

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Máster en Ingeniería Industrial

***ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA BOMBA DE CALOR
PARA CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACS***

Estudiante	<i>García, Cuesta, Xabier</i>
Fecha	<i>08/2018</i>
Director/a	<i>Pérez, González, Federico</i>
Curso académico	<i>2017/2018</i>

DATOS BÁSICOS DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

- *Estudiante:* Xabier García Cuesta
- *Director/a:* Federico Pérez González
- *Departamento:* Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

- *Título del Trabajo:* Estudio de viabilidad de la bomba de calor para climatización y producción de ACS
- *Resumen:* El objetivo principal de este estudio es aportar documentación y resultados que apoyen la implantación de la bomba de calor para climatización y producción de ACS en edificios. Para ello, se estudiará la situación tecnológica actual, se realizará un análisis económico comparativo con otros sistemas para comprobar su rentabilidad y también se analizará el escenario regulatorio a nivel europeo y nacional. Una vez realizado el estudio se pretenden conocer los beneficios que puede aportar esta tecnología y su nivel de competitividad frente a otros modos de climatización más desarrollados.
- *Palabras clave:* Bomba de calor, calor y frío, agua caliente sanitaria, energías renovables, descarbonización, emisiones de CO₂, aerotermia, geotermia.

- *Title:* Feasibility study of heat pumps for heating and sanitary hot water production
- *Abstract:* The main aim of this study is provide documentation and results that support the implementation of heat pumps for heating and sanitary hot water production on buildings. In order to achieve this goal, it is going to be studied the current technology situation, made a comparative economic analysis to prove heat pumps' profitability and also analysed the regulatory scenario in Europe and Spain. After having done this study, it is expected to discover the benefits of this technology and to know the competitiveness of heat pumps in comparison with more developed systems.
- *Keywords:* Heat pump, heating and cooling, sanitary hot water, renewable energies, decarbonisation, CO₂ emissions, aerothermy, geothermy.

LISTA DE ABREVIATURAS

ETS.....	Emissions Trading System
PFC.....	Perfluorocarburos
EEMM.....	Estados Miembros
PANER.....	Plan de Acción Nacional de Energía Renovable
ACS.....	Agua Caliente Sanitaria
RITE.....	Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios
COP.....	Coefficient of Performance
EER.....	Energy Efficiency Rating
SPF.....	Seasonal Performance Factor
SCOP.....	Seasonal Coefficient of Performance
PCA.....	Potencial Calentamiento de la Atmósfera
EECN.....	Edificios de Energía Casi Nula
CTE.....	Código Técnico de la Edificación
CE.....	Comisión Europea
BC.....	Bomba de calor
GN.....	Gas natural

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo termodinámico	17
Figura 2. Principales componentes de la bomba de calor	18
Figura 3. Compresor scroll.....	19
Figura 4. Válvula de expansión electrónica.....	20
Figura 5. Esquema bomba de calor monobloc	21
Figura 6. Bomba de calor aerotérmica tipo Split.....	22
Figura 7. Variación de potencia y COP	23
Figura 8. Bomba de calor split	24
Figura 9. Bomba de calor monobloc	24
Figura 10. Bomba de calor con captador vertical	26
Figura 11. Bomba de calor con captador horizontal	26
Figura 12. Bomba de calor aire- aire.....	27
Figura 13. Distribución de agua por suelo radiante	28
Figura 14. Eficiencia de bomba de calor	29
Figura 15. Ejemplo instalación	31
Figura 16. Esquema ciclo refrigeración y calefacción.....	32
Figura 17. Esquema exterior de los modos de calefacción y refrigeración	33
Figura 18. Sistema inverter vs sistema convencional.....	33
Figura 19. Suelo radiante.....	34
Figura 20. Generación de ACS con apoyo de paneles solares FV.....	34
Figura 21. Esquema instalación de bombas de calor en cascada.....	35
Figura 22. Caldera de gas	39
Figura 23. Funcionamiento caldera de gas.	40
Figura 24. Componentes caldera de gas.	41
Figura 25. Comparación rendimientos caldera tradicional vs. caldera condensación. .	43
Figura 26. Identificación de alternativas	45
Figura 27. Alternativas seleccionadas.....	47
Figura 28. Zonas climáticas España CTE	53
Figura 29. Etiquetado antiguo y nuevo.....	93
Figura 30. Estado de desarrollo de definición de los EECN en la UE (2015)	96

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Penetración de renovables por sectores (Europa 2016). Fuente: Eurostat.	10
Gráfica 2. Bombas de calor por tipo de energía y edificio. Fuente: IDAE.	14
Gráfica 3. Eficiencia del motor del compresor	20
Gráfica 4. Evolución de energía renovable aportada por bombas de calor por país en el sector de calor y frío. Fuente: European Environment Agency.	37
Gráfica 5. Producción de calefacción y refrigeración a partir de renovables (Mtep) en UE. Fuente: International Energy Agency.	38
Gráfica 7. Rango de rendimiento	48
Gráfica 8. Rango de precio	48
Gráfica 9. Rangos de potencia	49
Gráfica 10. Evolución precio electricidad y gas en Europa	50
Gráfica 11. Resultados zona climática A	69
Gráfica 12. Resultados con ACS zona climática A	72
Gráfica 13. Resultados zona climática E	75
Gráfica 14. Resultados zona climática	78
Gráfica 15. Inversión y gastos anuales	80
Gráfica 16. Emisiones de CO ₂	81
Gráfica 17. Consumo de energía final	82
Gráfica 18. Consumo de energía primaria no renovable	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferentes grados de penetración de la bomba de calor. Fuente: ECOFYS ..	15
Tabla 2. Previsiones de mejora de la bomba de calor. Fuente: IRENA	16
Tabla 3. Aerotermia vs geotermia	27
Tabla 4. Beneficios y barreras	36
Tabla 5. Beneficios y barreras de la caldera de gas.....	44
Tabla 6. Criterios para selección de la solución	46
Tabla 7. Análisis de alternativas	47
Tabla 8. Funcionalidad bomba de calor vs. Caldera de gas.....	49
Tabla 9. Variables relevantes en el análisis económico	51
Tabla 10. Precio energía (Iberdrola)	52
Tabla 11. Valor base y factor de corrector por superficie de la demanda energética de calefacción.....	54
Tabla 12. Catálogo	55
Tabla 13. Valores de referencia	56
Tabla 14. Datos vivienda	56
Tabla 15. Bomba seleccionada de catálogo.....	57
Tabla 16. Gastos y emisiones anuales	57
Tabla 17. Tabla ejemplo escenarios	58
Tabla 18. Escenarios: calefacción – tarifa plana	59
Tabla 19. Escenarios: calefacción – tarifa reducida	60
Tabla 20. Escenarios: calefacción – reducción de factura eléctrica.....	61
Tabla 21. Escenarios: calefacción – precio a las emisiones.....	62
Tabla 22. Escenarios: calefacción y ACS – tarifa plana	63
Tabla 23. Escenarios: calefacción y ACS – tarifa reducida	64
Tabla 24. Escenarios: calefacción y ACS – reducción de factura eléctrica.....	65
Tabla 25. Escenarios: calefacción y ACS - precios a las emisiones.....	66
Tabla 26. Resultados bomba de calor zona climática A	67
Tabla 27. Resultados caldera de gas zona climática A	68
Tabla 28. Resultados bomba de calor con ACS zona climática A	70
Tabla 29. Resultados caldera de gas con ACS zona climática A	71
Tabla 30. Resultados bomba de calor zona climática E	73
Tabla 31. Resultados caldera de gas zona climática E	74
Tabla 32. Resultados bomba de calor con ACS zona climática E	76
Tabla 33. Resultados caldera de gas con ACS zona climática E	77

Tabla 34. Resultados Madrid vivienda unifamiliar nueva.....	79
Tabla 35. Resultados Madrid bloque de pisos nuevo.....	80
Tabla 36. Factores de paso a energía primaria.....	81
Tabla 37. Presupuesto.....	88
Tabla 38. Impacto de la legislación en la bomba de calor	94

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

Este trabajo viene motivado por la necesidad de electrificación de los sectores consumidores de energía para poder cumplir con los objetivos energéticos fijados por la UE. En la Conferencia de París sobre el Clima (COP21, 2015), 195 países firmaron el primer acuerdo vinculante mundial sobre el clima. Para evitar un cambio climático peligroso, el Acuerdo establece un plan de acción mundial que pone el límite del calentamiento global por debajo de 2°C para el año 2100.

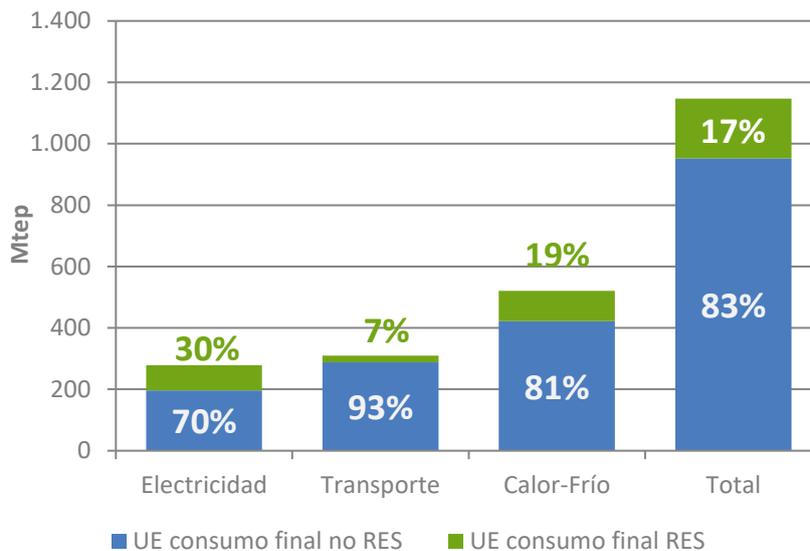
Para poder cumplir el Acuerdo de París, los principales objetivos son la reducción de emisiones y tomar medidas para aumentar la resistencia a los efectos negativos del cambio climático.

