donde se libera calor al espacio interior, y la unidad exterior corresponde al evaporador a partir del cual se absorbe calor del aire exterior.

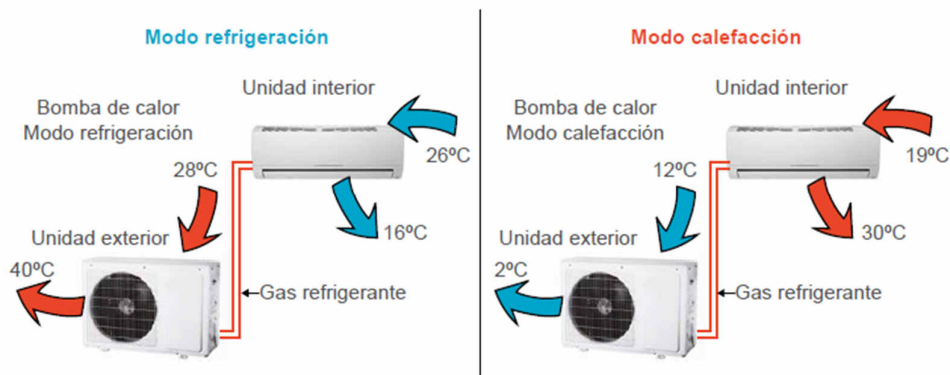


Figura 7. Esquemas de los modos de calefacción y refrigeración de una bomba de calor aerotérmica. Fuente: [9].

## 2.3 Eficiencia

La eficiencia de una bomba de calor, en modo calefacción, se mide a través del coeficiente de rendimiento COP (*Coefficient of performance*), el cual se define como el cociente entre la energía térmica cedida por el sistema ( $\dot{Q}_{cal}$ ) y la energía eléctrica consumida por el compresor ( $\dot{W}_{comp}$ ) bajo condiciones específicas de temperatura y con el equipo térmico a plena carga.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{cal}}{\dot{W}_{comp}}$$

En modo refrigeración, la eficiencia de la bomba de calor se mide a través del EER (*Energy Efficiency Rating*), la cual corresponde al cociente entre la energía térmica absorbida por el sistema ( $\dot{Q}_{ref}$ ) y el consumo eléctrico generado por el compresor ( $\dot{W}_{comp}$ ) en condiciones específicas de temperatura y en operación a plena capacidad.

$$EER = \frac{\dot{Q}_{ref}}{\dot{W}_{comp}}$$

## 2.4 Refrigerantes

El fluido de trabajo con el cual opera el circuito interno de una bomba de calor corresponde a un gas refrigerante cuyo propósito consiste en transportar el calor entre dos focos que se encuentran a diferente temperatura. En la actualidad, existe una variedad de gases refrigerantes que son empleados en áreas de climatización y refrigeración, los cuales pueden clasificarse en dos categorías principales, los refrigerantes artificiales o halogenados y los refrigerantes naturales, que a la vez, se subdividen en orgánicos e inorgánicos tal como lo indica la Figura 8.

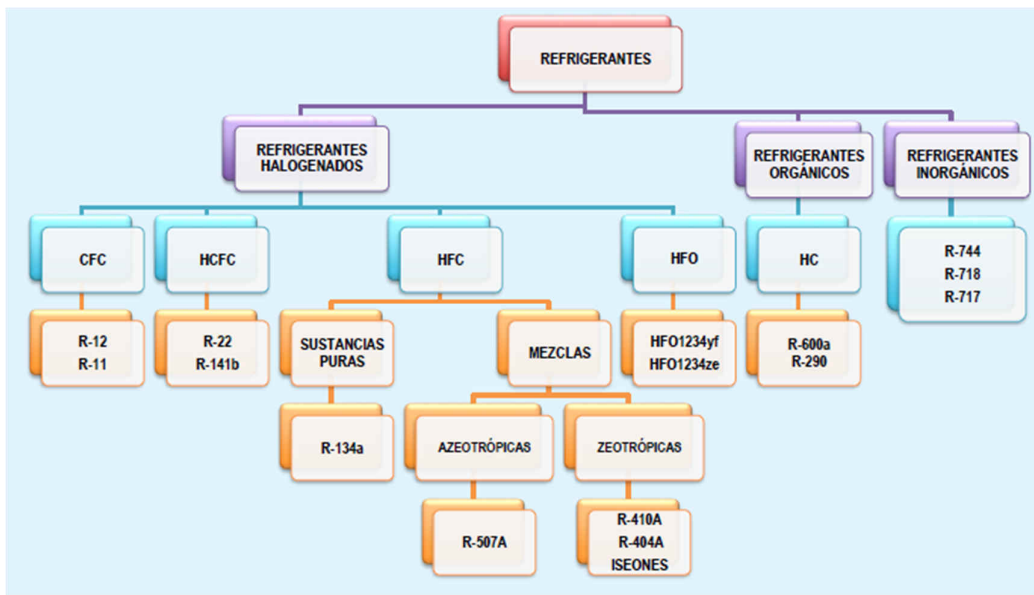


Figura 8. Clasificación de los fluidos refrigerantes según la ASHRAE 34. Fuente: [10].

A continuación, se describe cada una de las nomenclaturas utilizadas de las categorías de fluidos refrigerantes [11]:

- CFC: Clorofluorocarbono
- HCFC: Hidroclorofluorocarbono
- HFC: Hidrofluorocarbono
- HFO: Hidrofluoroolefina
- HC: Hidrocarbono (hidrocarburo)

Tras acuerdos internacionales como el Protocolo de Montreal (1987), Protocolo de Kyoto (1997) y el acuerdo de Kigali (2016), la elección de un gas refrigerante debe tomar en cuenta su impacto ambiental, donde, para estimar dicho impacto, se utilizan actualmente indicadores como ODP, GWP y TEWI, los cuales se describen a continuación [12]:

- ODP – *Ozone Depletion Potential*: indicador que compara el deterioro esperado de la capa de ozono a causa de un refrigerante específico con el causado por el refrigerante R-11 (triclorofluorometano).
- GWP – *Global Warming Potential*: indicador que compara la cantidad de calor que un gas de efecto invernadero almacena en la atmósfera en comparación con el calor que absorbe el CO<sub>2</sub>, que corresponde al gas de referencia con un GWP igual a 1.
- TEWI – *Total Equivalent Warming Impact*: este indicador corresponde a la suma de las emisiones directas e indirectas de gases efecto invernadero ligadas a un sistema de bomba de calor que opera con un fluido refrigerante particular. El TEWI calculado es sensible a las suposiciones sobre la vida útil del sistema, las fugas de refrigerantes y el tiempo de evaluación para determinar los valores de GWP y la fuente de energía del sistema.

Históricamente, los fluorocarbonos (CFCs) e hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) han sido un tipo común de refrigerante en la mayoría de los sistemas de climatización y refrigeración. Sin embargo, a partir de Protocolo de Montreal se dio inicio al proceso de la eliminación gradual de este tipo de refrigerantes debido al deterioro que estaban generando en la capa de ozono (elevado ODP) y por estar dentro de la categoría de sustancias GWP. Esto condujo a que varios fabricantes introdujeran los hidrofluorocarbonos (HFCs), los cuales, a pesar de generar un menor impacto negativo en la capa de ozono, están dentro de la categoría de gases GWP. Por esta razón, en la Enmienda de Kigali realizada el 2016, se llegó al acuerdo de eliminar gradualmente el uso de estos refrigerantes, donde se prevé una reducción del 85% en el uso a nivel mundial de HFCs antes del año 2050 [10], [13].

Como sustitutos a los refrigerantes recientemente mencionados, se tienen los hidrofluoroolefinas (HFO) y las sustancias naturales, los cuales se caracterizan por poseer un reducido GWP y ODP; sin embargo, se caracterizan por poseer un nivel de inflamabilidad cuyo riesgo varía según el tipo de refrigerante y su aplicación objetivo.

#### 2.4.1 Tendencias

En el año 2018 se realizaron en forma paralela la Feria Internacional AquaSur 2018 en Puerto Montt y Chillventa en Alemania (ferial industrial sobre eficiencia energética, bombas de calor, tecnología de refrigeración, aire acondicionado y ventilación), a partir de las cuales se pudieron apreciar las siguientes tendencias [14]:

- El fuerte desarrollo de soluciones de refrigeración con refrigerantes naturales para la climatización de oficinas, supermercados y tiendas menores, entre



otros. Aplicaciones ya existentes y replicadas en grandes cantidades en distintos países europeos, Australia y también Chile. Asimismo, se observó el uso del chiller que trabaja con refrigerantes como el CO<sub>2</sub>, propano y amoníaco en la climatización de oficinas insertas en las ciudades.

- Mejorar la eficiencia energética y la fiabilidad de sistemas de climatización y refrigeración reduciendo los costos energéticos, el impacto medioambiental.

## 2.4.2 CO<sub>2</sub> como fluido de trabajo

Durante los últimos años, el CO<sub>2</sub> (R-744) ha cobrado gran relevancia como fluido refrigerante para diversas aplicaciones de producción de calor y frío. Se considera que el uso del CO<sub>2</sub> como refrigerante ofrece ventajas para una variedad de aplicaciones como: la distribución alimentaria minorista, industria, bombas de calor, transporte refrigerado y refrigeración de armarios de servidores y sistemas electrónicos. A diferencia de la mayoría de los refrigerantes, el CO<sub>2</sub> se emplea en tres diferentes ciclos de refrigeración según sea su aplicación [15]:

- Subcrítico (sistema en cascada).
- Transcrítico (sistemas que operan sólo con CO<sub>2</sub>)
- Como fluido secundario (el CO<sub>2</sub> se utiliza como salmuera volátil).

### 2.4.2.1 Sistema transcrítico tipo booster para retail

El sistema transcrítico tipo booster permite recuperar calor con una elevada eficiencia, siendo uno de los sistemas más prometedores para climas fríos y templados. La razón es que su consumo energético es igual o inferior al de los sistemas que emplean como refrigerante R-404a y su diseño es relativamente sencillo.

### 2.4.2.2 Sistema en cascada con HC/HFC- CO<sub>2</sub> para distribución alimentaria minorista

El uso del CO<sub>2</sub> en sistemas en cascada aporta diversas ventajas:

- Elevada eficiencia del sistema, incluso en climas cálidos.
- Se requiere una reducida cantidad de refrigerante en la etapa de alta temperatura.
- En el lado de alta temperatura, se pueden utilizar distintos refrigerantes como HC, HFC o NH<sub>3</sub>.

### 2.4.2.3 Sistema industrial con CO<sub>2</sub> como fluido secundario

Las investigaciones han demostrado que el costo de instalación de los sistemas que utilizan CO<sub>2</sub> como fluido secundario no supera al costo de los sistemas que emplean salmueras acuosas o glicol; además, dichos sistemas consiguen un ahorro energético de hasta un 20%. Para una empresa experimentada, puede ser más económico

instalar en un almacén frigorífico un sistema de refrigeración con una capacidad de 500 kW que utilice CO<sub>2</sub>, que un sistema de refrigeración secundario que emplee refrigerantes de base acuosa.

#### 2.4.2.4 Caso de implementación en Chile

La Unidad de Ozono del Ministerio del Medio Ambiente con financiamiento de la CCAC (Coalición del Clima y el Aire Limpio para Reducir los Contaminantes de Vida Corta), implementó junto al supermercado Jumbo de Valdivia un inédito sistema de refrigeración con CO<sub>2</sub> transcrito. La iniciativa tuvo el objetivo de brindar una oportunidad para facilitar la introducción de una tecnología ambientalmente adecuada que será una herramienta para el país y la región para reducir al mínimo el uso de tecnologías basadas en HFC.

### 2.5 Tecnología Inverter – On/Off

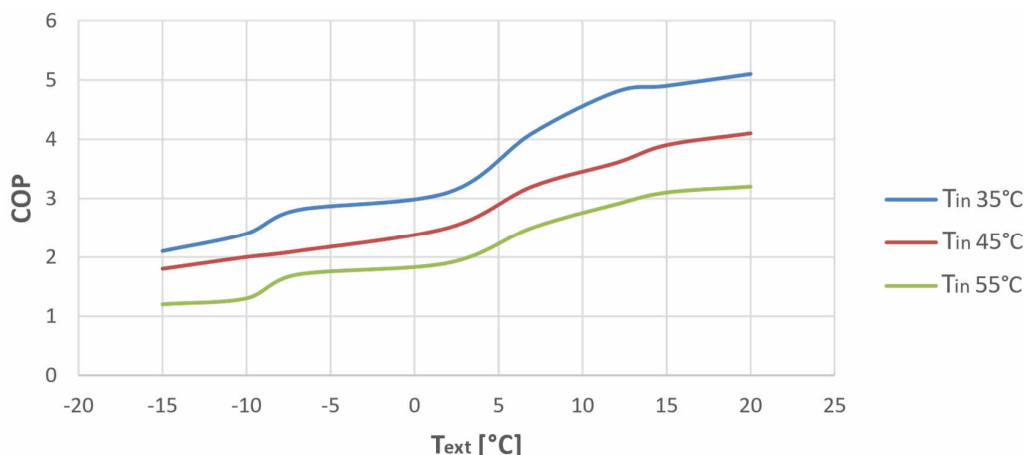
Las bombas de calor pueden operar en base a la tecnología *INVERTER* o de encendido y apagado *ON/OFF*. El principio de operación de esta última se basa en detener el funcionamiento de la bomba de calor cuando se alcanza la temperatura de confort de la zona acondicionada, poniéndose en marcha nuevamente cuando se detecta un cambio importante de temperatura. Por tanto, en estos sistemas el compresor opera a su máxima capacidad hasta suplir la demanda de calor o frío existente, donde detiene su funcionamiento cuando dicha demanda se satisface. Por otro lado, las bombas de calor con tecnología *INVERTER* suplen esta demanda adaptándose a las fluctuaciones de cargas térmicas que haya en el espacio interior de manera instantánea. El principio de operación de estos sistemas se basa en la regulación de la velocidad de giro del compresor, lo cual modifica el caudal de refrigerante en el circuito frigorífico de tal manera que el suministro térmico o de refrigeración oscile en torno a la demanda requerida.

Actualmente, los sistemas con tecnología *INVERTER* son los sistemas con mayor uso debido a que brindan ventajas adicionales frente a los sistemas convencionales *ON/OFF*. A continuación, se mencionan dichas ventajas [16], [17]:

- Dependiendo de la aplicación, con la tecnología *INVERTER* se puede ahorrar hasta un 40% de la energía consumida debido a la regulación de la potencia consumida por el compresor.
- La temperatura de confort se mantiene estable sin cambios bruscos, lo que garantiza un suministro de frío o calor apropiado.
- Al evitar los continuos arranques en *ON/OFF*, el compresor y el ventilador funcionan a velocidades intermedias, reduciendo con ello el nivel de ruido que genera este sistema.
- Adicionalmente, al evitar los continuos arranques de encendido y apagado, se conserva de mejor manera la bomba de calor.

### 3. Bombas de Calor Aerotérmicas - ASHP

Las bombas de calor aerotérmicas, también conocidas por sus siglas en inglés como ASHP (*Air Source Heat Pump*), transportan calor desde o hacia el aire exterior para climatizar espacios cerrados y, con la misma fuente de aire, llevar a cabo la producción de agua caliente sanitaria. Es correspondiente señalar que los equipos aerotérmicos permiten una instalación sencilla, lo cual reduce en gran medida los costos de inversión. Por otro lado, los niveles de rendimientos ligados a este tipo de sistemas alcanzan un valor que oscila en torno a 3; no obstante, esta magnitud puede variar según la tecnología aerotérmica y las diferencias de temperatura entre la fuente externa (aire) y la unidad interior. En base a este último punto, las bombas de calor aerotérmicas presentan la desventaja de que su eficiencia fluctúa en función de la temperatura ambiente. En la Figura 9 se muestra el comportamiento del coeficiente de desempeño COP de un sistema de calefacción en función de la temperatura de servicio (35°, 45°C, 55°C) y de la temperatura exterior, donde se puede observar que, a medida que la diferencia de temperatura entre los focos térmicos aumenta, el rendimiento de la bomba de calor disminuye.



**Figura 9. Variación del rendimiento de una bomba de calor aerotérmica en función de la temperatura ambiente y la temperatura de la región a acondicionar. Fuente: [18].**

Las diferentes configuraciones de bombas de calor aerotérmicas pueden clasificarse en dos categorías, los sistemas aire-aire y los sistemas aire-agua, cuya implementación depende de la aplicación y el área de destino (residencial, comercial, industrial).

#### 3.1 Sistemas Aire-Aire

Estos equipos o unidades autónomas de acondicionamiento de aire comprenden aparatos prefabricados o completamente listos cuya función es climatizar espacios cerrados. Dentro de estos sistemas, se distinguen los equipos individuales y centralizados, donde los primeros corresponden a [19]:

- Equipos de ventana o muro

- Unidades separadas tipo Split
- Autocontenidos
- Portátiles

Con relación a los equipos centralizados, estos se clasifican como:

- Unidades separadas Multi-Split
- Unidades separadas comerciales
- Roof top
- Sistema VRV

### 3.1.1 Equipos de ventana o muro

Son unidades eléctricas que están equipadas con: ventiladores, un sistema calefactor, un sistema de refrigeración y filtro de aire. Son apropiadas para locales pequeños como oficinas individuales, consultorios y casas particulares donde su montaje puede realizarse una vez concluida la obra civil.

#### **Ventajas**

- Bajo costo de instalación.
- Posibilidad de independizar distintos sectores o plantas del edificio.
- Control manual.

#### **Desventajas**

- Distribución de aire con alcance reducido.
- Altos niveles de ruido.
- Dificultad en la evacuación del agua de condensación.
- Poca satisfacción de los requisitos térmicos.
- No incorporan aire exterior al local, solo trabajan con aire de recirculación.
- No incluyen la tecnología VRV.



**Figura 10. Equipo de ventana o muro. Fuente: [20].**

Asimismo, estos sistemas pueden suministrar únicamente refrigeración, o producir calor y frío, con una capacidad que puede ir de los 9.000 a los 24.000 BTU/hr.

### 3.1.2 Unidades separadas tipo Split

A diferencia de los equipos de ventana, los sistemas tipo Split están divididos en dos unidades: una unidad dispuesta en el exterior y la otra en el interior. La unidad exterior está compuesta por el sistema de compresión, el condensador (modo refrigeración), un ventilador y el dispositivo de expansión. Con relación a la unidad interior, esta se constituye de un filtro de aire, el evaporador y ventilador. En el caso de una bomba de calor reversible, en modo calefacción la unidad interior actúa como condensador y la unidad exterior como evaporador. Estas unidades se encuentran conectadas por cañerías que conducen el fluido refrigerante, además de las correspondientes conexiones eléctricas.

#### Ventajas

- Bajo costo de instalación, ya que no requieren de grandes espacios para salas de máquinas o instalaciones especiales.
- Posibilidad de independizar distintos sectores o plantas del edificio.
- Bajo nivel de ruido en el interior del local.

#### Desventajas

- Aire de impulsión con alcance reducido.
- Poca satisfacción de los requisitos térmicos.
- No incorporan aire exterior al local, solo trabajan con aire de recirculación.

La unidad interior con mayor aplicación a nivel residencial y comercial corresponde al Split de pared o muro, el cual se muestra en la Figura 11. Las otras configuraciones de unidades interiores se muestran en la sección 3.2.



**Figura 11. Unidad interior Split de pared. Fuente: [21].**

Los equipos Split pueden tener asociado la tecnología *INVERTER* o de encendido y apagado *ON/OFF* (sección 2.5). Adicionalmente, con cada uno de estos equipos es posible suministrar únicamente refrigeración o refrigeración y calefacción, cuya capacidad frigorífica o térmica varía de 9.000 BTU/hr a 36.000 BTU/hr.

### 3.1.3 Portátiles

Los equipos portátiles son sistemas de aire acondicionado compactos que pueden desplazarse por el interior del hogar. Estos, cuentan con una manguera que permite extraer el calor del aire exterior (o depositar aire frío), llevando a cabo el proceso de intercambio térmico para calefaccionar el hogar (o refrigerar).

#### **Ventajas**

- Instalación no destructiva.
- Unidad interior de tamaño apropiado.
- Mantenimiento sencillo.
- 2 modos de funcionamiento: frío, frío-calor.

#### **Desventajas**

- Aire de impulsión con alcance reducido.
- Dispositivos con potencias bajas.
- Altos niveles de ruido.

Dentro del mercado pueden encontrarse equipos portátiles cuya potencia frigorífica puede variar entre 7.000 BTU/hr y 14.000 BTU/hr, y bajo la tecnología *ON/OFF* e *INVERTER*.



**Figura 12. Unidad portátil. Fuente: [22].**

### 3.1.4 Autocontenidos o autónomos

Estas unidades tienen características similares a los equipos de ventana. Están compuestos generalmente de los siguientes elementos: compresor, filtro de aire, ventiladores, batería de calor auxiliar (calefactores eléctricos o a gas), condensador, evaporador y dispositivo de expansión, los cuales se encuentran contenidos en una sola unidad. Por lo general, en la parte baja de esta última se encuentra el compresor y el condensador y en la parte superior se encuentran la batería de calor auxiliar, el serpentín de refrigeración (evaporador) y los ventiladores.

El principio de funcionamiento de un equipo de enfriamiento es el siguiente: la mezcla de aire exterior con aire de recirculación se limpia en el filtro, pasando posteriormente a través del evaporador donde disminuye su temperatura; luego, el ventilador aspira este aire frío y lo impulsa al habitáculo en forma directa. Para el caso de una bomba de calor reversible configurada en modo calefacción, el evaporador actúa como condensador.

#### **Ventajas**

- Bajo costo de instalación.
- Permite la entrada de aire exterior, lo cual ayuda a la renovación del aire de la zona a refrigerar o calefaccionar.

#### **Desventajas**

- Ruidosos cuando se colocan dentro del mismo espacio interior.

Los requisitos para su instalación corresponden a:

- Salida de aire al local

- Retorno de aire al local
- Salida de aire al condensador al exterior (en el modo refrigeración)
- Entrada de aire al condensador desde el exterior



**Figura 13. Equipo autónomo o autocontenido tipo mochila. Fuente: [23].**

Los equipos autocontenidos tipo mochila son unidades de línea de productos industriales, diseñados para operar en salas eléctricas, salas de telefonía, salas de control las 24 horas del día los 365 días del año. Asimismo, estos sistemas pueden entregar una capacidad frigorífica que puede ir de 20.000 a 56.000 BTU/hr.

### 3.1.5 Multi-split

Los sistemas *multi-split* trabajan con una unidad exterior y con dos a cinco unidades interiores. La unidad exterior está compuesta por un compresor, condensador, ventilador para la refrigeración del condensador y el dispositivo de expansión. Por otro lado, las unidades dispuestas en el interior de los habitáculos llevan filtro de aire, el evaporador (serpentin de refrigeración) y ventilador de impulsión.

Este tipo de sistema es adecuado para pequeños conjuntos de locales que requieren independencia de funcionamiento y condiciones de aire específicas, por ejemplo, viviendas, grupos de oficinas (no más de cinco), etc.

#### **Ventajas**

- Posibilidad de independizar los distintos sectores o plantas de edificio.
- Una sola unidad exterior abastece a varias unidades interiores.
- Bajo nivel de ruido en el interior del local.



- Buena distribución del aire en el caso de utilizar unidades con conductos.

### Desventajas

- Alcance reducido en las unidades sin conducto.
- Poca satisfacción de los requisitos térmicos.
- No incorporan aire exterior al local, solo trabajan con recirculación.

Las unidades exteriores de los equipos *multi-split* pueden entregar una capacidad frigorífica o térmica que varía entre 18.000 a 42.000 BTU/hr. Respecto a la capacidad de las unidades interiores, su valor puede ir de los 9.000 a los 24.000 BTU/hr.

En el mercado, se pueden encontrar equipos multi-split con la tecnología *INVERTER* integrada o los sistemas convencionales de encendido y apagado.



Figura 14. Equipo Multi-Split. Fuente: [24].

### 3.1.6 Sistemas Roof Top

Al igual que los equipos de ventana y autocontenidos, los sistemas de aire acondicionado *Roof Top* son equipos compactos que contienen en su interior todos los elementos asociados a un circuito frigorífico, incluyendo una unidad de tratamiento de aire. No obstante, y a diferencia de los equipos mencionados, este tipo de sistemas se cataloga como un equipo de climatización central, ya que permite distribuir a través de conductos el aire acondicionado a diferentes locales interiores. En efecto, estos sistemas son apropiados para locales de grandes dimensiones y que requieran de aire en iguales condiciones de humedad y temperatura.

### Ventajas

- Buena distribución del aire y plena satisfacción de los requisitos térmicos deseados.
- Menor costo de instalación respecto a los equipos tipo *fancoil* y VRV.
- Capacidad frigorífica y caudal de aire elevados.
- Mayor vida útil.
- Permite renovación de aire.

### Desventajas

- Las dimensiones de los conductos son considerables, lo que genera requerimientos de espacio importantes dentro del edificio.
- Elevado peso, por lo que la ubicación (techo o plataforma) deber estar diseñado para soportarlo.
- No distingue los requerimientos de aire acondicionado por zona.



**Figura 15. Esquema de sistema roof-top. Fuente: [25].**

Estos sistemas pueden operar en base a energía eléctrica o por combustión de gas natural, cuyo suministro puede ser tanto de frío como de calor. Asimismo, la potencia que pueden entregar puede variar desde los 17 kW a 100 kW para requisitos de capacidad intermedia, alcanzando potencias hasta los 420 kW para exigencias de alta capacidad frigorífica o térmica.

### 3.1.7 Unidades separadas comerciales

Corresponden a sistemas de aire acondicionado que constan de dos unidades, una exterior y otra interior, siendo un análogo a los sistemas *Split*. No obstante, se diferencian de aquellos al entregar una capacidad frigorífica de mayor magnitud distribuyendo este último a través de ductos.



Figura 16. Esquema de unidades separadas o equipo dividido para conductos. Fuente: [26].

### Ventajas

- Buena distribución del aire y plena satisfacción de los requisitos térmicos deseados.
- Menor costo de instalación respecto de los equipos tipo *fancoil* y VRV.
- Capacidad frigorífica y caudal de aire elevados.
- No existe límite de aire exterior a utilizar.
- Reduce la cantidad de conductos de distribución de aire frente a los equipos *Roof Top*.

### Desventajas

- No existe la posibilidad de zonificar sin añadir sistemas adicionales como rejillas de control de volumen de aire variable.

Las potencias que pueden entregar estos sistemas pueden ir de los 17 kW a 300 kW, cuya aplicación está destinada primordialmente para locales de gran volumen (comerciales, industriales) y con requerimientos de ventilación.

### 3.1.8 Sistema VRV

Los sistemas de volumen de refrigerante variable es una tecnología de climatización relativamente moderna en comparación a los otros sistemas, la cual permite entregar el suministro de calefacción o refrigeración en función de la demanda térmica que haya en la zona climatizada. El principio de operación de esta tecnología se basa en un proceso de expansión directa del refrigerante cuyo flujo másico es controlado a partir de la regulación de la frecuencia de operación del compresor. Así, el compresor opera a menor o mayor rendimiento dependiendo de las demandas energéticas de cada unidad interior. Con esto se consigue que el compresor reduzca las marchas y los paros que son los causantes de desgaste de este.

La variación del caudal de refrigerante en estos equipos, al igual que en los sistemas individuales, se lleva a cabo con la tecnología *INVERTER* en los compresores, y adicionalmente, con el uso de válvulas de expansión electrónicas o válvulas de modulación de impulsos, incorporadas en las unidades interiores. Un aspecto relevante que se consigue con los sistemas VRV es la independencia climática en cada dependencia; cada unidad interior trabaja de forma independiente de las demás donde las válvulas de expansión electrónicas dejan pasar la cantidad de fluido refrigerante requerido para cada una de ellas.

Por otro lado, con estos sistemas se controla la temperatura localmente, lo cual los hace adecuados para instalarlos en aquellas dependencias que se caracterizan por presentar requerimientos térmicos diferentes generados por fluctuaciones de cargas térmicas, de no simultaneidad de uso, etc. El suministro de calefacción y frío simultáneos en esta tecnología se lleva a cabo a través de un sistema a cuatro tubos, lo cual permite que haya un circuito de frío con dos tubos y de calor con los otros dos tubos restantes.

### **Ventajas**

- No requiere grandes espacios para la instalación de conductos ni equipos.
- Flexibilidad total para zonificación y regulación.
- Control totalmente electrónico.
- Se consigue notable ahorro energético debido a la tecnología *INVERTER*.
- Buena distribución del aire.
- No existe limitación de porcentaje de aire exterior a utilizar en caso de unidades con posibilidad de conectar conductos.

### **Desventajas**

- Mayor costo de instalación y eventualmente de mantenimiento.
- Elevado costo inicial.
- Distribución de refrigerante por medio de red de tuberías de cobre susceptible de fugas.

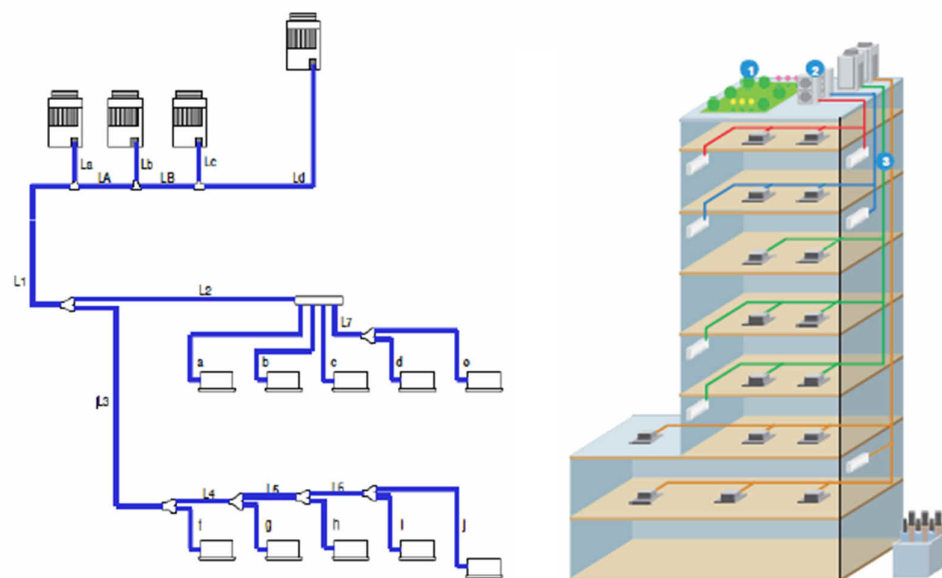


Figura 17. Sistema centralizado VRV. Fuente: [27], [28].

### 3.2 Unidades interiores en Sistemas Aire-Aire

Las unidades interiores corresponden a los equipos que el usuario visualiza en el servicio de calefacción y refrigeración en los sistemas *Split*, *Multi-Split* y sistema VRV. Es importante recalcar que el conjunto de unidades exteriores e interiores conforman un sistema de expansión directa, donde el aire a acondicionar toma contacto de forma directa con el ciclo frigorífico que integra cada dispositivo.

En el mercado existe una variedad de unidades interiores que se diferencian entre sí por su formato y ubicación en el recinto a climatizar. A continuación, se muestra cada una de estas unidades interiores.

#### Unidad techo-suelo

La unidad interior se instala en el suelo o techo a partir del cual se distribuye el aire acondicionado.



Figura 18. Unidad interior *Split* de piso o techo. Fuente: [29].

### Unidad tipo *cassete*

La unidad interior se instala en el techo falso de tal forma que el aire acondicionado se distribuye de manera vertical y horizontal en el recinto a climatizar.



Figura 19. Unidad interior *Split* tipo *cassete*. Fuente: [30].

### Unidad de conducto

En general, estas unidades interiores se disponen en el techo falso y van conectadas a conductos por los cuales se distribuye el aire acondicionado.



Figura 20. Unidad interior *Split* conducto. Fuente: [31].

### Unidad de pared

Estas unidades se instalan en el muro del recinto, y corresponden a los sistemas de mayor uso.



Figura 21. Unidad interior *Split* de pared. Fuente: [21].

## Unidad portátil

Corresponden a unidades interiores que pueden transportarse. Estos sistemas se clasifican únicamente como sistemas *Split*.



Figura 22. Unidad portátil tipo *Split*. Fuente: [32].

## 3.3 Sistemas Aire-Agua

Un sistema aire-agua corresponde a un equipo centralizado que se utiliza en el área de climatización para suministrar calefacción, refrigeración, y también para la producción de agua caliente sanitaria (ACS). En estos, se utiliza agua como fluido intermedio para realizar el transporte térmico entre la zona a climatizar y el refrigerante correspondiente al ciclo frigorífico. Generalmente, las bombas de calor aire-agua son empleadas para climatizar grandes edificios residenciales y comercios. A nivel doméstico, existen equipos que tienen la funcionalidad de generar calefacción o refrigeración y además generar agua caliente sanitaria.

### 3.3.1 Chiller Convencional

En edificios, frecuentemente se utilizan calderas para la producción de agua caliente con la cual se da suministro de calefacción y producción de ACS a las distintas zonas interiores. Por otro lado, la producción de aire frío se lleva a cabo a través de Chillers que operan en conjunto con sistemas de distribución de aire tales como UMAs (unidades manejadoras de aire o unidades de tratamiento de aire) o por medio de *fancoils*.

### 3.3.2 Generación de agua fría

La producción de agua fría se lleva a cabo a través del siguiente mecanismo de operación: el agua de retorno procedente de las dependencias del edificio ingresa al *Chiller*, transfiriendo posteriormente parte de su energía térmica al refrigerante que

circula por el evaporador que integra el ciclo frigorífico. En este transporte térmico, el agua reduce su temperatura hasta el valor requerido, ingresando nuevamente al circuito de distribución.

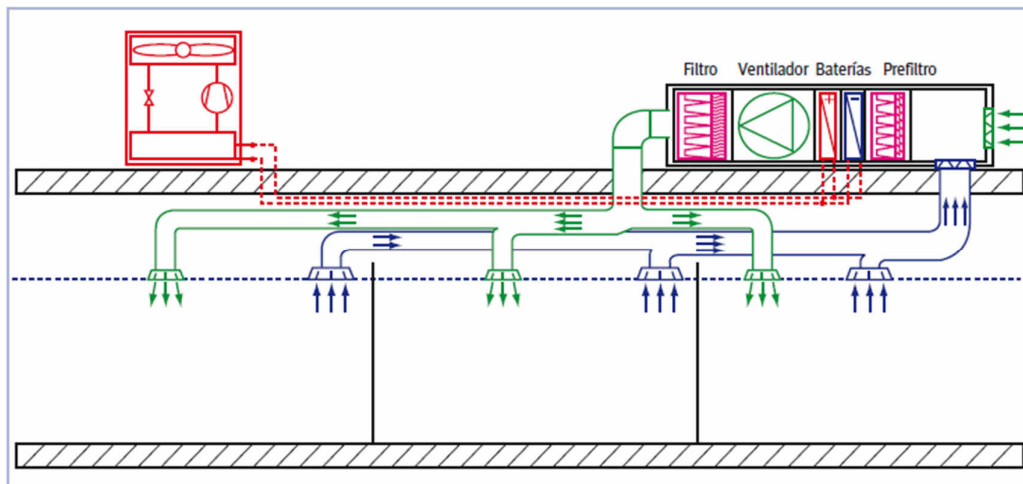
Respecto al proceso de condensación del agua que opera en el interior de la máquina frigorífica, este se lleva a cabo a través de una torre de enfriamiento o a través del proceso de condensación de aire.

### 3.3.3 Distribución de aire frío

El suministro de aire frío a las diferentes dependencias de una instalación se puede llevar a cabo a través de dos principales sistemas de distribución, los cuales se describen a continuación.

#### 1) Unidades manejadoras de aire con baterías de frío integradas

El aire a acondicionar ingresa a las unidades manejadoras de aire donde se realiza en primer lugar el proceso de filtrado. Posteriormente, este flujo de aire tratado toma contacto con las baterías de frío por las cuales circula agua fría procedente del *Chiller*, generándose de esta forma flujo de aire a menor temperatura. La distribución de este último se realiza mediante el sistema de ventiladores que conducen este flujo de aire a través de los diferentes conductos. Dicho mecanismo de operación se puede apreciar en la Figura 23. Producción y distribución de aire frío en edificios con el uso de manejadoras de aire que integran baterías de frío.



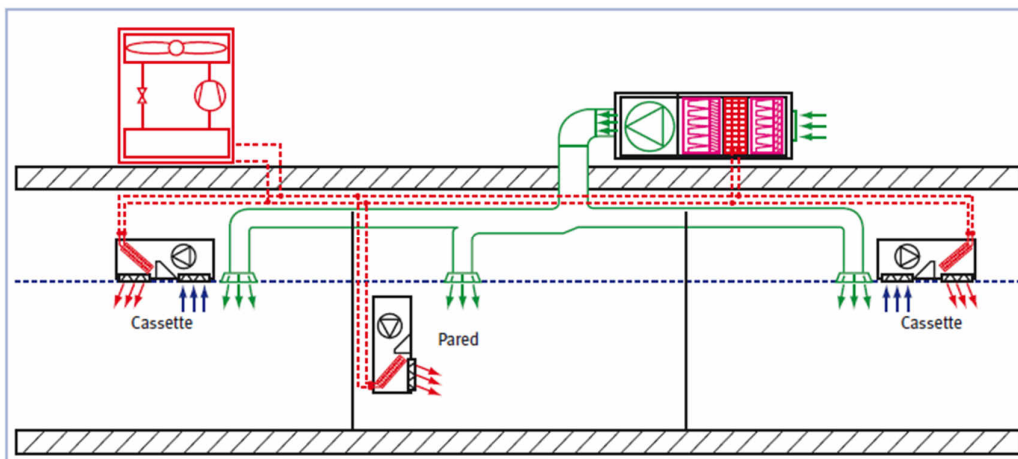
**Figura 23. Producción y distribución de aire frío en edificios con el uso de manejadoras de aire que integran baterías de frío. Fuente: [33].**

#### 2) Unidades manejadoras de aire y *fancoils*

En estos sistemas de climatización el flujo de agua fría se distribuye hacia las unidades terminales denominadas *fancoils* o ventiloconvectores. En estas, se produce el intercambio térmico entre el flujo de agua fría que circula por el interior del serpentín

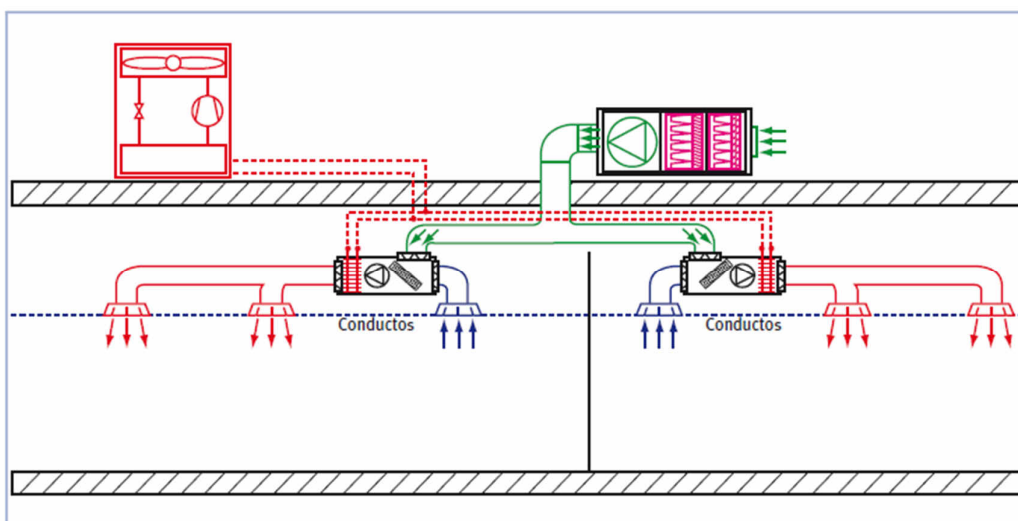


(coil) y el flujo de aire a acondicionar. Como puede observarse de la Figura 24, la unidad manejadora de aire y las unidades de acondicionamiento (serpentines de refrigeración) se encuentran separadas entre sí; además, puede apreciarse que los fancoils al igual que las unidades interiores tipo *Split*, pueden instalarse en el techo y muro.