Para alcanzar dichos objetivos, la Unión Europea cuenta con un paquete de medidas, conocido como 20-20-20, que contiene legislación vinculante que garantizará el cumplimiento de los objetivos climáticos y de energía. Los objetivos principales de dicho paquete que tienen como límite 2020 son:

- reducción del 20 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de 1990)
- penetración del 20% de energía renovables en la UE del consumo de energía final bruta (32%, 2030)
- mejora del 20% de la eficiencia energética (respecto 2007)

Para tener una visión general de la situación actual en Europa, en la *Gráfica 1* se pueden observar las aportaciones de los tres sectores principales en los que se puede dividir el consumo energético final y los porcentajes de penetración de renovables en cada uno de ellos.

Renovables Europa 2016



Gráfica 1. Penetración de renovables por sectores (Europa 2016). Fuente: Eurostat.

El sector de la **electricidad** es el más desarrollado y goza de la mayor penetración de renovables gracias a su bajo coste de explotación. Tecnologías como la eólica, solar fotovoltaica, biomasa, hidráulica etc. permiten generar electricidad de forma eficiente y barata, por lo que resulta interesante introducir renovables de forma indirecta en los otros sectores mediante la electrificación de estos, un ejemplo es la bomba de calor que emplea electricidad para su funcionamiento, pero se utiliza para calor y frío.

El **transporte** está en pleno desarrollo y se prevé un aumento de la penetración de renovables a corto plazo debido a la integración del coche eléctrico en el mercado, aunque todavía es necesaria la reducción de costes de las baterías para que puedan ser competitivos con los vehículos convencionales.

El sector de **calor y frío** es el que genera mayor consumo de energía, casi el 50% del consumo total en Europa y el 36% en España. Dentro de este sector se encuentra la climatización y producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria) en edificios y también las aportaciones de calor necesarias en procesos industriales. A pesar de su gran consumo, no se han invertido esfuerzos hasta el momento, por lo que se debe incentivar la penetración de renovables en este sector, de modo que se reduzca una gran cantidad de emisiones de CO₂ y se apoye la sostenibilidad energética.

El peso que tiene el sector de calor y frío en el consumo energético lleva a la Comisión Europea a llevar a cabo una estrategia para reducir la dependencia energética y contribuir con los objetivos establecidos. Para seguir esta estrategia, los Estados Miembros deben tomar medidas regulatorias para la penetración de renovables en dicho sector e incluirlo en los planes nacionales.

Entre las nuevas tecnologías para la edificación, que es el sector de mayor consumo dentro del calor y frío debido a los procesos de calefacción y producción de ACS, con un gran potencial de desarrollo se encuentra la bomba de calor, caso de estudio de este

trabajo. Este equipo permite la climatización de espacios y la producción de ACS y es una tecnología con una gran eficiencia energética, que mediante su implantación será posible alcanzar con más facilidad al mismo tiempo el porcentaje necesario de reducción de emisiones, de penetración de renovables y de eficiencia energética.

La necesidad de los Estados Miembros de cumplir con los objetivos establecidos por la Comisión Europea hace que sea un buen escenario para equipos altamente eficientes como la bomba de calor. Los avances tecnológicos que ha sufrido esta tecnología los últimos años han hecho que los equipos mejoren sus prestaciones notablemente, haciéndolos más competitivos con otras tecnologías empleadas actualmente por lo que puede ser un buen momento para incentivar el empleo de este tipo de instalaciones.

La cuestión es si este tipo de instalaciones puede resultar atractiva económicamente para los consumidores de modo que aumente la penetración de la tecnología y se convierta en una herramienta eficaz para combatir el cambio climático. Para intentar resolver esta duda, se analizarán varios escenarios en España con el fin de hacer una comparativa económica con otras alternativas y comprobar la viabilidad económica de la bomba de calor.

Este documento contiene la memoria del Trabajo de Fin de Máster denominado “Estudio de viabilidad de la bomba de calor para climatización y producción de ACS”. En una primera parte se presenta el contexto, los objetivos que se persiguen y los antecedentes que han provocado la elaboración del trabajo mencionando los estudios existentes relacionados con el tema en cuestión.

En la segunda parte se mostrará el estudio económico realizado, dónde se hará un análisis de alternativas y la posterior selección de una de ellas de modo que se analicen solamente los casos que puedan tener sentido económico. También se expondrá la metodología seguida para la elaboración del estudio y se presentarán todos los escenarios analizados. El objetivo es estudiar el mayor número de escenarios posibles con el fin de tener una visión completa sobre la rentabilidad económica de las diferentes alternativas.

Tras el estudio económico se explicarán las principales conclusiones derivadas del mismo. Finalmente, este Trabajo de Fin de Máster cuenta también con una planificación de las tareas a realizar y con un presupuesto a grandes rasgos.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el siguiente:

- Se pretende alcanzar es impulsar la bomba de calor como tecnología a tener en cuenta para la climatización de viviendas, mostrando sus beneficios y aportando razones de peso para su uso. Se pretende comprobar si la tecnología es competitiva económicamente con otras alternativas.

Los objetivos parciales son:

- Estudio de la tecnología actual de las bombas de calor y otras alternativas para la climatización de espacios, explicando su funcionamiento, describiendo los diferentes tipos disponibles y analizando los rendimientos y los usos de estas.
- Estudio económico. Se estudiará la viabilidad y rentabilidad de la bomba de calor en diferentes escenarios en comparación con un sistema convencional de climatización. También se comparará el impacto medioambiental de los diferentes métodos de climatización. El objetivo principal es demostrar los beneficios económicos y medioambientales que aporta la bomba de calor en diferentes situaciones.
- Regulación. Se analizará la situación regulatoria actual a nivel europeo y nacional.

2.2. Alcance

Se pretende obtener una visión general, en la mayoría de los escenarios posibles, del impacto económico y medioambiental de la bomba de calor en comparación con otras tecnologías. No se realiza un análisis exhaustivo de un caso concreto porque se desea identificar cuáles son los escenarios más favorables en los que la bomba de calor puede resultar rentable: zona climática, tipo de edificio, tipo de instalación etc. Gracias a este análisis general también se podrán identificar los puntos fuertes y débiles de la bomba de calor.

También se analizará el impacto que tendrían las medidas propuestas para incentivar la bomba de calor y si estas serían suficientes para que la tecnología resulte rentable frente a otras alternativas.

3. ANTECEDENTES

Como se ha mencionado anteriormente, la calefacción y la producción de ACS en viviendas tiene un gran peso en el consumo energético del país. Actualmente en España, estas necesidades se satisfacen mediante caldera de gas en el 43% de viviendas, gran parte de las instalaciones en funcionamiento son antiguas y poco eficientes, lo que conlleva una gran cantidad de emisiones de CO₂. Por esta razón, es imprescindible evaluar otras alternativas más limpias que frenen el crecimiento de emisiones como la bomba de calor.

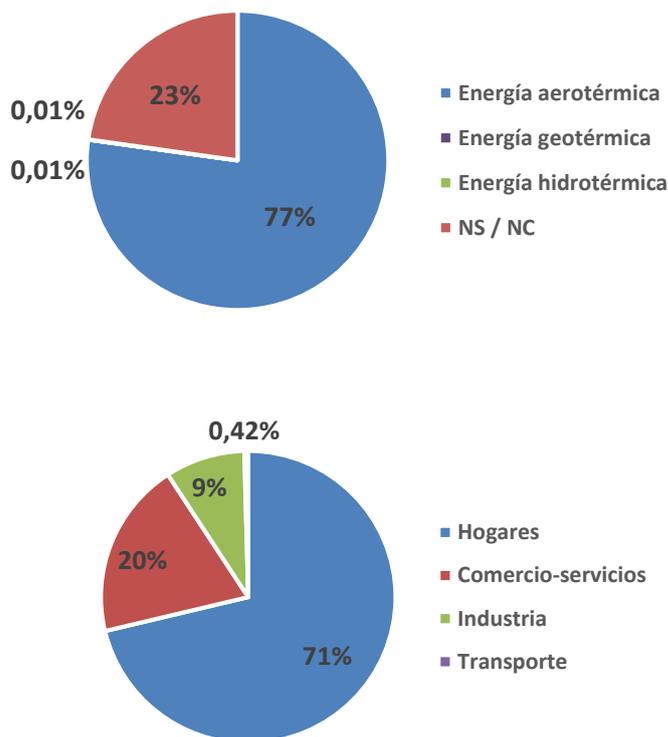
Las bombas de calor instaladas actualmente en la mayoría de las viviendas se emplean en modo refrigeración ya que para calefacción tienen rendimientos pobres. A día de hoy los equipos fabricados son capaces de satisfacer las necesidades de refrigeración y calefacción sin ningún tipo de apoyo de otras tecnologías. A pesar de que estos equipos han mejorado mucho sus prestaciones de calefacción, no son muy conocidos por los consumidores, por lo que estos no son capaces de elegir la opción más beneficiosa debido a la falta de información en cuanto a alternativas y tecnologías en el mercado. La mayoría de los consumidores no conocen o no consideran la bomba de calor como alternativa real a la caldera de gas.

También es destacable que la Unión Europea ha incluido la bomba de calor en sus Directivas de energías renovables (aerotermia, hidrotermia y geotermia) como alternativa a tener en cuenta en la edificación además de establecer un método normalizado para cuantificar la energía renovable procedente de estos equipos, por lo que resulta un apoyo importante para el aumento de penetración de esta tecnología. Una de las Directivas más relevantes es la de eficiencia energética en edificios que obliga a los EEMM a definir los valores límite para considerar un edificio de consumo casi nulo, que son aquellos que necesitan muy poca energía y la gran parte de ella es de origen renovable. Estos edificios se deben diseñar para tener una demanda energética reducida, por lo que se deben aplicar estrategias de diseño pasivo que reduzca la necesidad de encender la calefacción en invierno. Por esta razón, resulta necesario impulsar e incentivar el empleo de sistemas que funcionen con fuentes limpias y renovables como la bomba de calor.

Estas razones han motivado la elaboración de este trabajo en el que se pretende comparar la bomba de calor con los equipos predominantes actualmente en el panorama nacional, las calderas de gas, con el fin de analizar sus ventajas y desventajas y comprobar si resulta rentable para el consumidor la instalación de una bomba de calor en su vivienda. Además, también se evaluarán las posibles medidas que se podrían tomar con el fin de aumentar la penetración de las bombas de calor, ya que es clave promover esta tecnología para poder reducir las emisiones de CO₂ en la edificación y así cumplir con los objetivos establecidos por la UE.

3.1. Estudios existentes

A nivel nacional solamente existe un estudio elaborado por el IDAE (*“Estudio parque de bombas de calor en España”*, 2014) referente a la penetración de la bomba de calor. Los resultados se obtuvieron mediante la realización de una encuesta en la que se contabilizaron 11.971.823 bombas, siendo la mayoría de ellas aerotérmicas y el 71% instaladas en hogares (*Gráfica 2*).



Gráfica 2. Bombas de calor por tipo de energía y edificio. Fuente: IDAE.

La mayor parte de las bombas de calor (80%) son empleadas en la zona mediterránea, lo que demuestra que principalmente son empleadas para refrigeración a pesar de ser capaces de aportar también calefacción.

Los criterios para que la energía suministrada a las bombas de calor pueda ser considerada de origen renovable quedan establecidos en la Directiva de energías renovables (2009/28/CE) y detallados en la Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013. Básicamente estos criterios se pueden resumir en dos: que su SPF (Seasonal Performance Factor) sea superior a 2,5 y que, adicionalmente, la bomba de calor sea utilizada como sistema de calefacción. En resumen, un 17 % del parque pueden ser consideradas como bombas de calor renovables.

Otro estudio elaborado por varias organizaciones y asociaciones relacionadas con la energía es el libro publicado por AFEC (Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización) *“La bomba de calor”*, dónde se realiza una descripción técnica del equipo y se muestran casos reales de aplicación.

Uno de los estudios más importantes realizados a nivel europeo es “*Heat Pump Implementation Scenarios Until 2030*” de *Ecofys* en el que se muestran los resultados de la elaboración de tres escenarios posibles en 2030 dependiendo del grado de penetración de la bomba de calor. Gracias al estudio se pueden observar los beneficios que produciría una mayor penetración de la tecnología (*Tabla 1*). El escenario CPI es el de menor grado de penetración y el HP++ el de mayor. La reducción de emisiones de CO₂ que se lograría con el escenario HP++ ayudaría a alcanzar los objetivos que se establecerán para 2050 por la UE.

Escenario	Emisiones de CO ₂ (Mt/a)	Reducción de emisiones de CO ₂ respecto 2012	Energía final 2030 (TWh/a)	Reducción de energía final respecto 2012	Energía primaria 2030 (TWh/a)	Reducción de energía primaria respecto 2012
CPI	424	-34%	2272	-17%	2197	-31%
HP+	385	-40%	2112	-23%	2074	-35%
HP++	342	-46%	1951	-29%	1945	-39%

Tabla 1. Diferentes grados de penetración de la bomba de calor. Fuente: ECOFYS

La asociación europea EHPA (European Heat Pumps Association) publica estadísticas anuales relacionadas con la bomba de calor de todos los países europeos: penetración, potencial, precios de la energía etc. En estas estadísticas se puede ver que los países nórdicos, Francia e Italia son los que gozan de mayor penetración de la tecnología, principalmente se tratan de bombas de calor aire- aire y aire- agua. En comparación con los demás países europeos, España está muy por detrás a pesar de contar con condiciones climáticas favorables para la penetración de bombas de calor aerotérmicas.

IRENA (International Renewable Energy Agency) también elaboró un informe relativo a las bombas de calor (“*Heat Pumps*”) en el que se describe la situación actual de la tecnología, las perspectivas, las barreras y el marco regulatorio en el que se encuentra. Se puede destacar los datos que aparecen en la *Tabla 2* respecto a las previsiones de mejora de la bomba de calor.

	2030		2050	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
Reducción de costes %	20-30	5-15	30-40	5-20
Incremento del rendimiento %	30-50	20-40	40-60	30-50
Reducción del coste energético %	20-30	10-20	30-40	15-25

Tabla 2. Previsiones de mejora de la bomba de calor. Fuente: IRENA

La Agencia Internacional de Energía, mediante su informe “*Energy Efficient Buildings*”, considera la bomba de calor una tecnología clave para la reducción de consumo energético y emisiones en el sector de la edificación. Este tipo de menciones en asociaciones de prestigio y tan importantes como esta supone un gran apoyo para estos equipos.

Entre los pocos análisis económicos dedicados a la bomba de calor se encuentra “*The Economics of Electrifying Buildings*” de Rocky Mountain Institute. En este informe se compara el coste que supone una instalación de bomba de calor con una de caldera de gas en varias regiones de EEUU. Las conclusiones principales derivadas del análisis son que la bomba de calor es rentable en viviendas de nueva construcción o en casos en los que el propietario quiere cambiarse de combustibles fósiles como el fueloil o el propano. Para casos de rehabilitación de edificios en los que se desea reemplazar gas natural, no resulta rentable la instalación de bombas de calor, salvo que se desee cambiar el sistema de calefacción y el de aire acondicionado al mismo tiempo. Como se verá en el análisis económico realizado más adelante, las conclusiones a las que llega el informe de Rocky Mountain Institute son similares a las que se obtienen en este trabajo.

3.2. Estudios técnicos

3.2.1. Bomba de calor

Una bomba de calor es una máquina térmica sujeta a las leyes de la termodinámica, que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente con una gran eficiencia. Es importante distinguir entre temperatura y calor, aunque un medio se encuentre a baja temperatura es posible transferir el calor que contiene a un foco más frío. La ventaja que poseen las bombas de calor frente a otros sistemas reside en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío), tanto en el aire como en el agua o en la tierra, para acondicionar las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de trabajo en forma de energía generalmente eléctrica, aunque también existen bombas de calor accionadas térmicamente.

La bomba de calor utiliza un gas refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado que, gracias a la existencia de dos focos a diferente temperatura, transporta el calor del medio ambiente a un habitáculo a acondicionar, servicio o aplicación industrial, con la particularidad de invertir el flujo natural de calor, de modo que fluya desde una temperatura más baja a otra más alta. Esto es posible al disponer del trabajo adicional realizado por el compresor.

El ciclo de la bomba de calor consta de cuatro fases (Fig. 1):

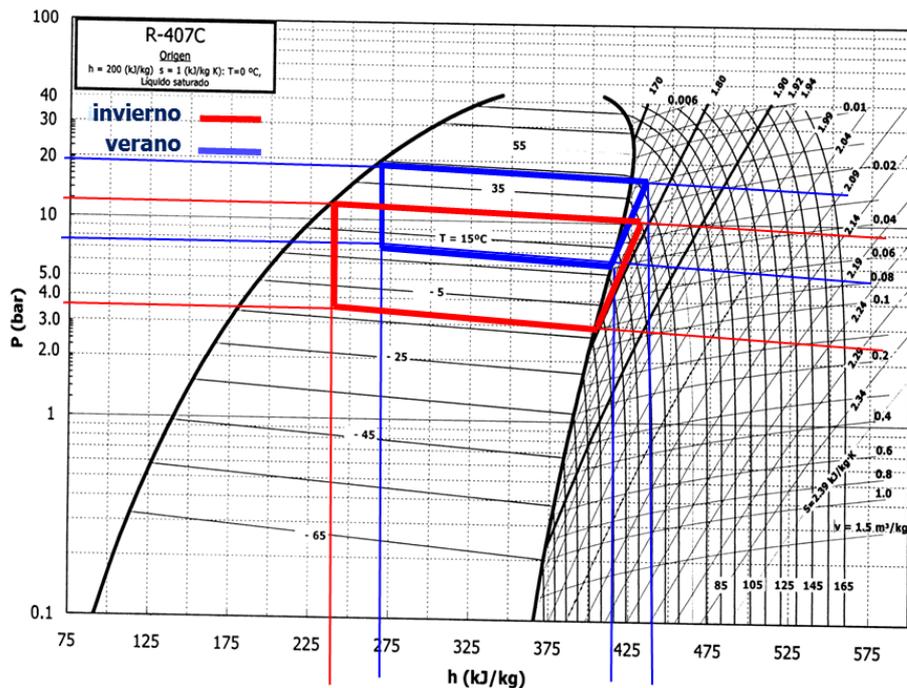


Figura 1. Ciclo termodinámico

- **Compresión:** en el primer paso se comprime un fluido refrigerante. En ese proceso, la energía eléctrica consumida por el compresor se transforma en calor transmitido al refrigerante elevando su presión como su temperatura, aumentando por tanto su entalpía. El compresor es el único equipo que necesita energía eléctrica o térmica para funcionar.
- **Condensación:** este fluido caliente se hace pasar por el condensador. En este intercambiador de calor, el fluido cede su calor al llamado foco caliente y al enfriarse se produce la condensación del refrigerante, pasando de estado gaseoso a estado líquido.
- **Expansión:** a continuación se hace pasar el fluido, todavía a presión, por una válvula de expansión, que consiste en un dispositivo que genera una gran pérdida de carga por lo que se produce una reducción de presión isoentálpica del fluido desde la presión de condensación hasta la presión de entrada en el evaporador, reduciéndose por lo tanto la temperatura del fluido.

- **Evaporación:** finalmente, el fluido pasa por otro intercambiador, situado en la fuente fría, y llamado evaporador en el que se produce un cambio de fase endotérmico, donde el refrigerante se evapora absorbiendo calor de nuevo, para volver a reiniciar el ciclo en el compresor.