**Figura 24. Producción y distribución de aire frío en edificios con el uso de manejadoras de aire y fancoils. Primera configuración. Fuente: [33].**

Asimismo, existen otras configuraciones, tal como se muestra en la Figura 25, donde el aire procedente de las UMAs se dirige a los ventiloconvectores, a partir de los cuales se lleva a cabo la distribución del aire acondicionado.



**Figura 25. Producción y distribución de aire frío en edificios con el uso de manejadoras de aire y fancoils. Segunda configuración. Fuente [33].**

### 3.3.4 Chiller Polivalente

El desarrollo tecnológico y la innovación han permitido crear los *Chillers* polivalentes cuya multiplicidad de funciones ha hecho que sean una de las últimas tendencias en Europa y los países del primer mundo. Estos se encuentran en tres modalidades diferentes:

#### **Chiller de 2 tubos**

Este sistema polivalente permite generar frío o calor (generación excluyente) y producir ACS.

#### **Chiller de 4 tubos**

Las instalaciones de 4 tubos permiten generar frío y calor de manera simultánea, sin embargo, no producen agua caliente sanitaria.

#### **Chiller de 6 tubos**

Las instalaciones de 6 tubos permiten generar frío y calor simultáneamente y producir además ACS.

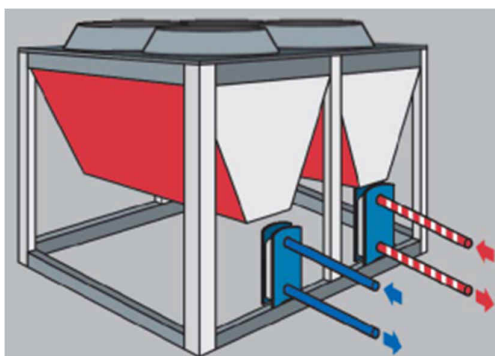


Figura 26. Esquema de *Chiller* a cuatro tubos.

Anteriormente no existía esta multifuncionalidad en sistemas aire-agua, por lo que, la implementación de calderas para la producción de agua caliente (ya sea para calefacción o ACS) era realmente necesaria. Ahora con la existencia de estos equipos polivalentes, es posible generar frío, calor y ACS a partir de un sistema cuyo rendimiento oscila entre 7 u 8 [34].

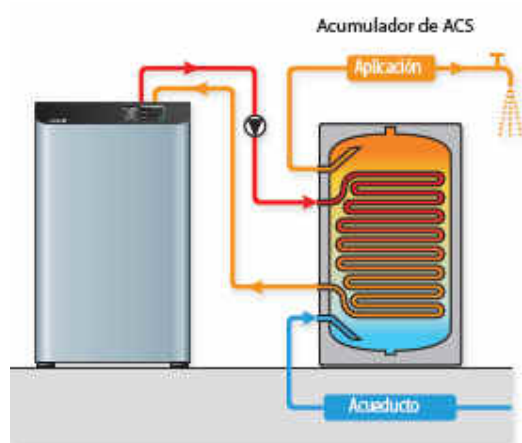
### 3.3.5 Bombas de Calor para Producción de agua caliente sanitaria

Generalmente, la producción de agua caliente sanitaria a nivel domiciliario se lleva a cabo en un sistema compacto mediante la transferencia térmica entre el flujo de refrigerante que opera en la bomba de calor y el agua contenida en el estanque de almacenamiento integrado a dicho sistema (Figura 27). La temperatura que alcanza el flujo de agua procedente de la bomba de calor puede ir de los 45 a 60°C.

Asimismo, existen sistemas donde el estanque de almacenamiento corresponde a un sistema separado de la bomba de calor, tal como se observa en la Figura 28. En este formato, el fluido refrigerante transfiere su energía térmica al flujo de agua que participa en un circuito intermedio, donde dicho flujo posteriormente transfiere calor al agua contenida en el acumulador. Cabe mencionar que el sistema señalado en la ilustración corresponde a una bomba de calor para producción de ACS, la cual además suministra calefacción a través de un circuito de suelo radiante.



**Figura 27. Producción de agua caliente sanitaria a partir de una bomba de calor compacta. Fuente: [35].**



**Figura 28. Producción de agua caliente sanitaria de una bomba de calor segregada. Fuente: [36].**

### 3.3.6 Bombas de Calor para Producción de agua Caliente de Uso Industrial

Las bombas de calor a nivel industrial son utilizadas para la producción de agua caliente cuya temperatura de operación requerida puede variar enormemente según el proceso desde los 20°C a los 120°C. Para temperaturas más altas, por lo general, las bombas de calor pierden competitividad frente a calderas u otras tecnologías. En cuanto a potencia, las bombas de calor pueden alcanzar potencias de 50 a 150 kW y desde 150 kW a varios MW. En términos generales, las bombas de calor utilizadas a nivel industrial tienen mecanismos de operación más complejos, en especial cuando se busca alcanzar temperaturas más altas cercanas a los 100 °C.

A diferencia de otras aplicaciones de las bombas de calor aerotérmicas, en aplicaciones industriales es común encontrar las bombas de calor en forma desagregada por componentes. Es decir, cada componente, compresores, condensadores, evaporadores son implementados como unidades separadas. Es el caso por ejemplo de las aplicaciones en refrigeración en la agroindustria.



Figura 29. Bombas de calor de uso industrial para generación de calor. Fuente: [37].

## 3.4 Unidades Interiores en Sistemas Aire-Agua

### 3.4.1 Radiadores y Suelo radiante

A diferencia de los sistemas aire-aire, con las bombas de calor aire-agua se pueden climatizar ambientes a través de radiadores y piso radiante o refrescante. En los radiadores, la temperatura promedio de operación del agua corresponde a 55°C a 60°C con la cual se entrega calor al interior a través de un proceso de convección natural. Respecto al piso radiante, la temperatura del agua caliente que ingresa a las tuberías instaladas en la parte baja oscila en torno a los 35°C en modo calefacción, y de 18 a 23°C en modo refrigeración (suelo refrescante).



**Figura 30. Suelo radiante (izquierda) y radiadores (derecha). Fuente: [38].**

Por lo general, el uso de radiadores y suelo radiante que operan en base a una bomba de calor se utilizan a nivel residencial. Con esta última, además, es posible producir agua caliente sanitaria de manera independiente a partir del mismo sistema, e implementar el servicio de climatización a través de *fancoils*. Estos equipos corresponden a equipos multitarea o polivalentes.

### 3.4.2 Cielos Radiativos

Las unidades terminales integradas a nivel de techo pertenecen a los sistemas radiativos de climatización, de igual manera que los radiadores y la inducción por piso radiante o refrescante. Estas unidades se constituyen por una red de tuberías instaladas en el techo del habitáculo a climatizar y por las cuales circula el flujo de agua caliente o fría proveniente de la bomba de calor. La instalación de estas unidades suele ser más económica y sencilla de ejecutar frente a los sistemas de piso radiante; además, en caso de avería, el mantenimiento también resulta tener un menor costo y dificultad de realizarse. Asimismo, el cielo radiativo permite distribuir el aire frío o caliente de manera más homogénea y con un tiempo de respuesta más rápido frente a otros sistemas de calefacción.

Los sistemas radiativos utilizados en grandes edificaciones permiten reducir entre 30 y 40 cm las alturas necesarias para los conductos de ventilación, reduciéndose también el espacio requerido para máquinas y conducciones; además generan un ahorro de energía en su funcionamiento ya que solo requieren accionar los sistemas de bombeo del agua de circulación en conjunto con el equipo de la bomba de calor. No obstante, frente a los tradicionales sistemas de climatización centralizada, tienen la desventaja de ser más complejos a la hora de llevar a cabo el servicio de mantención debido a su importante nivel de integración física con la infraestructura del edificio.

### 3.4.3 Vigas frías

Las unidades terminales de inducción de techo, también conocidas como vigas frías pueden ser de tipo pasivas o activas y permiten la difusión de aire acondicionado. Son

utilizadas en sistemas aire-agua para aportar confort en ambientes interiores. Estas unidades son adecuadas para la climatización de diferentes tipos de locales como, por ejemplo: edificios de oficinas, hospitales, hoteles, oficinas bancarias [39].



**Figura 31. Viga Fría Activa. Fuente: [40].**

Como en todos los sistemas de climatización aire-agua, la elección de vigas frías activas tiene la ventaja de utilizar el agua como vehículo de transporte de la potencia de refrigeración o calefacción hasta los diferentes locales, con el consiguiente ahorro de energía y espacio. Además, se puede controlar la temperatura de cada local o zona independiente, incorporando una válvula de 2 o 3 vías en la batería de la unidad terminal controlada por el regulador de temperatura.

Al comparar estas unidades con los tradicionales sistemas de *fancoils*, se pueden determinar las siguientes ventajas y desventajas: al no contar con sistemas de ventilación dispuestos en las mismas unidades, requieren menor mantenimiento, producen menos ruido y operan con un menor consumo eléctrico; no obstante, presentan la desventaja de tener una regulación más compleja para alcanzar las condiciones de confort deseadas, y pueden presentar importantes problemas de ruido si es que el sistema no está bien dimensionado.

## 4. Bombas de Calor Geotérmicas-GSHP

El aprovechamiento de la energía geotérmica mediante el uso de bombas de calor es una tecnología que se ha extendido a nivel mundial en los últimos años gracias a la mejora de rendimiento de los sistemas y a la reducción de sus costos. En las bombas de calor geotérmicas o GSHP (*Ground Source Heat Pump*) se pueden distinguir dos fuentes térmicas principales: la superficie terrestre y las fuentes hídricas tales como aguas freáticas o superficiales. Estas fuentes externas de energía con las que opera una bomba de calor geotérmica se caracterizan por poseer una alta inercia térmica, lo cual hace que el rendimiento de estos sistemas sea en gran medida independiente de la temperatura ambiente, al contrario de lo que sucede con los sistemas aerotérmicos. No obstante, la tecnología GSHP se caracteriza por tener un alto costo de inversión para su instalación, donde adicionalmente es necesario cumplir con normativas que regulan este tipo de instalaciones.

Asimismo, y al igual que los sistemas aerotérmicos, los sistemas GSHP pueden ser reversibles o no reversibles y estar accionados por motores eléctricos y a combustión. Los servicios que pueden prestar estos sistemas además no varían, es decir, entregan calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria a través de un proceso que tiene un rendimiento térmico asociado (COP) que puede ir de 4 a 5 ([41], [42]).

En Europa, el uso de las bombas de calor geotérmicas es realmente elevado. Estas, son utilizadas tanto a nivel residencial, comercial e industrial, siendo frecuente encontrar sistemas GSHP en edificios residenciales y comerciales de gran escala. Por otro lado, en la actualidad existen casos de éxito de bombas de calor geotérmicas que son parte de la calefacción distrital en diferentes ciudades europeas [43].

### 4.1 Clasificación por Sistema de Captación

Las bombas de calor geotérmicas en términos generales se clasifican en dos categorías en función de la configuración del circuito geotérmico que toma contacto con el terreno. Por un lado, se encuentran los sistemas GSHP de circuito cerrado los cuales utilizan una red de tuberías o colector que extrae (o cede) calor de la superficie o fuente hídrica a través de un fluido caloportador que circula por él (agua o agua+glicol), donde dicho fluido posteriormente transfiere esta energía térmica al ciclo frigorífico de la bomba de calor. Por otro lado, se encuentran los sistemas GSHP de circuito abierto donde se transporta calor directamente de una fuente de agua superficial o subterránea sin utilizar un circuito adicional de transporte térmico [44].

En un circuito cerrado, las instalaciones se pueden clasificar en base a la disposición de las tuberías enterradas:

- Red horizontal
  - En función de la cantidad de tubos:



- Simple
- Doble
- En función de la trayectoria del fluido
  - Conexión en serie
  - Retorno directo
  - Retorno inverso
  - Almacenamiento central
- Red Vertical
  - Configuración en serie
  - Configuración en paralelo
- Intercambiadores sumergidos
- Intercambiadores *Slinky*
- Sistemas híbridos
  - Circuito cerrado con estanque de enfriamiento suplementario
  - Circuito cerrado apoyado por colector solar
  - Lazo cerrado conectado con torre de enfriamiento

A continuación, se realiza una breve descripción de cada una de estas configuraciones de circuito cerrado.

## 4.2 Circuito Cerrado

### 4.2.1 Red horizontal

La captación de red horizontal representa la configuración más sencilla, empleándose en instalaciones de baja potencia térmica que cuentan con grandes extensiones de terreno. Según los distintos instaladores, la profundidad del circuito oscila entre los 60 centímetros y los 5 metros, aunque lo habitual es que se entierren aproximadamente a un metro de profundidad [45]. Esta instalación es menos eficiente, ya que, a esta profundidad, el terreno se ve afectado en mayor medida por la climatología, no obstante, el costo de instalación es menor, haciéndola más atractiva desde el punto de vista económico. Para su diseño se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Profundidad de zanja.
2. Número de zanjas.
3. Espacio entre las sondas de captación en cada zanja.



En base al número y disposición de los tubos empleados en el sistema de captación horizontal, se generan las siguientes categorías de redes horizontales: simple, doble o múltiple, conexión horizontal, retorno directo, retorno inverso y alimentación central, las cuales se describen a continuación.

#### 4.2.1.1 Simple

##### Características:

- Tubería enterrada de forma horizontal (Figura 32)

##### Ventajas:

- Fácil instalación.
- Requiere poca profundidad.

##### Desventaja:

- Requiere gran cantidad de terreno.

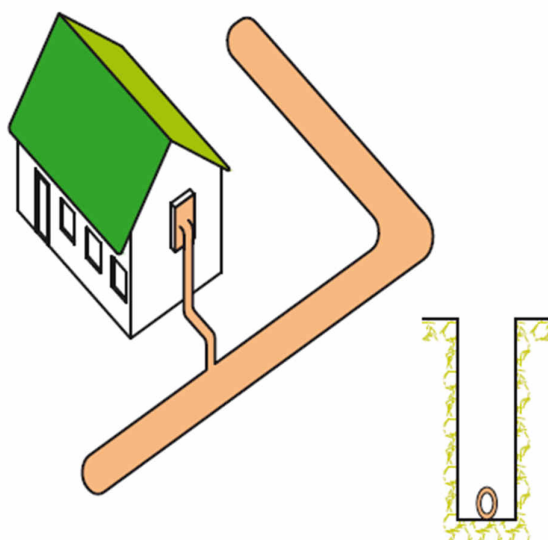


Figura 32. Red horizontal simple. Fuente: [45].

#### 4.2.1.2 Doble o múltiple

##### Características:

- Tuberías enterradas de forma horizontal y paralela (Figura 33)

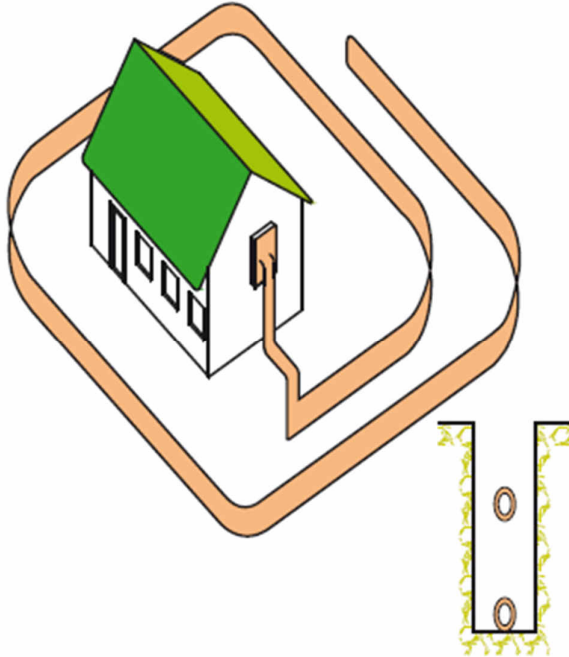
##### Ventajas:

- Fácil instalación.
- Requiere poca profundidad, aunque mayor que en la instalación simple. Esto último con el fin de evitar la influencia térmica entre ambos tubos.

- Se obtiene un mejor desempeño que en la configuración simple.

**Desventaja:**

- Requiere gran cantidad de terreno.



**Figura 33. Red horizontal doble. Fuente: [45].**

Asimismo, en función de la trayectoria seguida por el fluido, se pueden catalogar las siguientes:

#### 4.2.1.3 Conexión en serie

**Características:**

- Los tubos se conectan uno a continuación de otro. (Figura 34 y Figura 35)

**Ventajas:**

- Sencillo.
- Fácil de instalar.
- Requiere poca profundidad.

**Desventaja:**

- Requiere gran cantidad de terreno.
- Mayor pérdida de carga.

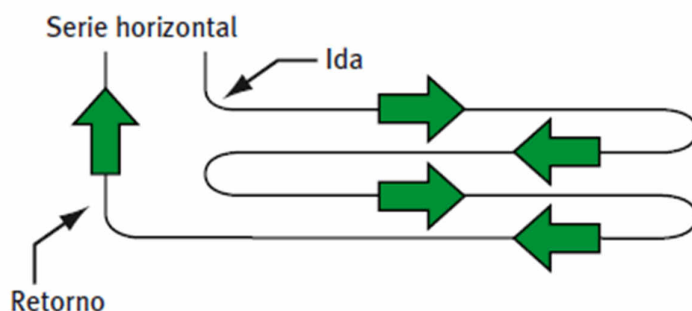


Figura 34. Conexión horizontal en serie. Fuente: [45].



Figura 35. Red horizontal en serie. Fuente: [45].

#### 4.2.1.4 Retorno Directo

##### Características:

- El fluido caloportador ingresa por un extremo del colector de entrada y sale por el mismo extremo del colector de salida (Figura 36).
- Existe una desigualdad de presiones entre los tubos, por lo que se requiere mayor potencia de bombeo para distribuir proporcionalmente el fluido al interior de estos.
- Los tubos suelen constituirse de polipropileno reticulado, polietileno rígido, o polietileno de baja densidad.

##### Desventaja:

Reducción de la eficiencia en la transferencia de calor debido a que el fluido no se distribuye de manera proporcional por los conductos.

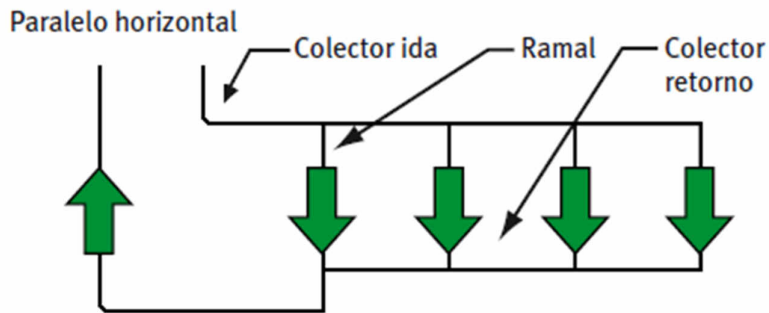


Figura 36. Red horizontal con retorno directo. Fuente: [45].

#### 4.2.1.5 Retorno inverso

##### Características:

- Configuración similar a la de retorno directo.
- El fluido caloportador es impulsado por un extremo del colector de entrada en dirección a la red de conductos y es retornada a la instalación desde el extremo opuesto, mediante el colector de salida (Figura 37).
- Similitud de presiones en cada tubería.

##### Ventajas:

- Respecto a la configuración de retorno directo, se requiere menor potencia de bombeo debido a que el fluido se distribuye proporcionalmente por cada conducto.
- Mejor transferencia de calor con el terreno.

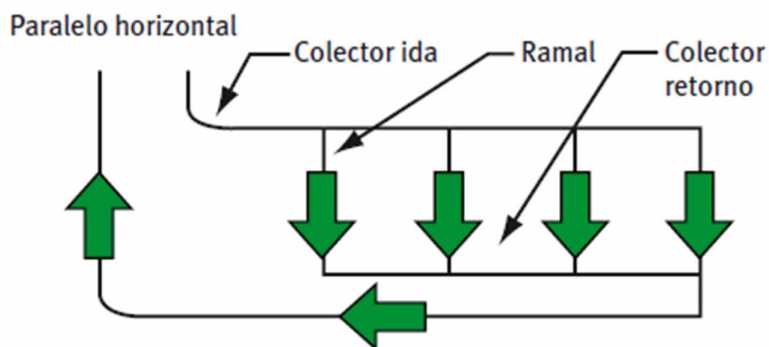


Figura 37. Red horizontal con retorno inverso. Fuente: [46].

#### 4.2.1.6 Alimentación central

##### Características:

- El fluido caloportador ingresa por el centro de la red de conductos (Figura 38).
- El líquido circula por los tubos dispuestos en “U”, desde el colector de entrada (rojo) hacia el colector de salida (azul).

**Ventajas:**

- Se requieren tuberías de menor longitud para transferir la misma carga térmica que en los casos previos, ya que el fluido recorre mayor distancia en los tubos.

**Desventajas:**

- Disminución del rendimiento en la transferencia térmica debido a la diferencia de presiones entre los tubos.
- La distancia entre los ramales está sujeta a disminuir la interacción térmica entre ellos.

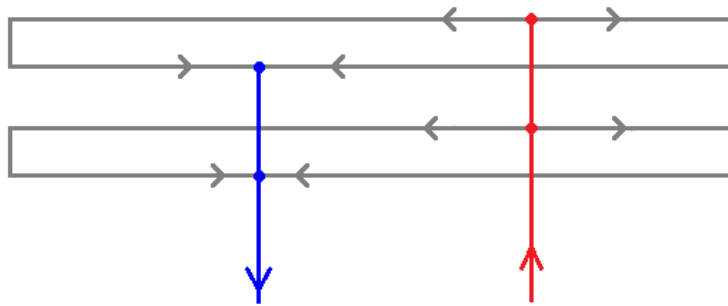


Figura 38. Red horizontal con alimentación central. Fuente: [46].

#### 4.2.2 Red vertical

A continuación, se presentan las principales características de un sistema de captación vertical [46], [47]:

**Características:**

- Perforaciones verticales de gran profundidad en las que se instalan tuberías por donde circula el fluido caloportador.
- Las tuberías utilizadas suelen ser de polietileno.
- Para la instalación y diseño se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
  1. Profundidad de cada perforación.
  2. Número de perforaciones.
  3. Distancia entre perforaciones (se recomienda que esta distancia no sea inferior a los 6 metros para evitar interferencias térmicas entre las perforaciones, la cual deberá aumentar cuando la conductividad del terreno sea elevada).

**Ventajas:**

- Área de instalación reducida.
- Mayor aprovechamiento de la inercia térmica del terreno.

- A mayor profundidad, mejor rendimiento de la bomba de calor geotérmica.

**Desventaja:**

- Elevado costo de instalación, donde las profundidades de las perforaciones van desde los 30 hasta 150 metros.



**Figura 39. Red vertical. Fuente: [46].**

Los sistemas de captación vertical se pueden categorizar en base a la disposición de las tuberías que los constituyen, dando lugar a dos principales configuraciones, en serie y paralelo, las cuales se describen a continuación.

#### 4.2.2.1 Configuración en serie

**Características:**

- Para esta configuración, el fluido caloportador recorre la misma tubería desde inicio a fin del trayecto (Figura 41).

**Ventajas:**

- La trayectoria del fluido entre tuberías está perfectamente definida.
- El aire atrapado puede ser eliminado con gran facilidad (purga).
- Funcionamiento térmico más alto por metro lineal de tubo, puesto que se requiere de un diámetro superior.

**Desventajas:**

- Esta configuración posee un mayor costo de instalación ya que requiere de tuberías de mayor diámetro, y por ende mayor cantidad de fluido caloportador.

- Longitud de tuberías restringida para evitar grandes caídas de presión del fluido.
- Una posible obstrucción de algún tramo del conducto dejaría fuera de servicio el intercambiador completo.

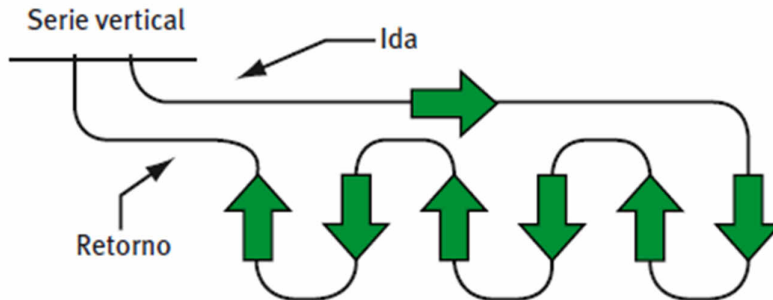


Figura 40. Configuración serie vertical. Fuente: [45].

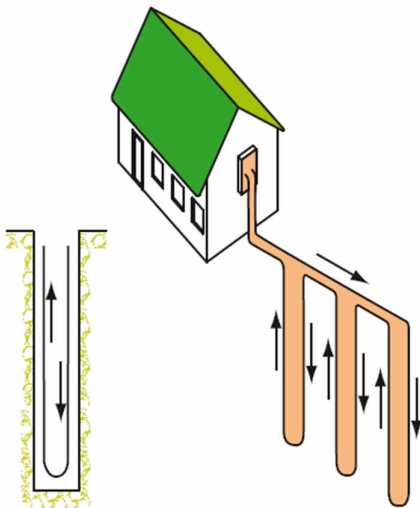


Figura 41. Red vertical en serie. Fuente: [45].

#### 4.2.2.2 Configuración en paralelo.

##### Características:

- La tubería de salida desde el sistema de climatización se segrega en diferentes ramales, los cuales vuelven a unirse para retornar al sistema de climatización en una única tubería.
- El flujo de líquido caloportador se divide por las diferentes tuberías para intercambiar su energía térmica con el terreno (Figura 42 y Figura 43).

##### Ventajas:

- Menor costo de instalación respecto a la configuración en serie debido a que se requieren tuberías con menor diámetro y con ello menor caudal de fluido

portador de calor. Esto se debe principalmente a que se pueden utilizar mayor número de tubos, al no tener restricciones de volumen.

#### Desventajas:

- Se debe prestar especial atención a la eliminación del aire que pueda verse atrapado en el circuito, ya que con la presencia de éste se puede reducir notablemente la efectividad de la transferencia de calor con el terreno.
- Posibles problemas para equilibrar el flujo en los distintos bucles, lo que podría originar una disminución del rendimiento de la transmisión.

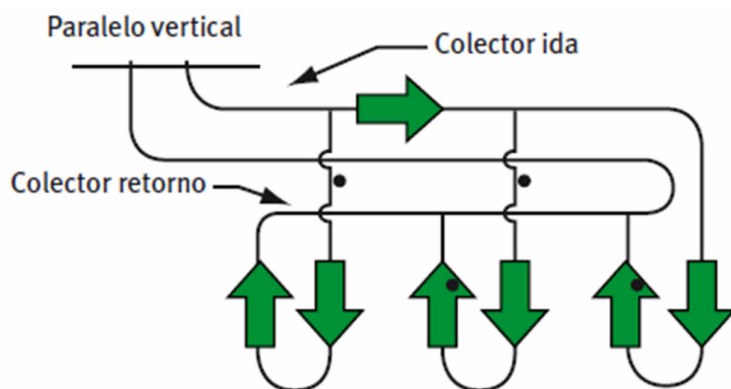


Figura 42. Red vertical en paralelo. Fuente: [45].

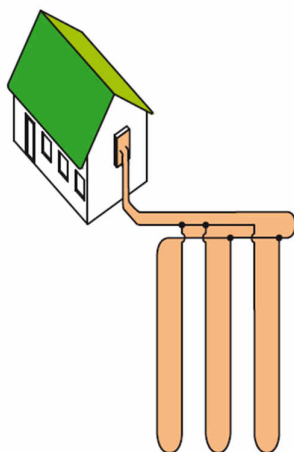


Figura 43. Red vertical en paralelo. Fuente: [45].

A diferencia de las redes de captación horizontal, las instalaciones verticales requieren de conexiones de tuberías, cuyo tipo de configuración se describe a continuación.

#### 4.2.2.3 Tipos de conexiones: Simple U

Consiste en un par de tubos rectos de diámetros comprendidos entre  $\frac{3}{4}$ " y  $1\frac{1}{2}$ ", conectados con un cambio de sentido en forma de U en la parte inferior.



Single U-pipe  
Pipe diameter=25-32 mm  
Width=50-70 mm



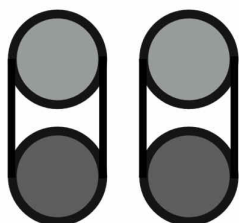
**Figura 44. Conexión simple U. Fuente: [46].**

#### 4.2.2.4 Tipos de conexiones: Doble U

Esta configuración es similar a la anterior, pero con la diferencia de que en una misma perforación se instalan dos o más tubos en U separados a una distancia adecuada, con el fin de evitar la influencia térmica entre ramales.

En la Figura 45 aparecen sombreados los conductos por los que el fluido discurre en el mismo sentido.

Double U-pipe  
Pipe diameter = 25-32 mm  
Max. Width = 70-80 mm



**Figura 45. Conexión doble U. Fuente: [46].**

#### 4.2.2.5 Tipos de conexiones: Coaxial

En las tuberías coaxiales, el fluido caloportador ingresa por el tubo principal hasta alcanzar la zona de mayor profundidad, retornando posteriormente por la tubería exterior cuya sección tiene forma de corona circular, en el caso de una configuración simple, o de varios tubos exteriores de menor diámetro, en el caso de un tubo coaxial compuesto (Figura 46).

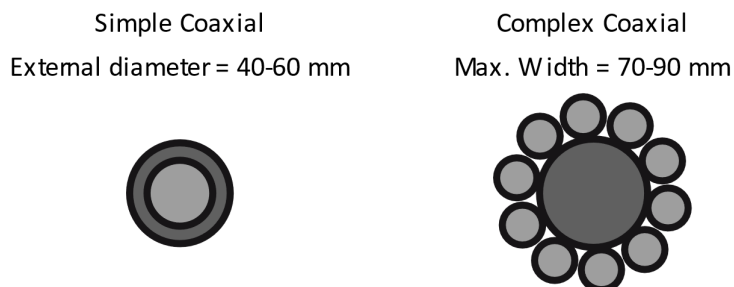


Figura 46. Tubo coaxial simple y complejo. Fuente: [46].

### 4.2.3 Intercambiadores sumergidos

Este tipo de instalaciones pueden realizarse cuando se dispone de una gran masa de agua como un lago, estanque o un río, pudiendo sumergir el sistema de tuberías para aumentar la eficiencia de la transferencia de calor. Respecto a las instalaciones de red vertical, esta opción resulta tener un menor costo debido a que no es necesario el proceso de excavación [48].

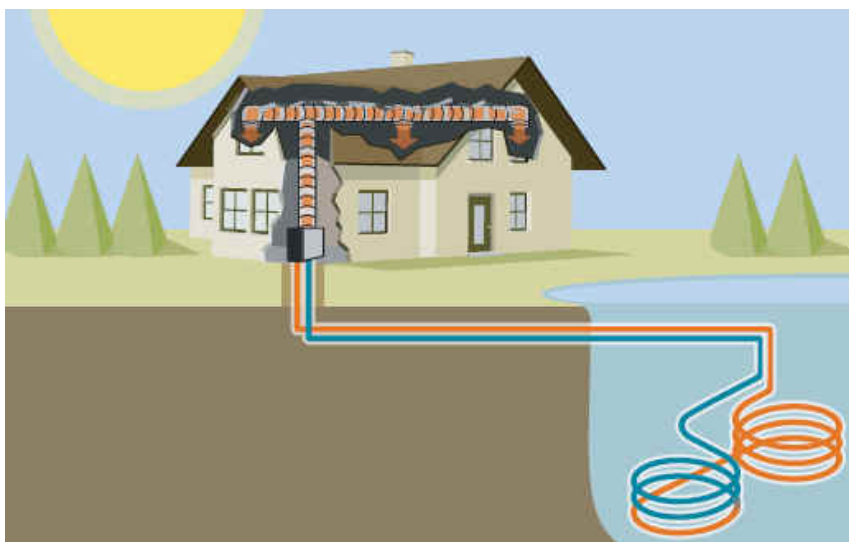


Figura 47. Esquema de captación cerrada con intercambiadores sumergidos. Fuente: [49].

### 4.2.4 Intercambiadores “Slinky”

En el caso de no disponer de suficiente terreno, se puede colocar el tubo en espiral, en una disposición llamada “*Slinky*” o “rizada”. Con ello, se instala la mayor cantidad de tuberías con la menor excavación posible (Figura 48). Para esta configuración existen dos variantes: la tipología rizada en dirección horizontal y la tipología rizada en dirección vertical, donde a través de esta última es posible conseguir el mayor rendimiento de transferencia térmica posible para la mínima área de terreno, mientras que el costo de ejecución es mayor debido a la mayor profundidad de excavación.



**Figura 48. Intercambiadores *Slinky*: tipología rizada horizontal a la izquierda y tipología rizada vertical a la derecha. Fuente: [46].**

#### 4.2.5 Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos consisten de sistemas que combinan diferentes configuraciones y/o tecnologías, y cuyo fin es mejorar el rendimiento global y las condiciones de operación de la instalación.

##### 4.2.5.1 Circuito cerrado con estanque de enfriamiento suplementario

En situaciones en las que se disponga de acumulaciones de agua, el sistema principal de intercambio, en configuración vertical, se puede apoyar con un intercambiador sumergido como el descrito en la subsección anterior. De esta forma, se evita que el sobrecalentamiento del terreno provoque una disminución de la eficiencia del sistema de climatización.

##### 4.2.5.2 Circuito cerrado apoyado por colector solar

En zonas donde la temperatura ambiente suele ser reducida, al sistema de tubos enterrados se puede introducir un colector solar térmico, de manera que se reduce el área de transferencia requerida e incrementa la eficiencia de la bomba de calor. En la mayoría de los casos, el colector solar térmico puede ser conectado directamente al lazo de tuberías enterradas.

##### 4.2.5.3 Lazo cerrado conectado con torre de enfriamiento

La torre de refrigeración integrada en el sistema geotérmico es una alternativa a considerar en el caso de no disponer de una masa de agua disponible. En esta configuración, la torre de enfriamiento puede ser conectada directamente al circuito cerrado vertical o mediante un intercambiador intermedio.

El modo de operación seguido es impulsar agua hacia los conductos enterrados cuando la temperatura del terreno sea inferior a la temperatura húmeda del aire que circunda la torre de refrigeración (periodo central del día), mientras que se hace pasar por la torre de refrigeración en la situación inversa (periodo nocturno). Con ello se consigue un aumento de la eficiencia diaria y por tanto anual, del sistema de climatización [46].

### 4.3 Circuito Abierto

Las bombas de calor de ciclo abierto se caracterizan por utilizar agua superficial o aguas freáticas como fuentes de transporte de calor para suministrar calefacción, refrigeración y/o producción de agua caliente sanitaria. Estos sistemas en general son implementados en instalaciones de gran escala como hoteles, hospitales, edificios, e inclusive en sistemas de calefacción distrital. Se tiene un registro de diferentes casos donde las fuentes hídricas utilizadas han sido el agua de mar, agua de río, agua de lago e incluso agua residual.

Esta tipología de bomba de calor se clasifica en dos: los sistemas agua-aire y los sistemas agua-agua. Estos últimos emplean dos circuitos hidráulicos los cuales interactúan entre sí a través del ciclo de refrigeración, donde, uno de ellos corresponde a la fuente con la que se intercambia el calor y el otro corresponde a la instalación de los espacios afines a climatizar. Con este tipo de configuración, es posible además producir agua caliente sanitaria. Por otro lado, los equipos agua-aire utilizan una batería interior y un intercambiador refrigerante-agua exterior, de forma que absorben calor desde la fuente hidráulica en modo de producción de calor, o la disipan a estos mismos sistemas en modo de producción de frío. El propósito final de este tipo de sistemas es climatizar.

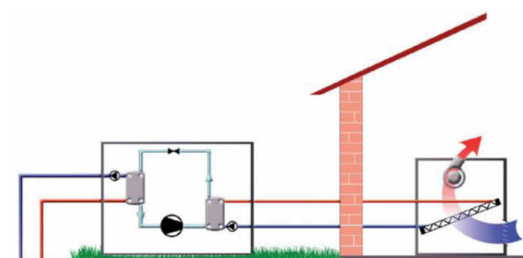


Figura 49. Circuito abierto agua-agua. Fuente: [50].

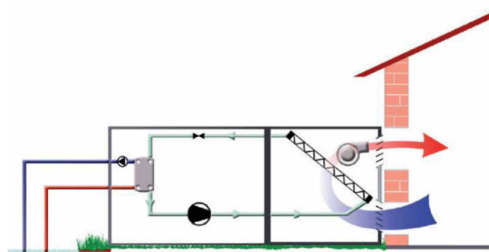
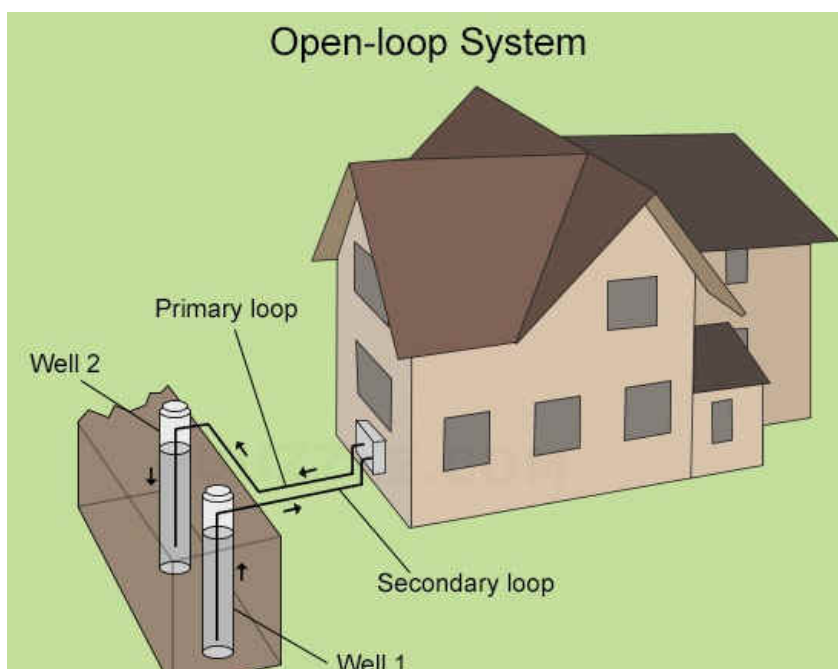


Figura 50. Circuito abierto agua-aire. Fuente: [50].

En la Figura 51 se muestra la configuración de un circuito abierto que opera en base a agua subterránea. En estos sistemas se requieren 2 pozos, uno de producción y otro de inyección de agua, donde la distancia que los separa debe ser determinada de tal manera, que se maximice el aprovechamiento de energía térmica suministrada por la superficie. La principal aplicación de esta configuración son las bombas de calor condensadas por agua subterránea. En ellas, la diferencia entre las temperaturas que limitan el proceso de calefacción, es decir, la temperatura de evaporación y

condensación se reduce debido al decremento de la temperatura del medio contra el que se cede la energía térmica. Con ello, se aumenta la eficiencia de la bomba de calor y, en consecuencia, el costo energético se reduce.



**Figura 51. Circuito abierto que opera en base a agua subterránea. Fuente: [51].**

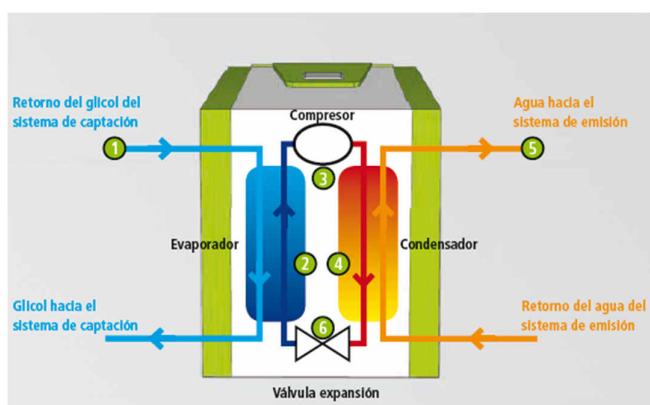
Las desventajas de un sistema de bomba de calor que opera en base a fuentes hídricas naturales incluyen la necesidad de cumplir con los desafíos de ingeniería adicionales de tratar con fluidos que pueden contener residuos, valores de pH inestables o crecimiento biológico. En el caso de no llevar a cabo una implementación adecuada, es posible afectar a mediano y largo plazo las condiciones de la transferencia térmica entre la fuente hídrica y el ciclo frigorífico de la bomba de calor, afectando con ello el rendimiento del sistema completo. Por otro lado, para ejecutar este tipo de proyectos es necesario cumplir con normativas y permisos que dificultan el desarrollo de estos.

#### 4.4 Otras Generalidades

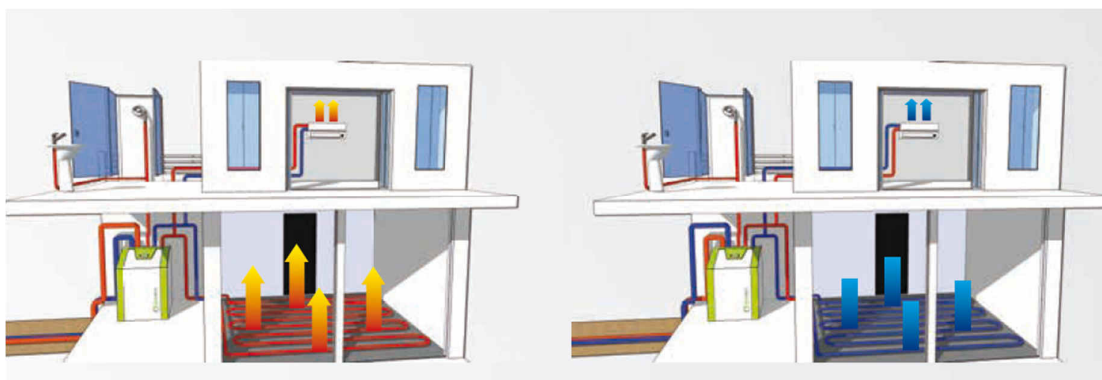
Generalmente, las bombas de calor geotérmicas utilizan agua como fluido intermedio para llevar a cabo el proceso de calefacción, refrigeración y/ producción de agua caliente sanitaria. Al igual que los sistemas aerotérmicos aire-agua, las unidades terminales de estos sistemas son:

- Suelo radiante
- Radiadores
- *Fancoils*

A nivel residencial de pequeña escala por lo general se utilizan sistemas de captación horizontal y vertical, y cuya función puede ser climatizar ambientes y además producir agua caliente sanitaria de manera múltiple. A continuación, la Figura 52 muestra el esquema de una bomba geotérmica comercial de marca ECOFOREST y la Figura 53 muestra las aplicaciones que ésta puede tener en el área doméstica cuya potencia puede ir desde 5 a 20 kW. Por otro lado, a nivel residencial de gran escala, los sistemas geotérmicos se utilizan para climatizar ambientes o para suministrar agua caliente sanitaria mediante la tecnología de captación vertical o a través de sistemas abiertos cuya potencia puede ir desde los 20 kW a los 100 kW. Con estos últimos además, es posible operar sistemas de calefacción distrital con una potencia que puede superar los MW.



**Figura 52. Principio de operación de una bomba geotérmica. Fuente: [41].**



**Figura 53. Entrega de calefacción, calefacción y producción de ACS a partir de un sistema de bomba de calor geotérmico. Fuente: [41].**

En el área comercial e industrial, las bombas de calor pueden ser de captación vertical y de circuito abierto con las cuales es posible alcanzar potencias de 20 a 100 kW. Por otro lado, las áreas que requieran mayor potencia utilizan preferentemente las bombas de calor geotérmicas de circuito abierto con las que es posible suministrar una potencia térmica o frigorífica superior a los 100 kW.

## 5. Casos de Éxito

A continuación, se presentan casos reales de calefacción a partir de bombas de calor utilizadas en aplicaciones de gran requerimiento térmico, donde se destaca el tipo de recurso utilizado por la bomba de calor.

### 5.1 Casos a Nivel Internacional

#### Sistema de calefacción distrital I de Bergheim

La ciudad de Bergheim está situada en el oeste de Alemania y tiene una población de aproximadamente 2.000 habitantes con una densidad menor a 100 habitantes por kilómetro cuadrado. Una mina de lignito está ubicada en la proximidad de la ciudad, donde el agua residual de los distintos procesos se utiliza actualmente para suministrar calefacción al sistema distrital local mediante el uso de dos bombas de calor. El agua que originalmente se encuentra a 26°C, finaliza el proceso de transporte térmico alcanzando los 10°C. Las dos bombas de calor utilizan refrigerante R134a, el cual corresponde a un hidrofluorocarbono con bajo GWP y el cual puede proporcionar temperaturas de suministro de aproximadamente 55 a 60°C, logrando con ello un COP de 4,4. La primera unidad inició su operación en marzo de 2014 y dado su éxito, la segunda unidad se instaló a principios de 2015. Ahora, el sistema distrital proporciona calefacción a las oficinas de Ertverband, la cual cuenta con 500 empleados aproximadamente. Con este sistema, ha sido posible ahorrar 58.000 euros al año [52].



**Figura 54. Bombas de calor geotérmicas implementadas en el sistema de calefacción distrital de Bergheim, Alemania. Fuente: [52].**

#### Sistema de calefacción distrital de Drammen

La ciudad de Drammen se encuentra ubicada en la capital de Noruega. En esta el número de habitantes supera los 63.000, donde su densidad respectiva es de 421 habitantes por kilómetro cuadrado. Es una ciudad que ha recibido distintos premios referentes al cuidado medioambiental y por su desarrollo urbano, donde se incluye en este último el sistema distrital que opera en base a bombas de calor el cual ha estado



operativo desde el 2010. Las tres unidades de bombas de calor utilizan el agua de alta mar a 8°C del fiordo para entregar una temperatura cercana a 90°C, donde es posible alcanzar un COP sobre 3. El refrigerante utilizado es amoníaco que posee una mayor eficiencia en comparación a otros refrigerantes. Con estas tres unidades es posible cubrir el 85% de la demanda de calefacción urbana, donde el resto es suministrado a partir de calderas que operan en base a petróleo. Este sistema ahorra hasta 6,7 millones de litros de combustibles al año. Las características técnicas de este sistema se indican a continuación:

- Capacidad térmica: 13,2 MW
- COP: 3,05
- Refrigerante: R717
- Fuente térmica: Agua de río que ingresa a 8°C y sale a 4°C
- Temperatura suministrada: flujo a 90°C, retorno a 60°C (agua caliente)



**Figura 55. Bombas de calor geotérmicas que operan en el sistema de calefacción distrital en la ciudad de Drammen, Noruega. Fuente: [52].**

### **Sistema de calefacción distrital en la ciudad de Skjern**

La ciudad de Skjern está localizada en el oeste de Jutlandia, Dinamarca, y tiene una población de aproximadamente 8.000 habitantes. En diciembre de 2014, la fábrica local de papel comenzó a entregar calor a la red de calefacción distrital local de la ciudad usando tres grandes bombas de calor con una capacidad de calefacción de 3,9 MW. Posteriormente se incluyó una cuarta unidad, con la cual se generan actualmente 5,2 MW. En este sistema, el agua de calefacción distrital se calienta de 37 a 70°C con temperaturas del aire de escape que varía entre 50 y 58 °C. Las altas temperaturas del aire permiten el intercambio directo de calor con el agua de circulación del sistema distrital, reduciendo su temperatura a 43°C. Este aire de menor temperatura se utiliza en las bombas de calor. Junto con el excedente directo de calor que distribuye, la planta suministra 8 MW térmicos cuyo coeficiente de rendimiento varía entre 6,5 a 7.

Las características de este sistema se muestran a continuación:



- Capacidad térmica: 5,3 MW
- COP: 6,7
- Refrigerante: R717
- Fuente térmica: Aire húmedo de 55°C a 30°C
- Temperatura suministrada: agua caliente a 40°C, flujo de retorno a 70°C.



**Figura 56. Bomba de calor aerotérmica de 1,3 MW térmicos que opera en el sistema de calefacción distrital de Jutlandia Occidental, Dinamarca. Fuente: [52].**

### **Sistema de calefacción distrital en Fornebu**

En 2012, Oslofjord Varme AS marcó un hito con el primer proyecto de calefacción distrital de Europa basado en dos bombas de calor agua/agua UCITOP 43/28 que utilizan un refrigerante de bajo GWP, HFO-1234ze. El proveedor de las bombas de calor fue Friothers AG, Suiza.

El aumento en la demanda de calefacción y refrigeración en Fornebu (Noruega) implicó la construcción de la planta de bomba de calor Rolfsbukta, la cual opera en el sótano de un hotel desde 2012. En este se encuentran dos bombas de calor, cada una con capacidades de 8 MW de calefacción y 10 MW de refrigeración. Junto a la instalación de la bomba de calor, se encuentran dos calderas con una capacidad de 20 MW para cubrir la demanda máxima y para fines de repuesto. En total, la instalación puede suministrar 36 MW de calor y hasta 20 MW de refrigeración. La fuente de calor para las bombas de calor es el agua de mar extraída a 30 metros de profundidad aproximadamente.

Asimismo, como respuesta a las regulaciones medioambientales cada vez más restrictivas en el uso de refrigerantes, se decidió utilizar un nuevo fluido de trabajo en el desarrollo de este proyecto, HFO-1234ze. La sociedad de clasificación Norske Veritas fue contratada por Oslofjord Varme para llevar a cabo el análisis de riesgo de utilizar este nuevo refrigerante para esta planta.

Las características técnicas corresponden a:

- Capacidad térmica: 16 MW
- Capacidad de refrigeración: 20 MW
- COP: 4,4
- Refrigerante: HFO-1234ze
- Fuente térmica: 2 x UNITOP 43/28 agua
- Temperatura suministrada: 75°C.
- Proveedor: Friotherm



**Figura 57. Bomba de calor geotérmica que produce agua caliente a 75°C para el sistema de calefacción distrital de Fornebu, Noruega. Fuente: [52].**

### **Implementación realizada en la Universidad de Borgoña**

La Universidad de Borgoña se encuentra en Dijon, entre París y Lyon, y recibe a 27.000 estudiantes cada año. Para suministrar calefacción a los edificios en el campus de 115 hectáreas, la institución optó por una solución altamente ecológica al reutilizar la energía residual descargada por el sistema de enfriamiento del centro de datos. Como la carga de calefacción y refrigeración se utiliza al mismo tiempo, la universidad implementó una bomba de calor de alta temperatura provista por Ochsner donde se llevan a cabo ambas funciones: en invierno se refrigera el centro de datos, donde el calor residual es utilizado para dar calefacción a las dependencias del edificio; por otro lado, en verano, el calor producto de la refrigeración del *Data Center* es utilizado para producir agua caliente en las cocinas de la universidad. Con una capacidad de calefacción de 420 y una capacidad de enfriamiento de 255 kW, la bomba de calor contribuye a ahorrar 117 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Con una temperatura de 90°C y utilizando simultáneamente las funciones de enfriamiento y calentamiento, se obtiene un COP integrado de 4,2.



**Figura 58. Universidad de Borgoña, Francia. Fuente: [52].**



**Figura 59. Bomba de calor geotérmica de 420 kW térmicos que opera en el sistema de refrigeración, calefacción y producción de ACS en la Universidad de Borgoña, Francia. Fuente: [52].**

## 5.2 Casos a Nivel Nacional

### 5.2.1 Primera Central Distrital Geotérmica en Sudamérica

En el condominio Frankfurt ubicado en la ciudad de Temuco (Figura 60), se encuentran 34 viviendas unifamiliares a las que se le suministra calefacción por medio de una Central Distrital Geotérmica. A partir de este sistema, se produce agua caliente sanitaria y calefacción [53].

La potencia térmica entregada corresponde a 140 kW generados por dos bombas de calor (Figura 61) La temperatura del agua sanitaria corresponde a 42°C.



Figura 60. Condominio Frankfurt. Fuente: [53].

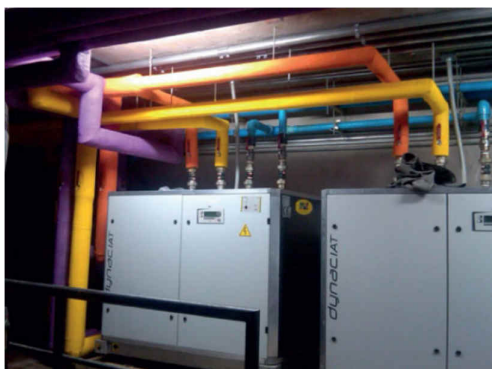


Figura 61. Bombas de calor geotérmicas que operan en el sistema de calefacción central. Fuente: [53].

### 5.2.2 Calefacción Geotérmica en Liceo Altos de Mackay

En el Liceo Altos de Mackay en la ciudad de Coyhaique se inició la implementación de un sistema de calefacción que operará en base a una bomba de calor geotérmica de ciclo abierto. El proyecto consta de la perforación de dos pozos, uno de extracción de 48 metros de profundidad y otro de 24 metros de profundidad, donde, a partir del primero se obtendrá agua geotérmica de aproximadamente 11°C la que se utilizará como fluido auxiliar para ebullición del refrigerante con el que opera la bomba de calor [54].



Figura 62. Estado de la ejecución del proyecto del Liceo Altos de Mackay. Fuente: [54].



### 5.2.3 Teatro del Lago

En este proyecto se implementó una bomba de calor de ciclo abierto que utiliza agua de lago para llevar a cabo la climatización del *Teatro del Lago*. A partir de este sistema, se produce agua fría y caliente que alimentan los circuitos de losa radiante y manejadoras de aire [55].



Figura 63. Teatro del Lago, Frutillar. Fuente: [56].

## 6. Clasificación de Tecnologías por Tamaño y Área de Negocio

La clasificación de los diferentes modelos de bombas de calor se ha realizado en base a dos parámetros principales: el tamaño en función de la potencia térmica que entregan y el área de negocio en el cual son utilizados. Respecto al primer parámetro, se han planteado tres rangos de potencia térmica (o frigorífica): 0-20 kW, 20-100 kW y >100 kW, rangos que representan sistemas de pequeño, mediano y gran tamaño, respectivamente. Cabe destacar que los límites de potencia propuestos se han definido con el fin de construir rangos representativos, sin embargo, estos solo obedecen a una categorización y no definen necesariamente a un estándar del mercado. Por otra parte, las áreas de negocio que se han considerado para este análisis han sido las siguientes: residencial unifamiliar, residencial plurifamiliar, comercial, industrial y el área de calefacción distrital. Esta clasificación se ha realizado para los equipos aerotérmicos y geotérmicos, tal como se indican en las secciones 6.1 y 6.2 respectivamente.

### 6.1 Bombas Aerotérmicas

**Tabla 1. Clasificación de Bombas Aerotérmicas por Área de Negocio y Potencia**

Tamaño \ Uso	0 – 20 kW	20 – 100 kW	> 100 kW
<b>Residenciales unifamiliares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo de ventana o muro (AA)</li> <li>- Split (AA)</li> <li>- Portátiles</li> <li>- Multi-Split (AA)</li> <li>- Equipo polivalente (AW y WW)</li> </ul>	---	---
<b>Residenciales multifamiliares</b>	---	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo polivalente (AW y WW)</li> <li>- Roof Top – GAS</li> <li>- Roof Top – ELEC</li> <li>- Sistema VRV – GAS</li> <li>- Sistema VRV – ELEC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo polivalente (AW y WW)</li> <li>- Roof Top – GAS</li> <li>- Roof Top – ELEC</li> <li>- Sistema VRV (sistemas de varias unidades pequeñas)</li> </ul>

<b>Comercial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Split (AA)</li> <li>- Autocontenido</li> <li>- Multi-Split (AA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Roof Top – GAS</li> <li>- Roof Top – ELEC</li> <li>- Sistema VRV – GAS</li> <li>- Sistema VRV – ELEC</li> <li>- Unidades comerciales separadas (AA)</li> <li>- Chiller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Roof Top – GAS</li> <li>- Roof Top – ELEC</li> <li>- Sistema VRV (sistemas de varias unidades pequeñas)</li> <li>- Chiller</li> </ul>
<b>Industrial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autocontenido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Roof Top</li> <li>- Unidades comerciales separadas (AA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Roof Top</li> <li>- Chiller para climatización</li> <li>- Chiller para uso industrial (AW)</li> </ul>
<b>District Heating</b>	- -	Bombas de calor aerotérmicas aire-agua que utilizan calor residual.	Bombas de calor aerotérmicas aire-agua que utilizan calor residual.

La nomenclatura AA indica un sistema aire-aire, AW indica un sistema aire-agua y WW un sistema agua-agua.

## 6.2 Bombas Geotérmicas

La clasificación de bombas geotérmicas por área de negocio y tamaño en base a potencia se muestra en la Tabla 2. En esta última se realiza la clasificación en función del tipo de captación a diferencia de lo realizado para los sistemas aerotérmicos donde se realizó la clasificación por tecnología. Esto se explica debido a que, prácticamente, en la mayoría de los casos la bomba de calor geotérmica consiste en un equipo compacto o autocontenido que transporta la energía térmica desde el sistema de captación hacia un circuito de agua (sistema de expansión indirecta tierra-agua o agua-agua).

**Tabla 2. Clasificación de Bombas Geotérmicas por Área de Negocio y Potencia.**

Tamaño \ Uso	0 – 20 kW	20 – 100 kW	> 100 kW
<b>Residenciales unifamiliares</b>	<p>GSHP cerradas con captación horizontal.</p> <p>GSHP cerradas con captación vertical.</p> <p>GSHP de ciclo abierto (equipos autocontenidos)</p>	----	---
<b>Residenciales multifamiliares</b>	---	<p>GSHP cerradas con captación vertical.</p> <p>GSHP de ciclo abierto agua-agua.</p>	<p>GSHP cerradas con captación vertical.</p> <p>GSHP de ciclo abierto agua-agua.</p>
<b>Comercial</b>	<p>GSHP con captación vertical.</p> <p>(equipos autocontenidos)</p>	<p>GSHP cerradas con captación vertical.</p> <p>GSHP de ciclo abierto agua agua.</p> <p>(autocontenidos y unidades comerciales separadas)</p>	<p>GSHP cerradas con captación vertical</p> <p>GSHP de ciclo abierto agua-agua.</p> <p>(autocontenidos y unidades comerciales separadas)</p>
<b>Industrial</b>	<p>GSHP con captación vertical.</p> <p>(equipos autocontenidos)</p>	<p>GSHP cerradas con captación vertical.</p> <p>GSHP de ciclo abierto agua agua.</p> <p>(autocontenidos y unidades comerciales separadas)</p>	<p>GSHP de ciclo abierto sistema agua-agua.</p> <p>(autocontenidos y unidades comerciales separadas)</p>
<b>District Heating</b>	--	<p>GSHP ciclo abierto sistema agua-agua</p> <p>(autocontenidos y unidades comerciales separadas)</p>	<p>GSHP ciclo abierto sistema agua-agua.</p> <p>(autocontenidos y unidades comerciales separadas)</p>



## 7. Caracterización Cadena de Valor

La cadena de valor es una herramienta usada comúnmente en el ámbito empresarial para desarrollar un análisis estratégico de una empresa, de un producto o de un servicio con el fin de ayudar a determinar en que se basa la ventaja competitiva o el valor de la empresa, producto o servicio.

En el contexto del estudio de mercado de bombas de calor, esta cadena de valor se entiende como una herramienta que permita definir y agregar valor a toda la cadena de suministro y de servicios necesarios para que un proyecto en base a bombas de calor pueda materializarse, desde su concepción y planificación, pasando por su instalación hasta su operación y mantenimiento. Así también esta cadena de valor debe tener los elementos necesarios para que sea posible diagnosticar la posición de la tecnología respecto de otras tecnologías competidoras y de definir las diferentes acciones factibles a desarrollar para mejorar sus ventajas competitivas sobre otras alternativas de climatización, refrigeración y calefacción disponibles en el mercado.

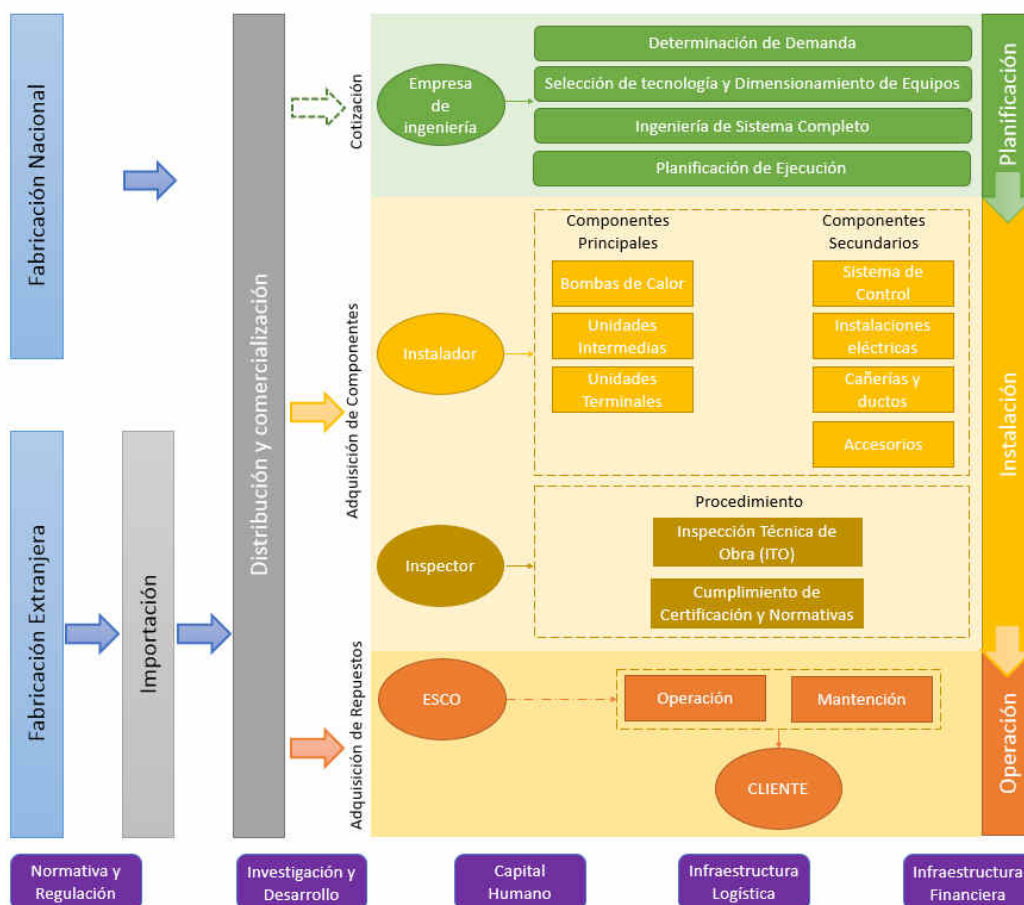
### 7.1 Esquematización de la Cadena de Valor

Las cadenas de valor contemplan, en base a un esquema y diagrama de flujos, una serie de actividades o recursos que agregan valor, en este caso, a la tecnología de bombas de calor. Estas actividades se suelen dividir en dos grandes grupos: **las actividades primarias**, necesarias para que un proyecto de bombas de calor se materialice y las **de apoyo**, que no generan valor en forma directa en la cadena, pero que son transversales y que permiten que las actividades primarias se materialicen.

Para llevar a cabo la caracterización de la cadena de valor asociada a los sistemas aerotérmicos y geotérmicos, se ha propuesto un esquema centrado en las tres fases principales de un proyecto de este tipo. Éstas son: planificación, instalación y operación/mantenimiento de estas tecnologías. Y en cada una de estas etapas, se ha identificado una actividad/recurso o un conjunto de éstos que dan lugar a estas distintas fases.

#### 7.1.1 Cadena de Valor Aerotérmica

La Figura 64 muestra esquemáticamente la cadena de valor genérica que se ha trabajado para la tecnología de bombas de calor aerotérmica.



**Figura 64. Cadena de Valor Aerotérmica**

Esta esquematización de la cadena de valor se compone de 3 áreas diferenciadas:

1. **Área de Fabricación-Distribución:** Ubicada a la izquierda del esquema, contempla la cadena de suministro propia de los equipos, tecnologías y accesorios que formarán parte de un proyecto de aerotermia. Se inicia a la izquierda con los fabricantes que pueden ser extranjeros y nacionales para pasar a la importación, distribución y comercialización de los productos. Estos productos finales luego conversan con el área de Proyecto en sus diferentes fases, por este motivo se considera como un área transversal a la ejecución de un proyecto aerotérmico. La descripción de cada componente se explicita en la Tabla 3.
2. **Área de Proyecto:** Esta área contempla la cadena de valor propia de ejecución de un proyecto real de aerotermia. Se compone de 3 fases que se aprecian en el eje vertical, en donde la planificación se identifica en color verde, la instalación (obra) en color amarillo y la operación en color rojo. En cada fase se contempla un actor principal que normalmente lleva a cabo las diferentes actividades que se señalan en los restantes cuadros gráficos de cada fase. En la Tabla 4 se identifican en detalle cada uno de estos actores y cada una de estas actividades o recursos primarios.

3. **Área de Actividades o Recursos de Apoyo:** Se identifican en color morado en la parte baja del esquema. Estas actividades o recursos de apoyo transversales de toda cadena de valor vienen a asistir a las restantes actividades y recursos primarios para su buen desempeño. En el marco de un mercado tecnológico de bombas de calor aerotérmico, se han considerado las siguientes: Normativas y Regulación; Investigación y Desarrollo; Capital Humano, Infraestructura Logística e Infraestructura Financiera. Éstas se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 3. Descripción del área de fabricación-distribución de la cadena de valor aerotérmica.**

Actividad / Recurso	Descripción
1. Fabricación Extranjera	<p>Corresponde a los fabricantes tanto de bombas de calor como también de unidades intermedias, unidades terminales y componentes secundarios requeridos para el desarrollo de proyectos aerotérmicos.</p> <p>Los fabricantes tienen una relevancia importante en el mercado nacional, ya que gran parte de los componentes principales de un sistema de bomba de calor aerotérmico es fabricado fuera del país.</p> <p>Esto es el común de la realidad del mercado tanto para las bombas de calor, como las unidades intermedias como las unidades terminales: radiadores, fancoils, entre otras.</p> <p>También es un hecho que buena parte de los componentes secundarios son fabricados en otros países, observándose en algunos casos que solo el armado de los equipos se realiza en Chile.</p> <p>Finalmente, como el mercado internacional se rige por los precios globales de cada componente, los costos asociados a estos elementos estarán influenciados fuertemente por la demanda de los distribuidores nacionales, y por ende de la demanda de estos proyectos.</p>
2. Fabricación Nacional	<p>Corresponde a fabricantes chilenos que desarrollan algunos productos necesarios para un sistema aerotérmico. Éstos principalmente se dividen en dos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Fabricantes de elementos específicos secundarios</u> como ductos, cañerías plásticas y metálicas, aislamiento térmico, algunos tipos de valvulerías, intercambiadores de calor, recuperadores de calor, entre otros elementos. Incluso se pueden observar en menor medida algunos fabricantes de unidades intermedias como UMAs y terminales como radiadores y hasta fancoils.</li> <li>2. <u>Armadores de equipos</u>, son empresas que importan los elementos principales, en particular los compresores y</li> </ol>

Actividad / Recurso	Descripción
	<p>arman en el país las bombas de calor a la medida. Estas empresas son de relevancia en aplicaciones industriales donde incluso no se encapsulan en un producto cerrado, sino que instalan los equipos directamente por partes. Así también existen empresas que arman equipos cerrados importando componentes de diferentes partes y/o con piezas fabricadas directamente en el país. Esta situación es muy común por ejemplo en unidades intermedias como son las Unidades Manejadoras de Aire que en buena parte se fabrican en Chile.</p>
3. Importación	<p>Quienes se encargan de importar los productos fabricados fuera de Chile. Generalmente corresponden a los mismos que actúan posteriormente como distribuidores.</p>
4. Distribución y Comercialización	<p>Este grupo contempla principalmente a estos dos actores que en muchas ocasiones corresponden a una misma empresa. Y se encargan de distribuir y comercializar productos tanto fabricados en Chile como en el extranjero.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Distribuidores</u>: Son generalmente los que importan los diferentes productos y los ofrecen a comercializadores de menor tamaño. Buena parte de estos actores no tienen venta directa a público sino solo a otras empresas o instaladores. Generalmente, los distribuidores de componentes principales como las propias bombas de calor y unidades intermedias y terminales, no comercializan directamente los productos que distribuyen.</li> <li>2. <u>Comercializadores</u>: Son quienes venden los componentes tanto principales como secundarios a los clientes finales y/o instaladores. Por lo general, los comercializadores venden productos importados y distribuidos por varios otros actores.</li> </ol>

**Tabla 4. Descripción del área de proyecto de la cadena de valor aerotérmica.**

Fase	Actor Clave	Actividad / Recurso
Planificación de un proyecto	Empresa de Ingeniería y/o Consultora	<p><b>1. Determinación de la Demanda:</b></p> <p>Actividad inicial en interacción con el cliente para recoger las necesidades energéticas a satisfacer por un proyecto de bomba de calor aerotérmico.</p>

Fase	Actor Clave	Actividad / Recurso
	Este actor interactúa con las Distribuidoras y Comercializadoras solicitándoles cotizaciones para elaborar los presupuestos de los proyectos.  No hay flujo físico de productos, pero sí de información.	<p><b>2. Selección de Tecnología y Dimensionamiento de Equipos:</b></p> <p>En base a la determinación de demanda se trabaja en la selección de la tecnología aerotérmica y se dimensionan sus principales componentes.</p>
		<p><b>3. Ingeniería de Sistema:</b></p> <p>Actividad en donde se desarrolla la ingeniería del proyecto para dimensionar cada uno de los elementos tanto principales como secundarios del proyecto. Considera la elaboración del presupuesto del proyecto.</p>
		<p><b>4. Planificación de Ejecución:</b></p> <p>Definida la ingeniería, esta última etapa de la cadena de valor de la Fase de Planificación contempla la programación de las obras de instalación del sistema aerotérmico.</p>
		<p><b>5. Instalación de Componentes Principales:</b></p> <p>Dentro de los equipos principales a instalar están la propia bomba de calor, las unidades intermedias como Unidades Manejadoras de Aire, Recuperadores e Intercambiadores de Calor, Equipos de Bombeo, Torres de Enfriamiento y Ventiladores; y las unidades terminales como radiadores, fancoils, vigas frías, losas radiantes, entre otras.</p>
Instalación del Proyecto (Obra)	Empresa Instaladora / Constructora	<p><b>6. Instalación de Componentes Secundarios:</b></p> <p>Dentro de los equipos secundarios a instalar en un proyecto de aerotermia están los sistemas de control, las instalaciones eléctricas, las cañerías, ductos, válvulas, rejillas, sensores, entre otros.</p>
	Inspector Técnico de Obra (ITO)	<p><b>7. Inspección y supervisión técnica de la obra:</b></p> <p>Figura especializada técnicamente que supervisa el trabajo de la empresa instaladora y vela porque la ejecución del proyecto sea fiel al</p>

Fase	Actor Clave	Actividad / Recurso
	Este actor no interactúa directamente con las Distribuidoras y Comercializadoras	<p>proyecto planificado y diseñado a nivel de ingeniería.</p> <hr/> <p><b>8. Cumplimiento de Certificación y Normativas:</b></p> <p>Todo el conjunto de actividades que permitan garantizar el cumplimiento de las certificaciones y normativas vigentes. Se incluyen aquí la prevención de riesgos, la verificación de cumplimiento de certificaciones eléctricas, de gas, de equipos, etc.</p>
Operación del Proyecto	<p>Empresa ESCO (opcional)</p> <hr/> <p>Empresa de Operación y Mantenimiento</p> <hr/> <p>Cliente</p> <hr/> <p>Interacción directa con las Distribuidoras y Comercializadoras para los repuestos y reposición de equipos dañados o fuera de su vida útil</p>	<p><b>9. Operación:</b></p> <p>Actividades propias de la operación de un sistema de aerotermia.</p> <hr/> <p><b>10. Mantención:</b></p> <p>Actividades de mantención preventivas y correctivas que garanticen el buen funcionamiento de un sistema de bombas de calor aerotérmicas durante toda la vida útil de la instalación.</p> <hr/> <p><b>11. Venta de Energía:</b></p> <p>En el caso proyectos en modalidad ESCO, existe también la figura de venta y facturación por la energía generada por un sistema aerotérmico.</p>

**Tabla 5. Descripción del área de actividades/recursos de apoyo de la cadena de valor aerotérmica.**

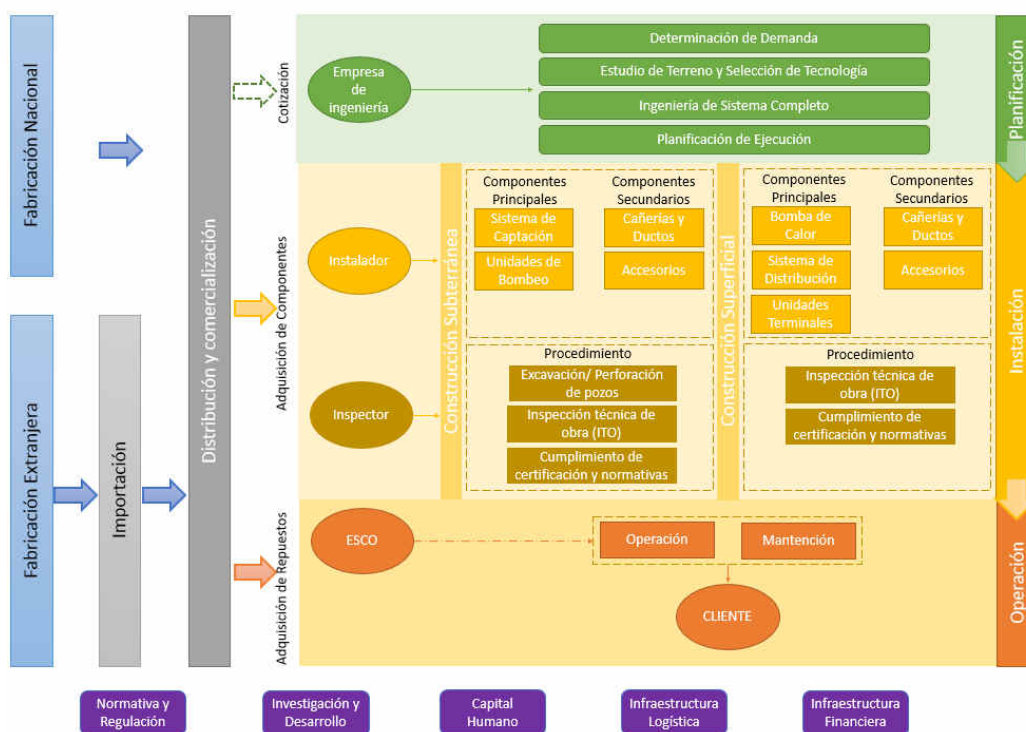
Actividad / Recurso	Descripción
Normativa y Regulación	Conjunto de normas, reglamentaciones y certificaciones requeridas para un correcto desarrollo de un proyecto de aerotermia. Incluye certificación de equipos, de profesionales y de instalaciones. También se incluyen en este ámbito los acuerdos de libre comercio firmados por Chile con prácticamente todos los mercados del mundo para facilitar la importación/exportación de tecnologías.

Actividad / Recurso	Descripción
Investigación y Desarrollo	Conjunto de actividades de investigación, desarrollo, innovación y fomento de las tecnologías de bombas de calor aerotérmicas. Este trabajo incluye estudios, reportes e investigaciones encargadas por organismos públicos, universidades y centros de investigación.
Capital Humano	Conjunto de profesionales y técnicos capacitados que forman parte del mercado de las bombas de calor aerotérmicas. Se incluyen en este grupo también a universidades y centros de formación técnica que forman al capital humano necesario para la realización de este tipo de proyectos.
Infraestructura Logística	Conjunto de elementos de la cadena logística que permiten el desarrollo de proyectos de aerotermia en el país. Se incluyen en este recurso al transporte terrestre, marítimo y aéreo que permiten la libre circulación de equipos y tecnologías nacionales e importadas. También se incluye la capacidad de almacenamiento de tecnologías para su disposición en el mercado.
Infraestructura Financiera	Conjunto de instrumentos financieros y actores del sector económico y bancario que permiten el apalancamiento de proyectos de bombas de calor. Así también conjunto de actores e inversionistas potenciales a desarrollar proyectos en modalidad ESCO.

### 7.1.2 Cadena de Valor Geotérmica

La Figura 65 muestra esquemáticamente la cadena de valor genérica que se ha trabajado para la tecnología de bombas de calor geotérmica.

La esquematización de la cadena de valor geotérmica se mantiene bastante similar al de la aerotermia con la diferencia de observarse una subdivisión de la fase de operación en Construcción Superficial, que corresponde a todas las instalaciones sobre la superficie, similares a la propia aerotermia, y las de Construcción Subterránea, que corresponde a todas las instalaciones específicas bajo tierra para el intercambio de calor contra el terreno o freático.