Las funciones de la bomba de calor son:

- Calentar y refrigerar espacios
- Producción de agua caliente sanitaria
- Climatización de piscinas

3.2.1.1. Componentes principales de la bomba de calor

Los principales componentes y el ciclo simplificado de la bomba de calor son los que aparecen en el esquema de la *Figura 2*:

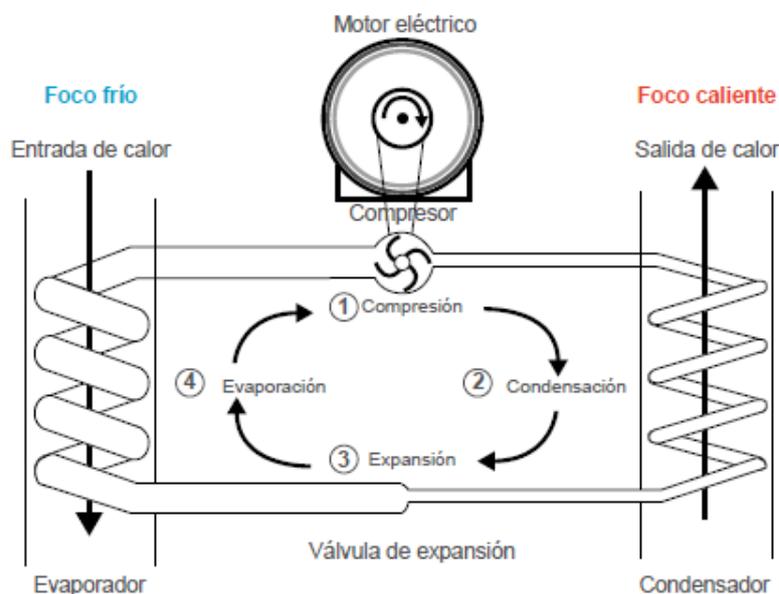


Figura 2. Principales componentes de la bomba de calor

Compresor

El compresor es uno de los equipos principales de una bomba de calor y es el encargado de elevar la presión del vapor refrigerante desde la presión de aspiración a la de descarga. Los compresores pueden clasificarse como abiertos, semiherméticos o herméticos según sea la disposición del motor respecto al compresor. De acuerdo al mecanismo interno de la compresión, los más destacados son los compresores de desplazamiento positivo entre los cuales se encuentran los compresores alternativos, que cada vez tienden a usarse menos; rotativos, empleados frecuentemente, y especialmente en bombas de no elevada potencia; tipo *scroll*, cuyo rendimiento es el más elevado siendo posible su uso en un amplio margen de potencias y que se están imponiendo en el mercado actual; y de tornillo, utilizados en bombas de calor de gran potencia (>100 kW).

El compresor scroll (*Figura 3*) se puede considerar como la última generación de los compresores rotativos de paletas, en los cuáles éstas últimas han sido sustituidas por un rotor en forma de espiral, excéntrico respecto al árbol motor, que rueda sobre la superficie del estator, que en lugar de ser circular tiene forma de espiral concéntrica con el eje motor.



Figura 3. Compresor scroll

Evaporador

El refrigerante necesita un aumento de su entalpía, y esto se produce cuando pasa de su estado líquido a su estado gaseoso a través del evaporador. Una vez que ingresa al evaporador a baja presión y temperatura el medio absorbe el calor sensible transformándolo en calor latente (es el calor necesario para el cambio de fase) y el refrigerante sale en forma de vapor.

Condensador

La función principal es condensar el vapor que proviene del compresor en condiciones próximas a la saturación y evacuar el calor de condensación (calor latente) al exterior mediante un fluido de intercambio (aire o agua).

Válvula de expansión

Una válvula de expansión termostática (a menudo abreviado como VET o válvula TX en inglés) es un dispositivo de expansión el cual es un componente clave en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, que tiene la capacidad de generar la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador en el sistema.

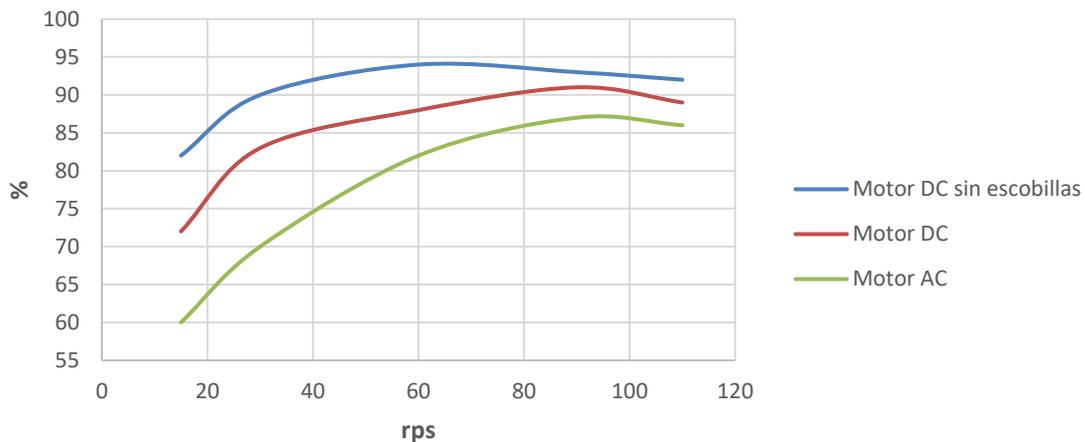
Actualmente las bombas de calor van equipadas con válvulas electrónicas con modulación proporcional (*Figura 4*). Básicamente su misión se restringe a dos funciones: la de controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador y la de sostener un sobrecalentamiento constante a la salida de este. Para realizar este cometido dispone de un bulbo sensor de temperatura que se encarga de cerrar o abrir la válvula para así disminuir o aumentar el ingreso de refrigerante y su consecuente evaporación dentro del evaporador, lo que implica una mayor o menor temperatura ambiente, respectivamente.



Figura 4. Válvula de expansión electrónica

Motor

El motor del compresor que se emplea en las bombas de calor actuales con motores DC de reluctancia sin escobillas (BrushLess DC motor) que como se puede ver en la *Gráfica 3* son más eficientes que otros tipos de motores. Además, reducen al máximo las vibraciones y el ruido, con lo cual hacen sobresaliente la eficiencia global del sistema además de destacar en duración y fiabilidad.



Gráfica 3. Eficiencia del motor del compresor

En la siguiente *Figura 5* aparecen de forma más detallada los componentes de la bomba de calor:

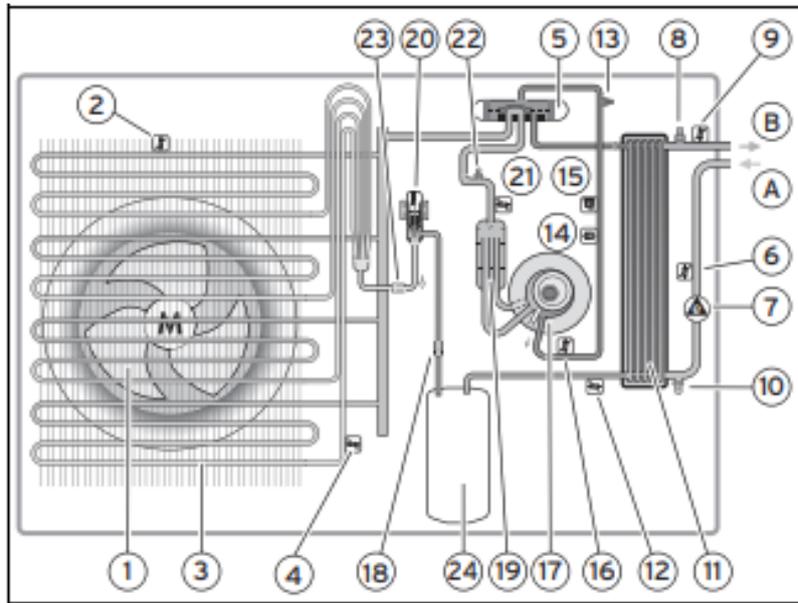


Figura 5. Esquema bomba de calor monobloc

- | | | |
|---|--|--|
| 1 Ventilador | del circuito de calefacción | 17 Compresor de émbolo rotativo |
| 2 Sonda de temperatura en la entrada de aire | 10 Válvula de vaciado | 18 Filtro |
| 3 Intercambiador de calor de tubo laminado | 11 Intercambiador de calor de placa | 19 Separador de líquidos |
| 4 Sonda de temperatura del intercambiador de calor de tubo laminado | 12 Sonda de temperatura detrás del intercambiador de calor de placa | 20 Válvula de expansión electrónica |
| 5 Válvula de 4 vías | 13 Llave de mantenimiento de la zona de alta presión del circuito de refrigerante | 21 Sonda de temperatura en la entrada del compresor |
| 6 Sonda de temperatura del retorno del circuito de calefacción | 14 Presostato de alta presión en el circuito de refrigerante | 22 Llave de mantenimiento de la zona de baja presión del circuito de refrigerante |
| 7 Bomba de alta eficiencia con sensor de caudal | 15 Sensor de alta presión en el circuito de refrigerante | 23 Filtro |
| 8 Válvula de purga | 16 Sonda de temperatura en la salida del compresor | 24 Colector de líquido |
| 9 Sonda de temperatura de la ida | | A Retorno de calefacción |
| | | B Ida de calefacción |

3.2.1.2. Clasificación

Las bombas de calor se pueden clasificar según de donde obtienen su energía:

- Aerotérmicas, obtienen la energía del aire.
- Geotérmicas, absorben calor almacenado en la tierra.
- Hidrotérmicas, aprovechan el calor del agua.

También se pueden clasificar según la forma de distribuir el calor:

- Aire
- Agua

➤ Aerothermia

La aerothermia obtiene el calor del aire del ambiente para calefacción, refrigeración y producción de ACS como se puede ver en la *Figura 6*.



Figura 6. Bomba de calor aerotérmica tipo Split

La principal ventaja de estos sistemas es la sencillez de instalación, lo que reduce mucho los costes de inversión. Uno de los principales problemas es que, como el rendimiento depende del salto térmico y este tipo de bombas funcionan con el calor que se obtiene del aire, el cual tiene variaciones de temperatura considerables, se puede dar una caída de rendimiento excesiva para temperaturas exteriores muy bajas.

Actualmente existen bombas que ofrecen rendimientos aceptables para temperaturas menores de 0°C y se deberá hacer un estudio de las temperaturas mínimas en el lugar que se desea instalar la bomba para elegir la que mejor se adapte a las necesidades. Cuanto menor es la temperatura exterior, menor es la potencia que es capaz de ofrecer una misma bomba, por lo que el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en

Edificios) aconseja escoger una bomba del catálogo que se ajuste a la demanda cuando la temperatura sea 2°C menor a la mínima esperada.

En la *Figura 7* se muestra la variación de potencia y rendimiento (COP: Coeficiente Of Performance) en función de la temperatura de impulsión y de la temperatura exterior para una bomba aerotérmica. A menor temperatura de impulsión mayor es la potencia que es capaz de aportar y también su rendimiento, ya que el salto térmico es menor. La temperatura de impulsión de 35°C corresponde a un sistema de distribución mediante suelo radiante y de 55°C a radiadores de baja temperatura.

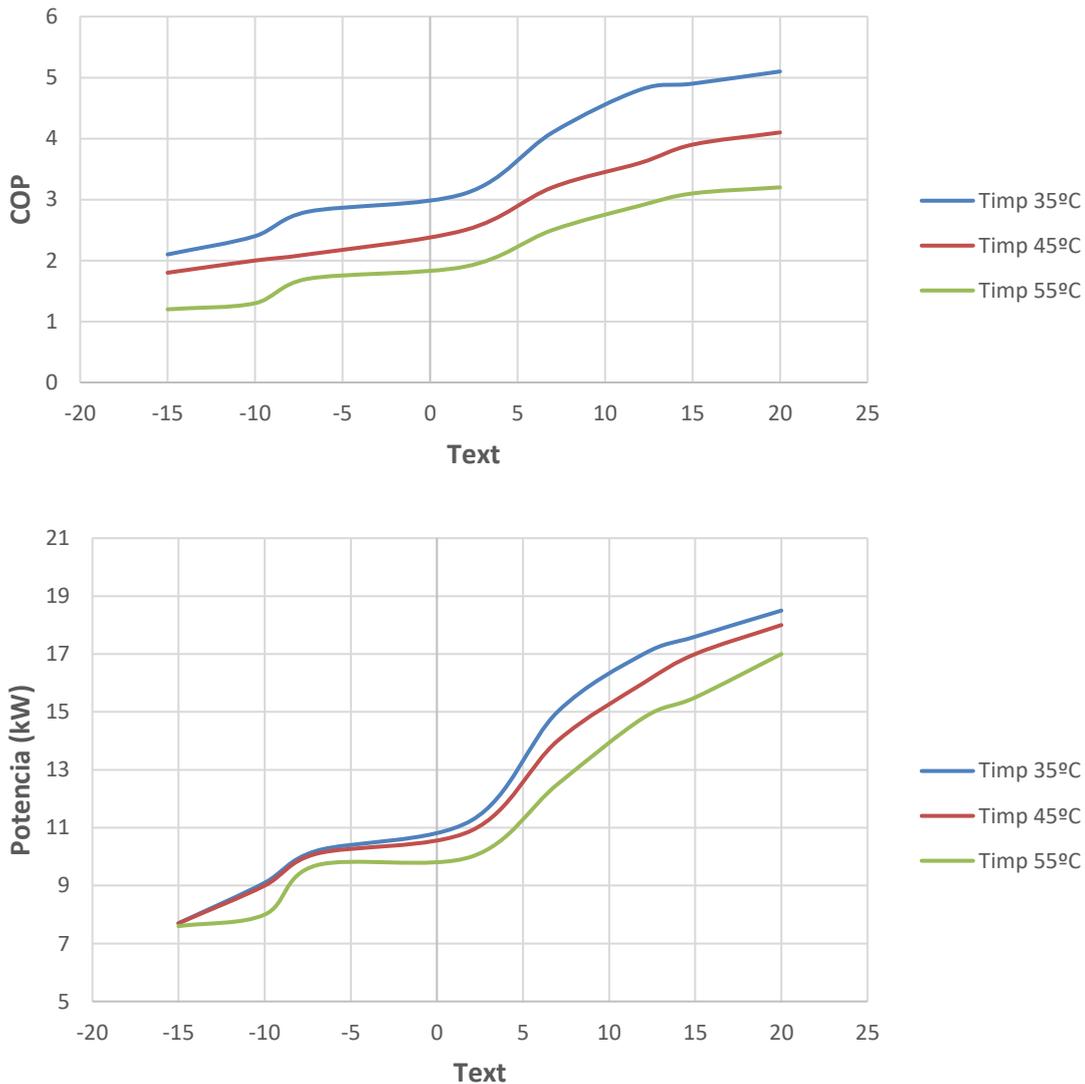


Figura 7. Variación de potencia y COP

Otro de los problemas que puede aparecer es la formación de hielo en el sistema con temperaturas por debajo de 0°C. Actualmente este problema se corrige mediante la inversión del ciclo termodinámico, lo que permite el desescarche. Hoy en día todas las bombas fabricadas vienen dotadas de tecnología electrónica que permiten programar el ciclo de desescarche en el mejor momento y sin que el usuario se dé cuenta.

Existen dos sistemas aerotérmicos diferentes:

Split o partidos

Se compone de dos equipos, uno exterior, con aspecto de aire acondicionado, y otro interior, parecido a una caldera. Una de las ventajas que tienen estos sistemas, es evitar posibles problemas de ruido en el interior de la vivienda. Suelen tener un precio más elevado de instalación que otros sistemas (*Figura 8*).



Figura 8. Bomba de calor split

Monobloc o compactos

Estos sistemas están compuestos de un único bloque donde se produce el ciclo termodinámico completo lo que hace que su instalación sea más sencilla (*Figura 9*).



Figura 9. Bomba de calor monobloc

➤ **Geotermia**

Este tipo de bombas funciona del mismo modo que las aerotérmicas, pero obtienen el calor del suelo poco profundo, a temperaturas menores de 30°C y son capaces de funcionar como calefacción, refrigeración y ACS. También se puede obtener el calor de las aguas subterráneas (hidrotermia).

La mayor ventaja de estos sistemas es la independencia de la temperatura exterior, ya que la temperatura del suelo se mantiene aproximadamente constante durante todo el año, lo que los hace muy eficientes. El problema se encuentra en la inversión necesaria para su instalación, es necesario colocar los intercambiadores de calor bajo tierra. En el caso de edificios de nueva construcción es posible hacerlo bajo el propio edificio, siempre y cuando no haya canalización de agua o eléctrica. La innovación que hiciese más baratos los costes en este tipo de obras supondría un gran impulso para la geotermia.

Otra de las barreras de esta tecnología es la necesidad de realizar un estudio previo del suelo para evaluar la efectividad de la futura instalación, uno de los factores de mayor importancia es la conductividad térmica (λ [W/mK]), cuyo valor oscila entre 0,5-5 (W/mK). En la UE, países como Suecia han apostado por la geotermia siendo el país con más potencia instalada de esta tecnología.

Según el tipo de instalación se pueden clasificar de la siguiente forma:

Circuito abierto

En este tipo de instalaciones el calor se obtiene de las aguas subterráneas directamente, que entran al ciclo termodinámico y vuelven al suelo tras pasar por él. Este tipo de bombas se conocen como hidrotérmicas, las cuales gozan de un rendimiento alto debido a que las aguas freáticas se mantienen aproximadamente a 13°C durante todo el año.

Circuito cerrado

Estas instalaciones se basan en intercambiadores de calor bajo tierra por los que circula un refrigerante encargado de captar el calor almacenado en el suelo. Existen dos tipos de captadores subterráneos:

- *Captador vertical*

Este tipo de captadores se instalan a una profundidad de 80-150 m (*Figura 10*). La estabilidad térmica es mucho mayor por lo que funcionan a un rendimiento constante muy alto durante todo el año aunque las temperaturas sean extremadamente bajas. La inversión necesaria es muy alta, por lo que se debe estudiar la rentabilidad del proyecto.

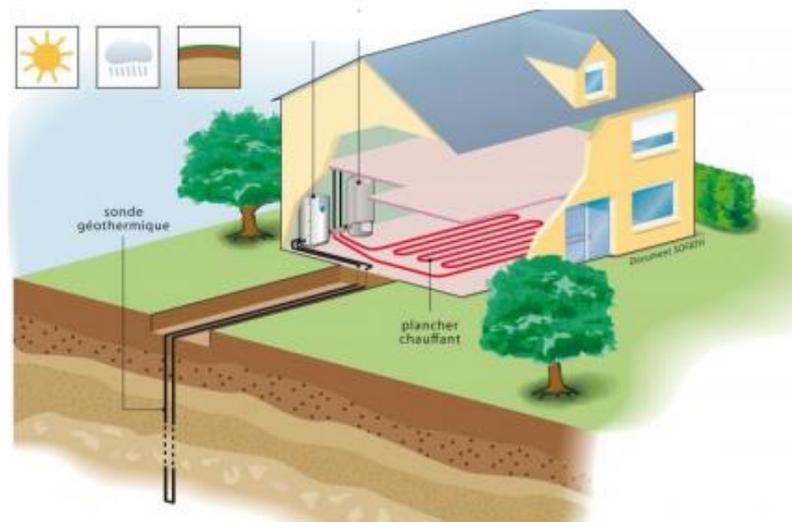


Figura 10. Bomba de calor con captador vertical

- *Captador horizontal*

Este tipo de instalación se encuentra a escasos metros (1-3m) bajo tierra (Figura 11). Son más sensibles que los captadores verticales a variaciones de temperatura pero su inversión puede reducirse a la mitad.



Figura 11. Bomba de calor con captador horizontal

La *Tabla 3* muestra una comparativa entre los dos tipos de bomba de calor:

	Aeroterminia	Geoterminia
Eficiencia	Se reduce con temperaturas exteriores muy bajas	Muy alta constante durante todo el año
Inversión	Baja en comparación con la geoterminia, instalación sencilla	Muy alta
Desarrollo	Tecnología madura	Menos desarrollada, necesidad de innovación en la perforación del suelo para reducir costes
Espacio	Necesidad de componente exterior para captación de aire	Instalación subterránea, no ocupa espacio

Tabla 3. Aeroterminia vs geoterminia

➤ **Método de distribución**

Aire

Los sistemas que distribuyen el calor por aire distribuyen el calor a través de flujos de aire (*Figura 12*), este tipo de distribución no resulta tan confortable como la distribución por agua pero el precio de mercado es menor que en el caso de las de agua. Por ello puede resultar interesante en el caso de rehabilitación de viviendas. La principal diferencia entre ambos métodos es que en el caso de distribución por aire no es posible la producción de ACS.



Figura 12. Bomba de calor aire- aire

Agua

Estos sistemas son compatibles con radiadores, fancoils y suelos o techos radiantes por los que circula el agua caliente para aumentar la temperatura del edificio. La opción más eficiente es la de suelo radiante (*Fig. 13*) debido a su baja temperatura de funcionamiento (35°C), el salto térmico es menor y la eficiencia de la bomba es muy alta. Existen radiadores de baja temperatura, que trabajan a una temperatura superior (50°C) que los suelos radiantes, lo que afecta negativamente a la eficiencia de la bomba.