**Figura 65. Cadena de Valor Geotérmica**

Entonces, al igual que para la geotermia, la esquematización de la cadena de valor se compone de 3 áreas diferenciadas:

1. **Área de Fabricación-Distribución:** Ubicada a la izquierda del esquema, contempla la cadena de suministro propia de los equipos, tecnologías y accesorios que formarán parte de un proyecto de geotermia. Se inicia a la izquierda con los fabricantes que pueden ser extranjeros y nacionales para pasar a la importación, distribución y comercialización de los productos. Estos productos finales luego conversan con el área de Proyecto en sus diferentes fases, por este motivo se considera como un área transversal a la ejecución de un proyecto geotérmico. La descripción de cada componente se explicita en la Tabla 6.
2. **Área de Proyecto:** Esta área contempla la cadena de valor propia de ejecución de un proyecto real de geotermia de baja entalpía. Se compone de 3 fases que se aprecian en el eje vertical, en donde la planificación se identifica en color verde, la instalación (obra) en color amarillo y la operación en color rojo. En cada fase se contempla un actor principal que normalmente lleva a cabo las diferentes actividades que se señalan en los restantes cuadros gráficos de cada fase. En la Tabla 7 se identifican en detalle cada uno de estos actores y cada una de estas actividades o recursos primarios.
3. **Área de Actividades o Recursos de Apoyo:** Se identifican en color morado en la parte baja del esquema. Estas actividades o recursos de apoyo



transversales de toda cadena de valor vienen a asistir a las restantes actividades y recursos primarios para su buen desempeño. En el marco de un mercado tecnológico de bombas de calor geotérmicas, se han considerado las siguientes: Normativas y Regulación; Investigación y Desarrollo; Capital Humano, Infraestructura Logística e Infraestructura Financiera. Éstas se detallan en la Tabla 8.

**Tabla 6. Descripción del área de fabricación-distribución de la cadena de valor geotérmica.**

Actividad / Recurso	Descripción
1. Fabricación Extranjera	<p>Corresponde a los fabricantes tanto de bombas de calor como también de unidades intermedias, unidades terminales y componentes secundarios requeridos para el desarrollo de proyectos geotérmicos.</p> <p>Los fabricantes tienen una relevancia importante en el mercado nacional, ya que gran prácticamente todos los componentes principales de un sistema de bomba de calor geotérmico son fabricados fuera del país.</p> <p>Para el caso de las unidades intermedias como las unidades terminales: radiadores, fancoils, entre otras, si existen más alternativas de fabricación nacional, pero el grueso sigue proviniendo del extranjero.</p> <p>Como los componentes secundarios son muy similares a los de la aerotermia, estos también por lo general son extranjeros, observándose en algunos casos que solo el armado de los equipos se realiza en Chile.</p> <p>Finalmente, como el mercado internacional se rige por los precios globales de cada componente, los costos asociados a estos elementos estarán influenciados fuertemente por la demanda de los distribuidores nacionales, y por ende de la demanda de estos proyectos.</p> <p>Por lo general, los equipos importados son de tipo autocontenidos, aunque también se importan equipos principales por separado, como por ejemplo, los compresores, para posteriormente armar las bombas de calor como unidades comerciales separadas.</p>
2. Fabricación Nacional	<p>Corresponde a fabricantes chilenos que desarrollan algunos productos necesarios para un sistema geotérmico. Éstos principalmente se dividen en dos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Fabricantes de elementos específicos secundarios</u> como ductos, cañerías plásticas y metálicas, aislamiento térmico, algunos tipos de valvulerías, intercambiadores de calor, recuperadores de calor, entre otros elementos. Incluso se pueden observar en menor medida algunos</li> </ol>

Actividad / Recurso	Descripción
	<p>fabricantes de unidades intermedias como UMAs y terminales como radiadores y hasta fancoils.</p> <p>2. <u>Armadores de equipos</u>, son empresas que importan los elementos principales, en particular los compresores y arman en el país las bombas de calor a la medida. En otras palabras, generan unidades comerciales separadas de venta a los clientes. En el caso de las bombas de calor geotérmicas, el armado de equipos principales es bastante menor al existente en el mercado de la aerotermia. Si se mantienen en importancia en relación a unidades intermedias como UMAs e intercambiadores.</p>
3. Importación	Quienes se encargan de importar los productos fabricados fuera de Chile. Generalmente corresponden a los mismos que actúan posteriormente como distribuidores.
4. Distribución y Comercialización	<p>Este grupo contempla principalmente a estos dos actores que en muchas ocasiones corresponden a una misma empresa. Y se encargan de distribuir y comercializar productos tanto fabricados en Chile como en el extranjero.</p> <p>1. <u>Distribuidores</u>: Son generalmente los que importan los diferentes productos y los ofrecen a comercializadores de menor tamaño. Buena parte de estos actores no tienen venta directa a público sino solo a otras empresas o instaladores. En particular para los componentes geotérmicos principales, se observa una menor cantidad de actores y por lo general, además de distribuidores actúan como comercializadores.</p> <p>2. <u>Comercializadores</u>: Son quienes venden los componentes tanto principales como secundarios a los clientes finales y/o instaladores.</p>

**Tabla 7. Descripción del área de proyecto de la cadena de valor geotérmica.**

Fase	Actor Clave	Actividad / Recurso
Planificación de un proyecto	<p>Empresa de Ingeniería y/o Consultora</p> <p>Este actor interactúa con las Distribuidoras y Comercializadoras</p>	<p><b>1. Determinación de la Demanda:</b></p> <p>Actividad inicial en interacción con el cliente para recoger las necesidades energéticas a satisfacer por un proyecto de bomba de calor geotérmico.</p>

Fase	Actor Clave	Actividad / Recurso
	solicitándoles cotizaciones para elaborar los presupuestos de los proyectos.	<b>2. Selección de Tecnología y Dimensionamiento de Equipos:</b> En base a la determinación de demanda se trabaja en la selección de la tecnología geotérmica y se dimensionan sus principales componentes.
	No hay flujo físico de productos, pero sí de información.	<b>3. Ingeniería de Sistema:</b> Actividad en donde se desarrolla la ingeniería del proyecto para dimensionar cada uno de los elementos tanto principales como secundarios del proyecto. Considera la elaboración del presupuesto del proyecto.
		<b>4. Planificación de Ejecución:</b> Definida la ingeniería, esta última etapa de la cadena de valor de la Fase de Planificación contempla la programación de las obras de instalación del sistema geotérmico.
Instalación del Proyecto (Obra)	Empresa Instaladora / Constructora  Este actor interactúa directamente con las Distribuidoras y Comercializadoras comprando y adquiriendo directamente los productos	<b>1. Instalación de Componentes Principales Superficiales:</b> Dentro de los equipos principales a instalar están la propia bomba de calor geotérmica, las unidades intermedias como Unidades Manejadoras de Aire, Recuperadores e Intercambiadores de Calor, Equipos de Bombeo, Torres de Enfriamiento y Ventiladores; y las unidades terminales como radiadores, fancoils, vigas frías, losas radiantes, entre otras.  Cabe señalar que las bombas de calor pueden ser de tipo autocontenidas o se pueden construir en base a unidades comerciales separadas.
		<b>2. Instalación de Componentes Secundarios Superficiales:</b> Dentro de los equipos secundarios a instalar en un proyecto de geotermia están los sistemas de control, las instalaciones eléctricas, las cañerías, ductos, válvulas, rejillas, sensores, y otros accesorios.
		<b>3. Instalación de Componentes Principales Subterráneos:</b> Dentro de los equipos principales a instalar bajo tierra están los sistemas de captación o intercambiadores con terreno y/o agua; y los

Fase	Actor Clave	Actividad / Recurso
		<p>equipos de bombeo necesarios para recircular el agua freática y/o el refrigerante en sistemas de lazo cerrado.</p> <hr/> <p><b>4. Instalación de Componentes Secundarios Subterráneos:</b> Dentro de los equipos secundarios a instalar bajo tierra se encuentran cañerías, ductos, válvulas, sensores, entre otros accesorios.</p> <hr/>
	<p>Instalador Principal o Subcontrato de Excavación de Pozos</p> <hr/>	<p><b>1. Excavación / Perforación de Pozos:</b> Actividad específica a realizar en proyectos geotérmicos. Consiste en las excavaciones para la incorporación de los intercambiadores de calor con la tierra o aguas superficiales o freáticas. Así también corresponde a las actividades de perforación de pozos para lazos verticales o lazos abiertos con pozos regenerativos de agua freática.</p> <hr/>
	<p>Inspector Técnico de Obra (ITO)</p> <p>Este actor no interactúa directamente con las Distribuidoras y Comercializadoras</p> <hr/>	<p><b>1. Inspección y supervisión técnica de la obra:</b> Figura especializada técnicamente que supervisa el trabajo de la empresa instaladora y vela porque la ejecución del proyecto sea fiel al proyecto planificado y diseñado a nivel de ingeniería.</p> <hr/> <p><b>2. Cumplimiento de Certificación y Normativas:</b> Todo el conjunto de actividades que permitan garantizar el cumplimiento de las certificaciones y normativas vigentes. Se incluyen aquí la prevención de riesgos, la verificación de cumplimiento de certificaciones eléctricas, de gas, de equipos, etc.</p> <hr/>
Operación del Proyecto	<p>Empresa ESCO (opcional)</p> <p>Empresa de Operación y Mantenimiento</p> <p>Cliente</p> <p>Interacción directa con las Distribuidoras y</p> <hr/>	<p><b>1. Operación:</b> Actividades propias de operación de un sistema geotérmico.</p> <hr/> <p><b>2. Mantenión:</b> Actividades de mantención preventivas y correctivas que garanticen el buen funcionamiento de un sistema de bombas de calor geotérmicas durante toda la vida útil de la instalación.</p> <hr/>

Fase	Actor Clave	Actividad / Recurso
	Comercializadoras para los repuestos y reposición de equipos dañados o fuera de su vida útil	<b>3. Venta de Energía:</b> En el caso proyectos en modalidad ESCO, existe también la figura de venta y facturación por la energía generada por este sistema.

**Tabla 8. Descripción del área de actividades/recursos de apoyo de la cadena de valor geotérmica.**

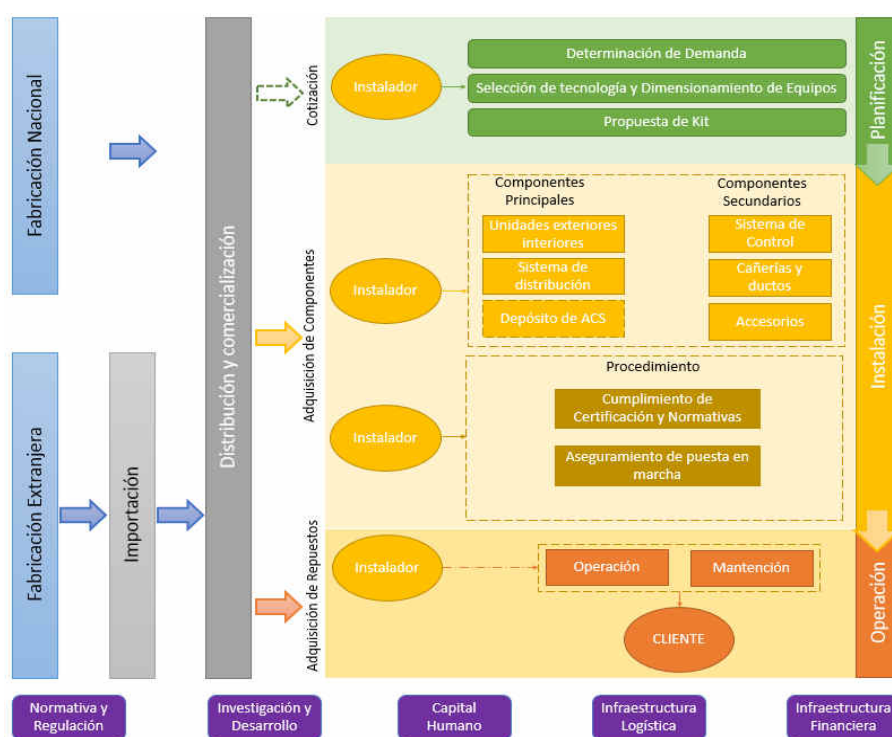
Actividad / Recurso	Descripción
Normativa y Regulación	Conjunto de normas, reglamentaciones y certificaciones requeridas para un correcto desarrollo de un proyecto de geotermia. Incluye certificación de equipos, de profesionales y de instalaciones. También se incluyen en este ámbito los acuerdos de libre comercio firmados por Chile con prácticamente todos los mercados del mundo para facilitar la importación/exportación de tecnologías.
Investigación y Desarrollo	Conjunto de actividades de investigación, desarrollo, innovación y fomento de las tecnologías de bombas de calor geotérmicas. Este trabajo incluye estudios, reportes e investigaciones encargadas por organismos públicos, universidades y centros de investigación.
Capital Humano	Conjunto de profesionales y técnicos capacitados que forman parte del mercado de las bombas de calor geotérmicas. Se incluyen en este grupo también a universidad y centros de formación técnica que forman al capital humano necesario para la realización de este tipo de proyectos.
Infraestructura Logística	Conjunto de elementos de la cadena logística que permiten el desarrollo de proyectos de geotermia en el país. Se incluyen en este recurso al transporte terrestre, marítimo y aéreo que permiten la libre circulación de equipos y tecnologías nacionales e importadas. También se incluye la capacidad de almacenamiento de tecnologías para su disposición en el mercado.
Infraestructura Financiera	Conjunto de instrumentos financieros y actores del sector económico y bancario que permiten el apalancamiento de proyectos de bombas de calor. Así también conjunto de actores e inversionistas potenciales a desarrollar proyectos en modalidad ESCO.

## 7.2 Aplicaciones de la Cadena de Valor

El subcapítulo anterior se enfocó en definir genéricamente la cadena de valor de las tecnologías de bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas en un contexto global. Este subcapítulo busca visualizar las variaciones que tendría esta cadena de valor para diferentes áreas de negocio. Así es como se generan situaciones muy diversas que se abordan a continuación.

### 7.2.1 Aerotermia de Baja Potencia

Por lo general, para proyectos de baja potencia ya sean para aplicaciones residenciales, comerciales o industriales, la cadena de valor de las bombas de calor aerotérmicas se simplifica un poco a un esquema como se muestra en la Figura 66.



**Figura 66. Cadena de valor aerotérmica de baja potencia. Elaboración propia.**

La principal simplificación de esta cadena de valor está en el actor que generalmente lidera cada una de las fases del proyecto. En proyectos de baja potencia, cualquiera sea la solución generalmente es el instalador el que planifica y diseña el proyecto, luego lo ejecuta y finalmente lo pone en marcha y muchas veces se encarga de la mantención del mismo a futuro.

En estos proyectos, difícilmente hay una empresa de ingeniería que diseñe la solución, sino que la solución viene definida en algún producto de catálogo y con un kit de instalación estandarizado. Así también no existe la figura de ITO que supervise la obra, sino es el propio cliente o el propio instalador que asegura la calidad de su

trabajo. Finalmente, en este tipo de proyecto tampoco se trabaja con la figura de una ESCO, ya que consideran inversiones muy bajas para que sean atractivas para este tipo de empresas.

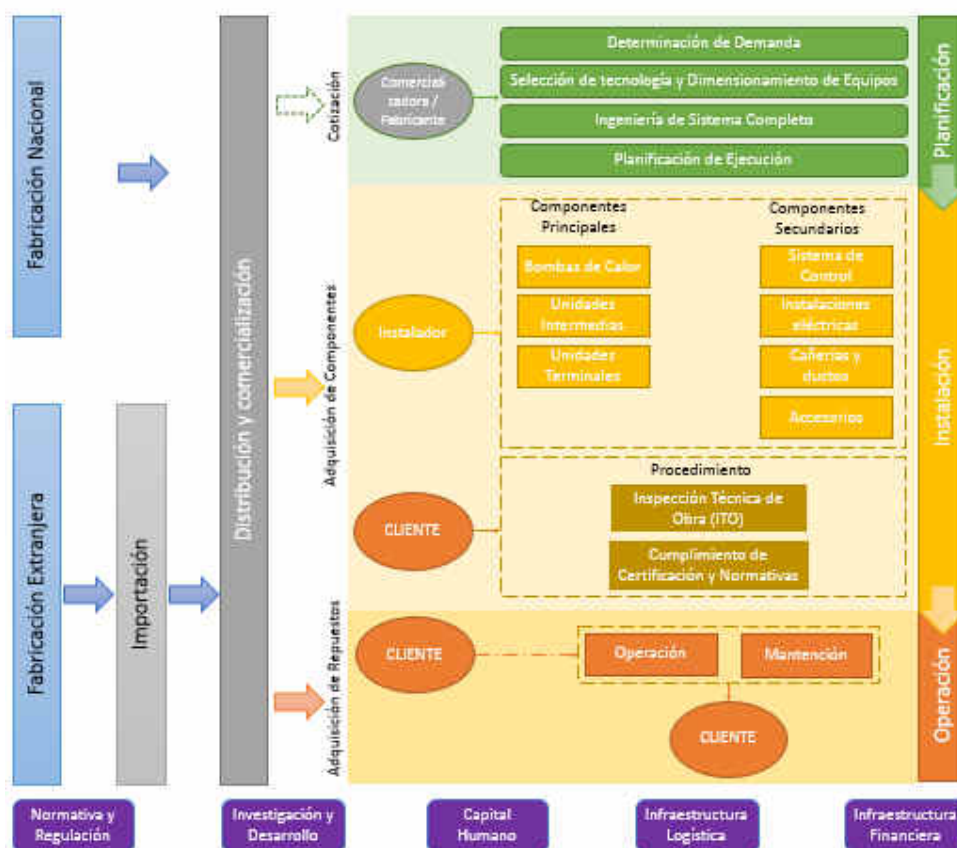
Muchas de estas empresas instaladoras corresponden a empresas familiares de pequeño tamaño y en varios casos a técnicos instaladores individuales. Estas empresas o instaladores generalmente llegan a un acuerdo con una empresa distribuidora o comercializadora de mayor tamaño como puede ser Anwo, Cosmoplas o incluso ENEL, por lo que se transforman en instaladores certificados de estas empresas y pueden acceder a precios especiales para instaladores. Así también, son capacitados por estas empresas en como instalar y dar mantención a sus productos, de modo que estos instaladores puedan representar de forma más confiable su marca en este nicho de mercado.

Cabe señalar también que, en algunos casos, la propia comercializadora e importadora de productos tiene su propia área de instalaciones entonces, aquí se produce una integración vertical completa desde la importación hasta la puesta en marcha de la aerotermia. Aunque esta situación es menos común en proyectos pequeños, no así en proyectos de media y alta potencia.

En particular también relativo a los equipos de instalación, estos se simplifican a unidades exteriores e interiores más el sistema de distribución y depósitos de ACS. Por lo general este tipo de proyectos no consideran unidades intermedias, ni instalaciones eléctricas o de control muy complejas.

### **7.2.2 Aerotermia de Media Potencia**

En la gama de media potencia, ya se pueden observar cadenas de valor más complejas, similares a la genérica presentada en la Figura 64. A continuación, se observa esta cadena con algunas modificaciones puntuales.



**Figura 67. Cadena de valor aerotérmica de media potencia. Elaboración propia.**

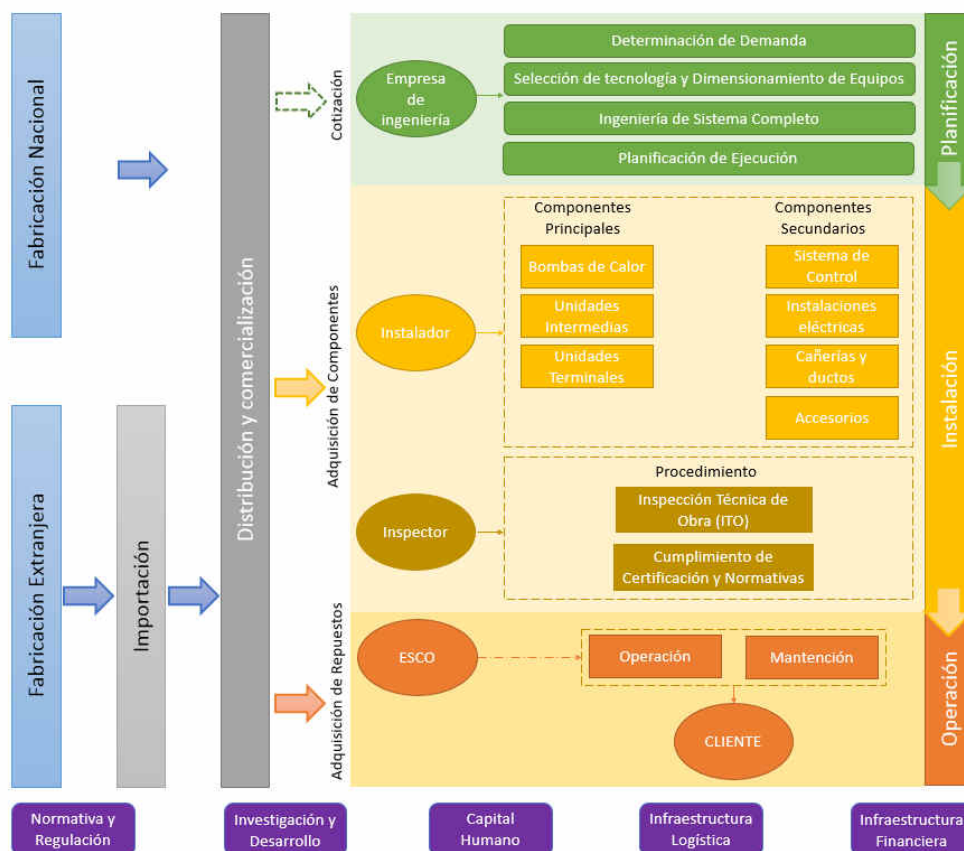
Por lo general, en proyectos de menos de 100 kW de potencia, no se observa una empresa de ingeniería que haga el diseño, sino más bien es la comercializadora con la ayuda del fabricante de la bomba de calor, quienes desarrollan el proyecto como apoyo a la venta de su equipo. Esto no quita que algunos proyectos si involucre a una tercera empresa de ingeniería. Así también en proyectos de menos de 100 kW, tampoco es común la existencia de ITO de supervisión de obra sino es el propio cliente que supervisa el proyecto. Finalmente, tampoco se observa la presencia de actores ESCO que inviertan en estos proyectos, sino es el propio cliente quien invierte y opera los proyectos posteriormente.

Respecto al resto de componentes y actividades, por lo general si se puede encontrar con prácticamente cualquier tecnología aerotérmica, por lo tanto, la cadena de valor no se simplifica más.

### 7.2.3 Aerotermia de Alta Potencia

En aplicaciones de alta potencia, cualquiera sea su uso, ya es factible encontrar todos los elementos y actores de la cadena de valor genérica presentada que se repite a continuación.





**Figura 68: Cadena de valor aerotérmica de alta potencia. Elaboración propia.**

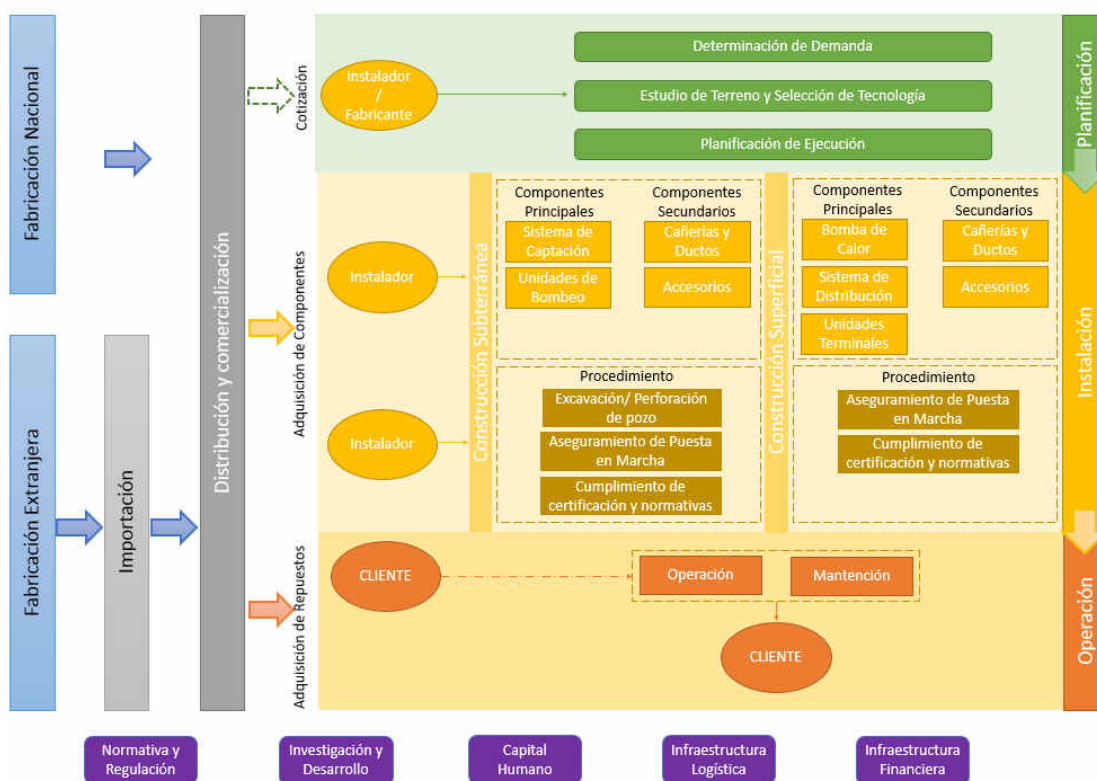
Ya en estos casos si se prefiere que exista una empresa de ingeniería independiente que determine la demanda térmica requerida, realice el diseño de la solución y haga la ingeniería del proyecto para posteriormente licitar la instalación o construcción del proyecto.

Así también, por lo general, existirá una ITO a cargo de la revisión técnica del proyecto a nombre del cliente y en muchos casos podrá existir una ESCO que invierta, opere y venda la energía generada al cliente. Aunque también es común que el Cliente asuma este rol y subcontrate la operación y mantenimiento permanente a una empresa especialista.

El resto de los elementos se mantienen y prácticamente cualquier tecnología es posible de implementarse y caber dentro de la cadena de valor señalada.

## 7.2.4 Geotermia de Baja Potencia

De forma similar a proyectos aerotérmicos de baja potencia en cualquier aplicación, la cadena de valor de las bombas de calor geotérmicas se simplifica respecto al esquema general.



**Figura 69. Cadena de valor geotérmica de baja potencia. Elaboración propia.**

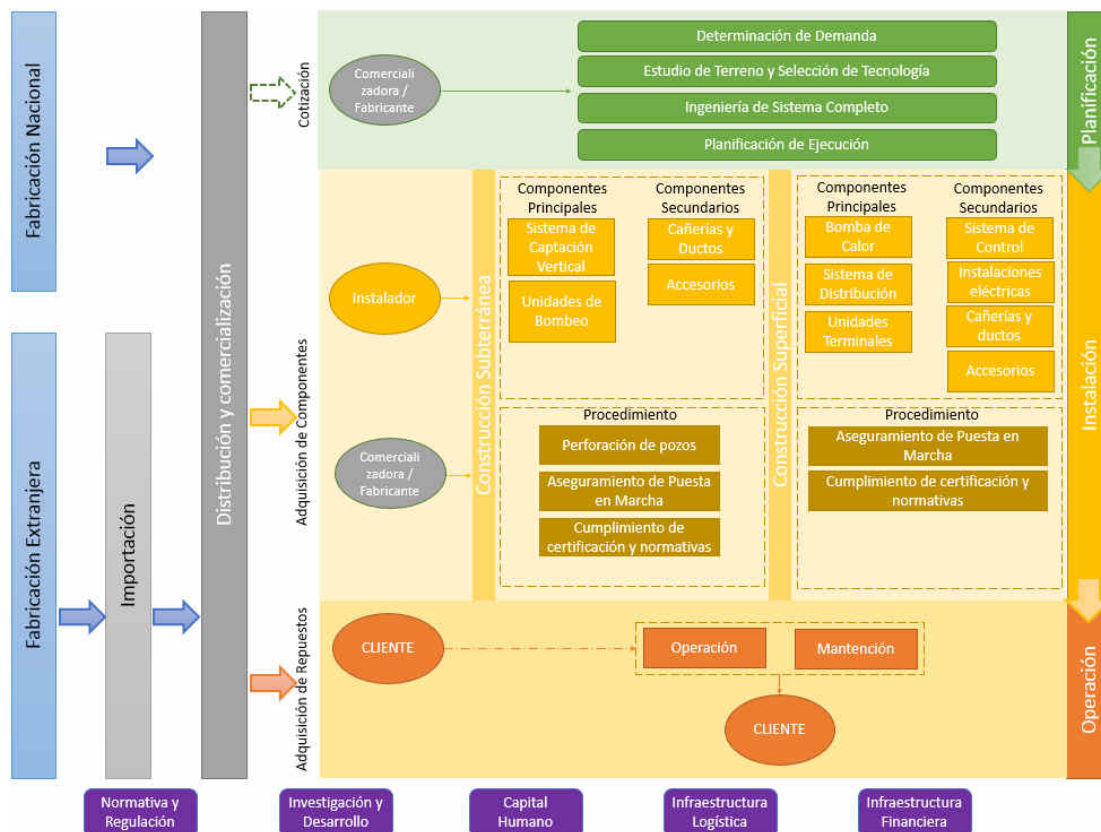
La Figura 69 muestra también que es la figura del instalador, la que se hace cargo de liderar gran parte del proceso del proyecto desde la planificación, ejecución y posteriormente puesta en marcha. A diferencia de la aerotermia de baja potencia, como el mercado es más inmaduro, aún no existe un número considerable de instaladores independientes que tengan las capacidades y experiencia para realizar este tipo de proyectos, por lo tanto, el mercado actualmente ofrece algunos casos en que los propios comercializadores y representantes de los fabricantes de estas pequeñas bombas de calor geotérmicas se encargan del dimensionamiento y diseño de la solución y en muchas ocasiones tienen sus propios instaladores que ejecutan el proyecto.

Por el tamaño de los proyectos, tampoco se considera esperable que se trabaje con la figura de una ESCO.

En particular respecto a los equipos de instalación se observa que, en muchos casos, la instalación del sistema de captación geotérmico se realiza aprovechando la construcción de la vivienda y por lo tanto la excavación propia de la obra. Y en caso de la preferencia de sistemas de lazo abierto, se construyen pequeños pozos o se aprovechan pozos ya existentes que sean propiedad de los dueños del terreno.

## 7.2.5 Geotermia de Media Potencia

También similar al caso de aerotermia de media potencia, la geotermia de este tamaño ya cuenta con cadenas de valor más complejas, similares a la genérica de geotermia.



**Figura 70. Cadena de valor geotérmica de media potencia. Elaboración propia.**

En proyectos geotérmicos, de forma similar a lo visto en sistemas de baja potencia, al no existir un mercado maduro como el de la aerotermia, para proyectos de tamaño medio aún se observa el involucramiento fuerte del comercializador o distribuidor o representante del fabricante del equipo a instalar. Ellos desarrollan el proyecto como apoyo a la venta de su producto.

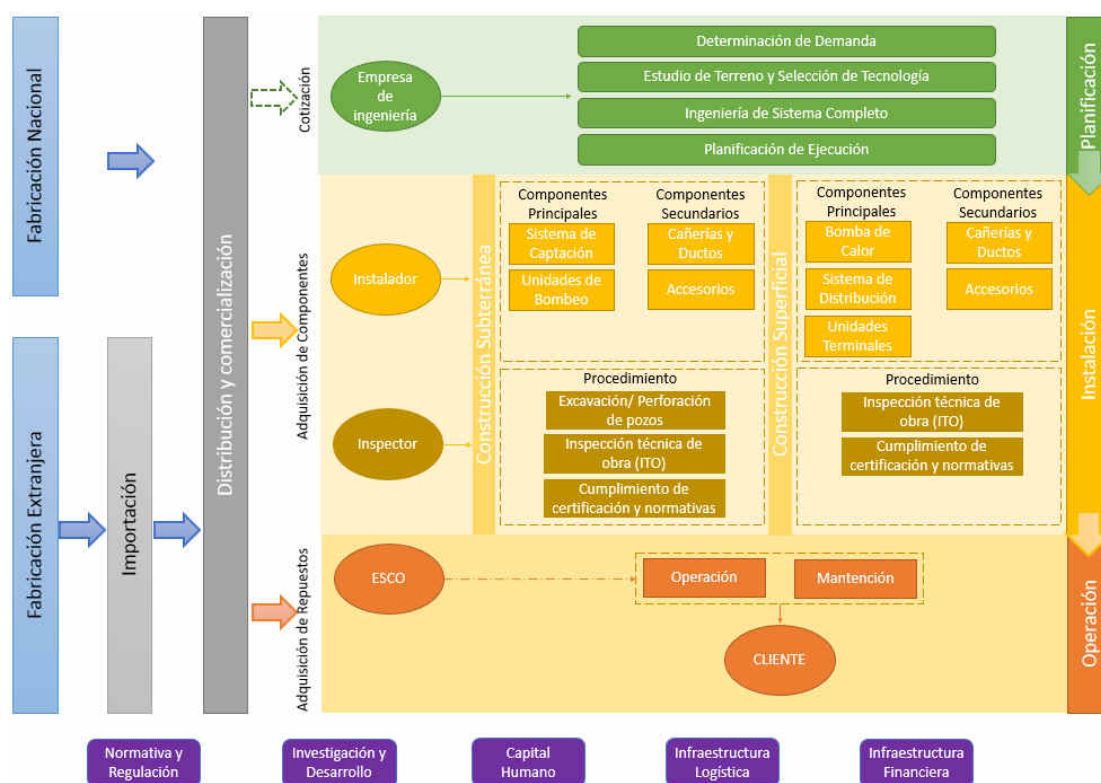
Por otra parte, tampoco es común la existencia de ITO de supervisión de obra sino es el propio representante del fabricante quien supervisa el proyecto. Es importante recalcar que, al no existir numerosos proyectos geotérmicos en el país, aún no está 100% definida una cadena de valor para este tipo de proyectos, en especial en este rango de potencia que no es un proyecto muy grande para ameritar muchos actores, ni tampoco es muy pequeño como para dejar solo al instalador. En este sentido, la revisión parcial de los actores que se ha trabajado hasta el momento ha mostrado que es muy común que los actores que realizan proyectos de geotermia estén integrados verticalmente en su totalidad. Por lo tanto, tanto la importación, comercialización,

ingeniería, instalación y puesta en marcha la realiza una misma empresa con la presencia del cliente en forma activa.

Finalmente, es poco esperable la presencia de actores ESCO que inviertan en estos proyectos, sino es el propio cliente quien invierte y opera los proyectos posteriormente con el apoyo del representante del fabricante del equipo.

## 7.2.6 Geotermia de Alta Potencia

En aplicaciones de alta potencia, cualquiera sea su uso, ya es factible encontrar todos los elementos y actores de una cadena de valor completa geotérmica.



**Figura 71. Cadena de valor geotérmica de alta potencia. Elaboración propia.**

Aunque en estos casos también se prefiere que exista una empresa de ingeniería independiente que determine la demanda térmica requerida, realice el diseño de la solución y haga la ingeniería del proyecto para posteriormente licitar la instalación o construcción del proyecto, debido nuevamente a la inmadurez del mercado, aún es común que sea el mismo representante del fabricante que se interese en apoyar en cada una de las etapas del proyecto. Y como en muchos casos el tamaño del proyecto lo permite, especialistas extranjeros vienen especialmente a implementar y/o supervisar la ejecución del proyecto.

Así también, por lo general, existirá una ITO a cargo de la revisión técnica del proyecto a nombre del cliente y en muchos casos podrá existir una ESCO que invierta, opere y

venta la energía generada al cliente. Aunque también es común que el Cliente asuma este rol y subcontrate la operación y mantenimiento permanente a una empresa especialista. La poca experiencia de estos proyectos en Chile no ayuda a definir cual puede ser la cadena de valor más común para esta tecnología en estas potencias, sin embargo, con el tiempo y a medida que madure el mercado se espera que la cadena de valor se asemeje a la de aerotermia de alta potencia y existan actores independientes en cada etapa del proyecto.

### 7.3 Actores de la Cadena de Valor

Ya esquematizadas las cadenas de valor aerotérmicas y geotérmicas, se ha trabajado en la identificación de actores asociados a cada una de las fases y áreas de la cadena de valor. Es así como se han identificado un actor único o un conjunto de actores que dan lugar a estas distintas fases. En realidad, dependiendo de la aplicación y del área de negocio en el cual se implementen los sistemas de bombas de calor, se cuenta con un número específico de actores que son protagonistas de la cadena de valor asociada a cada tecnología.

En este estudio, la identificación de los diferentes actores involucrados en este mercado se ha llevado a cabo a través de la búsqueda online. Utilizando como fuentes desde la página web *www.amarillas.com* hasta la página oficial de la *Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización GA* *www.cchryc.cl*, *ANESCO* *www.anesco.cl*, entre otras, se han identificado las entidades involucradas en la importación de equipos y componentes, en la comercialización de estos últimos, su instalación, la asesoría y consultoría de proyectos, entre otros, tanto para sistemas geotérmicos y aerotérmicos, lo cual ha sido respaldado en un archivo Excel adjunto al informe.

En estas tablas identificativas de actores, se detallan las actividades realizadas por las diferentes entidades identificadas y la ubicación geográfica donde se encuentra su casa matriz. A continuación, se muestra el análisis realizado en base a la información recopilada respecto a los sistemas aerotérmicos y geotérmicos.