Según experiencias de usuarios, este tipo de instalación es muy confortable y distribuye el calor de forma uniforme, algo que no ocurre con los radiadores o fancoils, aunque estos últimos pueden servir de apoyo para la refrigeración.

Debido a estas razones, el suelo radiante es el sistema que mejor complementa a la bomba de calor, además, en verano es capaz de enfriar el ambiente haciendo circular agua más fría por las tuberías del suelo (suelo refrescante).

Los problemas que pueden surgir con el suelo radiante son el coste de reparación en caso de avería debido a la dificultad de acceder a las tuberías bajo el suelo, la necesidad de poner un suelo compatible con este tipo de calefacción y el tiempo necesario para llegar a la temperatura deseada que suele ser mayor que en otros sistemas debido a la inercia térmica.

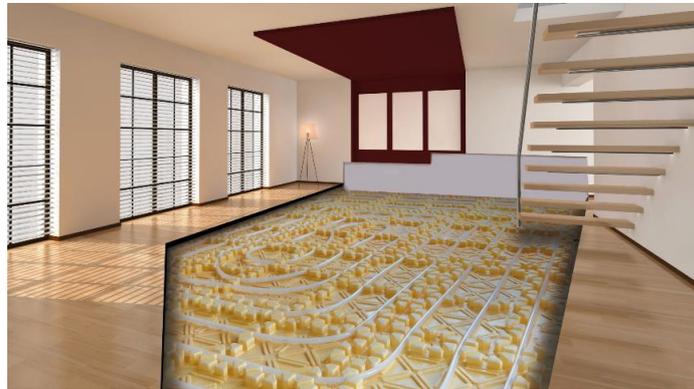


Figura 13. Distribución de agua por suelo radiante

3.2.1.4. Rendimiento y eficiencia

La eficiencia de una bomba de calor se mide a través de su coeficiente de prestación, COP (Coefficient of Performance). Este coeficiente se calcula como la relación existente entre la energía térmica cedida por el sistema (Q) y la energía absorbida por el compresor (W) en unas condiciones específicas de temperatura y con la unidad a plena carga:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Este coeficiente depende del tipo de bomba, de la temperatura ambiente y del fabricante, y sólo incluye la generación de calor. Para el cálculo de la eficiencia en refrigeración es necesario usar el EER (Energy Efficiency Rating). Actualmente los valores del COP varían entre 3 y 6, lo que quiere decir que por cada kW consumido de energía eléctrica, se crean entre 3 y 6 kW de energía térmica. Como la eficiencia es mayor que la unidad, se deduce que gracias a esta tecnología se pueden producir entre 2 y 5 kW (Fig. 14) de energía de forma gratuita procedente de recursos naturales, sin producir emisiones. Cuanto menor es el salto térmico entre los focos caliente y frío mayor es el coeficiente.

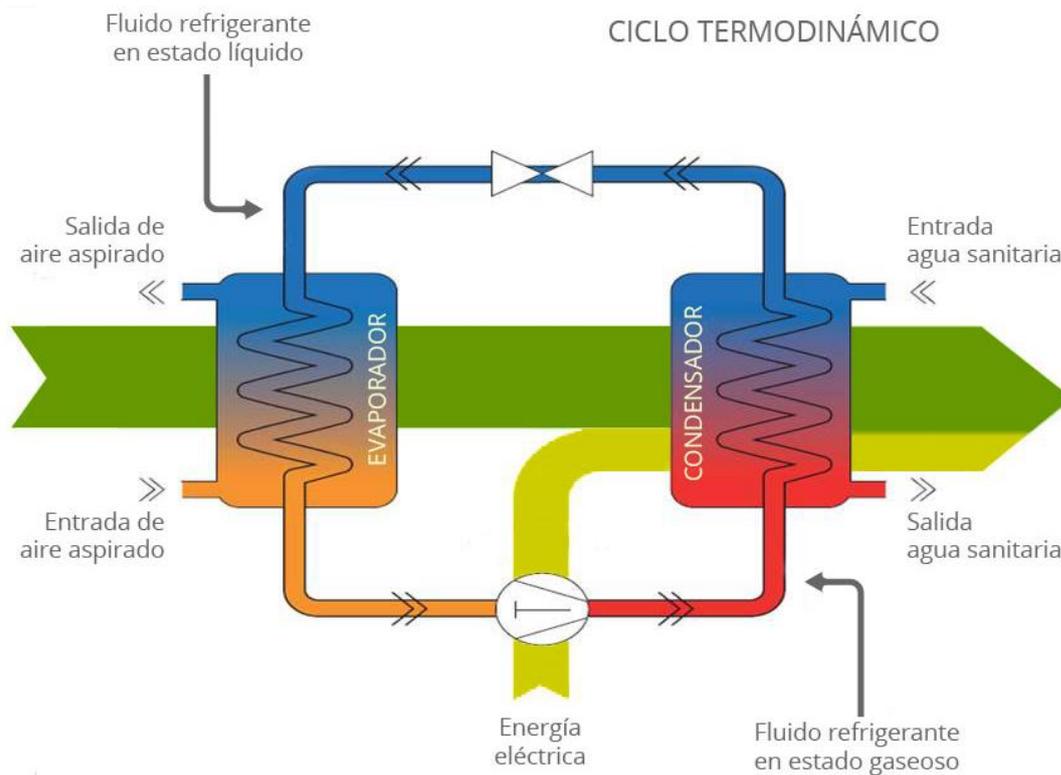


Figura 14. Eficiencia de bomba de calor

Actualmente existe un coeficiente que se ajusta más a la realidad, el SPF (Seasonal Performance Factor), SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) para el caso de calefacción definido por la Decisión de la Comisión del 1 de marzo de 2013 como:

SPF: factor de rendimiento medio estacional estimativo, que se refiere al “coeficiente de rendimiento estacional neto en modo activo” ($SCOP_{net}$), en el caso de las bombas de calor accionadas eléctricamente, o a la “relación estacional neta de energía primaria en modo activo” ($SPEP_{net}$), en el de las bombas de calor accionadas térmicamente.

Al medirse en cargas parciales y a partir de una demanda anual de referencia, refleja con mayor exactitud el funcionamiento real del equipo que el COP. Además, se tiene en cuenta el consumo del equipo cuando está apagado.

Los Reglamentos vigentes obligan a los distribuidores a mostrar los mencionados valores COP mediante la correspondiente etiqueta energética que debe acompañar a los equipos. Puesto que la eficiencia energética es función de las temperaturas de condensación y evaporación, es decir, de las condiciones exteriores y de la temperatura de consigna que el usuario elija en cada ocasión para satisfacer sus necesidades de confort, es evidente que a menos que el usuario disponga de una instalación de medida, no le será posible conocer el consumo real de su aparato ni sus prestaciones térmicas, por lo que difícilmente conocerá su rendimiento.

Los rendimientos de calefacción y ACS se calculan por separado, aunque actualmente se está investigando para obtener un rendimiento conjunto. Los rendimientos para ACS son menores que los de calefacción debido a que el salto térmico necesario en ACS es mayor.

3.2.1.5. Instalación

La *Figura 15* muestra un ejemplo de instalación de bomba de calor aerotérmica para calefacción con suelo radiante y producción de ACS. El ventilador obtiene el calor del aire para transportarlo a la instalación de suelo radiante y al acumulador de agua caliente sanitaria de modo que los espacios y el agua alcancen la temperatura consigna fijada por el usuario en el interfaz.

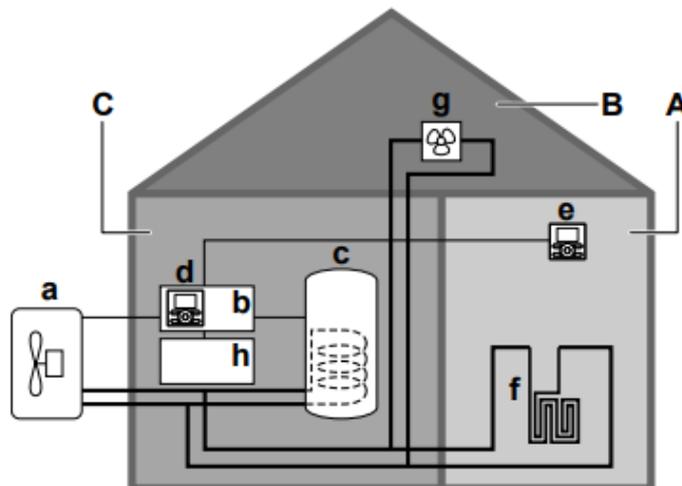


Figura 15. Ejemplo instalación

A Zona principal. Ejemplo: sala de estar.

B Zona adicional: Ejemplo: Dormitorio

C Habitación para instalaciones técnicas

a Bomba de calor de la unidad exterior

b Caja de controles

c Depósito de agua caliente sanitaria

d Interfaz de usuario conectada a la caja de controles

e Interfaz de usuario de la sala de estar, se utiliza como termostato ambiente

f Calefacción de suelo radiante

g Convectores de la bomba de calor o unidades fancoil

h Caja de opciones

3.2.1.6. Evolución de la tecnología

Las mejoras expuestas a continuación han permitido aumentar el COP de los equipos en la última década de manera considerable, y se prevé un aumento del 20-50% de aquí al 2030.

Bombas de calor reversibles

Gracias a un dispositivo auxiliar, la válvula de cuatro vías, es posible invertir el sentido del ciclo termodinámico y emplear la bomba para refrigerar un espacio de modo que se capta el calor del interior transportándolo al exterior. El empleo del sistema tanto como para calefacción como refrigeración hace posible una mayor eficiencia y un mayor ahorro económico.

Como se observa en la *Figura 16*, la disposición y los componentes son los mismos, variando por tanto el funcionamiento de los intercambiadores de calor, con la inversión del ciclo gracias a la válvula de cuatro vías. En la parte de arriba de la figura, se aprecia el ciclo de calefacción, donde el intercambiador interior actúa como condensador y el exterior lo hace como evaporador. En modo refrigeración, haciendo uso de una electroválvula auxiliar, desplaza el sentido dentro de la válvula de cuatro vías, invirtiendo el ciclo. A consecuencia de ello, el intercambiador interior actúa como evaporador, siendo el exterior el que funciona como condensador.

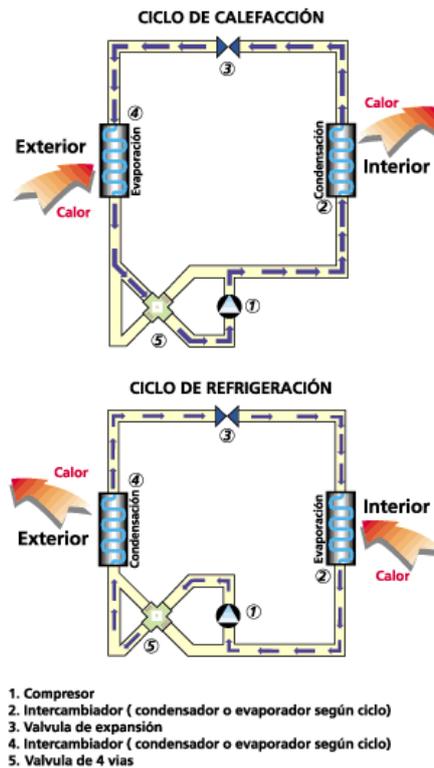


Figura 16. Esquema ciclo refrigeración y calefacción

En la *figura 17* se visualiza el funcionamiento de una bomba de calor reversible desde el punto de vista del usuario. En modo refrigeración, la unidad interior refrigera el aire de un local y para ello es necesario que la unidad exterior transmita calor al exterior. Por el contrario, en el funcionamiento en modo calefacción, para calentar el aire de un local con la unidad interior, es necesario que simultáneamente la unidad exterior capte calor del exterior.

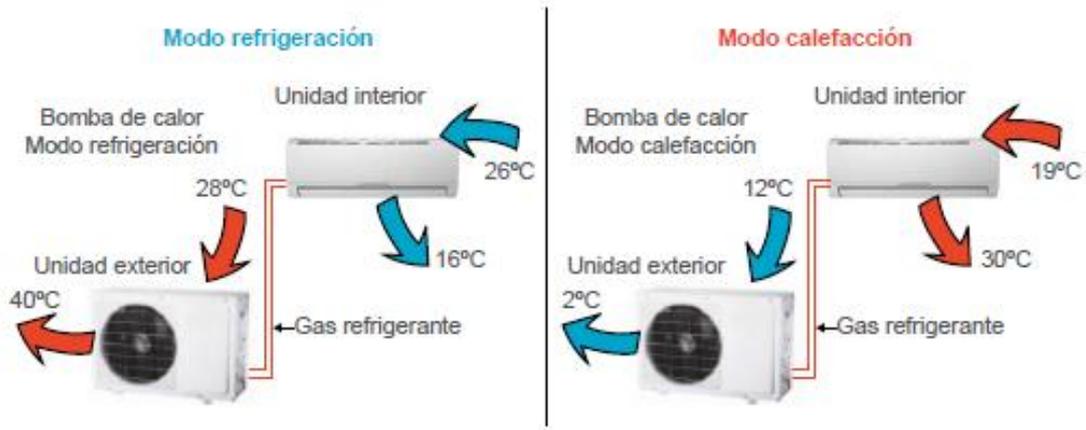


Figura 17. Esquema exterior de los modos de calefacción y refrigeración

Sistema inverter

En los sistemas convencionales el compresor está apagado o encendido produciendo picos de consumo de electricidad. Por lo que el sistema inverter o modulación de potencia se emplea para mantener la velocidad del compresor más constante (Figura 18), lo que provoca una reducción de consumo eléctrico, mejora la eficiencia, permite trabajar a un rango mayor de temperaturas y a su vez se consigue una mayor rapidez de respuesta.

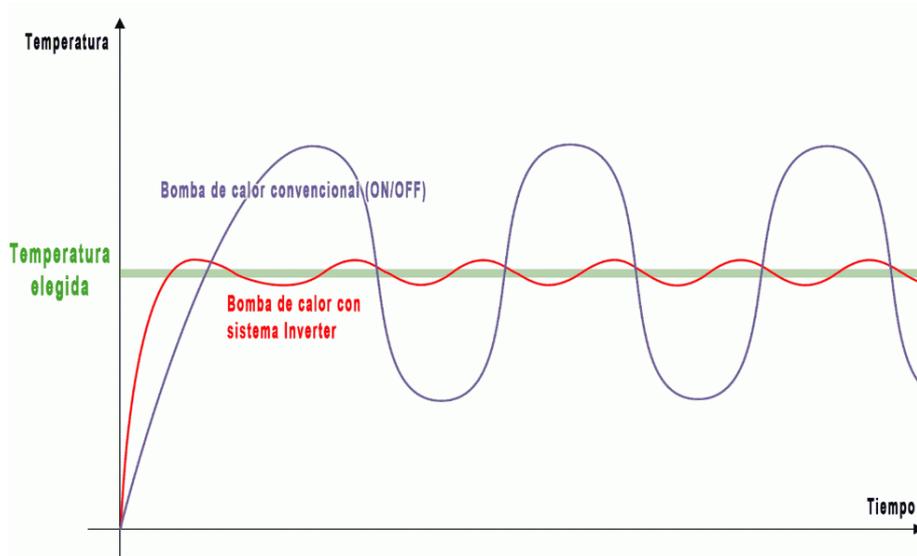


Figura 18. Sistema inverter vs sistema convencional

Refrigerantes

Los equipos tienden a incorporar de refrigerantes con menor PCA (Potencial Calentamiento de la Atmósfera), para reducir el impacto medioambiental. Se realizan investigaciones y estudios continuamente para obtener un refrigerante eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

Sistemas radiantes

La aparición de sistemas radiantes para la distribución de calor, como el suelo radiante donde se transmite el calor por radiación a baja temperatura (35°C) en lugar de convección, mejora el rendimiento de la bomba de calor (*Figura 19*).



Figura 19. Suelo radiante

Generación de calor con paneles solares

Las bombas de calor pueden instalarse junto con paneles solares térmicos para la generación de ACS o para climatización de piscinas, o con paneles solares fotovoltaicos para la generación de electricidad, de forma que se aprovecha también la energía del sol aumentando el uso de fuentes renovables (*Figura 20*).

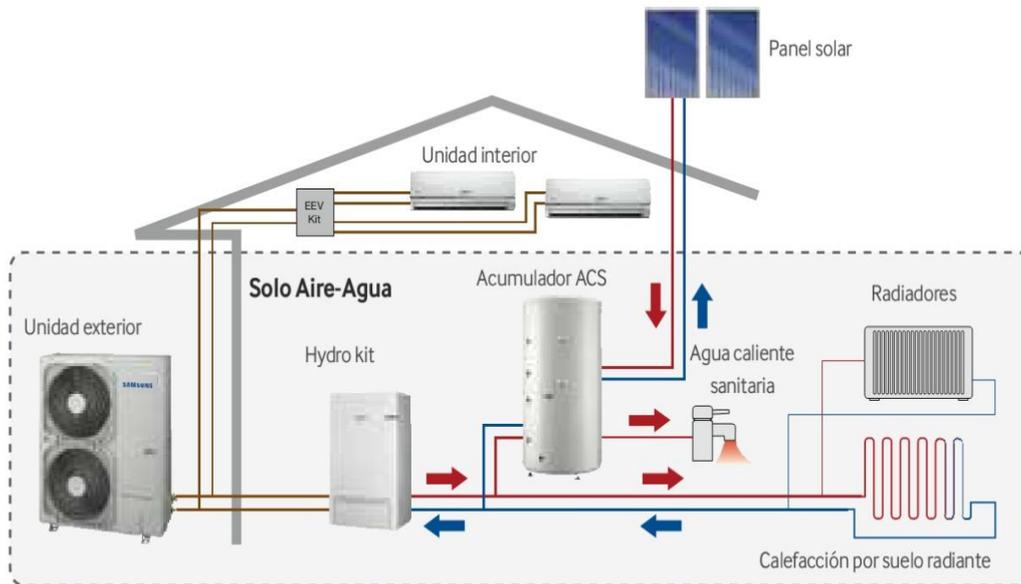


Figura 20. Generación de ACS con apoyo de paneles solares FV

Sistemas en cascada

Estos sistemas se basan en varios equipos acoplados (*Figura 21*) en los que el refrigerante se comprime dos o más veces permitiendo alcanzar una temperatura mayor.

Son útiles para la climatización de piscinas o para instalaciones centralizadas en el caso de bloques de pisos.

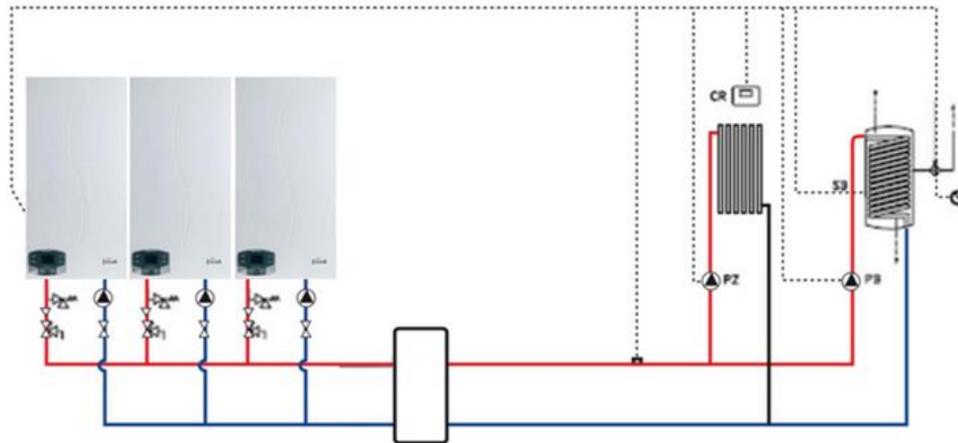


Figura 21. Esquema instalación de bombas de calor en cascada

3.2.1.7. Beneficios y barreras

En la *Tabla 4* se muestran los beneficios que aporta la bomba de calor y las barreras que se deberán superar en un futuro.