#### 7.3.1 Actores del Mercado Aerotérmico

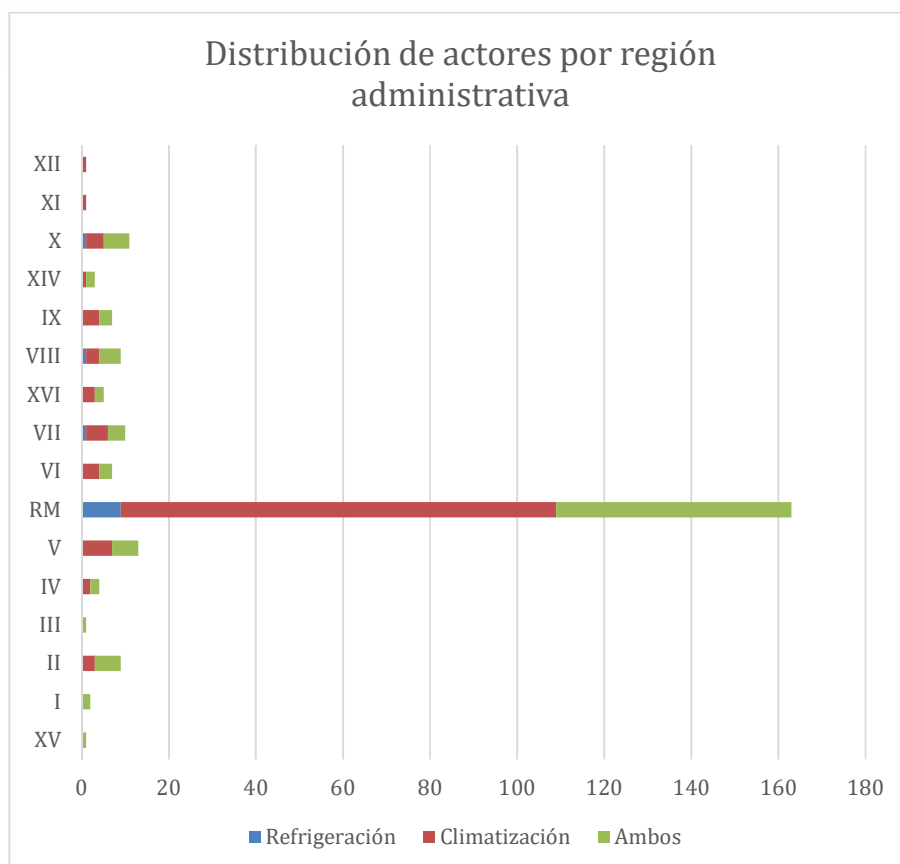
Para las bombas de calor aerotérmicas, se han identificado las siguientes entidades:

- ❖ Empresas fabricantes que crean los recursos materiales
- ❖ Empresas importadoras y distribuidoras que suplen recursos materiales en el país
- ❖ Empresas dedicadas a la comercialización de equipos y repuestos
- ❖ Empresas de ingeniería que diseñan y planifican los proyectos
- ❖ Empresas instaladoras que ejecutan las obras
- ❖ Empresas que ofrecen servicio técnico y mantención de los sistemas instalados

- ❖ Empresas que actúan como contraparte de las empresas instaladoras, las cuales realizan inspección técnica de obra
- ❖ Empresas asociadas a eficiencia energética que certifican proyectos y/o equipos
- ❖ ESCOs

Es importante destacar que, para proyectos de climatización y refrigeración de gran envergadura, la etapa de instalación cuenta con entidades involucradas en la instalación de los sistemas de bombas de calor, la instalación de sistemas eléctricos y la instalación de sistemas de control.

A continuación, en la Figura 72 se muestra la distribución de actores involucrados en el área de aerotermia a nivel país, donde se separan las entidades especializadas en climatización únicamente, en refrigeración únicamente y las entidades que ofrecen servicios en ambas especialidades. A partir de esta figura, se puede observar que la región administrativa con mayor número de actores involucrados corresponde a la Región Metropolitana, la cual concentra el 66% de todas las entidades. Al tomar contacto con algunas de estas empresas, se ha percibido que gran parte de aquellas ofrecen servicios en regiones fuera de su casa matriz, ocurriendo algo similar en otras regiones del país que abarcan localidades cercanas a ellas. Por otro lado, es importante apreciar que las entidades que ofrecen servicios de refrigeración únicamente son bastante inferiores a las entidades involucradas solo en el área de climatización, donde se observa además que las empresas que ofrecen prestaciones en ambas especialidades tienen una alta participación en cada región.



**Figura 72. Distribución de actores por región administrativa en el país, diferenciado los actores involucrados en el área de Climatización, Refrigeración y los que realizan servicios en ambas.**

### 7.3.1.1 Actores involucrados en los procesos de fabricación

En los sistemas aerotérmicos se han identificado ciertas entidades en el país involucradas en la fabricación de elementos que dan lugar a las instalaciones de los sistemas de refrigeración y climatización en base a la tecnología de bombas de calor. Por un lado, se han reconocido actores que fabrican unidades de distribución como ducterías y unidades manejadoras de aire y, unidades terminales como radiadores, elementos que permiten suministrar calefacción o refrigeración al lugar a climatizar. No obstante, la fabricación de los sistemas generadores de frío y/o calor dentro del país es un servicio que presenta un reducido nivel de participación, donde se han identificado solo dos empresas que son parte de este rubro, Intercal e INRA. Por otro lado, se encuentran las empresas que diseñan y construyen cámaras y túneles de frío, los cuales son utilizados para suministrar refrigeración a nivel industrial. A continuación, la Tabla 9 muestra los actores involucrados en el área de climatización y refrigeración en base a bombas de calor que fabrican equipos térmicos y elementos necesarios para la instalación.



**Tabla 9. Empresas involucradas en el área de fabricación de equipos térmicos, cámaras de frío, ducterías, entre otros.**

Empresa	Tipo de Fabricación
Intercal	Equipos térmicos, UMAS, evaporadoras, condensadoras
Sub-zero Refrigeración	Cámaras de frío, unidades condensadoras
Thermoval	Ducterías, rejillas, UMAS
Climatización y Construcción ACG	Cámaras de frío
Clima MYP	Cámaras de frío
Buen aire	Ducterías
GTI Climatización	Ducterías
Climatizaciones	Ducterías
C Clima	Cámaras de frío
Eurofrío	Cámaras de frío – sistemas de refrigeración industrial
Moreto Clima	Ducterías
Ingeniería Sánchez & Sánchez Ltda.	Radiadores
INRA Clau	Chiller
ISOPLAST	Aislamiento térmico
JH Climatización	Cámaras de frío
LP Proyectos	Cámaras de frío
Refricentro	Cámaras de frío
Segemi	Cámaras y túneles de frío
Termotec	Chiller, cámaras de frío

A pesar del reducido nivel de participación en el área de fabricación de bombas de calor, las entidades protagonistas de este rubro cobran un papel relevante dentro de este mercado, ya que se caracterizan por entregar soluciones conforme a la solicitud del mandante a través de un contacto directo.

### 7.3.1.2 Importadores y Comercializadores

Para suplir la demanda de climatización, producción de agua sanitaria y refrigeración a través de la aerotermia, existe actualmente un alto nivel de importación de aire acondicionado, enfriadoras de agua, sistemas VRV, sistemas Roof Top, unidades



manejadoras de aire, repuestos y refrigerantes. Las entidades involucradas en este rubro pueden ser distribuidoras que dan suministro a comercializadoras, instaladoras o a empresas que realizan proyectos llave en mano. A continuación, se muestra un desglose de los diferentes actores importadores y comercializadores.

**Tabla 10. Empresas importadoras y distribuidoras de bombas de calor y elementos asociados.**

N°	Empresa	Importación	Distribución y venta de equipos de baja potencia	Distribución y venta de equipos de media potencia	Distribución y venta de equipos de alta potencia
1	IDAPI	x	x	x	x
2	Cosmoplas S.A.	x	x	-	-
3	Teknoimport	x	x	-	-
4	Climasolar	x	x	x	x
5	Airolite	x	-	x	x
6	Antartic Refrigeration	x	x	x	x
7	Bitzer	x	x	x	x
8	Comercial Günter Chile Ltda.	x	-	x	x
9	Rentaclima	x	-	x	x
10	Copac	x	x	x	x
11	DAIKIN	x	x	x	x
12	Danfoss Industrias	x	x	x	x
13	DIMACO	x	x	x	x
14	Flowtech	x	-	x	x
15	Frimont	x	x	x	-
16	IKAhogar	x	x	x	x
17	Mar del Sur	x	-	x	x
18	S&P – Soler Palau	x	x	x	-
19	Todoclimas	x	x	x	x

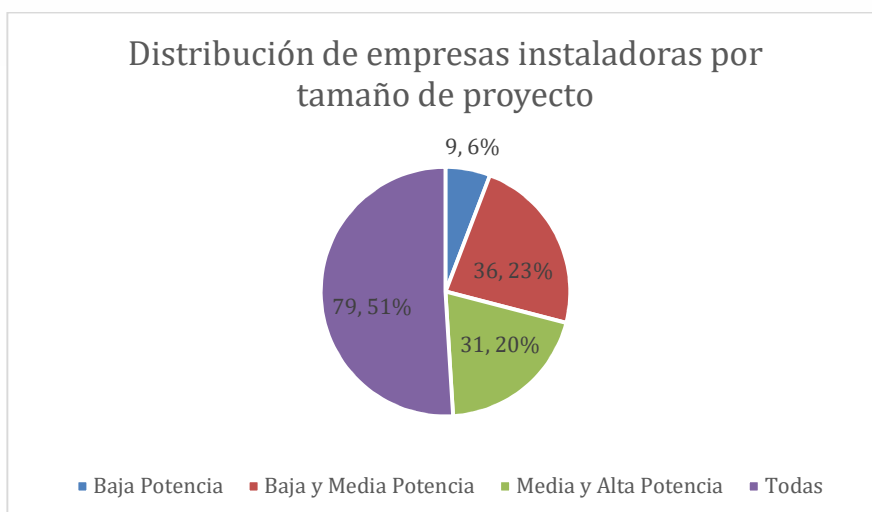
N°	Empresa	Importación	Distribución y venta de equipos de baja potencia	Distribución y venta de equipos de media potencia	Distribución y venta de equipos de alta potencia
20	TRESPI LTDA.	x	x	x	-
21	Vimatclima	x	x	-	-
22	Alcaire	x	-	x	x
23	Trane	x	x	x	x
24	Midea Carrier	x	x	x	-
25	Antusolar	x	x	-	-
26	EcoGreen Chile	x	x	x	x
27	Anwo	x	x	x	x
28	Grandes tiendas	x	x	-	-

Al igual que el resto de los actores, las empresas que importan y comercializan bombas de calor, repuestos y otros elementos relacionados, cuentan con una casa matriz ubicada en una región particular. Sin embargo, se detectaron tres empresas que cuentan con diferentes sucursales a lo largo del país como, Anwo, Cosmoplas y S&P Soler Pau, las cuales permiten disminuir los tiempos de entrega cuando hay actores solicitantes de equipos que no pertenecen a la región del distribuidor. ANWO, por un lado, cuenta con distintas sucursales entre las regiones IV, V RM, VIII, IX y X; Cosmoplas por otro lado tiene presencia en las regiones II, IV, V, RM, VII, VIII, IX y X; y, para el caso de S&P Soler Pau, esta cuenta con presencia en las regiones XV, I, II, III, RM, VII, VIII, IX, XIV, X.

Por lo general, los equipos aerotérmicos de baja potencia suelen comercializarse en grandes tiendas como Falabella, Ripley, Paris, Homecenter, entre otras, las cuales pueden ofrecer servicios de instalación, y las que se caracterizan por encontrarse en las diferentes regiones del país. Esto, sin embargo, no es el caso para equipos de mayor potencia cuya distribución se lleva a cabo por empresas reconocidas como Carrier, Anwo, Trane, Intercal, las que suministran a las entidades instaladoras que son parte de proyectos de mayor envergadura.

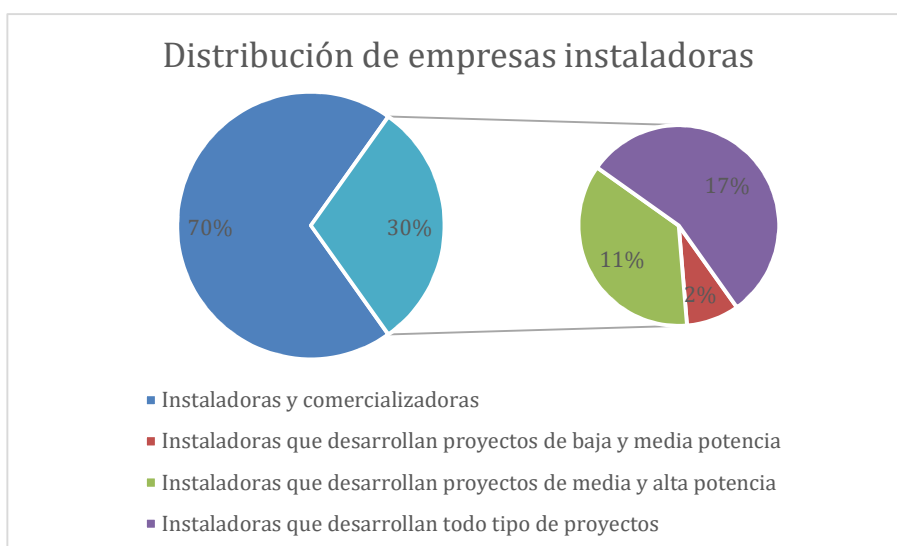
### 7.3.1.3 Empresas Instaladoras

A través de la identificación de actores se detectaron 155 empresas instaladoras que entregan servicios de instalación de proyectos de baja, media y de gran envergadura. A continuación, se ilustra la distribución de empresas instaladoras en función de los tamaños de los proyectos que desarrollan.



**Figura 73. Distribución de empresas instaladoras en función del tamaño del proyecto.**

Dentro de esta categoría, se encuentran empresas instaladoras que comercializan bombas de calor y las que solo ofrecen el servicio de instalación, lo cual se representa en el siguiente gráfico.



**Figura 74. Diferenciación entre empresas que instalan únicamente y las empresas que comercializan e instalan.**

Como es posible apreciar, un gran número de empresas ofrecen el servicio de comercialización e instalación de manera conjunta, abarcando un 70% del total de instaladoras registradas. Esto último en realidad, corresponde a una estrategia de mercado que busca entregar un servicio completo al cliente solicitante y de esta forma ser una preferencia frente a los actores que solo comercializan. Por otro lado, las empresas que solo realizan instalaciones sin involucrarse en la venta de productos se caracterizan por abarcar proyectos de mayor envergadura. De hecho, fue posible identificar que las instalaciones que son menores a 20 kW, son desarrolladas por empresas que comercializan igualmente bombas de calor; no logrando identificar

empresas que solo se dediquen a la instalación de equipos que operen en ese rango de potencia.

Por otro lado, se identificaron actores involucrados en el área de instalaciones eléctricas y de sistemas de control que permiten dar funcionamiento a los sistemas de climatización y refrigeración. A continuación, se muestran las entidades que desarrollan instalaciones eléctricas y de sistemas de control adicionalmente a las instalaciones de los equipos térmicos.

**Tabla 11. Empresas instaladoras que proveen el sistema eléctrico y de control.**

N°	Empresa	Ciudad	Región
1	ECSYS	Coquimbo – Santiago	IV-RM
2	VC Clima	Santiago	RM
3	JM Clima	Santiago	RM
4	Sub-zero Refrigeración	Santiago	RM
5	AustralTec	Santiago	RM
6	Positron	Santiago	RM
7	SLK SpA	Santiago	RM
8	Indutermica	Rengo	VI
9	ASO Ingeniería Térmica SpA	Santiago	RM
10	Electro Clima Servicios	Santiago	RM
11	Rialclimatizacion	Concepción	VIII
12	Climacor	Santiago	RM
13	Termotec	Curicó	VII
14	Ingemi	Valparaíso	V
15	Electrofrío	Iquique – Antofagasta	I-II

De igual manera es importante acotar que la mayoría de las empresas instaladoras no suministran los sistemas eléctricos ni de control, y cuya solicitud de prestaciones debe ser solicitada por la empresa de ingeniería, o por las mismas instaladoras de equipos térmicos.

### 7.3.1.4 Empresas de ingeniería

Las empresas de ingeniería identificadas permiten asesorar, planificar y diseñar proyectos de climatización y refrigeración que corresponden a proyectos de media y gran envergadura. Por un lado, se han identificado empresas que se dedican únicamente al diseño y asesoría de dichos proyectos y, por otro lado, empresas que adicionalmente brindan el servicio de instalación, mantención, venta de productos e incluso prestan a la contraparte el servicio de inspección técnica de obra. Asimismo, existen empresas de Servicios Energéticos o Esco (Energy Services Companies) que desarrollan proyectos de eficiencia energética en industrias, servicios públicos, organizaciones y cualquier tipo de consumidor de energía, mediante contratos de desempeño energético. Estas empresas, apoyan financieramente el proyecto solicitado por el mandante y recuperan posteriormente los costos de inversión gracias al ahorro generado por las nuevas instalaciones de eficiencia energética. A continuación, en la Tabla 12 se muestran las empresas de ingeniería identificadas, diferenciando las que actúan como entidades ESCOs.

**Tabla 12. Empresas que desarrollan consultoría para desarrollo de proyectos.**

Nº	Empresa	ESCO	Ciudad	Región
1	Cintec	-	Santiago	RM
2	426	-	Santiago	RM
3	CONADE	-	Santiago	RM
4	Frimont	-	Santiago	RM
5	Gormaz y Zenteno	-	Santiago	RM
6	IKAhogar	-	Santiago	RM
7	IPC Ingeniería	-	Santiago	RM
8	Rojo y Azul – Ingeniería y Proyectos	-	Santiago	RM
9	Aiguasol	-	Santiago	RM
10	Energy-Tracking	x	Santiago	RM
11	Antusolar	-	Santiago	RM
12	Efizity	x	Santiago	RM
13	Roda Energía	x	Santiago	RM
14	Hildebrandt	-	Santiago	RM

N°	Empresa	ESCO	Ciudad	Región
15	EE Chile	-	Santiago	RM
16	Climsa	x	Valdivia	XIV
17	ECOclimatización	x	Santiago	RM
18	ECSYS	x	Coquimbo-Santiago	IV-RM

Como se mencionó anteriormente, las empresas de ingeniería pueden realizar proyectos llave en mano, es decir, implementan el diseño de la ingeniería, suministran equipos y ejecutan las instalaciones requeridas, finalizando el proyecto con la puesta en marcha. A continuación, se muestra el conjunto de empresas identificadas que asesoran y ejecutan proyectos de gran envergadura en el área de climatización y/o refrigeración.

**Tabla 13. Empresas que desarrollan consultoría para desarrollo de proyectos.**

N°	Empresa	Importación	Consultoría	Ejecución	Aplicación
1	Climsa	-	x	x	Climatización
2	Mycom Chile	x	x	x	Refrigeración
3	ECSYS	-	x	x	Climatización
4	ECOclimatización	-	x	x	Climatización
5	AustralTec	x	x	x	Ambos
6	Soclima y Asociados S.A.	-	x	x	Climatización
7	Positron	-	x	x	Climatización
8	ASO Ingeniería Térmica SpA	-	x	x	Climatización
9	Aires Climatización	-	x	x	Climatización
10	Roster Ltda.	X	x	x	Ambos
11	Issaclima	-	x	x	Climatización
12	Amrisa	-	x	x	Refrigeración
13	Ate	-	x	x	Ambos
14	Climazero	-	x	x	Climatización
15	CR Ingeniería	-	x	x	Climatización
16	CRA Ingeniería SpA	-	x	x	Climatización

N°	Empresa	Importación	Consultoría	Ejecución	Aplicación
17	INRA Clau	x	x	x	Refrigeración
18	Instaplan	x	x	x	Climatización
19	Intek	-	x	x	Ambos
20	Lean Quality	-	x	x	Ambos
21	MinClima	-	x	x	Ambos
22	Servitec Clima	-	x	x	Climatización
23	Termotec	x	x	x	Refrigeración
24	Ingemi	-	x	x	Ambos
25	Bordachar	-	x	x	Ambos
26	Refricentro	x	x	x	Refrigeración
27	Electrofrío	x	x	x	Ambos
28	Farenhouse	-	x	x	Climatización
29	Isener	x	x	x	Climatización

### 7.3.1.5 Empresas Inspectoras Técnicas de Obra y Certificadoras

Las empresas que desarrollan inspecciones técnicas de obra son entidades encargadas de supervisar el cumplimiento de contratos y exigencias legales, asegurando la calidad y eficiencia en las distintas etapas de un proyecto y procurando evitar posibles conflictos entre las partes involucradas. Por lo general, en los proyectos de climatización en el área doméstica multifamiliar y en el área comercial e industrial se requiere un inspector técnico de obra que pueda asegurar que la ejecución del proyecto se esté llevando a cabo de acuerdo con lo establecido en la etapa de planificación entre el mandante y el contratista. A continuación, se muestran las empresas identificadas que realizan inspecciones técnicas de obra en el área de climatización.

**Tabla 14. Empresas que realizan inspección técnica de obra.**

N°	Empresa	Ciudad	Región
1	Cintec	Santiago	RM
2	ECSYS	Coquimbo – Santiago	IV-RM
3	ECOclimatización	Santiago	RM
4	ISAClima Norte Sur	Santiago	RM

N°	Empresa	Ciudad	Región
5	ASO Ingeniería Térmica SpA	Santiago	RM
6	Proyecto Clima	Santiago	RM
7	Electroclima Ltda.	Santiago	RM
8	Rialclimatizacion	Concepción	VIII
9	Sirair	Santiago	RM
10	Ate	Santiago	RM
11	IPC Ingeniería	Santiago	RM
12	Malbec	Santiago	RM
13	Enativa	Santiago	RM
14	Enalteco	Concepción	VIII
15	Hildebrandt	Santiago	RM
16	Isener	Santiago	RM

Cabe destacar que estas empresas deben ser diferentes de las entidades que ejecutan las instalaciones, ya que, hay casos en los cuales ambas prestaciones las puede ofrecer una misma empresa. De hecho, 13 de las 16 empresas que se muestran en la Tabla 13 pueden ejecutar proyectos y realizar inspecciones técnicas de obra, y, por otro lado, las otras tres restantes (Cintec, IPC Ingeniería y Hildebrandt), son empresas que realizan ITOs sin estar involucrados en servicios de instalación.

Asimismo, se encuentran los actores certificadores dentro de la cadena de valor que tienen el propósito de supervisar el cumplimiento de condiciones particulares de equipos de climatización y refrigeración; organismos que dan licencia a profesionales técnicos que llevan a cabo la ejecución de las instalaciones, y los que certifican proyectos que aspiran a pertenecer a la categoría de Eficiencia Energética (LEED, CES). De acuerdo a las disposiciones vigentes (Decreto Supremo N° 298, de 2005), los equipos de aire acondicionado eléctricos deben contar con un certificado de aprobación para su comercialización en el país, para lo cual deben ser certificados por un organismo de certificación autorizado por SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles) para utilizar los Protocolos de Ensayos PE N°1/26 (Seguridad) y PE N° 1/26/2 (Eficiencia Energética). Las entidades que llevan a cabo esta certificación se detallan a continuación:

- Cesmec S.A.
- Certigas / Certelec Ltda.
- CAM CHILE S.A.
- Energía Ltda.



- Ingcer Ltda.
- Lenor Chile Ltda.
- Sical Ingenieros S.A.
- Under Fire S.A.
- TÜV RHEINLAND

Por otro lado, la “Certificación Edificio Sustentable” o CES, es un sistema nacional que permite evaluar, calificar y certificar el comportamiento ambiental de edificios de uso público en Chile, tanto nuevos como existentes, sin diferenciar administración o propiedad pública o privada. Este, se basa en el cumplimiento de un conjunto de condiciones de carácter obligatorio y voluntario cuya medición se realiza a través de puntuaciones. Para certificarse, se debe cumplir con los requerimientos obligatorios y tener como mínimo 30 puntos, siendo 100 puntos el máximo puntaje. El sistema fue desarrollado por el instituto de la Construcción con el apoyo y la participación formal de 13 instituciones públicas y privadas, entre ellos la Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G. y la División Técnica de Aire acondicionado y Refrigeración de Chile. Los organismos evaluadores de este sistema de certificación corresponden a:

- Centro de Investigación en Arquitectura, Energía y Sustentabilidad
- DECON UC – Servicios profesionales en Construcción
- DICTUC
- EFIZITY
- IDIEM
- KIPUS
- Territorio Mayor
- CITEC UBB
- B-Green
- WSP
- Ecosustenta
- SmartB

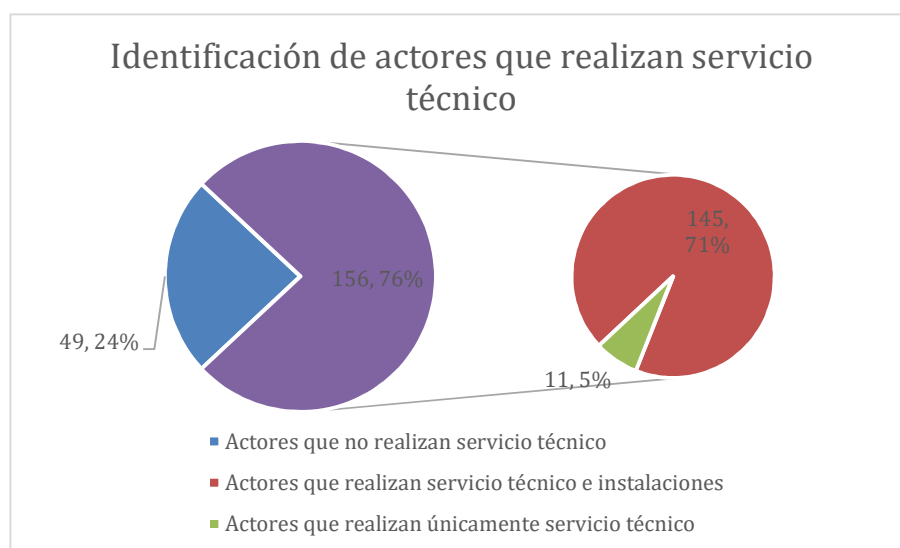
Asimismo, la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) corresponde a un método de evaluación de edificios sustentables que operan en base a mejores prácticas y estrategias de diseño, construcción y operación. Es un sistema voluntario y consensuado, elaborado en Estados Unidos en el año 2000 por el U.S. Green Building Council o USGBC, que mide entre otras cosas, el uso eficiente de la energía y el agua, elementos integrales en los sistemas de climatización que operan en medias y grandes edificaciones. El sistema de ponderación se basa en la sumatoria de puntaje, donde el mínimo

corresponde a 40 puntos y el máximo 110, donde el organismo evaluador corresponde a USGBC.

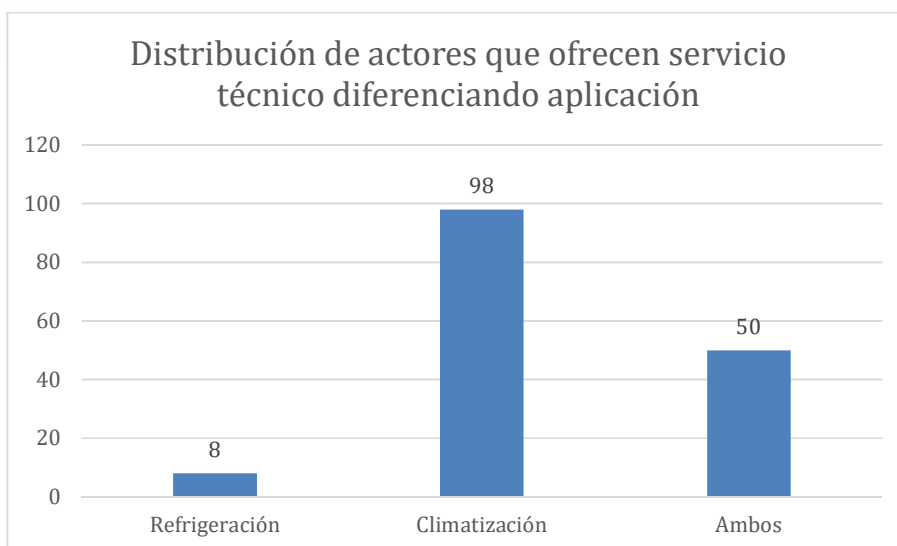
### 7.3.1.6 Entidades que Entregan Servicio Técnico

A través del estudio realizado se ha identificado un elevado número de actores que ofrecen servicio técnico para las instalaciones que operan en base a bombas de calor aerotérmicas: de la totalidad de las entidades reportadas (205 en su totalidad), el 76% ofrece servicio técnico tal como puede apreciarse de la Figura 75. Identificación y clasificación de actores que realizan servicio técnico.. En esta figura, además, se indica el porcentaje de empresas que realizan únicamente servicio técnico, y las empresas que adicionalmente realizan instalaciones. Estas últimas en realidad corresponden al 71% de la totalidad de actores identificados.

En la Figura 76 se muestra el número de entidades que realizan reparación y mantención de equipos térmicos solo en el área de refrigeración, solo en el área de climatización, y las que prestan servicio técnico en ambas áreas, donde se observa un dominio de estas prestaciones en el área de climatización.



**Figura 75. Identificación y clasificación de actores que realizan servicio técnico.**



**Figura 76. Entidades que realizan servicio técnico solo en el área de refrigeración, climatización, o en ambas áreas.**

### 7.3.2 Actores del Mercado Geotérmico

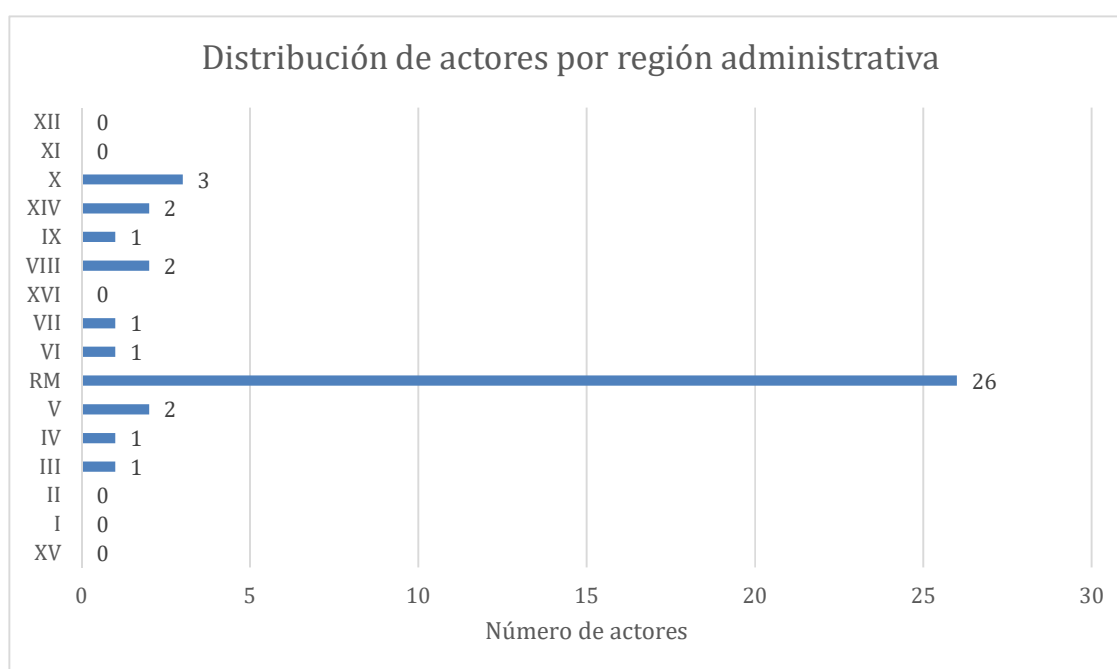
La cadena de valor asociada a las bombas de calor geotérmicas integra nuevos actores con relación a los sistemas aerotérmicos. Esto, a causa de las etapas requeridas para la instalación de los captadores a nivel del suelo para el caso de los sistemas de circuito cerrado, y la instalación de los elementos que permiten captar aguas freáticas o superficiales para el caso de los sistemas de circuito abierto. Sin embargo, a pesar de que existan más etapas dentro de la cadena de valor, se ha identificado una reducida presencia de actores involucrados en proyectos geotérmicos a lo largo de país. De hecho, se han registrado 40 actores donde 25 de estos también son parte de la cadena de suministro ligada a proyectos aerotérmicos, tal como se indica en la Tabla 15. Es importante destacar la elevada brecha existente entre los actores involucrados en la aerotermia y los que son parte del mercado de las bombas de calor geotérmicas, donde la diferencia entre el número de empresas para la primera tiene un orden de magnitud más que para el mercado de estas últimas.

**Tabla 15. Actores involucrados en el área de geotermia de baja entalpía.**

N°	Empresa	Geotermia-Aerotermia	Ciudad	Región
1	Complex	-	Santiago	RM
2	Geoestudios	-	Santiago	RM
3	Terraignota	-	Santiago	RM
4	Perfomaq	-	Osorno	X
5	Aiguasol	x	Santiago	RM
6	Antusolar	x	Santiago	RM

Nº	Empresa	Geotermia-Aerotermia	Ciudad	Región
7	Climatiza	x	Talca	VII
8	Enalteco	x	Concepción	VIII
9	Enativa	x	Santiago	RM
10	Energy-Tracking	x	Santiago	RM
11	Geomarket	x	Santiago	RM
12	Improve	-	Concepción	VIII
13	Midea Carrier	x	Santiago	RM
14	Natclima	x	Santiago	RM
15	Oden	-	Santiago	RM
16	Efizity	x	Santiago	RM
17	RGS Energía	-	Ovalle	IV
18	Roda Energia	x	Santiago	RM
19	EE Chile	x	Valdivia	XIV
20	ANWO	x	Santiago	RM
21	Farenhouse	x	Santiago	RM
22	Ferrosur	x	Temuco	IX
23	Geo-operaciones	-	Copiapó	III
24	Geotec	-	Santiago	RM
25	Ghm consultores	-	Santiago	RM
26	Hildebrant	x	Santiago	RM
27	Isener	x	Santiago	RM
28	Voher Energética	Eficiencia -	Valparaíso	V
29	Rehau	x	Santiago	RM
30	Geosigma	-	Santiago	RM
31	Geotermika	x	Osorno	X
32	EcoGreen Chile	x	Santiago	RM
33	Hidrosondajes	-	Rancagua	VI
34	DrillChile	-	Algarrobo	V
35	Aires Climatización	x	Santiago	RM

N°	Empresa	Geotermia-Aerotermitia	Ciudad	Región
36	Enecal	x	Puerto Montt	X
37	Gormaz y Zenteno	x	Santiago	RM
38	Climatización Eficiente NVL	x	Santiago	RM
39	Amoval	x	Valdivia	XIV
40	ECOclimatización	X	Santiago	RM



**Figura 77. Distribución de actores por región administrativa.**

En la Figura 77 se muestra la distribución de actores ligados a la geotermia de baja entalpía a lo largo del territorio chileno. A partir de esta figura, puede apreciarse que el número de actores sigue concentrándose en la Región Metropolitana, debido a que gran parte de las empresas de ingeniería, comercializadoras de equipos térmicos e instaladoras se concentran en esta región del país. No obstante, es importante indicar que gran parte de los proyectos geotérmicos realizados se han llevado a cabo en la zona sur, gracias a los diferentes actores que han surgido en esta zona y debido a las condiciones geográficas existentes tales como presencia de agua subterránea a menor profundidad, suelos menos rocosos que hacen fácil la perforación o excavación y por contar con grandes extensiones de terreno.

En base al estudio de la bibliografía estudiada se ha identificado que gran parte de los actores involucrados en la cadena de valor de los sistemas geotérmicos coinciden con

los involucrados en la aerotermia (los cuales fueron expuestos en la sección 7.3.1). Sin embargo, y como se menciona previamente, los sistemas geotérmicos requieren actores adicionales que están involucrados en la etapa donde se estudian las condiciones del terreno, en la etapa donde se realizan excavaciones y perforaciones, y luego donde se instalan los equipos captadores de calor y se establecen las conexiones con las instalaciones que se disponen a nivel superficial. A continuación, se indican las entidades involucradas en el mercado de la geotermia de baja entalpía, donde se muestran en color azul las empresas que son únicas de la industria geotérmica:

- ❖ Empresas fabricantes que crean recursos materiales
- ❖ Empresas importadoras y comercializadoras que suplen recursos materiales
- ❖ Empresas de ingeniería que diseñan y planifican los proyectos
- ❖ Empresas que establecen leyes y normas referentes a instalaciones geotérmicas
- ❖ Empresas que realizan estudios de terreno para conocer las propiedades de este
- ❖ Empresas que realizan excavaciones y perforaciones
- ❖ Empresas instaladoras que ejecutan las obras a nivel superficial y a nivel del subsuelo
- ❖ Empresas que ofrecen servicio técnico y mantención de los sistemas instalados
- ❖ Empresas que actúan como contraparte de las empresas instaladoras, las cuales realizan inspección técnica de obra
- ❖ Empresas asociadas a eficiencia energética que certifican proyectos y/o equipos
- ❖ ESCOs

La descripción de cada uno de estos actores se describe a continuación.

### 7.3.2.1 Actores involucrados en los procesos de fabricación

Las bombas de calor geotérmicas al igual que en el caso de la aerotermia se caracterizan por ser sistemas fabricados en el extranjero, donde gran parte de los países europeos, han sido los principales proveedores de los sistemas térmicos utilizados en los proyectos realizados en Chile. El hecho de que gran parte de estos equipos sean fabricados en Europa se explica en primer lugar, por el incentivo que han generado diferentes organismos vinculados al gobierno europeo para impulsar proyectos de climatización en base a la geotermia de baja entalpía, y, en segundo lugar, por contar con un elevado desarrollo tecnológico que ha dado lugar a bombas de calor con un alto estándar de calidad.

En Chile, por otro lado, se ha logrado identificar una empresa que fabrica bombas de calor geotérmicas, la cual tiene el nombre comercial de Geotermika S.A. ubicada en Osorno en la región de los Ríos. Esta empresa ha sido parte de diferentes proyectos realizados en el sur del país, donde los equipos implementados han sido diseñados y optimizados por la misma empresa en función de la demanda a cubrir y las condiciones del terreno. Según el catálogo de productos de Geotermika, es posible

producir agua caliente a 60°C como temperatura superior, y producir agua fría a 2°C, cuyas fuentes de calor y frío pueden ser agua subterránea, superficial o suelo. La existencia de al menos un actor involucrado en este rubro indica que la geotermia es un tema de interés en el país, lo cual no es casualidad ya que los sistemas geotérmicos de baja entalpía poseen rendimientos superiores a los sistemas aerotérmicos, brindan una mayor estabilidad en su operación y además promueve el uso de tecnologías no convencionales en el área de climatización.

### 7.3.2.2 Importadores y Comercializadores

Para llevar a cabo la comercialización de bombas de calor geotérmicas y elementos asociados ha sido necesario importar dichos sistemas, cuyos proveedores pertenecen a países europeos, EEUU, sumándose en los últimos años China como país proveedor. Asimismo, cabe destacar que la venta de productos geotérmicos se realiza de manera conjunta con la prestación del servicio de instalación, donde la importación además se realiza generalmente en función de las necesidades del cliente. Por otro lado, los actores identificados que proveen productos comerciales sin realizar la instalación de estos son: Antusolar, Midea Carrier, Anwo, Rehau, EcoGreen Chile y Climatización Eficiente NVL, empresas que se indican en la Tabla 15.

### 7.3.2.3 Empresas de Ingeniería

Al igual que en el caso de los sistemas aerotérmicos, el rol de las empresas de ingeniería consiste en planificar, asesorar y diseñar el proyecto de climatización y refrigeración que utiliza la geotermia como fuente de energía. Adicionalmente, estas entidades pueden pertenecer al modelo ESCO, incentivando con ello la realización de este tipo de proyectos a clientes que requieran catalogarse como entidades EE (Eficiencia energética) y que no cuentan con la inversión requerida. En la Tabla 16, se muestran los principales actores que realizan asesoría para proyectos geotérmicos de baja entalpía, identificando los que pertenecen al modelo ESCO y los que además instalan los equipos.

**Tabla 16. Empresas de ingeniería identificadas.**

N°	Empresa	ESCO	Instaladoras
1	Complex	-	x
2	Geoestudios	-	-
3	Terraignota	-	-
4	Aiguasol	-	-
5	Antusolar	-	-
6	Climatiza	-	x

Nº	Empresa	ESCO	Instaladoras
7	Enalteco	-	X
8	Enativa	-	X
9	Energy-Tracking	X	-
10	Geomarket	-	X
11	Improve	-	-
12	Natclima	-	X
13	Oden	-	X
14	Efizity	X	-
15	RGS Energía	-	X
16	Roda Energia	X	-
17	EE Chile	-	-
18	Farenhouse	-	X
19	Ferrosur	-	X
20	Ghm consultores	-	-
21	Hildebrant	-	-
22	Isener	-	X
23	Voher Eficiencia Energética	-	X
24	Rehau	-	-
25	Geosigma	-	-
26	Geotermika	-	X
27	Aires Climatización	-	-
28	Enecal	-	X
29	Gormaz y Zenteno	-	-
30	Amoval	-	X
31	Ecoclimatización	X	X



#### 7.3.2.4 Empresas que realizan estudio de terreno y perforación

Se han identificado empresas y consultorías que llevan a cabo estudios de terreno para registrar las condiciones del suelo donde se pretende realizar la instalación. Estas empresas utilizan generalmente la prueba de respuesta térmica (en inglés *thermal response test*, TRT), la cual corresponde a una metodología tradicional para la determinación in situ de la resistencia térmica existente en el terreno. La gran ventaja de esta prueba es que permite estudiar las propiedades térmicas del suelo, incluyendo las aguas subterráneas y el material de relleno. La importancia de esta etapa radica en que, a partir de ésta, se ha de establecer el sistema de captación que permitirá explotar el recurso geotérmico correctamente. No obstante, esta etapa dentro de la cadena de valor usualmente no se considera para proyectos domiciliarios que requieren instalaciones de baja potencia, lo cual puede traer consigo problemas posteriores a la puesta en marcha.

Posterior a la etapa donde se realiza el estudio de terreno, se realiza el proceso de excavación y perforación donde se instalan los captadores de frío y calor. Los actores involucrados en este rubro pueden ser empresas externas que se dedican únicamente a prestar dichos servicios cuya solicitud ocurre generalmente cuando se trata de proyectos de gran envergadura; y, por otro lado, estos actores pueden ser parte de las mismas entidades que diseñan el proyecto, suministran los equipos y ejecutan la instalación, lo cual suele ocurrir para proyectos unifamiliares o comerciales de baja y media potencia. Cabe destacar que, para el primer caso, los actores involucrados suelen ser empresas que prestan servicios a la industria de la minería.

A continuación, se muestran los actores identificados que realizan estudios de terreno y perforación.

**Tabla 17. Actores que realizan estudios de terreno y/o perforación.**

N°	Empresa	Estudio de terreno	Perforación
1	Complex	x	-
2	Geoestudios	x	-
3	Terraignota	x	-
4	Perfomaq	-	x
5	Enalteco	x	x
6	Enativa	x	x
7	Geomarket	x	x
8	Natclima	-	x
9	Oden	-	x
10	Geo Operaciones	x	x

Nº	Empresa	Estudio de terreno	Perforación
11	Geotec	x	x
12	GHM Consultores	x	-
13	Hildebrant	x	-
14	Isener	x	x
15	Voher	-	x
16	Geosigma	x	-
17	Hidrosondajes	-	x
18	DrillChile	-	x

### 7.3.2.5 Empresas Instaladoras

Como se mencionó previamente, las entidades que realizan la instalación de los sistemas geotérmicos deben realizar por un lado la instalación a nivel del subsuelo, y por otro lado, la instalación a nivel superficial. Estas empresas son centrales dentro de la cadena de valor ya que toman contacto directo con los proveedores de suministros, ejecutan los proyectos en función del diseño estipulado por la empresa de ingeniería, siendo además las encargadas de gestionar los recursos necesarios y los tiempos de instalación. En base al estudio realizado, se ha identificado que los proyectos de baja y media potencia (los cuales van dirigidos a viviendas unifamiliares o estancias comerciales) suelen ser llave en mano, donde las empresas instaladoras son de igual manera las entidades que asesoran al cliente y diseñan el proyecto, y las que se encargan del suministro de equipos y su mantención post venta.

Por otro lado, para proyectos de gran envergadura suelen diferenciarse los actores que dan lugar a la cadena de valor, donde la empresa de ingeniería, proveedores, instaladores y entidades que prestan servicio técnico son entidades independientes entre sí.

A continuación, en la Tabla 18 se muestra el conjunto de entidades instaladoras identificadas donde se señala el tamaño de la instalación que pueden realizar, indicando además cuáles suministran equipos y asesoran proyectos.

**Tabla 18. Empresas instaladoras identificadas en el área geotérmica.**

Nº	Empresa	Distribución y Venta	Asesoría	Instalación de baja potencia	Instalación de media potencia	Instalación de alta potencia
1	Complex	x	x	x	x	x

Nº	Empresa	Distribución y Venta	Asesoría	Instalación de baja potencia	Instalación de media potencia	Instalación de alta potencia
2	Climatiza	x	x	x	x	-
3	Enalteco	x	x	x	x	x
4	Enativa	-	x	x	x	x
5	Geomarket	x	x	x	x	x
6	Natclima	x	x	x	x	-
7	Oden	x	x	x	-	-
8	RGS Energía	-	x	x	x	-
9	Farenhouse	-	x	-	-	-
10	Ferrosur	x	x	x	x	-
11	Isener	x	x	-	x	x
12	Voher Eficiencia Energética	x	x	x	x	-
13	Geotermika	x	x	x	x	x
14	Enecal	x	x	-	-	-
15	Amoval	-	x	x	x	-
16	Ecoclimatización	x	x	-	x	x

### 7.3.2.6 Empresas Inspectoras Técnicas de Obra y Certificadoras

Al igual que en la aerotermia, para proyectos de media y gran envergadura se requiere la etapa de inspección técnica de obra realizada por una empresa especializada que pueda inspeccionar la ejecución de las diferentes instalaciones. En este caso, se cuenta con las siguientes entidades que prestan dicho servicio: Complex, Enalteco, Enativa, Improve, Roda Energía, Hildebrant e Isener.

Por otro lado, no existe un marco regulatorio que exija la certificación de calidad de las bombas de calor que operen en función de la energía geotérmica, lo cual puede traer consigo dificultades en la operación de estos sistemas. Por último, se encuentran las entidades que certifican las edificaciones que operan con sistemas o que implementan estrategias de operación eficientes (EE), cuyos organismos encargados coinciden con los mencionados en la sección 7.3.1.5.

### 7.3.2.7 Entidades reguladoras de proyectos geotérmicos

En Chile, actualmente se está discutiendo la modificación de la Ley N° 19.657, la cual trata sobre las concesiones de energía geotérmica y la que fue promulgada en enero del 2000 [57]. En esta, se establece un sistema concesional para la exploración y explotación para cualquier uso de la energía geotérmica, la cual está pensada principalmente para proyectos geotérmicos de alta entalpía para la generación eléctrica, limitando el desarrollo de proyectos de baja entalpía o de usos térmicos directos. De hecho, de acuerdo a la regulación actual, no es posible solicitar concesiones con dimensiones de largo y ancho menores a 100 metros, lo que es una barrera para el desarrollo de proyectos en ciudades. La modificación de esta ley, por tanto, busca desarrollar una reglamentación de estándares de seguridad para actividades geotérmicas de naturaleza arbitraria, modificar el régimen de fiscalización, crear el Registro de Aprovechamientos Someros para instalaciones cuya profundidad sea menor a 400 metros y que usen calor a menos de 90°C, entre otras.

La entidad fiscalizadora que rige actualmente para velar por el cumplimiento de esta ley es el Ministerio de Energía, el cual tiene la función de elaborar normativas, administrar la ley y fiscalizar; ahora, estas funciones se han de entregar a la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), cuyas facultades serán las de fiscalizar y supervisar el cumplimiento de la ley y sus reglamentos.

### 7.3.2.8 Empresas que prestan servicio técnico

Para el caso de la geotermia, las empresas que realizan servicio técnico por lo general son las mismas empresas que realizan la instalación de los sistemas: Complex, Antusolar, Climatiza, Enalteco, Enativa, Geomarket, Natclima, Oden, RGS Energía, Farenhouse, Ferrosur, Geotérmika, EcoGreen Chile, Enecal, Amoval y ECOclimatización.

## 7.4 Análisis FODA de la Cadena de Valor

En el presente subcapítulo se expone el análisis FODA realizado sobre la cadena de valor para los sistemas aerotérmicos y geotérmicos, donde, para la realización de este análisis, se recopilaron antecedentes a través de dos mecanismos principales:

1. Búsqueda de bibliografía pertinente.
2. Contacto con actores relevantes en dicha industria.

Respecto al primer punto, se utilizaron referencias asociadas al mercado de bombas de calor, las cuales correspondían principalmente a estudios realizados en Europa. Por esta razón, y con el fin de detectar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en lo que respecta al mercado nacional, se realizaron reuniones presenciales con tres principales actores. En primer lugar, el equipo de trabajo se reunió con Diego Vasco, Director del Departamento de Climatización de la Universidad de Santiago; posteriormente se reunió con Roberto Santander, Profesor Asociado de la misma universidad; y por último, con Peter Yufer, presidente de la

Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización que corresponde a la asociación gremial que incorpora a diferentes actores nacionales involucrados en el área de climatización, refrigeración y calefacción. A partir de las reuniones realizadas, se pudieron identificar brechas existentes en este mercado, y oportunidades de mejora para apuntar al crecimiento de este último.

#### 7.4.1 FODA Aerotermia

A continuación, se presenta el análisis FODA de la cadena de valor de las bombas de calor aerotérmicas.

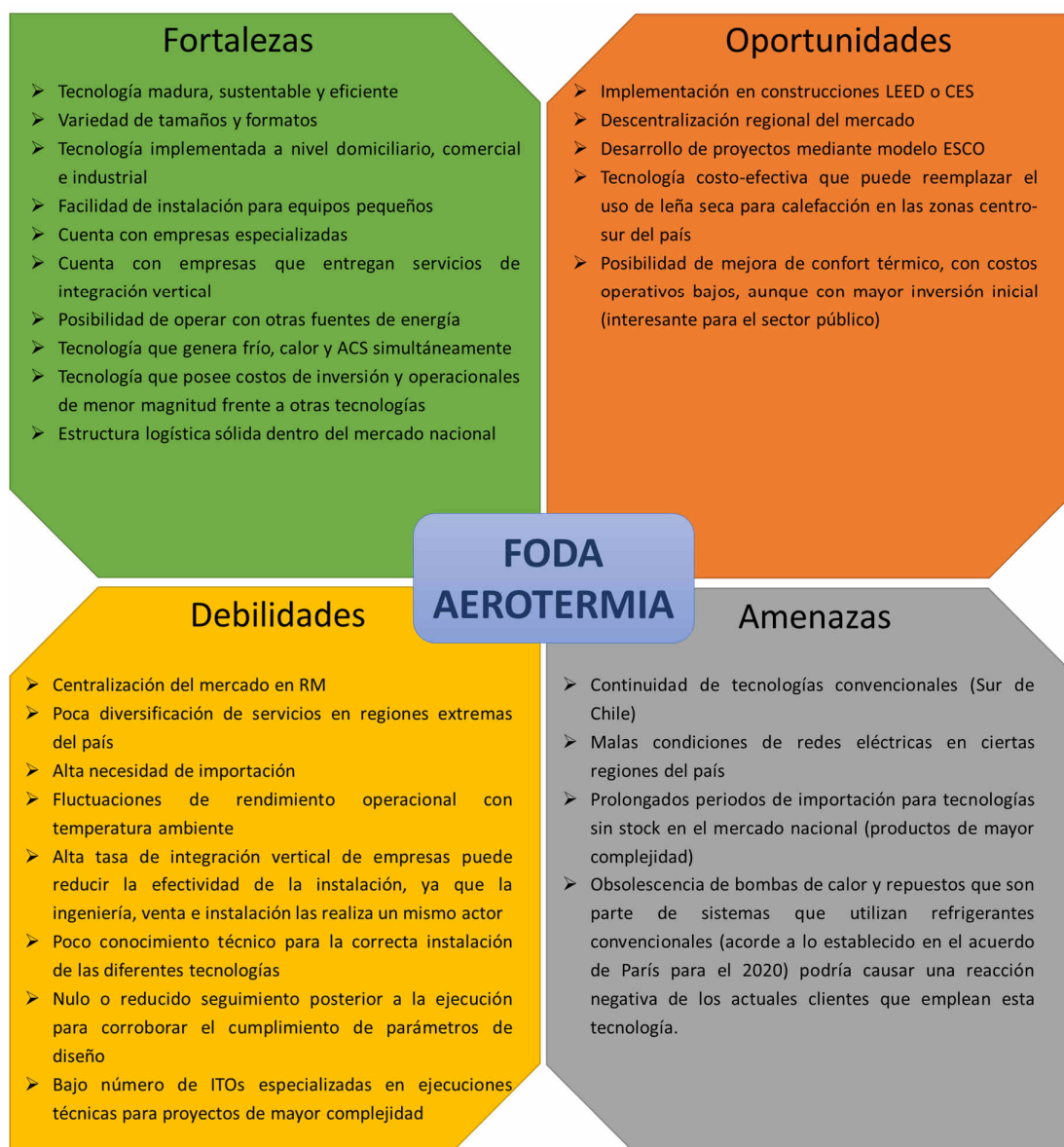


Figura 78. Análisis FODA Bombas de Calor Aerotérmicas. Elaboración propia.

Cada uno de estos puntos se detallan a continuación por categoría.

#### **Fortalezas:**

- Los sistemas aerotérmicos han demostrado ser una tecnología eficiente y madura con la cual es posible dar suministro de calefacción, refrigeración y producir ACS a través de la utilización de energías limpias.
- Existe un porcentaje de actores que realiza una única actividad, lo cual puede garantizar un alto estándar de calidad en la ejecución de esta última dentro del desarrollo del proyecto.
- Existe un porcentaje de actores que presta servicios de integración vertical, cuya ejecución del proyecto puede caracterizarse por ser un proceso sin dificultades de logística, reduciendo los tiempos de desarrollo del mismo.
- Las tecnologías que operan en base a la aerotermia pueden encontrarse en diferentes tamaños y formatos, pudiendo ser implementadas a nivel domiciliario unifamiliar y plurifamiliar y, a nivel comercial e industrial, donde, para cada tamaño y área de negocio, existen actores que pueden estar especializados en una sola actividad, o prestar servicios integrales.
- Los proyectos de climatización y refrigeración en base a la aerotermia aseguran un carácter de eficiencia energética ya que, poseen altos rendimientos que permiten garantizar ahorros en su funcionamiento, lo cual que puede incentivar aún más el desarrollo de esta tecnología en el país.
- Los equipos de aire acondicionado poseen costos de inversión competitivos y su instalación es sencilla y efectiva.
- Los sistemas aire-agua tienen la posibilidad de ser hibridados con otras fuentes de energía (como la solar), lo que permite mejorar los niveles de rendimiento energético.
- La tecnología aerotérmica puede suministrar frío, calor y producir ACS de manera simultánea a partir de un mismo sistema.
- La estructura logística en este tipo de proyectos tiene una base sólida dentro del mercado chileno, lo cual permite que existan redes de conexiones estables entre los diferentes actores que no comparten un mismo lugar geográfico (puertos, carreteras, distintos tipos de transporte, entre otros).

#### **Oportunidades:**

- El incentivo de utilizar fuentes de energía renovables como lo es la aerotermia para climatizar ambientes y/o suministrar refrigeración promueve el crecimiento de la implementación de este tipo de tecnologías en Chile, aumentando con ello la presencia de actores y dando la posibilidad de descentralizar el mercado de los sistemas aerotérmicos, el cual se concentra actualmente en la Región Metropolitana.
- El incentivo de construir edificaciones con certificación LEED o CES, promueve el uso de sistemas eficientes energéticamente, donde la tecnología

aerotérmica es una verdadera opción para climatizar los ambientes de manera sustentable y limpia. Esto podría reemplazar el uso de tecnologías convencionales para confort térmico tales como calderas, estufas u otros.

- Los modelos de negocio tipo ESCO podrían ser una real alternativa para incentivar el crecimiento de proyectos aerotérmicos de alta complejidad, pudiendo viabilizar su ejecución cuando los clientes no cuentan con la inversión requerida.
- Los sistemas aerotérmicos son una tecnología costo efectiva que permitiría reemplazar el uso de leña seca para calefacción en las zonas centro-sur del país.
- La tecnología aerotérmica puede ser una alternativa muy válida para mejorar el confort térmico de edificios públicos en donde interesa que los costos operativos sean bajos y se puede aceptar inversiones iniciales un poco más altas.

#### **Debilidades:**

- Se observa una marcada centralización de los diferentes actores identificados, los cuales se concentran en la región metropolitana. Las otras regiones, por ende, presentan menor diversificación de servicios y además, los proyectos que se ejecuten en ellas pueden presentar mayor dificultad en la logística.
- Se observa un número reducido de empresas chilenas que fabrican sistemas aerotérmicos de media y alta potencia, los cuales pueden ser construidos en función de los requerimientos del cliente. La poca presencia de estos actores dificulta la implementación de sistemas hechos a la medida.
- La falta de fabricantes locales genera la necesidad de importar las tecnologías, proceso que en algunos casos presenta dificultades tales como atrasos en el tiempo de entrega de los productos.
- Las empresas integradas verticalmente pueden tener un menor grado de especialización en las distintas etapas de la cadena haciendo que la solución sea posiblemente deficiente respecto a proyectos realizados por entidades especializadas en cada área. En otras palabras, el hecho que una misma empresa haga la ingeniería, venda los equipos y los instale genera mayor factibilidad de que aparezcan errores posteriores en la operación.
- Existe un bajo número de entidades especializadas en el área de inspección de instalaciones (ITOs) que velen por la correcta ejecución técnica de los proyectos. En especial de proyectos de mayor complejidad.
- El rendimiento de los sistemas aerotérmicos depende directamente de la temperatura ambiente, lo que generará fluctuaciones en el consumo eléctrico tanto a lo largo de un día como a lo largo de un año.
- En base a lo reportado por Roberto Santander, docente de la Universidad de Santiago, se constató el poco conocimiento técnico por parte de las entidades instaladoras para la correcta ejecución de las diferentes tecnologías. De



hecho, se ha informado que una de las importantes marcas de sistemas de bombas de calor ha perdido prestigio y con ello participación dentro del mercado chileno debido a malas prácticas en su instalación (problemas en soldaduras, fugas, suciedad, entre otros).

- Adicionalmente, en la misma reunión, se mencionó el reducido o nulo seguimiento luego de la puesta en marcha de los sistemas instalados, lo cual no permite comprobar si las instalaciones están operando bajo los parámetros establecidos en la etapa de diseño (parámetros tales como consumo energético, rendimiento, entre otros).
- A partir de la reunión realizada con Peter Yufer, Presidente de la Cámara, se constataron debilidades en las condiciones técnicas en lo que respecta instalaciones eléctricas existentes a nivel residencial en Chile. Esto, ha dificultado el crecimiento del uso de equipos de calefacción y refrigeración en base a bombas de calor aerotérmicas, lo cual, en el caso de continuar bajo esta situación, podría convertirse en una amenaza importante para el crecimiento de esta tecnología para los próximos años.

#### **Amenazas:**

- En las ciudades del centro-sur de Chile los sistemas de calefacción con mayor uso siguen siendo las tecnologías convencionales que utilizan leña o incluso gas como fuente de energía, lo cual se explica debido a que éstas suelen tener un menor costo de inversión a pesar de que por ejemplo en el caso de tecnologías a gas el costo operacional es mayor. Esto se ve aún más complejo en relación a la calefacción a leña que además tiene un costo operacional muy bajo y además, existe un hábito establecido en el uso de estos sistemas. Esta situación podría cambiar si a futuro se exigiera que la leña a utilizar fuera solo certificada, como puede ocurrir en ciudades saturadas de contaminación. En estos casos, el costo operacional de las tecnologías a combustión sería más alto y la aerotermia podría ser más competitiva. En cualquier caso, es una situación real que ocurre en buena parte del territorio centro-sur del país.
- En zonas rurales del país donde es usual que ocurran cortes de luz, es posible que haya un desincentivo por parte de los clientes en implementar la tecnología aerotérmica cuya principal fuente motriz es la electricidad.
- Los equipos de mayor complejidad tales como los VRV, son sistemas que no cuentan con fabricantes en el país y además las empresas que los distribuyen, por lo general no disponen de stock, por lo que se requiere su importación en cada proyecto. El retraso en el despacho de estos sistemas podría dificultar el desarrollo de proyectos, en los casos que el tiempo de ejecución sea crítico.
- En base al acuerdo de París, a partir del 2020 se dejarán de fabricar bombas de calor y repuestos que sean parte de sistemas que utilicen refrigerantes con un GWP superior a 2500, lo que trae consigo la pronta obsolescencia de los actuales sistemas instalados. Esto, podría ocasionar una reacción negativa de los usuarios que son parte de este mercado y generar con ello una visión sesgada de este último.



## 7.4.2 FODA Geotermia

A continuación, se presenta el análisis FODA de la cadena de valor geotérmica.



**Figura 79. Análisis FODA Bombas de Calor Geotérmicas. Elaboración propia.**

Cada uno de estos puntos se detallan a continuación por categoría.

### Fortalezas:

- Existen proyectos nacionales de geotermia de baja entalpía en marcha y en buenas condiciones de operación. Esto significa, que existen las redes y estructura básica para explotar el recurso.
- Existe un conocimiento geotécnico desarrollado debido a la alta actividad minera en el país, donde, a pesar de que las entidades asociadas a este rubro no estén dedicadas al desarrollo de instalaciones geotérmicas, sí existe una

base sólida sobre el comportamiento de la tierra, las perforaciones y la física que hay detrás de la geotermia a nivel teórico.

- Existe un gran número de actores que realizan perforaciones de pozos para la obtención de agua subterránea a causa de la alta demanda de dichas prestaciones por parte del sector de la agroindustria en el país, lo cual, resulta beneficioso para el desarrollo de proyectos de ciclo abierto que pretendan utilizar aguas subterráneas como fuente de energía.
- Existe un elevado nivel de integración vertical entre los actores que son parte de la cadena de suministro en Chile, lo cual quiere decir que las entidades dedicadas al rubro usualmente desarrollan los proyectos desde su concepción, adquisición de recursos materiales, la ejecución de la obra, puesta en marcha y servicio post venta, lo que facilita los tiempos de gestión y la comunicación.
- La innovación tecnológica desarrollada por países especializados en geotermia de baja entalpía ha permitido mejorar la eficiencia de este tipo de instalaciones, logrando obtener un COP que puede ir de 4 a 5 bajo condiciones climáticas favorables y temperaturas de confort moderadas [41] [42].
- Aparte de poseer un elevado desempeño, las bombas de calor geotérmicas pueden operar sin grandes fluctuaciones en el consumo eléctrico, a diferencia de los sistemas aerotérmicos.

#### **Oportunidades:**

- El incentivo de construir edificaciones con certificación LEED o CES, podría promover la implementación de los sistemas geotérmicos para climatizar su interior.
- Los modelos de negocio tipo ESCO podrían ser una real alternativa para incentivar el crecimiento de proyectos geotérmicos de baja entalpía, tal como ya ha ocurrido para ciertas construcciones a lo largo del país, pudiendo viabilizar los proyectos cuando los clientes no cuentan con la inversión requerida.
- La modificación de la Ley N°19.657 Sobre Concesiones de Energía Geotérmica podría aumentar los estándares de calidad para los servicios entregados por cada uno de los actores, facilitando y promoviendo su ejecución.
- Las características geográficas del país y del recurso geotérmico hacen que los proyectos sean efectivos a nivel de prestaciones, es decir, que puedan suministrar calefacción en periodos de invierno y refrigerar ambientes en el periodo de verano, sin presentar grandes fluctuaciones en el rendimiento de estos sistemas.
- En el sur del país, debido a sus favorables condiciones geográficas y administrativas como la alta presencia de efluentes naturales y contar con grandes extensiones de terreno, se hace viable realizar proyectos de climatización en base a geotérmica en edificios multifamiliares y entidades comerciales e industriales.

- La necesidad de reducir la producción de material particulado en las ciudades del sur de Chile, abre la posibilidad de implementar soluciones de calefacción distrital en base a geotermia de baja entalpía.
- El crecimiento del interés en la geotermia de baja entalpía podría descentralizar la industria, generar mayor especialización por rubro y crear mayor competencia de precios.

#### **Debilidades:**

- Los recursos materiales son principalmente fabricados en el extranjero, lo que genera una alta dependencia del mercado internacional y sus precios, hace que las soluciones no estén adaptadas a la realidad nacional y que el proceso de comunicación entre el actor que fabrica y el resto de los actores, incluyendo el cliente, se vea dificultado.
- Aún existe poca divulgación de la tecnología geotérmica, lo cual ha hecho que no exista incentivo de desarrollar proyectos de esta índole por parte de clientes.
- El elevado grado de integración de los actores provoca que la especialización en cada una de las etapas de la cadena de valor en este tipo de proyectos sea poco profunda, entregando posiblemente soluciones deficientes con relación a otros países con más trayectoria en esta área.
- La baja competencia en el país debido a un reducido número de actores puede estar afectando el precio de las soluciones.
- Se observa que, gran parte de los actores que suministran los equipos solicitados y conjuntamente realizan su instalación, no cuentan con el conocimiento técnico especializado.
- No existen organismos que impartan conocimiento técnico especializado en instalaciones geotérmicas de baja entalpía, dificultando la innovación y la creación de nuevas alternativas adaptadas a la realidad nacional.
- La elevada centralización de los principales actores hace que la operación logística dentro de la cadena de valor se vea afectada para proyectos que deban realizarse en regiones alejadas de la capital.
- Aún no existe una normativa clara que regule el uso no consuntivo de aguas subterráneas o superficiales para abastecer las bombas de calor geotérmicas de ciclo abierto, lo cual implica un vacío legal en el desarrollo de este tipo de proyectos.
- En proyectos geotérmicos no existen entidades especializadas en el área de inspección de instalaciones (ITOs) que velen por su correcta ejecución técnica.
- La complejidad en la implementación de sistemas geotérmicos sumado a la alta inversión que requiere este tipo de instalaciones incluso a nivel domiciliario genera un desincentivo para su implementación por parte de los clientes.

- En sistemas de circuito abierto existe la necesidad de realizar un tratamiento químico de las aguas freáticas o superficiales que se utilicen, lo cual encarece operacionalmente la solución. En el caso de no realizarse dicho procedimiento, existe el riesgo de deteriorar físicamente el equipo donde se produce el intercambio térmico con el agua, entreabriendo la posibilidad de que se generen depósitos de sarro, corrosión, entre otros, reduciendo finalmente el rendimiento del sistema global.
- Se presenta un alto grado de dificultad para realizar mantenciones del sistema de captación al encontrarse a nivel subterráneo.
- En base a lo reportado por Roberto Santander, y al igual que para el caso de los sistemas aerotérmicos, no se evidencia un proceso de seguimiento luego de la puesta en marcha de los sistemas instalados, lo cual no permite comprobar si las instalaciones están operando bajo los parámetros establecidos en la etapa de diseño (consumo energético, rendimiento, entre otros).
- Al igual que en aerotermia, las debilidades en lo que respecta instalaciones eléctricas dificulta la decisión por parte de los usuarios de implementar la tecnología de bombas de calor geotérmicas a nivel residencial.

#### **Amenazas:**

- En el sur del país aún sigue primando la utilización de sistemas convencionales para suministrar calefacción a los ambientes, sistemas tales como estufas a leña y gas, lo cual se explica en primer lugar porque estas tecnologías suelen tener un menor costo de inversión, y en segundo lugar, porque son sistemas que han sido utilizados desde siempre. La continuidad del uso de estos sistemas convencionales podría ocasionar un bajo nivel de penetración de la geotermia de baja entalpía en estas zonas del país.
- En zonas rurales del país donde es usual que ocurran cortes de luz, es posible que haya un desincentivo por parte de los clientes en implementar la tecnología aerotérmica cuya principal fuente motriz es la electricidad.
- Los precios de la tecnología desincentivan la inversión y hacen que sea más compleja de adoptar por las empresas comerciales, industrias y a nivel residencial unifamiliar y multifamiliar.
- La poca divulgación de información sobre la tecnología geotérmica en el país, sus principios, virtudes y defectos, podría dificultar aún más la entrada y su posterior permanencia en la industria nacional.
- Los efectos del cambio climático podrían afectar negativamente las condiciones hidrológicas de instalaciones geotérmicas de circuito abierto, lo que incluye la posible sequía en ciertas zonas del país.
- En base al acuerdo de París, a partir del 2020 se dejarán de fabricar bombas de calor y repuestos que sean parte de sistemas que utilicen refrigerantes con

un GWP superior a 2500, lo que trae consigo la pronta obsolescencia de los actuales sistemas instalados. Esto, podría ocasionar una reacción negativa de los usuarios de esta tecnología y generar con ello una visión sesgada de esta última.

## 8. Construcción Índice de Precios

Esta etapa del proyecto abordó los trabajos asociados al Objetivo Específico N°3 del proyecto que busca obtener un índice de precios de los sistemas de bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas, así como de equipos y obras asociadas. Esto, se ha realizado en base a los resultados de los trabajos previos correspondientes al estudio de las distintas tecnologías de bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas existentes, así como a la definición y análisis de las etapas de la cadena de valor de estas tecnologías en el mercado chileno.

Es así como ya se levantaron las diferentes alternativas tecnológicas de bombas de calor existentes en el mercado, en conjunto con un directorio de empresas proveedoras de equipos y servicios asociados a bombas de calor, que forman parte del universo al que se recurrirá para la elaboración del índice de precios a partir de la implementación de una encuesta específica que forma parte de esta última etapa del proyecto.

Para el alcance de este objetivo, entonces, se definió una serie de actividades que se resumen en la Figura 80 y que se materializan en las 4 subsecciones de este capítulo.



**Figura 80. Actividades para la obtención del Índice de Precios de las Bombas de Calor.**

### 8.1 Diseño Encuesta

En este primer subcapítulo se ha procedido a la confección de una encuesta a aplicar en formato digital a una serie de proveedores de bombas de calor y de servicios y productos asociados relevantes.

Estas encuestas contemplan todos los aspectos necesarios para levantar información que permita definir un índice de precios de las tecnologías señaladas separando los resultados según los tipos de tecnologías previamente identificadas y las diferentes áreas de negocio y actores establecidos en la Cadena de Valor analizada en el capítulo anterior.

#### 8.1.1 Procedimiento de Diseño

Después del levantamiento de la Cadena de Valor de las bombas de calor tanto aerotérmicas como geotérmicas se verificó un amplio espectro de actores y tecnologías que engloban el mercado chileno de las bombas de calor.

Como se señaló en el Capítulo 7. en la Cadena de Valor se identificaron 3 áreas fundamentales: área de fabricación-distribución, área de proyecto y área de actividades o recursos de apoyo. De cara a la realización de la encuesta, se trabajó enfocado en caracterizar el índice de precios específico para el área de proyecto, lo que en otras palabras significa que se buscó estudiar los precios finales de las tecnologías de cara a los usuarios finales y no a los precios intermedios de la cadena de suministro, como podrían haber sido los precios de venta de importadores a distribuidores o de fabricantes o distribuidores a instaladoras. Por el contrario, los precios estudiados y caracterizados y que busca consultar la encuesta tienen relación con el precio final que pagaría una industria, empresa o una persona natural que quiera implementar su proyecto en particular. Por ende, el precio contempla todos los recargos propios de las diferentes etapas de la cadena de suministro.

Por otra parte, el procedimiento de diseño de la encuesta contempló abarcar una caracterización no solo de tecnologías específicas de bombas de calor, ni tampoco de una instalación global completa, sino también de elementos desagregados de una instalación típica de bombas de calor, aunque se dejó fuera del análisis de precios a la fase de ingeniería o planificación de los proyectos. Dentro de los aspectos a analizar de la fase de instalación se consideraron tanto los equipos o tecnologías de bombas de calor, así como sus componentes secundarios de mayor relevancia, como son las denominadas unidades terminales de la cadena de valor que se reflejó en los sistemas de emisión y en los porcentajes de costo de instalación, donde se buscaba abarcar los restantes componentes principales y secundarias propias de cualquier proyecto de bomba de calor.

También relativo a las bombas de calor geotérmicas, se consideró ahondar en precios específicos de pozos y sistemas de captación geotérmicos tanto horizontales como verticales.

Finalmente, en relación a la etapa de operación de los proyectos, la encuesta se enfocó en la caracterización de los precios de mantenimiento preventivo de las diferentes tecnologías estudiadas.

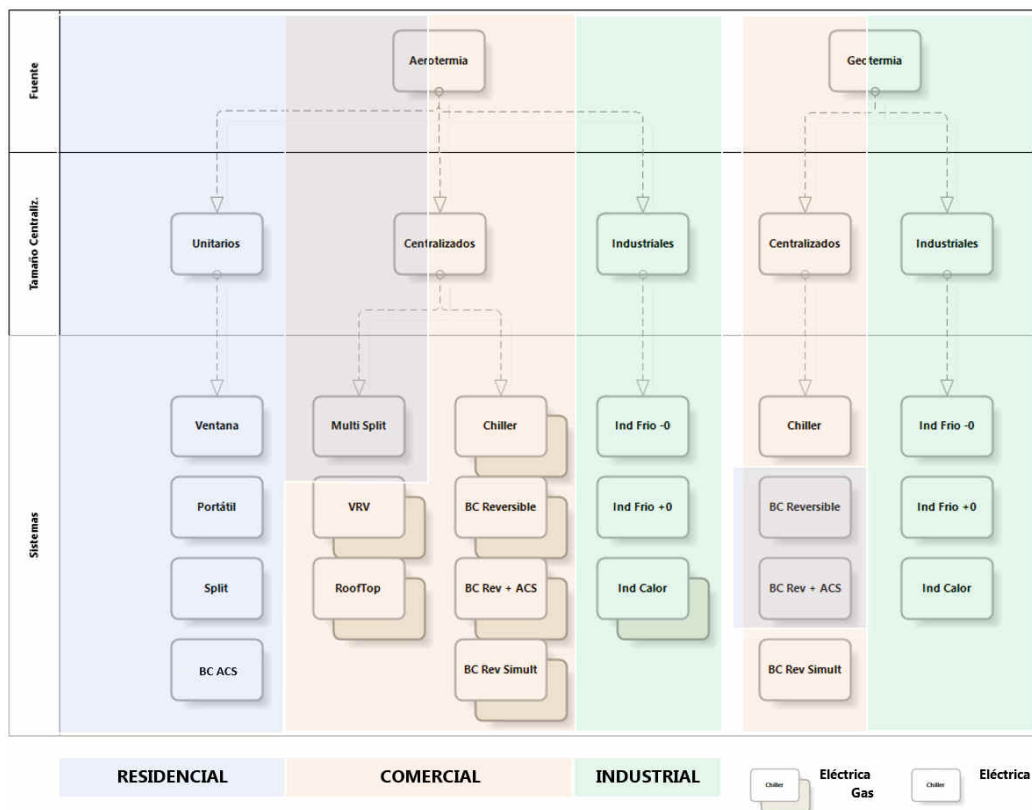
#### **8.1.1.1 Tecnologías preliminares de bombas de calor**

Como punto de partida para el diseño de la encuesta se realizó una agrupación y clasificación de las diversas tecnologías de bombas de calor levantadas en la etapa anterior del proyecto. Esto con el fin de definir los diferentes índices de precio a calcular ya que cada tecnología y cada uso generará un índice de precio específico y por lo tanto, la encuesta debiera ser diseñada para recoger cada uno de estos precios para cada tecnología.

El resumen de las tecnologías levantadas y agrupadas para las diferentes áreas de negocio factibles en el mercado chileno son las que se pueden observar en la Figura 81.

Este esquema muestra las diferentes tecnologías de aerotermia y geotermia en un árbol en que se subdividen los equipos unitarios, centralizados e industriales. Y en colores, se diferencian las áreas de negocio a la que pueden corresponder las tecnologías. Es así como en color azul se aprecian los sistemas aplicables al sector residencial que abarcan la aerotermia unitaria, los centralizados *multisplit* y las bombas de calor reversibles y reversible + ACS de geotermia. En color naranja se presentan las aplicaciones comerciales que abarcan principalmente los sistemas centralizados tanto en aerotermia como geotermia. Y finalmente, en color verde se resumen las aplicaciones industriales que se separan principalmente en 3 tipos de bombas de calor: de refrigeración (bajo 0°C), de frío (sobre 0°C) y de calor. Éstas tanto en aerotermia como geotermia.

El último aspecto que también muestra el esquema son los casos de bombas de calor accionadas en forma eléctrica, como a gas. Todas las tecnologías están disponibles en formato eléctrico y los bloques con sombra señalan que también están disponibles a gas.



**Figura 81. Esquema de Tecnologías de Bombas de Calor y Áreas de Negocio.**

De la gráfica anterior, se pueden listar un total de 27 casos combinados de tecnologías a cuantificar y caracterizar, los que se resumen en la Tabla 19.



**Tabla 19. Listado Preliminar de Tecnologías de Bombas de Calor**

N°	Acrónimo	Tipo	Foco	Fuente
1	Portátil_A_E	Portátil	Aerothermia	Electricidad
2	Ventana_A_E	Ventana	Aerothermia	Electricidad
3	Split_A_E	<i>Split</i>	Aerothermia	Electricidad
4	BCACS_A_E	Bomba Calor ACS	Aerothermia	Electricidad
5	MSplit_A_E	<i>MultiSplit</i>	Aerothermia	Electricidad
6	BCRv_A_E	Bomba Calor Reversible	Aerothermia	Electricidad
7	BCRv_A_G	Bomba Calor Reversible	Aerothermia	Gas
8	BCRv_G_E	Bomba Calor Reversible	Geothermia	Electricidad
9	BCRvA_A_E	Bomba Calor Reversible + ACS	Aerothermia	Electricidad
10	BCRvA_A_G	Bomba Calor Reversible + ACS	Aerothermia	Gas
11	BCRvA_G_E	Bomba Calor Reversible + ACS	Geothermia	Electricidad
12	Chiller_A_E	<i>Chiller</i>	Aerothermia	Electricidad
13	Chiller_A_G	<i>Chiller</i>	Aerothermia	Gas
14	BCRvSim_A_E	Bomba Calor Reversible Simultánea	Aerothermia	Electricidad
15	BCRvSim_A_G	Bomba Calor Reversible Simultánea	Aerothermia	Gas
16	BCRvSim_G_E	Bomba Calor Reversible Simultánea	Geothermia	Electricidad
17	RoofTop_A_E	<i>RoofTop</i>	Aerothermia	Electricidad
18	RoofTop_A_G	<i>RoofTop</i>	Aerothermia	Gas
19	VRV_A_E	VRV	Aerothermia	Electricidad
20	VRV_A_G	VRV	Aerothermia	Gas
21	VRVRec_A_E	VRV con Recuperación	Aerothermia	Electricidad
22	VRVRec_A_G	VRV con Recuperación	Aerothermia	Gas

N°	Acrónimo	Tipo	Foco	Fuente
23	IndSub0_A_E	Industrial de Refrigeración (Bajo 0°C)	Aerothermia	Electricidad
24	IndSob0_A_E	Industrial Frío (Sobre 0°C)	Aerothermia	Electricidad
25	IndCalor_A_E	Industrial Calor	Aerothermia	Electricidad
26	IndCalor_A_G	Industrial Calor	Aerothermia	Gas
27	IndCalor_G_E	Industrial Calor	Geothermia	Electricidad

A partir de este primer listado de tecnologías, se procedió al diseño de una primera encuesta que significó una enorme cantidad de preguntas que finalmente evidenció la necesidad de acotar las tecnologías con el fin que la encuesta no fuera extremadamente larga de responder por las empresas del sector.

### 8.1.1.2 Selección de Tecnologías

En conjunto con la contraparte del Ministerio de Energía y GIZ se revisaron las tecnologías levantadas y se decidió seleccionar las tecnologías que se presentan en la Tabla 20.

Estas tecnologías se consideraron de mayor relevancia para un primer levantamiento de un índice de precios de bombas de calor en el mercado del país, priorizando las tecnologías de geothermia y las bombas de calor aerotérmicas para uso residencial (*Split* y ACS), así como bombas comerciales reversibles + ACS y las bombas de calor industriales de calor.

**Tabla 20. Selección final de Tecnologías de Bombas de Calor a Encuestar**

N°	Acrónimo	Tipo	Foco	Fuente
1	Split_A_E	<i>Split</i>	Aerothermia	Electricidad
2	BCACS_A_E	Bomba Calor ACS	Aerothermia	Electricidad
3	BCRvA_A_E	Bomba Calor Reversible + ACS	Aerothermia	Electricidad
4	BCRvA_A_E	Bomba Calor Reversible + ACS	Aerothermia	Gas
5	IndCalor_A_E	Industrial Calor	Aerothermia	Electricidad
6	IndCalor_A_E	Industrial Calor	Aerothermia	Gas
7	BCRv_G_E	Bomba Calor Reversible	Geothermia	Electricidad
8	BCRvA_G_E	Bomba Calor Reversible + ACS	Geothermia	Electricidad

N°	Acrónimo	Tipo	Foco	Fuente
9	BCRvSim_G_E	Bomba Calor Reversible Simultánea	Geotermia	Electricidad
10	IndCalor_G_E	Industrial Calor	Geotermia	Electricidad

### 8.1.1.3 Árbol de decisión

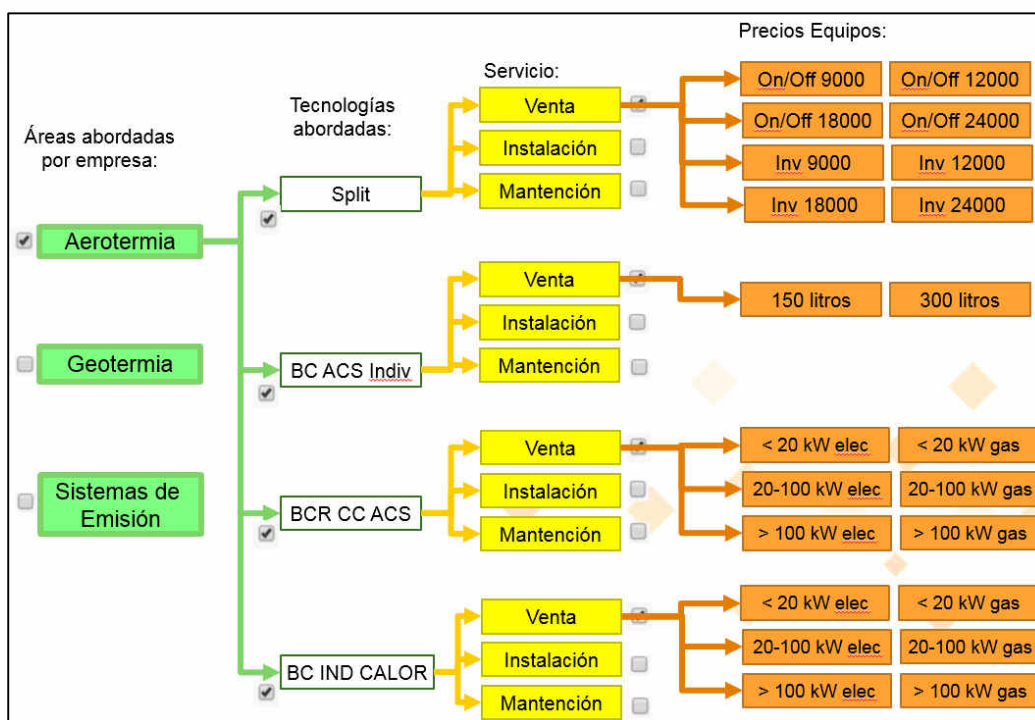
Una vez seleccionadas estas 10 combinaciones de tecnologías, se debió trabajar en un árbol de decisión para la encuesta que resumiera las diferentes preguntas que se realizarían.

Con el fin de no realizar una encuesta para cada tecnología seleccionada, se optó por la realización de una sola encuesta, pero que tuviera una lógica incorporada que reflejara las áreas y tecnologías abordadas por cada empresa. De este modo, la propia encuesta permitiría seleccionar solo las preguntas que pudiera responder cada empresa, así en el caso de empresas que solo abordaran una pequeña parte del abanico de tecnologías, la encuesta se resumiría a solo unas pocas preguntas. Por el contrario, empresas que abordaran venta de equipos, instalación, mantención y tanto tecnologías de aerotermia como geotermia tendrían más preguntas que responder.

Para implementar esta lógica en la encuesta se hacía necesaria la realización de un árbol de decisión que permitiera definir estas preguntas y sus condiciones de aparición.

Este árbol de decisión contemplaría las preguntas relativas a los precios de los propios equipos para diferentes potencias, así como los costos de instalación, mantención y los equipos de emisión y de intercambio con el suelo o pozo en los casos de geotermia.

La Figura 82 muestra el árbol de decisión de las tecnologías de aerotermia y la definición de potencias a consultar precio de venta según cada tecnología.



**Figura 82. Árbol de Decisión Aerotermia – Venta de Equipos.**

De este modo, una empresa que señala abordar el área de aerotermia, entonces se le consultaría por las 4 tecnologías definidas para aerotermia: *Splits*, Bombas de Calor de ACS, Bombas de calor reversibles para calefacción + ACS y bombas de calor industriales para generación de calor.

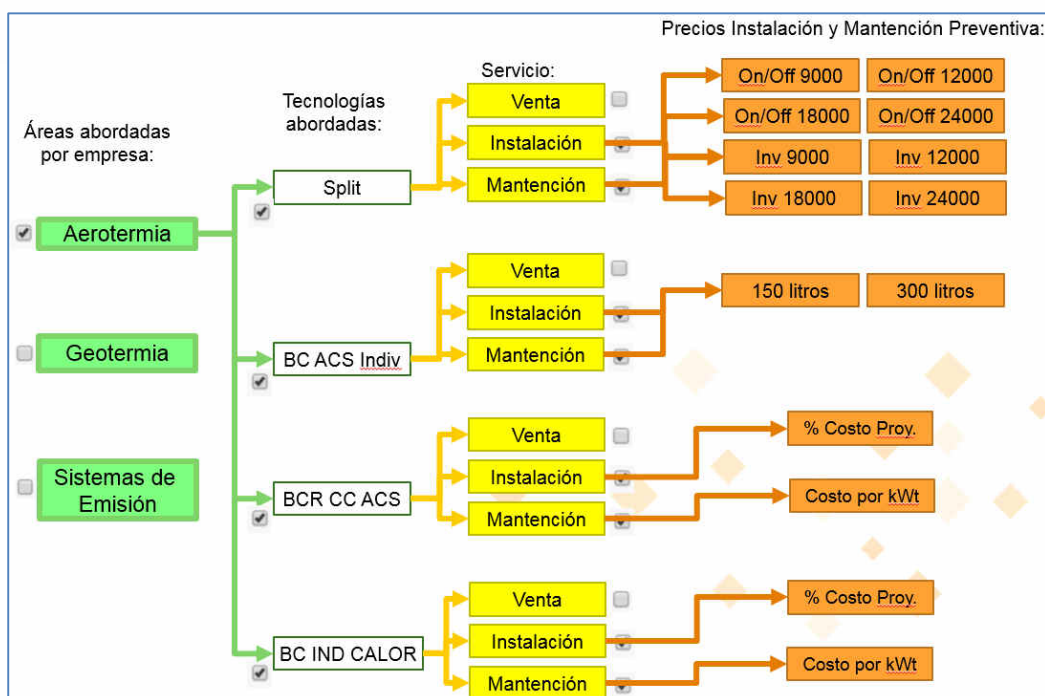
Según cuales seleccione la empresa y en el caso de seleccionar la venta de equipos, se consultarían los precios para los diferentes tamaños señalados.

En el caso de equipos *Splits* se consultarían precios de las potencias: 9.000, 12.000, 18.000 y 24.000 BTU/hr tanto de tipo *ON/OFF* como de tecnología *INVERTER*.

Para las bombas de calor de ACS se consultarían por precios de equipos de 150 y 300 litros.

Y para los casos de bombas de calor centralizadas e industriales se consultaría en forma abierta por equipos a definir por el encuestado, pero en 3 rangos de potencia: menores a 20 kW, entre 20 y 100 kW y equipos sobre 100 kW. Cabe señalar que se decidió trabajar con estos rangos debido a la necesidad de separar por potencia, sin embargo, se tiene presente que son valores arbitrarios y que no necesariamente el mercado se divide de esta manera. Por otro lado, se consultaría por equipos eléctricos y/o a gas en caso de distribuir este tipo de tecnologías.

La Figura 83 muestra de forma similar, el árbol de decisión de la encuesta para aerotermia en caso de que la empresa seleccione instalación y mantención de este tipo de tecnologías.

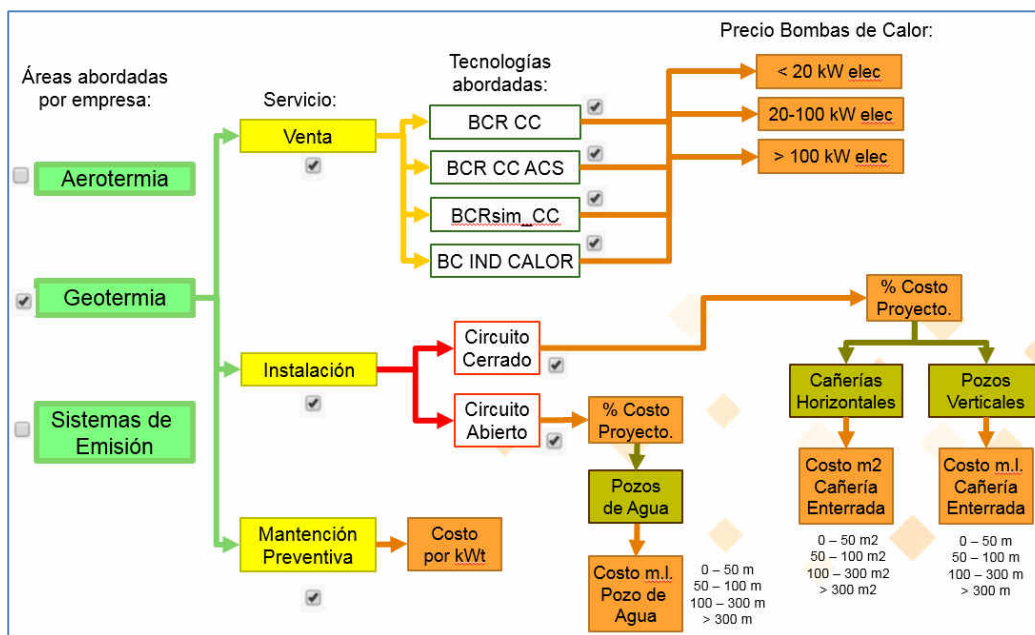


**Figura 83. Árbol de Decisión Aerotermia – Instalación y Mantenimiento.**

Como se observa en la figura, para los casos de bombas de calor tipo *splits* y de ACS individual se ha preferido consultar por precios de instalación y mantenimiento específicos para cada tamaño de equipo, ya que es posible que las empresas que realicen este tipo de instalaciones muy probablemente tienen precios estandarizados de estos ítems para cada tamaño de equipo. Así también se podrá observar si existen variaciones significativas entre los diferentes tamaños o no se da el caso.

Para las tecnologías comerciales e industriales en lo que respecta instalación, se optó por preguntar un valor porcentual (%) relativo al costo total del proyecto, ya que se entiende que el costo de este servicio varía fuertemente según el tamaño del proyecto, la cantidad de equipos instalados, entre otros factores. Con relación al servicio de mantenimiento, se decidió preguntar por el costo por kWt asociado a la mantenimiento preventiva de los sistemas generadores de calor (bombas de calor).

La Figura 84 presenta el árbol de decisión que consideraría la encuesta para empresas que abordarían el área de bombas de calor geotérmicas.



**Figura 84. Árbol de Decisión Geotermia.**

Este árbol de decisión es un poco más complejo que el de aerotermia debido a que la instalación de sistemas geotérmicos contempla además de la bomba de calor, la instalación del circuito de captación, el cual cabe recordar puede intercambiar calor con la tierra o con cuerpos de agua subterráneos o superficiales.

En términos de venta de equipos, la encuesta contempla preguntas de precios por equipo para los 4 tipos de tecnologías geotérmicas: bombas de calor reversibles para climatización, bombas de calor para climatización y ACS, bombas de calor simultáneas para calor y frío, y bombas de calor geotérmicas industriales de calor. Para cada una de estas tecnologías, se pregunta por equipos a definir por el encuestado, pero que estén dentro de los 3 rangos de potencia definidos también para aerotermia: menores a 20 kW, entre 20 y 100 kW y sobre 100 kW. Los precios entonces consultados se realizarían por equipo individual y no por proyecto global.

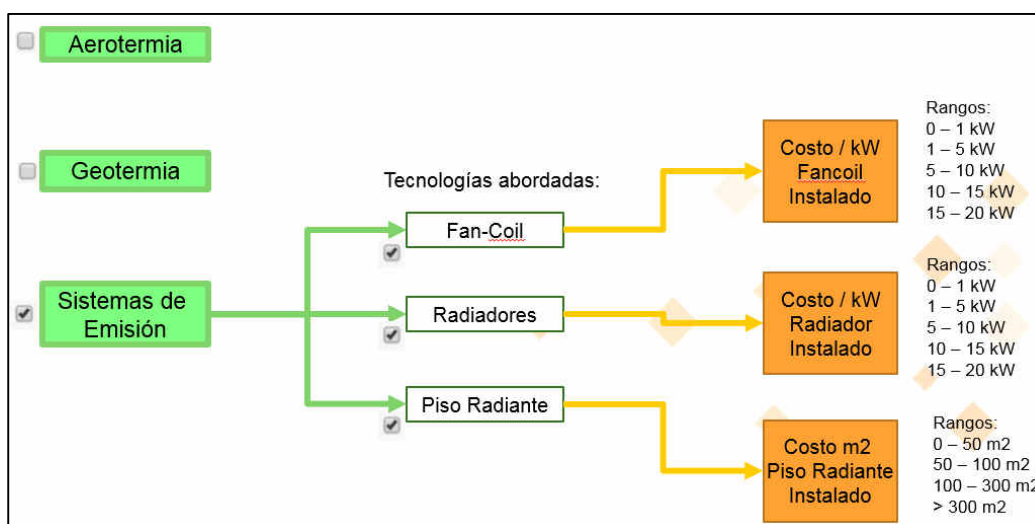
En cuanto a precios de instalación, aquí se diferencia y consulta en primera instancia si la empresa aborda sistemas de circuito abierto o cerrado. En el caso de circuitos cerrados, en primer lugar, se pregunta por el porcentaje (%) del costo total del proyecto que contempla la instalación de los equipos superficiales, en otras palabras, de las propias bombas de calor en las salas de máquinas. Posteriormente, se consulta por el valor unitario de las cañerías de intercambio con el suelo tanto para cañerías horizontales como pozos verticales. En el caso de cañerías horizontales, se consulta por el valor por metro cuadrado de cañería instalada en los 4 rangos de superficies indicados. En el caso de pozos verticales, se consulta por metro lineal de cañería enterrada para los 4 rangos de profundidad de pozo vertical indicados.

Para la instalación de sistemas geotérmicos de circuito abierto se pregunta, de igual modo, un valor porcentual (%) del costo total del proyecto que contempla la instalación

de los equipos superficiales y posteriormente se consulta por el costo unitario por metro lineal de construcción de un pozo de agua, necesario para la extracción de agua de acuíferos subterráneos.

En el caso del servicio de mantención de bombas de calor geotérmicas, se realiza una sola consulta, la cual está orientada a identificar el costo por kWt asociado a la mantención preventiva del sistema de generación, es decir, por la bomba de calor geotérmica, no incluyendo el sistema de captación. Cabe mencionar que este costo es por evento, lo que significa que el costo considera las prestaciones que realiza la empresa en la instancia en la cual ejecuta la mantención preventiva al sistema generador (lo cual puede diferir de las mantenciones correctivas que pueden requerir más de una instancia para llevarse a cabo). Por otro lado, en este árbol de decisión este valor es requerido para los tres rangos de potencia térmica definidos previamente.

Finalmente, la Figura 85 presenta un árbol de decisión adicional que se decidió abordar que corresponde a los equipos de emisión o distribución que forman también parte de todo proyecto de bombas de calor tanto aerotérmicos como geotérmicos. Como estos pueden abordar a ambas áreas, se prefirió dejarlos apartados para que así cualquiera de las empresas pudiera responder sobre éstos.



**Figura 85. Árbol de Decisión Equipos de Emisión.**

Para este tipo de equipos, se decidió consultar principalmente por 3 tipos de tecnologías de emisión: *fancoils*, radiadores y piso radiante. En cada caso se consulta por el precio del equipo incluida su instalación y en valores unitarios tanto por potencia en los casos de *fan-coil* y radiadores, así como por metro cuadrado en el caso del piso radiante. Como claramente estos precios unitarios variarían según el tamaño del equipo o piso radiante, se consulta por rangos de potencia de equipos y de superficies de piso radiante a instalar.



## 8.1.2 Herramienta de Implementación

A partir de la construcción del árbol de decisiones definido en la etapa previa, se optó por buscar una herramienta computacional que condujera las preguntas a responder por el encuestado en base a las respuestas que indicara en una primera fase de la encuesta. De esta manera, se podría construir una única encuesta cuyas preguntas se definirían en base a la posición de cada actor dentro de la cadena valor del mercado de bombas de calor. Para llevar a cabo esta noción, se probaron tres herramientas digitales: *Google Forms*<sup>1</sup>, *SurveyMonkey*<sup>2</sup> y *SurveyGizmo*<sup>3</sup>, siendo esta última la herramienta utilizada para implementar la encuesta en su versión final.

En primera instancia se había probado la herramienta *Google Forms* que corresponde a un software online sin costo de aplicación. Al comenzar a construir la encuesta se advirtió que presentaba la desventaja de no poseer una lógica avanzada que permitiera cumplir con el propósito definido en un principio. Posteriormente, y dejando de lado la opción de utilizar *Google Forms*, se optó por buscar una segunda herramienta, y que correspondió a *SurveyMonkey*. Para su utilización, se empleó el Plan Estándar que correspondía al único plan que podía ser utilizado de forma mensual, y que permitía implementar condiciones de lógica en la construcción de la encuesta. A diferencia de *Google Forms*, en esta herramienta se dio término a la construcción de la encuesta, la cual resultó contener 193 preguntas y donde gran parte de éstas correspondían a preguntas de afirmación (sí-no). En realidad, la implementación de este tipo de preguntas era el único método que podía redireccionar la encuesta en base a los servicios que brindara la empresa encuestada. La encuesta resultante posteriormente fue enviada al Ministerio de Energía y GIZ, quienes propusieron buscar otra herramienta digital que contuviera una lógica de construcción aún más avanzada y que permitiera así reducir el número de preguntas. Por esta razón, se abandonó la posibilidad de utilizar *SurveyMonkey*, y se comenzaron a hacer pruebas en *SurveyGizmo* en el módulo “*Collaborator*”, siendo esta última herramienta la tercera y última en implementarse. En dichas pruebas, se constató que con este software online era posible cumplir con el propósito propuesto en un inicio ya que contaba con diversos formatos de preguntas y una sólida aplicación de lógica que relacionaba las diferentes preguntas entre sí, sin tener la necesidad de utilizar preguntas de afirmación para redireccionar la encuesta. La encuesta resultante con un total de 45 preguntas fue aprobada finalmente por todo el equipo de trabajo, siendo la versión que sería enviada posteriormente a las diferentes empresas registradas.

La encuesta construida en *SurveyGizmo* consta de 45 preguntas entre las cuales se encuentran preguntas de selección múltiple, de verificación y de casillas de texto simple y múltiple. En el caso de que las empresas realizasen todos los servicios por los cuales se consultan en la encuesta, aquélla deberá responder las 45 preguntas.

<sup>1</sup> <https://docs.google.com/forms>

<sup>2</sup> <https://es.surveymonkey.com/>

<sup>3</sup> <https://www.surveygizmo.com/>



En el caso opuesto en que realicen entre uno o dos servicios, la empresa podría responder como mínimo 3 preguntas.

### 8.1.3 Contenido Encuesta

El contenido de la encuesta considera como base estructural el árbol de decisiones construido previamente, en el cual se diferencian tres áreas principales:

- Bombas de Calor Geotérmicas
- Bombas de Calor Aerotérmicas
- Sistemas de Emisión

En la encuesta, tanto en la sección de “Bombas de Calor Geotérmicas” y “Bombas de Calor Aerotérmicas”, las preguntas están dirigidas a identificar precios de venta de equipos, costos de instalación y mantención preventiva de equipos. Respecto a las preguntas de los “Sistemas de Emisión”, éstas se encuentran dirigidas a consultar por costos de provisión e instalación de radiadores, suelo radiante y *fan-coils*. Considerando estas tres áreas, la encuesta tiene el propósito de consultar por 25 índices de precios en lo que respecta el mercado de bombas de calor, donde para el caso de Geotermia se consultan por 10 índices de precios; para el caso de Aerotermia se consultan por 12 índices de precios, y por último, para los Sistemas de Emisión, se consultan por 3 índices de precios. Cabe mencionar que, dentro de la encuesta, en cada una de las preguntas que involucran solicitudes de costos, se realiza la petición al encuestado de indicar valores en pesos chilenos y sin incluir IVA.

A continuación, se describe el contenido asociado a las tres principales áreas que aborda la encuesta.

#### 8.1.3.1 Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas

En esta sección de la encuesta se consulta por los servicios que realizan las empresas involucradas en el área de Geotermia de Baja Entalpía, cuyos servicios propuestos son venta de equipos, instalación y mantención preventiva.

##### **Venta**

Las preguntas correspondientes a esta sección tienen el propósito de consultar por el precio de venta de las cuatro tecnologías definidas en la etapa previa a la construcción de la encuesta:

- Bomba de Calor Geotérmica Reversible para Calefacción
- Bomba de Calor Geotérmica Reversible para Clima y ACS
- Bomba de Calor Geotérmica de Frío y Calor Simultáneo
- Bomba de Calor Geotérmica para Uso Industrial (Generación de Calor)

Para identificar las tecnologías que comercializa cada empresa y consultar por sus respectivos precios posteriormente, existe una sección de preguntas de verificación donde el encuestado debe verificar el tipo de tecnología con la cual trabaja. Posteriormente, y en base a su respuesta, se consulta por el precio de dos equipos por cada tecnología trabajada, cuya potencia debe estar dentro de los siguientes rangos de potencia térmica (los cuales fueron mencionados en el subcapítulo anterior):

- $\leq 20$  kWt
- $20 \text{ kWt} \leq 100 \text{ kWt}$
- $100 \text{ kWt}$

Estos tres rangos de potencia fueron definidos para consultar por precios de venta de equipos que no cuentan con capacidades térmicas estándar, a diferencia de lo que ocurre con otros sistemas de menor tamaño como los Split o bombas de calor compactas para ACS en aerotermia.

En esta sección, aparte de consultar por el precio de dos equipos por tecnología y rango de potencia, se consulta por la potencia térmica de la bomba de calor a la cual se hace referencia.

### **Instalación**

En geotermia al consultar por el servicio de instalación, se consideran las instalaciones que operan bajo un sistema de captación cerrado y, por otro lado, las instalaciones que operan bajo un sistema de captación abierto. Para ambos tipos, se consulta por una estimación del porcentaje de costos de proyectos geotérmicos asociado a la instalación de bombas de calor que operan en base a estos sistemas de captación.

Asimismo, se preguntan por costos asociados a la construcción de pozos de agua, costo por metro cuadrado de terreno removido para sistemas de captación cerrada horizontal y, costo por metro de cañería enterrada para sistemas de captación cerrada vertical.

Para consultar los costos de construcción de pozos de agua, se consideraron los siguientes rangos de profundidad establecidos:

- $\leq 50$  m
- $50 \leq 100$  m
- $100 \leq 300$  m
- $300$  m

Para las instalaciones de sistemas cerrados de captación horizontal, se consideraron los siguientes rangos de superficie removida para consultar por los costos de excavación:

- $\leq 50 \text{ m}^2$
- $50 \leq 100 \text{ m}^2$
- $100 \leq 300 \text{ m}^2$
- $300 \text{ m}^2$

Por último, para identificar los costos de instalación por metro lineal de cañería enterrada en sistemas de captación vertical, se definieron los mismos rangos de profundidad que en el caso de la construcción de los pozos de agua.

### **Mantenimiento Preventiva**

Con relación a los servicios de mantenimiento, se realiza una única pregunta donde se solicita indicar el costo de realizar mantenimiento preventiva de bombas de calor geotérmicas (sistema de generación) para distintos rangos de potencia térmica, que corresponden a los mismos rangos definidos anteriormente (menor o igual a 20 kWt, mayor a 20 kWt y menor o igual a 100 kWt, y mayor a 100 kWt).

### **Índices de Precios**

En base a lo anterior, los índices de precios que aborda esta sección de la encuesta corresponden a:

1. Precios de bombas de calor geotérmicas reversibles para calefacción
2. Precios de bombas de calor geotérmicas reversibles para clima y ACS
3. Precio de bombas de calor geotérmicas de frío y calor simultáneo
4. Precio de bombas de calor geotérmicas para uso industrial (generación de calor)
5. Costos de instalación de bombas de calor geotérmicas considerando un sistema abierto de captación
6. Costos de instalación de bombas de calor geotérmicas considerando un sistema cerrado de captación
7. Costos de construcción de pozos de agua
8. Costos por superficie removida en instalaciones geotérmicas de circuito cerrado horizontal
9. Costos por metro lineal de cañería enterrada en instalaciones geotérmicas de circuito cerrado vertical
10. Costos de mantenimiento preventiva por evento de bombas de calor geotérmicas

### 8.1.3.2 Mercado de Bombas de Calor Aerotérmicas

#### Venta

En esta sección de la encuesta se consulta por las cuatro tecnologías definidas en el área de aerotermia:

- Equipos *Split*
- Bomba de Calor Compacta para ACS
- Bomba de Calor para Clima y ACS
- Bomba de Calor para Uso Industrial (Generación de Calor)

Como se mencionó anteriormente, dentro de estas tecnologías, los equipos *Split* y las bombas de calor compactas para ACS tienen capacidades térmicas y capacidades de acumulación con valores estándar. Por esta razón, para el caso de equipos *Split*, se consulta por el precio de venta de equipos que poseen las siguientes capacidades:

- 9.000 BTU/h
- 12.000 BTU/h
- 18.000 BTU/h
- 24.000 BTU/h

Adicionalmente, se diferenciaron los equipos con modalidad On/Off e Inverter, debido a que ambas modalidades presentan diferencias tanto en lo económico como en el consumo energético.

Respecto a las bombas de calor compactas para ACS, se consulta por el precio de venta de equipos que poseen las siguientes capacidades volumétricas de acumulación:

- 150 litros
- 300 litros

En la encuesta, se consulta por el precio de dos bombas de calor para ACS para ambas capacidades de acumulación establecidas.

Con relación al resto de las tecnologías, y como se indicó anteriormente, la consulta de precios de venta se realiza para los siguientes rangos de potencia:

- $\leq 20$  kWt
- $20 \text{ kWt} \leq 100 \text{ kWt}$
- $100 \text{ kWt}$

Asimismo, por cada tecnología y rango de potencia se consulta el precio de dos bombas de calor eléctricas y el precio de dos bombas de calor a combustible.

## Instalación

A diferencia de la metodología de consulta realizada en geotermia, en aerotermia, los costos de instalación se preguntan para cada una de las tecnologías definidas. Para el caso de *Split* y bombas de calor para ACS, se pregunta por el costo de instalación de dichos sistemas considerando las diferentes capacidades térmicas y volumétricas señaladas en párrafos anteriores. Respecto a los equipos cuya potencia térmica no corresponde a un valor estándar, se pregunta por una estimación del porcentaje de costos de proyectos de climatización asociado a instalaciones inferiores o iguales a 20 kWt, superiores a 20 kWt e inferiores o iguales a 100 kWt, e instalaciones que superan los 100 kWt.

## Mantenición

En la sección de aerotermia, los costos de mantención se preguntan para cada una de las tecnologías definidas, donde, para el caso de *Split* y bombas de calor para ACS, se pregunta por el costo de realizar mantenciones preventivas (por evento) de dichos sistemas considerando las diferentes capacidades térmicas y volumétricas mencionadas. Respecto a los equipos cuya potencia térmica no corresponde a un valor estándar, se pregunta por el costo por kWt del equipo, donde se solicita dicho valor unitario para bombas de calor cuya potencia térmica sea inferior o igual a 20 kWt, superior a 20 kWt e inferior o igual a 100 kWt, y potencias superiores a 100 kWt.

## Índices de Precios

En base a lo anterior, los índices de precios que aborda esta sección de la encuesta corresponden a:

1. Precios de *Split*
2. Precios de bombas de calor compactas para ACS
3. Precios de bombas de calor para clima y ACS
4. Precio de bombas de calor para uso industrial (generación de calor)
5. Costos de instalación de *Splits*
6. Costos de instalación de bombas de calor para ACS
7. Costos de instalación de bombas de calor para clima y ACS
8. Costos de instalación de bombas de calor para uso industrial (generación de calor)
9. Costos de mantención preventiva por evento de *Splits*
10. Costos de mantención preventiva por evento de bombas de calor para ACS
11. Costos de mantención preventiva por evento de bombas de calor para clima y ACS
12. Costos de mantención preventiva por evento de bombas de calor para uso industrial (generación de calor)

### 8.1.3.3 Sistemas de Emisión

La última sección de la encuesta está dirigida a los actores que realizan los servicios de provisión e instalación de radiadores, suelo radiante y *fancoils*. Para el caso de los radiadores, se pregunta por el costo de suministrar e instalar un solo radiador, considerando los siguientes rangos de potencia térmica:

- $\leq 1 \text{ kWt}$
- $1 \leq 5 \text{ kWt}$
- $5 \leq 10 \text{ kWt}$
- $10 \leq 15 \text{ kWt}$
- $15 \leq 20 \text{ kWt}$

Para el caso del suelo radiante, se consulta por el costo por metro cuadrado de superficie instalada, considerando los siguientes rangos de superficie:

- $\leq 50 \text{ m}^2$
- $50 \text{ m}^2 \leq 100 \text{ m}^2$
- $100 \text{ m}^2 \leq 300 \text{ m}^2$
- $300 \text{ m}^2$

Por último, para el caso de los *fancoils*, se consulta por el costo de suministrar e instalar un solo *fancoil*, considerando los siguientes rangos de potencia térmica:

- $\leq 5 \text{ kWt}$
- $5 \leq 10 \text{ kWt}$
- $10 \leq 15 \text{ kWt}$
- $15 \leq 20 \text{ kWt}$
- $20 \text{ kWt}$

### ***Índices de Precios***

En base a lo anterior, los índices de precios que aborda esta sección de la encuesta corresponden a:

1. Costo de suministro e instalación de radiadores
2. Costo de provisión e instalación de suelo radiante
3. Costo de provisión e instalación de *fancoils*

### 8.1.4 Encuesta

La versión final de la encuesta se constituye de 45 preguntas a través de las cuales se consultan por los 25 índices de precios planteados, y donde se inicia con dos

preguntas que inciden en la continuidad y estructura de la encuesta: en la primera pregunta, la cual es de carácter obligatorio, se consulta por el nombre de la empresa; la segunda pregunta, que corresponde a la pregunta principal que redirecciona las consultas posteriores, está dirigida a identificar las áreas que aborda la empresa: “Bombas de Calor Geotérmicas”, “Bombas de Calor Aerotérmicas” y “Sistemas de Emisión”.

En la sección de “Bombas de Calor Geotérmicas”, se realizan 22 preguntas mediante las cuales es posible consultar por precios de venta de equipos geotérmicos, costos de instalación y mantención preventiva por evento. En el caso de que el encuestado realice todos los servicios por los cuales se consulta en esta sección, se obtiene un tiempo de respuesta que se aproxima a los 13 minutos, esto considerando como supuesto que la información solicitada se encuentra disponible al momento de responder la encuesta.

En la sección de “Bombas de Calor Aerotérmicas”, por otro lado, se realizan 17 preguntas a través de las cuales se consulta por los precios de venta, instalación y mantención preventiva de *splits*, de bombas de calor para ACS, de bombas de calor para clima y ACS, y de bombas de calor para uso industrial. En el caso de que el encuestado realice todos los servicios por los que se consulta en esta sección de la encuesta, se obtiene un tiempo de respuesta que se aproxima a los 17 minutos, considerando como premisa que la información requerida se encuentra disponible al momento de iniciar la encuesta. Cabe señalar que a pesar de tener menor preguntas que en geotermia, el tiempo de respuesta en esta sección es mayor debido a que la información solicitada por pregunta es más extensa.

Por último, la sección de la encuesta que aborda el costo de suministro e instalación de los sistemas de emisión se constituye de 4 preguntas, donde la primera de ellas está dirigida a identificar los sistemas con los cuales trabaja la empresa encuestada, y las otras 3 consultan por el costo de los tres equipos de emisión considerados.

### 8.1.5 Procedimiento de Análisis Estadístico de Resultados

En consideración a que el índice de precios de las bombas de calor se definirá a partir de una encuesta, es necesario realizar un análisis estadístico que permita posteriormente definir el nivel de confianza de los resultados, así como el margen de error esperado.

Para ello se ha considerado la teoría estadística de la literatura que plantea el cálculo del tamaño de una muestra a partir de un universo dado, a partir de la siguiente expresión.

$$\text{Tamaño Muestra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}}$$

Donde  $N$  = tamaño de la población o universo;  $e$  = margen de error (% expresado con decimales);  $p$  = heterogeneidad o diversidad del universo (% expresado con decimales);  $z$  = puntuación que relaciona la cantidad de desviaciones estándar que una proporción determinada se aleja de la media.

La puntuación  $z$  viene definida en función del Nivel de Confianza estadístico que se busque para la muestra, tal como se detalla en la Tabla 21.

**Tabla 21. Valores de Puntuación  $z$  según Nivel de Confianza Estadístico**

Nivel de Confianza	Puntuación $z$
80%	1,28
85%	1,44
90%	1,65
95%	1,96
99%	2,58

Para el caso del presente estudio se buscará alcanzar un nivel de confianza de un 90%, por lo tanto, el valor  $z$  a utilizar será de 1,65 y la heterogeneidad o diversidad del universo ( $p$ ) como no se conoce se considerará de 0,5 o 50% con el fin de maximizar el tamaño muestral.

Finalmente, también como objetivo del estudio se buscará alcanzar un margen de error del 20% como máximo, sin embargo, en caso de que no se logre el tamaño de muestra esperado se calculará el margen de error alcanzado en cada índice de precio en base a las respuestas logradas de la encuesta por cada ítem consultado.

La aplicación de este procedimiento de análisis estadístico al proyecto se presenta en la sección 8.2.2.

## 8.2 Selección de Participantes para Implementación de la Encuesta

### 8.2.1 Selección de empresas Proveedoras Participantes

De las diferentes empresas registradas en un inicio del proyecto, se han seleccionado las que contribuyen en la construcción de al menos un índice de precio dentro de los 25 establecidos. Por lo mismo, se han descartado las empresas registradas cuyos servicios corresponden únicamente a consultoría, servicios de instalación de sistemas eléctricos y de control automático, empresas *ESCOs*, y empresas cuyo único rubro es el área de refrigeración industrial, donde cabe señalar que dichos actores habían sido considerados por el equipo de trabajo en un comienzo debido a que éstos son parte



de la cadena de valor del mercado de bombas de calor; sin embargo, se decidió acotar el universo de actores y de esta forma dirigir la atención a empresas que tuvieran un efecto directo en la cadena de suministro en este mercado. Por último, cabe señalar que el registro de las empresas proveedoras consideradas para realizar el presente estudio fue trabajado en conjunto con el Ministerio de Energía y GLZ. De todos modos, cabe mencionar que posteriormente, durante la ejecución de la encuesta, se generaron modificaciones a este listado incorporándose nuevos actores y eliminando otros, al contactarse directamente a cada uno en donde muchos se desmarcaron del ofrecimiento de ciertos productos y servicios.

A continuación, en la Tabla 23 se muestra el listado de las empresas que finalmente participaron de todo el proceso, a las cuales se le envió invitación a responder la encuesta, donde, en la misma tabla se indica a través de “1” si los servicios que aborda cada empresa permiten construir al menos uno de los 25 índices de precios planteados, donde los “0” indican lo opuesto. Cabe señalar que este listado no es igual al planteado al inicio de la encuesta en función de la rectificación de información sobre cada actor que se fue dando durante la ejecución de la encuesta.

Esta tabla ya descarta las 30 empresas del listado inicial de 198 empresas levantadas que, aunque inicialmente señalaban ofrecer alguno de los 25 servicios estudiados, finalmente señalaron no ofrecer ninguno de ellos al momento de contactarlas telefónicamente.

La Tabla 22 especifica los 25 indicadores estudiados con su abreviación respectiva con el fin de facilitar la lectura de la Tabla 23.

**Tabla 22. Identificación de Indicadores de Índices de Precio con su Abreviación**

N°	Abreviación Indicador	Descripción Indicador
1	G_Ven_BCR_CC	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Geotérmica Reversible para Calefacción
2	G_Ven_BCR_CC_ACS	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Geotérmica Reversible para Calefacción y ACS
3	G_Ven_BCRsim_CC	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Geotérmica Reversible Simultánea para Calefacción
4	G_Ven_BC_IndCal	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Geotérmica de uso Industrial
5	G_Ins_CA_HP	Indicador de Precio de Instalación de Bomba de Calor Geotérmica de Ciclo Abierto
6	G_Ins_CA_Pozo	Indicador de Precio de Instalación de Pozo para sistema en Ciclo Abierto
7	G_Ins_CCe_HP	Indicador de Precio de Instalación de Bomba de Calor Geotérmica de Ciclo Cerrado
8	G_Ins_CCe_Hor	Indicador de Precio de Instalación de sistema de captación horizontal en Ciclo Cerrado

N°	Abreviación Indicador	Descripción Indicador
9	G_Ins_CCe_Ver	Indicador de Precio de Instalación de sistema de captación vertical en Ciclo Cerrado
10	G_Man	Indicador de Precio de Mantenimiento Preventiva de Bomba de Calor Geotérmica
11	A_Ven_SP	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Aerotérmica tipo Split
12	A_Ven_ACS	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Aerotérmica compacta para ACS
13	A_Ven_CC_ACS	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Aerotérmica para Climatización y ACS
14	A_Ven_IndCal	Indicador de Precio de Venta de Bomba de Calor Aerotérmica de uso Industrial
15	A_Ins_SP	Indicador de Precio de Instalación de Bomba de Calor Aerotérmica tipo Split
16	A_Ins_ACS	Indicador de Precio de Instalación de Bomba de Calor Aerotérmica compacta para ACS
17	A_Ins_CC_ACS	Indicador de Precio de Instalación de Bomba de Calor Aerotérmica para Climatización y ACS
18	A_Ins_IndCal	Indicador de Precio de Instalación de Bomba de Calor Aerotérmica de uso Industrial
19	A_Man_SP	Indicador de Precio de Mantenimiento Preventiva de Bomba de Calor Aerotérmica tipo Split
20	A_Man_ACS	Indicador de Precio de Mantenimiento Preventiva de Bomba de Calor Aerotérmica compacta para ACS
21	A_Man_CC_ACS	Indicador de Precio de Mantenimiento Preventiva de Bomba de Calor Aerotérmica para Climatización y ACS
22	A_Man_IndCal	Indicador de Precio de Mantenimiento Preventiva de Bomba de Calor Aerotérmica de uso Industrial
23	EE_Rad	Indicador de Precio de Venta e Instalación de Sistema de Emisión tipo Radiador
24	EE_Srad	Indicador de Precio de Venta e Instalación de Sistema de Emisión tipo Suelo Radiante
25	EE_FanC	Indicador de Precio de Venta e Instalación de Sistema de Emisión tipo Fancoil

Tabla 23. Empresas proveedoras seleccionadas e identificación de indicadores abordados

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
1	Perfomaq	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Climatiza	si	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
3	Enalteco	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
4	Enativa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
5	Voher Eficiencia Energética (equivalente a geomarket)	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
6	Midea Carrier	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Natclima	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
8	Oden	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
9	RGS Energía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	Ferrosur	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
11	Geotermika	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
12	EcoGreen Chile	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Hidrosondajes	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	DrillChile	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	Enecal	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
16	Climatización Eficiente NVL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
17	Amoval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
18	Climsa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
19	Contraclima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	
20	Mycom Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
21	Eurofred	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	ECSYS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
23	AiresChile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
24	VC Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	
25	Climátika	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
26	Greentek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
27	Enel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	Aire Acondicionado Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	
29	JM Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	
30	Cool Well Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
31	Climatización Imaac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
32	Frío Austral Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	
33	AEL auditoria energética	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	
34	Punto Frío	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																							
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad
35	Climatización Celsius	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
36	Climatización y Construcción ACG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
37	Aire Acondicionado Control Frío	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
38	Clima MYP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
39	Asimtec Calefacción Central y Aire Acondicionado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
40	Diset Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
41	Buen Aire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
42	MT Ingeniería	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
43	TDM Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
44	GTI Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
45	ISAClima Norte Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
46	On Site Services Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
47	Climatizaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
48	M & M Climatización Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
49	BeEfficient	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Tecno Aire Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	Aire Acondicionado Multisol - Soluciones climáticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
52	C Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
53	Climas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
54	AustralTec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
55	Sistemas de Frío	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
56	Hawaii Chile Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
57	Soclima y Asociados S.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
58	Clima Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
59	Positron	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
60	SLK SpA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
61	Aire acondicionado Inostrónica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	Global Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
63	Haspen Ingeniería y Climatizacion Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
64	R&C Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
65	Indutermica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
66	ASO Ingeniería Térmica SpA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
67	Hevia Ruggeri Técnicos Industriales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
68	Clima Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
69	Climades	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	
70	Aires Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
71	L & D Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
72	Climasolar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
73	SINDEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
74	Luis Oyarce Climatización Limitada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
75	Coaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
76	CIREDEKSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
77	Moreto Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
78	Friosertec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
79	Shoot Aire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
80	Proyecto Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
81	Ingeniería y Servicios INSE Climatización - Filtro Aire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
82	Clima Sur Puerto Montt	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
83	Electroclima Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
84	Clima O'Higgins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
85	Frío Caf Acevedo y CIA Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
86	Clima Manager	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
87	Mr Clima Ltda.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
88	Neoclima Climatizaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
89	JR Climatizacion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
90	Electro Clima Servicios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
91	Climach	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
92	Friotérmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
93	Full Machine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
94	IRC Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
95	ESVAC Ingeniería Térmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
96	Aconditermic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
97	Bester	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
98	Rialclimatizacion	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
99	Grupo Térmico GT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
100	426	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
101	Air System	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
102	Airolite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	ANWO	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
104	Aircold	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1



N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
105	Climacor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	
106	Climarvi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
107	Climatecno Servicios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
108	Climatermic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
109	Climazero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
110	Rentaclima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	CR Ingeniería	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
112	CRA Ingeniería SpA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
113	DAIKIN	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	DIMACO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
115	El Aire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
116	Linkes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
117	Flowtech	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	IKAhogar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	Cosmoplas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	Pozos Profundos del Litoral		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	IMPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
122	Termoconfort / Ingeterm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
123	Intek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
124	JH Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
125	Malbec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
126	Mar del Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	MIMEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
128	Primaterm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
129	Proyet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1
130	Punto Zero Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
131	Reficlima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
132	Climaction	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
133	Servitec Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
134	Todoclimas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	Ingemi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
136	Tesla - Ingeniería y Proyectos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
137	TRESPI LTDA.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	Bordachar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
139	Alcaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	Trane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
141	Celsius Group	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
142	Electrofrío	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
143	Montermic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
144	Ingeman	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1
145	Confortclima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
146	Clima Óptimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
147	Ingeniería Lo Aguirre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
148	Aclima LTDA.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
149	Airtermic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
150	Sideclim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
151	Vemaac Climatización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
152	Climatización Polo Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
153	MCA Climatizacion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
154	Mavin Aire Acondicionado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
155	Almaclima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
156	Grupo Rsi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
157	Vnc Climatizacion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
158	Climatizaciones Castro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

N°	Nombre de Empresa	Indicadores																								
		G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRsim_CC	G_Ven_BC_IndCal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCe_HP	G_Ins_CCe_Hor	G_Ins_CCe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndCal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndCal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndCal	EE_Rad	EE_Srad	EE_FanC
159	Sucoclima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
160	Cer Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	
161	Tecnoverde	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
162	Climaexpress	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
163	Improve	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	Senko Solar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	Airecenter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	Homecenter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	N&B Consultores	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	Varme (equivalente a complex)	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

## 8.2.2 Determinación de la Muestra Objetivo

En el capítulo anterior se definió un total de 25 diferentes índices de precios a obtener en consideración de las diferentes tecnologías seleccionadas a estudiar con sus respectivas desagregaciones de precios tanto por venta de equipos principales, secundarios, así como por su instalación general, de componentes y los costos de mantención respectivos.

Es así como para cada uno de estos 25 casos se han sumado todas las empresas que señalan ofrecer el servicio respectivo ya sea de venta de equipo, como de instalación y mantención. La suma de estas empresas para cada uno de los 25 índices se resume en la Tabla 24, la cual también resume el tamaño de muestra esperada para cada caso con el fin de alcanzar un 90% de confianza con un margen de error idealmente del 20%.

**Tabla 24. Universo por índice de precio a estudiar y determinación del tamaño de la muestra para cada caso.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRlim_CC	G_Ven_BC_IndGal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_CCo_HP	G_Ins_CCo_Hor	G_Ins_CCo_Ver	G_Ins	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndGal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndGal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndGal	EE_Bad	EE_Srad	EE_Fanc
Universo	19	18	10	14	11	14	9	8	5	13	109	28	58	19	115	53	95	56	104	38	87	53	74	58	86
Nivel de Confianza	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Margen de Error	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Tamaño Muestra	9	9	7	8	7	8	6	6	4	8	15	11	14	9	15	13	15	14	15	12	15	13	14	14	15

Se observa que en los casos de geotermia, índices del 1 al 10, los universos de empresas son muy pequeños, por lo tanto, el tamaño muestral es cercano al propio del universo. A diferencia, en los casos de aerotermia, el universo es considerablemente más alto y por ende la muestra es bastante menor en términos relativos. Para los equipos de emisión (índices 23 a 25) también se observa un universo amplio lo que también se traduce en un tamaño muestral de similar proporción que los casos de aerotermia.

## 8.3 Implementación de Encuesta

En este subcapítulo se describe como se realizó la implementación de la encuesta partiendo con la descripción del contacto con los participantes, para posteriormente describir la planificación de la implementación de la encuesta.

### 8.3.1 Contacto de Participantes

Realizado el levantamiento y selección de empresas participantes del proyecto se procedió a la confección de una carta invitación firmada tanto por el Jefe de División de Energías Sostenibles del Ministerio de Energía, así como por el Asesor Principal del NAMA Support Project “Energías Renovables para Autoconsumo” de GIZ.

Con esta carta como documento adjunto en pdf se procedió a enviar por correo electrónico un email a cada una de las empresas seleccionadas.

El envío de la encuesta se realizó el día jueves 18 de julio de 2019, donde el contenido del correo de invitación se muestra a continuación:

*“Invitación a participar del Estudio de Mercado de Bombas de Calor en Chile”*

*Estimados,*

*El Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y la Consultora de Ingeniería Aguasol, invitan a su empresa a participar de la encuesta "Estudio de Mercado de Bombas de Calor en Chile", la cual va dirigida a los diferentes actores involucrados en dicho mercado dentro del país.*

*En base a la información reportada por usted y el resto de actores se podrá elaborar el primer Índice de Precios del Mercado de Bombas de Calor en Chile, cuyo propósito final es contribuir al crecimiento de esta industria a través del diagnóstico del mercado actual. Para llevar a cabo este estudio con éxito, es necesaria su colaboración respondiendo la siguiente encuesta, la cual ha sido diseñada especialmente en base a su posición como actor dentro de la cadena de valor de la industria de Bombas de Calor.*

*El link de la encuesta corresponde a <https://www.surveygizmo.com/s3/5109321/Estudio-de-Mercado-v4> donde solicitamos usted pueda responder digitalmente. El Ministerio de Energía, GIZ y Aguasol, le aseguran total confidencialidad de la información proporcionada.*

*Cabe señalar que al responder la encuesta, su empresa será considerada como colaboradora del presente proyecto, pudiendo adjuntar el logotipo de su empresa (en alta resolución) para ser incorporado a la publicación que resume los resultados de este estudio. Asimismo, podrán ser incorporados a la nueva versión del documento "QUIEN ES QUIEN en sistemas geotérmicos con bombas de calor" que en esta ocasión contemplará la totalidad del Mercado de Bombas de Calor en Chile. En el siguiente Link, puede conocer la versión actual de dicho documento: <http://energiaabierta.cl/estudios/?key=Qui%C3%A9n+es+Qui%C3%A9n&categoria-e=&organismo-e=&from=&to=&lang=>*

*Se adjunta al presente correo la Carta de Invitación firmada por el Ministerio de Energía y GIZ.*

*Agradecemos de antemano su colaboración.*

Una vez enviada la encuesta, se procedió en forma parcial a llamar a las empresas invitadas a participar que sumaban un total de 198 empresas. Esto con el fin de asegurar que todas hubieran recibido el correo de invitación y también para motivarles en la respuesta.

Cabe señalar que se ofreció como incentivo para captar motivación en las empresas, que aquellas que respondieran la encuesta se les mencionaría en forma especial en la nueva edición del catálogo “Quien es Quien en el mercado de las bombas de calor geotérmicas” que se editaría nuevamente a la finalización del estudio y además se les permitiría contar con el logo de la empresa tanto en el catálogo como en la publicación final del estudio de índice de precios a publicar por GIZ.

Como otro punto de contacto con los participantes y gracias al apoyo de la Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización, se realizó una publicación de la invitación a participar en la encuesta, como noticia en el Newsletter de Agosto de la Cámara. Esta noticia se repartió a todos los socios de la CChRyC y cuya publicación, se muestra a continuación.



**giz** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



**NAMA** Facility

Patrocinado por



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



Department for Business, Energy & Industrial Strategy



European Commission



Ministerio de Energía

**Carta de Invitación a Participar**  
Estudio Mercado Bombas de Calor

Santiago, mayo 2019

Tenemos el agrado de invitarlo a participar de la elaboración del primer Índice de Precios del Mercado de Bombas de Calor en Chile, enmarcado en el proyecto “*Elaboración de Estudio de Mercado de Bombas de Calor*”, requerido por la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional – GIZ) y por el **Ministerio de Energía**, ejecutado por la consultora **AIGUASOL**.

La competitividad de las bombas de calor y la tendencia hacia una evolución positiva del mercado en Chile implica realizar mediciones constantes sobre el desarrollo de la industria, en este caso, sobre el estado actual de los precios de venta y así facilitar la toma de decisiones de potenciales clientes sobre la instalación de este tipo de sistemas energéticos altamente eficientes.

Para llevar a cabo esto es necesaria su colaboración respondiendo una encuesta específicamente diseñada para su posición como actor relevante dentro de la cadena de valor de las tecnologías de bombas de calor.

**GIZ, el Ministerio de Energía y AIGUASOL**, les aseguran total confidencialidad de la información proporcionada. En correo acompañante a esta invitación se encuentra el [link](#) a la encuesta que solicitamos usted pueda completar digitalmente.

Cabe señalar que a todas las empresas que completen la encuesta, se les considerará como colaboradora del presente proyecto y podrán adjuntar el logotipo de su empresa (**en alta resolución**) para ser incorporado a la publicación que resume los resultados del presente proyecto. Así también podrán ser incorporados, según su interés en la nueva versión del documento “**QUIEN ES QUIEN** en sistemas geotérmicos con bomba de calor” que en esta ocasión contemplará la totalidad del Mercado de Bombas de Calor en Chile. Esta publicación estará disponible prontamente en la plataforma web del Ministerio de Energía. En el siguiente <http://energiaabierta.cl/estudios/?key=bombas&lang=&categoria=e=&organismo=e=&from=&to=> puede conocer la actual versión disponible de esta publicación.

Nuevamente agradeciendo su participación,



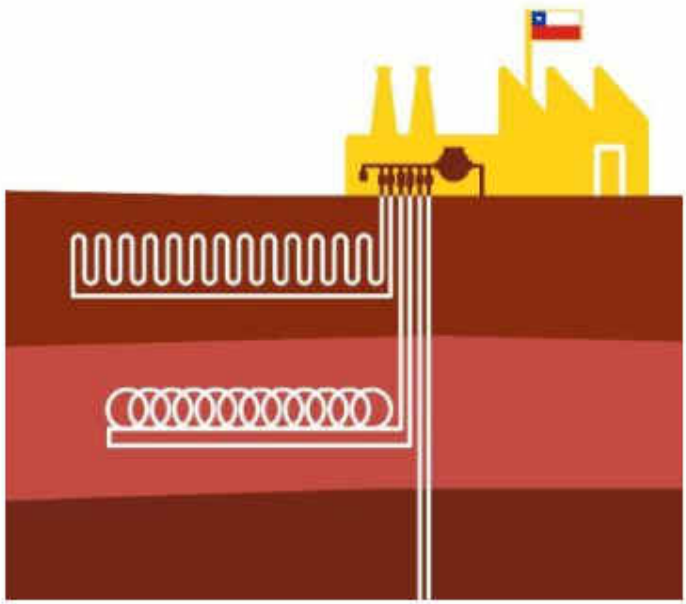
**Gabriel Prudencio Flaño**  
Jefe División  
División de Energías Sostenibles  
Ministerio de Energía



**David Fuchs**  
Asesor Principal  
NAMA Support Project “Energías Renovables para Autoconsumo”  
GIZ

Figura 86. Carta Invitación a participar de Encuesta Estudio de Mercado Bombas de Calor.

**Participa en Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas**



Con el objetivo de elaborar el primer Índice de Precios del Mercado de Bombas de Calor en Chile, el Ministerio de Energía y la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) invitan a participar en una encuesta para conocer la realidad de este sector en el país.

“Conocer el estado actual de los precios de venta e instalación de las bombas de calor favorecerá el desarrollo de este mercado”, sostuvo Gabriel Prudencio, jefe de la División de Energías Sostenibles del Ministerio de Energía.

En tanto David Fuchs, asesor principal del proyecto para el apoyo a la NAMA de Energías Renovables para el Autoconsumo implementado por la GIZ, indicó que “la competitividad de las bombas de calor y la tendencia hacia una evolución positiva del mercado en Chile implica realizar mediciones constantes sobre el desarrollo de esta industria”.

A todas las empresas que completen la encuesta se les garantizará total confidencialidad en la información entregada, serán considerados como colaboradores del presente proyecto, podrán adjuntar su logotipo y serán incluidos en la publicación que resume los resultados.

Así también, podrán ser incorporados -según su interés- en la nueva versión del documento “QUIÉN ES QUIÉN en sistemas geotérmicos con bombas de calor”.

La invitación es para que empresas del rubro de geotermia y aerotermia puedan ser parte de este estudio ingresando [AQUÍ](#).

Figura 87. Publicación de la noticia de la realización del estudio de mercado en el Newsletter de CChRyC.

Finalmente, también en forma adicional, se contactó con la AGRyd (Asociación Gremial de Riego y Drenaje), en particular con el gerente general, quien invitó a todos sus socios a responder una encuesta simplificada con el fin de tener mayores respuestas en particular para la definición de los precios de la construcción de pozos de agua para sistemas de bombas de calor geotérmicos de circuito abierto.





**Figura 88. Correo Invitación a participar de Encuesta para socios AGRYD.**

### 8.3.2 Planificación para Implementación

Dentro de la planificación en lo que respecta la implementación de la encuesta, se consideraron medidas a desarrollar con el fin de incentivar las respuestas por parte de las empresas, donde dichas medidas fueron establecidas por GIZ, el Ministerio de Energía y Aguasol. Los planes de acción definidos fueron los siguientes:

1. Tomar contacto vía telefónica con las empresas para invitarles a responder la encuesta y aclarar dudas en una fase inicial de la implementación. Así también se registrará el tipo de contacto obtenido: personalizado o solo genérico.
2. Dentro de esta misma metodología de contacto, remarcarles a las empresas que la información reportada es de completa confidencialidad. Esto último a causa de que algunas mostraron desconfianza en un comienzo, por lo cual indicaron no tener interés en responder la encuesta.
3. Enviar en promedio, un correo recordatorio por semana por parte de Aguasol. Reforzando esta medida de acción, el Ministerio de Energía y GIZ de igual manera se hizo parte de dicha medida.
4. En conjunto con los correos recordatorios, se reitera tomar contacto telefónico con las empresas.
5. Finalmente, en la última etapa de implementación de la encuesta, se debió avanzar con llamadas específicas a cada empresa con el fin de conseguir las respuestas telefónicamente. Esta estrategia fue finalmente la más efectiva y en donde se logró conseguir el mayor número de respuestas útiles.

## 8.4 Resultados de la Encuesta

La encuesta se realizó finalmente entre el 18 de julio y el 27 de septiembre de 2019, y los resultados de las respuestas de las encuestas se presenta en el siguiente resumen.

**Tabla 25. Porcentaje (%) de cumplimiento de respuestas según objetivo de tamaño de muestra.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRim_CC	G_Ven_BC_IndGal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_Coe_HP	G_Ins_Coe_Hor	G_Ins_Coe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndGal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndGal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndGal	EE_Bad	EE_Snd	EE_FanC
Universo	19	18	10	14	11	14	9	8	5	13	109	28	58	19	115	53	95	56	104	38	87	53	74	58	86
Nivel de Confianza	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Margen de Error	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Tamaño Muestra	9	9	7	8	7	8	6	6	4	8	15	11	14	9	15	13	15	14	15	12	15	13	14	14	15
Respuestas a 30/10	15	13	7	9	10	12	8	7	5	11	40	17	20	8	38	16	19	9	36	14	19	10	19	14	16
Logro del objetivo	167%	144%	100%	113%	143%	150%	133%	117%	125%	138%	267%	155%	143%	89%	253%	123%	127%	64%	240%	117%	127%	77%	136%	100%	107%
Falta para Objetivo	-6	-4	0	-1	-3	-4	-2	-1	-1	-3	-25	-6	-6	1	-23	-3	-4	5	-21	-2	-4	3	-5	0	-1

Se observa que, de los 25 índices de precios trabajados en las encuestas, hay 22 de éstos que se ha logrado y/o superado el objetivo de margen de error del 20%, quedando solo 3 índices de precios que no se ha logrado el objetivo, siendo los 3 relativos a las bombas de calor aerotérmicas para aplicaciones industriales. En el caso del indicador de venta, faltó 1 respuesta, 3 respuestas en el índice relativo a los costos de mantenimiento, mientras el índice relativo a la instalación de bombas de calor industriales quedó con 5 respuestas por ser respondidas para alcanzar el objetivo.

La Tabla 26 muestra finalmente el margen de error alcanzado para cada índice de precio estudiado.

**Tabla 26. Margen de error alcanzado de la encuesta.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	G_Ven_BCR_CC	G_Ven_BCR_CC_ACS	G_Ven_BCRim_CC	G_Ven_BC_IndGal	G_Ins_CA_HP	G_Ins_CA_Pozo	G_Ins_Coe_HP	G_Ins_Coe_Hor	G_Ins_Coe_Ver	G_Man	A_Ven_SP	A_Ven_ACS	A_Ven_CC_ACS	A_Ven_IndGal	A_Ins_SP	A_Ins_ACS	A_Ins_CC_ACS	A_Ins_IndGal	A_Man_SP	A_Man_ACS	A_Man_CC_ACS	A_Man_IndGal	EE_Bad	EE_Snd	EE_FanC
Universo	19	18	10	14	11	14	9	8	5	13	109	28	58	19	115	53	95	56	104	38	87	53	74	58	86
Nivel de Confianza	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Margen de Error	10%	13%	17%	17%	8%	10%	10%	12%	10%	12%	10%	13%	15%	22%	11%	17%	17%	25%	11%	18%	17%	24%	16%	19%	19%
Muestra	15	13	7	9	10	12	8	7	5	11	40	17	20	8	38	16	19	9	36	14	19	10	19	14	16
Respuestas a 30/10	15	13	7	9	10	12	8	7	5	11	40	17	20	8	38	16	19	9	36	14	19	10	19	14	16

Se aprecia que los márgenes de error alcanzados por lo general fueron muy cercanos al 10% en gran parte de los índices de precios. En particular, en geotermia, todos los índices tuvieron un margen de error inferior al 17%. Mientras en aerotermia, se alcanzaron errores un poco más altos, en donde solo los indicadores relativos a las bombas de calor industriales superaron el 20%. El índice asociado a venta de estas tecnologías quedó en 22%, mientras el de instalación un 25% y el de mantención un 24%. Los restantes índices fueron menores a 20%, así también los relativos a los equipos de emisión: radiadores, suelo radiante y *fan-coils*.

Con estos resultados de las encuestas, se procedió la sistematización y presentación de los índices de precios, que se entrega como documento anexo a este informe final.

## 9. Conclusiones

Como conclusiones finales del estudio de mercado de bombas de calor realizado, se ha preferido dividir las conclusiones principalmente en 3 categorías que se presentan por separado. Por una parte, se puntúan una serie de puntos a considerar como aprendizajes que puedan ser de utilidad para un futuro nuevo estudio de mercado que busque actualizar los índices de precio levantados en este primer estudio de la materia en Chile. En segundo lugar, se resumen las conclusiones relativas a los resultados de los índices de precio levantados. Y en último lugar, se puntualizan algunas conclusiones globales del estudio que van más allá de los resultados específicos y de los aprendizajes para futuras versiones del estudio de mercado.

### 9.1 Aprendizajes del Proceso y la Encuesta

Se enumeran a continuación una serie de medidas o recomendaciones a considerar a futuro en la realización de una nueva versión del índice de precios de bombas de calor:

- Uno de los puntos críticos del estudio fue la definición y selección de las tecnologías a caracterizar. Para futuros estudios de mercado se sugiere llevar a cabo la selección de tecnologías y servicios previo a la etapa en donde se realiza la identificación de empresas. Esto, permitiría realizar una búsqueda más acotada y con mayor precisión de los actores que son parte del mercado al cual se pretende estudiar.
- Cabe señalar que los indicadores referidos a precios de venta, instalación y mantención preventiva corresponden al precio final que perciben los clientes que solicitan los proyectos. Se propone para próximos estudios mantener este criterio a la hora de caracterizar los índices de precio.
- Priorizar un mínimo de preguntas que permita la factibilidad de que el encuestado pueda responderlas en su totalidad. Una encuesta muy larga no motiva a ser respondida en su totalidad y genera muchas encuestas respondidas en forma parcial.
- Dentro del contenido de la encuesta, las preguntas que generaron una notoria confusión por parte de los usuarios fueron las que consultaban por un valor porcentual de costos asociados al servicio de instalación de la bomba de calor con respecto al costo total del proyecto, esto para la aerotermia como geotermia. Para los indicadores con estos resultados porcentuales, se propone redireccionar el enfoque de la pregunta o dentro de esta última, exponer un caso que ejemplifique el propósito de la misma.
- Se recomienda eliminar para estudios posteriores los sistemas de bombas de calor que operen en base a fuentes fósiles como gas natural, diésel u otro, ya que se ha reflejado mediante esta encuesta que es una tecnología muy poco masificada cuyo crecimiento dentro del mercado ha sido acotado. Sumado a

esto, la omisión de esta tecnología podría dar prioridad a otras tecnologías de mayor interés por parte de clientes.

- Aunque la implementación de una encuesta tipo online fue positivo, es importante considerar que solo el envío de esta vía correo electrónico no es garante de que las empresas vayan a responderla en un tiempo acotado. Se sugiere a futuro siempre considerar un mecanismo dual de encuesta online, pero en paralelo a la realización de encuestas telefónicas o presenciales.
- Se propone a futuro utilizar una aplicación de encuestas online que cree una sesión específica de cada empresa para que así todas puedan revisar las respuestas que indicaron previamente y/o permita continuar de responder a partir de la sesión anterior.
- Uno de los atributos que favoreció el proceso de implementación de la encuesta correspondió a la secuencia dinámica de preguntas que advertía el usuario, la cual operaba en función de las respuestas registradas en etapas previas. Esto, permitió construir una única encuesta con la cual era posible abordar las preguntas en función de la posición en la cual se encontrase el usuario dentro de la cadena de valor. Se recomienda mantener esta estrategia en futuras versiones del estudio.
- Otra de las conclusiones que surgen a partir del trabajo realizado alude al tiempo de implementación de la encuesta, el cual se recomienda sea como mínimo de 2 meses.
- Una de las metodologías que presentó gran efectividad en lo que respecta la difusión de este primer estudio de mercado fue tomar contacto telefónico con las empresas registradas, ya que esto permitió resolver dudas que emergían en dicho proceso, además de poder tomar en consideración sus apreciaciones respectivas. Se recomienda que este contacto telefónico se realice siempre al inicio de la implementación de la encuesta.
- Mediante contacto telefónico, introducir a las empresas acerca del estudio de mercado y su propósito, y a través de esta instancia, consultar por los servicios específicos relacionados a este mercado.
- Implementar la encuesta vía telefónica tuvo gran tasa de éxito para aquellas empresas que tenían el interés de participar, pero cuya disponibilidad de tiempo era reducida. Por otro lado, mediante contacto telefónico también fue posible verificar la información que se tenía registrada, cuya verificación influía en el universo de actores por indicador y con ello en los niveles de confianza y margen de error.
- Se recomienda incluir al término de la encuesta una sección que permita al usuario adjuntar el logotipo de su empresa y una reseña de los servicios que realizan referente al mercado de bombas de calor. Esto con el fin de simplificar el proceso final de que las empresas envíen esta información, lo que se ha visto como un proceso dificultoso.

## 9.2 Respetto a los Índices de Precios

De los resultados obtenidos se aprecia una evidente diferencia en el número de empresas que trabajan en el área de aerotermia y las que trabajan en proyectos geotérmicos de baja entalpía, de lo cual se desprende cuán maduro y masificado es el mercado de bombas de calor aerotérmicas respecto a bombas de calor geotérmicas. Aunque esta situación es evidente al observar el número de empresas por indicador, también es relevante mencionar que las empresas ligadas a tecnologías de geotermia por lo general se mostraron bastante más dispuestas a responder la encuesta y participar del estudio.

Cabe señalar que en geotermia todos los indicadores estudiados presentaron un nivel de respuestas alto que permitió reducir los rangos de error de todos los indicadores a valores inferiores a un 20%. En aerotermia, también se logró generar rangos de error inferiores a 20% en prácticamente todos los indicadores a excepción de los relacionados con bombas de calor industriales.

Respetto a estas últimas, se puede apreciar que en el ámbito industrial aún no se ha masificado el uso de bombas de calor, las cuales podrían emplearse en procesos que requieren agua caliente. Esto se reflejó en la baja tasa de respuestas de empresas en relación al universo levantado. Esta situación se puede explicar también por la complejidad y variabilidad de estas tecnologías según su aplicación en donde se observó la existencia de bombas de calor estandarizadas, así como hechas a medida o implementadas por parte, tal como es el estándar por ejemplo en sistemas de refrigeración industrial. No obstante, cabe destacar que una de las empresas participantes de este estudio ha realizado distintos proyectos a gran escala en donde se construyeron bombas de calor destinadas para requerimientos de frío y calor simultáneo, donde, en dichos proyectos se ha garantizado el excelente funcionamiento de estos sistemas.

La tecnología con mayor número de respuestas corresponde a los equipos Split, los que son ampliamente utilizados en proyectos de baja escala a nivel residencial y comercial. Los resultados obtenidos referentes a la venta e instalación de estos sistemas muestran una menor dispersión respecto a otras tecnologías, sin embargo, cabe señalar que dentro de los datos registrados se encuentran valores atípicos que exceden de manera relevante las magnitudes centrales. Con relación al servicio de mantención, éste muestra un alto nivel de dispersión respecto a los dos servicios, lo cual podría explicarse por las diferencias de garantía y logística que presenta cada empresa. Así también, hace intuir que la mantención preventiva es un tipo de servicio menos solicitado en el mercado, lo que se había ya señalado en el análisis FODA realizado en las primeras etapas del estudio.

## 9.3 Globales del Estudio de Mercado

Una de las complejidades más significativas en lo que respecta el mercado de bombas de calor corresponde a las múltiples tecnologías existentes, además de las numerosas

variantes operacionales que hay entre tecnologías análogas. Esta propiedad del mercado complejizó el proceso de selección de tecnologías y sus variantes, incidiendo posteriormente en la extensión de la encuesta.

Uno de los principales aportes que ha de realizar este primer estudio mercado corresponde a la regularización de precios en el mercado de bombas de calor. Con la publicación de los resultados, es de esperar que las propias empresas que respondieron la encuesta visualicen su posición de precio frente a las restantes del mercado. Empresas con precios altos tenderán a trabajar en reducir sus precios con el fin de ser más competitivas mientras, por el contrario, empresas con precios muy bajos quizás tiendan a subir sus precios aprovechando el margen que le ofrece el propio mercado. Será interesante el análisis que pueda realizarse al respecto en la segunda versión de este estudio que pueda realizarse en los próximos años.

Gran parte de las empresas que no fueron partícipes de esta iniciativa indicaban como motivo tener desconfianza en registrar sus precios de productos y servicios, por desinterés en el propósito del proyecto, y por falta de disponibilidad de tiempo para responder. Se espera que a futuro, en una nueva versión del estudio, este desinterés disminuya fruto de solo la publicación de esta primera versión de resultados.

Por otra parte, cabe destacar que muchas de las empresas que respondieron la encuesta, ya sea de manera online o a través de contacto telefónico, presentaron gran interés en ser parte del registro de empresas colaboradores cuyo documento contendría su logotipo de empresa y una descripción de los servicios que realizan dentro de este mercado.

## 10. Referencias

---

- [1] SVEP y EHPA, «Heat Pumps Technology and Environmental Impact,» Suecia, 2005.
- [2] E. H. P. Association, «European Heat Pump Market and Statistics Report,» 2014.
- [3] IDAE, «Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España,» España, 2014.
- [4] «Capítulo 3: Máquinas de Absorción,» Análisis de los sistemas de refrigeración solar por absorción.
- [5] Y. Cengel, Termodinámica, México: Séptima Edición, 2012.
- [6] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, «Evidence gathering - low carbon heating technologies,» Londres, 2016.
- [7] A. Rucinski, A. Rusowicz y A. Grzebielec, «Gas engine heat pump - characteristics, analysis of applications in buildings energy systems,» Lithuania, 2014.
- [8] M. Janovcová, «Heat pumps with internal combustion engines using natural gas an alternative to electric heat pumps,» Turkey, 2016.
- [9] IDAE, «Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España,,» España, 2014.
- [10] Programa de Naciones Unidas, «Seminario: Introducción a los refrigerantes alternativos en el sector de refrigeración y aire acondicionado,» Guatemala, 2018.
- [11] C. L. Lozano, «Calefacción por bomba de calor geotérmica utilizando los refrigerantes de nueva generación,» Ingeniería Industrial Proyecto Fin de Carrera, Madrid, 2009.

- [12] IEA, «Heat Pumping Technologies,» [En línea]. Available: <https://heatpumpingtechnologies.org/market-technology/refrigerants/>. [Último acceso: Mayo 2019].
  
- [13] Alfa Laval, «Navigating a changing refrigerants market,» 2018.
  
- [14] CChRyC, «Columna del Amoníaco y Refrigerantes Naturales,» *Revista Frío & Calor*, Noviembre 2018.
  
- [15] CChRyC, «Comienza la era del CO2,» *Revista Frío & Calor*, pp. 20-30, Marzo 2017.
  
- [16] Calor y Frío, «¿Qué es el aire acondicionado Inverter y cómo funciona?,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/>. [Último acceso: Junio 2019].
  
- [17] ACEEE MT Symposium, «Understanding HVAC Efficiency Opportunities with Inverter Technology,» Washington, 2018.
  
- [18] X. García, «Estudio de viabilidad de la bomba de calor para climatización y producción de ACS,» Trabajo de Fin de Máster, Universidad del País Vasco, 2018.
  
- [19] J. Mas, «Aire Acondicionado: Clasificación y Características de los Sistemas,» Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II, Universidad Nacional de Tucumán, 2011.
  
- [20] Catálogo Equipos de Ventana LG, [En línea]. Available: <https://www.lg.com>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [21] Catálogo Split de Climatep, [En línea]. Available: <http://www.climatep.cl>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [22] Vilssa, «El aire acondicionado portátil. Características, ventajas y desventajas,» [En línea]. Available: <http://vilssa.com/>. [Último acceso: Julio 2019].



- [23] «Catálogo Aire acondicionado Chile,» [En línea]. Available: <http://www.aireacondicionadochile.com/equipos-tipo-mochila.php>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [24] «Catálogo Gomestic España,» [En línea]. Available: <https://gomestic.es/>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [25] York, «Packaged Rooftop Units,» [En línea]. Available: <https://www.york.com/>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [26] Carrier Argentina, «Catálogo Sistemas Separados Comerciales,» [En línea]. Available: <https://www.carrier.com.ar/>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [27] R. Pérez, «Clase Climatización Eficiente,» Diseño de Edificaciones Energéticamente Eficientes, Diplomado de Postítulo FCFM.
  
- [28] J. Czajkowski, «Sistemas de Climatización: Tecnología y sistemas de aire acondicionado,» Argentina, 2016.
  
- [29] C. Argentina, «Catálogo Split Piso Techo,» [En línea]. Available: <https://www.carrier.com.ar/>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [30] Cosmoplas, «Split Cassette Inverter Ecológico,» [En línea]. Available: <https://www.cosmoplas.cl>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [31] Eurofred, «Catálogo Split Conductos,» [En línea]. Available: [https://www.eurofred.es/product\\_category/split-conductos-aire-comercial/](https://www.eurofred.es/product_category/split-conductos-aire-comercial/). [Último acceso: Julio 2019].
  
- [32] Aires Acondicionados Portátiles, «Aires Acondicionados Portátiles Con Unidad Exterior,» [En línea]. Available: <https://airesacondicionadosportatiles.net/con-unidad-exterior/>. [Último acceso: Julio 2019].
  
- [33] ATECYR, «Guía técnica de instalaciones de climatización por agua,» España, 2012.

- [34] D. Ruiz, «Equipos de climatización,» *BIT*, pp. 52-56, 2012.
- [35] BAXI España, «Catálogo Bombas de Calor de ACS,» [En línea]. Available: <https://www.baxi.es/productos/bombas-calor/acs>. [Último acceso: Julio 2019].
- [36] Catálogo Galleti, «Normas para larealización de instalaciones polivalentes».
- [37] Danfoss, «Industrial heat pumps,» [En línea]. Available: <https://www.danfoss.com/en/markets/industry/dcs/industrial-heat-pumps/>. [Último acceso: Julio 2019].
- [38] DUOC UC, «Sistemas de climatización,» Curso de Eficiencia Energética Duoc UC Alameda, Santiago, 2013.
- [39] KOOLAIR, «Catálogo vigas frías serie VFK 600,» [En línea]. Available: [www.koolair.com](http://www.koolair.com).
- [40] TROX España, «Catálogo Vigas Frías Serie DID 312,» [En línea]. Available: <https://www.trox.es/>. [Último acceso: Julio 2019].
- [41] Ecoforest, *Catálogo Bombas de Calor Geotérmicas*.
- [42] P. Manning, «El funcionamiento básico de la bomba de calor geotérmica y la distribución de calor/frío en los edificios,» Barcelona, 2014.
- [43] D. Team, «GEOthermal Technology for economic Cooling and Heating,» 2016.
- [44] IDAE, IGME, «Manual de geotermia,» Madrid, 2008.
- [45] ATECYR, «Guía Técnica: Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica,» Madrid, 2010.
- [46] Aguasol, «Estado de desarrollo de proyectos de Bombas de Calor Geotérmicas instalados en Chile,» Santiago, 2016.

- [47] IDAE, «Manual de Geotermia,» Madrid, 2008.
- [48] Iowa Energy Center, Energy Resource Station, «Geothermal Heat Pump Systems».
- [49] ClimateMaster, «The Geothermal Concept: A homeowner's guide to geothermal heating and cooling comfort systems,» 2017.
- [50] AFEC, «Cualidades y beneficios de la bomba de calor,» España, 2016.
- [51] «Geothermal Heat,» [En línea]. Available: <http://geothermalheatrinzan.blogspot.com/>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [52] E. H. P. Association, «Large scale heat pumps in Europe,» 2018.
- [53] EE Chile, «Eficiencia Energética,» [En línea]. Available: <http://www.eechile.cl/obras/condominio-frankfurt/>. [Último acceso: Junio 2019].
- [54] CEGA, «Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.cega-uchile.cl>. [Último acceso: Junio 2019].
- [55] A. Pavez, «BIT,» *La magia del Sur*, pp. 118-125, 2011.
- [56] emol, «Teatro del Lago de Frutillar,» [En línea]. Available: <https://www.emol.com/>. [Último acceso: Julio 2018].
- [57] «Modificación Ley N°19.657, Sobre Concesiones de Energía Geotérmica,» Discusión Parlamentaria, Gobierno de Chile, 2019.