BENEFICIOS	BARRERAS
Alta eficiencia energética 1KW eléctrico -> 4kW térmicos	Pocos incentivos para apoyar la tecnología
Emisiones de CO2 menores que en sistemas convencionales	Bajo rendimiento en algunas condiciones
Ahorro energético	Precio de la electricidad debido a su elevada carga impositiva
Posibilidad de refrigeración, calefacción y ACS en un mismo sistema	Escasa información
Menor dependencia energética	Precio alto de los equipos
Tecnología madura y con previsiones de mejora	Conveniencia de instalación con suelo radiante
Mejora la calidad del aire	Escaso interés de la administración a nivel nacional
Mejora la calificación energética de los edificios	

Tabla 4. Beneficios y barreras

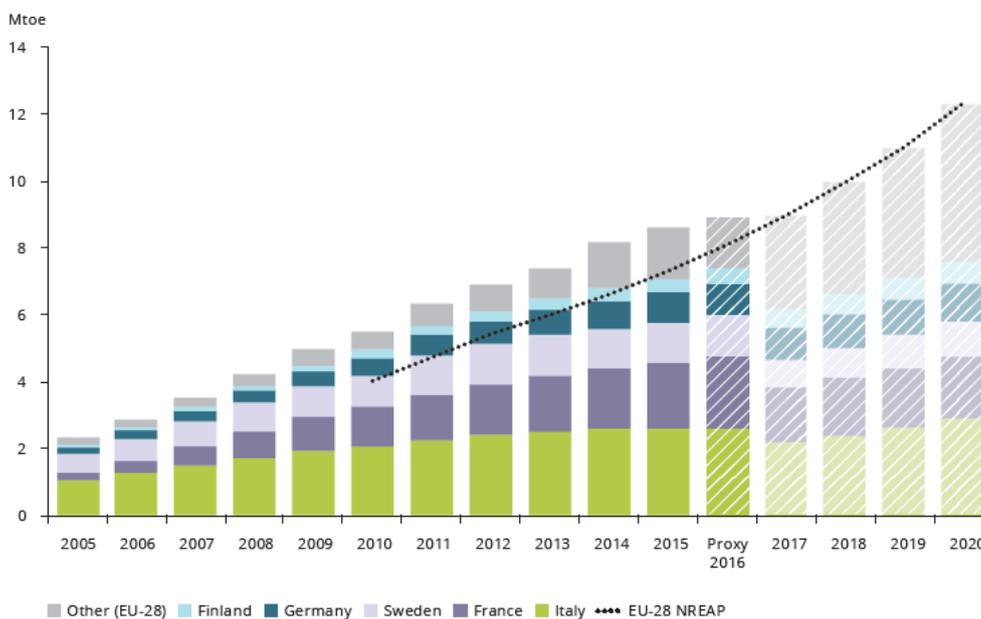
Los principales beneficios son la capacidad de generar 3kW más de los que consume, gracias a sus altos rendimientos y la baja cantidad de emisiones que genera debido a que funciona con electricidad, que en un futuro podría ser 100% renovable.

Por otro lado, las barreras más significativas son el precio alto de los equipos en el mercado actual y el precio de la electricidad.

3.2.1.8. Situación actual y perspectivas

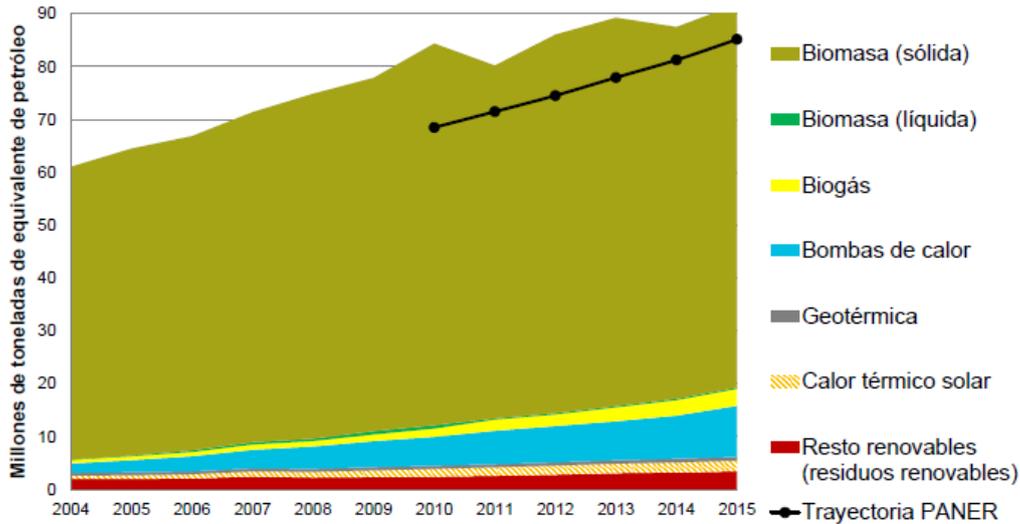
En Europa, en países como Francia, Alemania, Suecia e Italia existen mayores avances y desarrollo de esta tecnología, hay una trayectoria de crecimiento en cuanto a ventas de bombas de calor en la UE y se estima que en los próximos 5-6 años las ventas de bombas de calor en la UE se pueden multiplicar por dos. Muchos países europeos como Francia y Alemania gozan de un escenario regulatorio más favorecedor para esta tecnología así como préstamos de interés bajo o nulo.

En la *Gráfica 4* se observa la tendencia ascendente de energía renovable procedente de bombas de calor, con una gran aportación de países como Italia, Francia y Suecia principalmente. Para el año 2020 se prevé que la aportación de energía renovable de las bombas de calor en la UE será el doble que en 2010, lo que muestra el crecimiento que está experimentando esta tecnología.



Gráfica 4. Evolución de energía renovable aportada por bombas de calor por país en el sector de calor y frío. Fuente: European Environment Agency.

En la *Gráfica 5* se puede ver la evolución de las diferentes fuentes renovables en la UE empeladas para calefacción y refrigeración. La biomasa y las bombas de calor son las fuentes que más han aumentado su aportación en el sector de calor y frío los últimos 10 años.



Gráfica 5. Producción de calefacción y refrigeración a partir de renovables (Mtep) en UE. Fuente: International Energy Agency.

Respecto al marco regulatorio, con los sistemas actuales de calefacción será complicado cumplir con las normativas fijadas a partir de 2020 para las nuevas viviendas de consumo casi nulo. Existen determinados países como Dinamarca, Francia, Alemania, Reino Unido o Países Bajos que han ido más allá de los requisitos básicos. Por otro lado, se sitúa España que aún no ha formulado una definición de edificios de consumo casi nulo.

Con la mejora de los aislamientos de los edificios, los equipos de climatización cada vez requerirán menos potencia para mantener una temperatura adecuada en los habitáculos, a la vez que la producción de ACS cobrará más importancia. Por lo que interesa que las bombas de calor sean tan eficientes para calefacción como para ACS.

Los equipos han mejorado de forma considerable sus prestaciones, lo que aumenta su eficiencia y aumenta las posibilidades de instalación. Además, el aumento de la penetración de la tecnología hará que los precios de mercado de los equipos se reduzcan haciendo más viable así su instalación.

3.2.2. Caldera de gas

La caldera de gas es un depósito (caldera) que tiene como objetivo calentar agua empleando gas como combustible (*Figura 22*). El agua producida se puede emplear para calefacción y producción de ACS. Las calderas de gas natural son las más empleadas en España frente a otras alternativas debido a la gran infraestructura y la gran oferta de calderas que hay en el mercado.



Figura 22. Caldera de gas

3.2.2.1. Funcionamiento

El funcionamiento de la caldera de gas se basa en la combustión del gas en el quemador que llega a través de una tubería. De este modo se produce una llama que produce gases a gran temperatura que pasan por un intercambiador por el que circula agua. Al hacer pasar los gases a alta temperatura por el intercambiador, el calor que poseen los gases de combustión es cedido al agua aumentando así su temperatura. El agua caliente sale de la caldera a la instalación de calefacción o directamente como ACS. Las calderas de gas, al distribuir el calor a través de agua, son compatibles con radiadores y suelos radiantes. El esquema de funcionamiento se poder ver en la *Figura 23*.

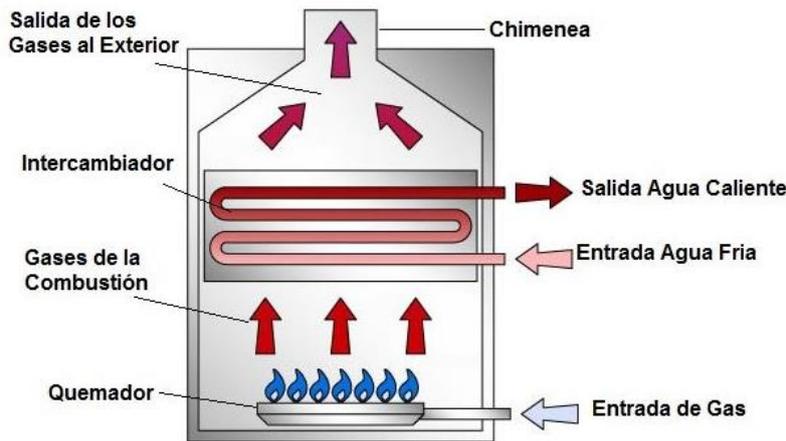


Figura 23. Funcionamiento caldera de gas.

3.2.2.2. Componentes

Quemador

Es el encargado de quemar un combustible líquido, gas o sólido produciendo una llama.

Cámara de combustión

Es donde se quema el combustible y donde se alcanzan las temperaturas más altas.

Intercambiador

Cumple la doble misión de conducir los humos que se producen en la combustión hacia la caja de humos y de ceder el mayor calor posible al agua. Para aumentar al máximo el intercambio de calor entre los gases y el agua, el intercambiador tendrá la mayor superficie posible y se realizará de forma que disminuya en lo posible la velocidad de salida de los gases.

Caja de humos

Es la zona en la que se acumulan todos los humos para ser enviados posteriormente hacia el exterior.

Retorno de agua

Es la toma en la que se conecta la parte de la instalación por la que vuelve el agua más fría, puede llegar de los radiadores, de un acumulador de ACS, etc.

Salida de agua

Es por donde se envía el agua una vez calentada a la instalación.

En la *Figura 24* se muestra un plano más detallado de los componentes que forman la caldera de gas.

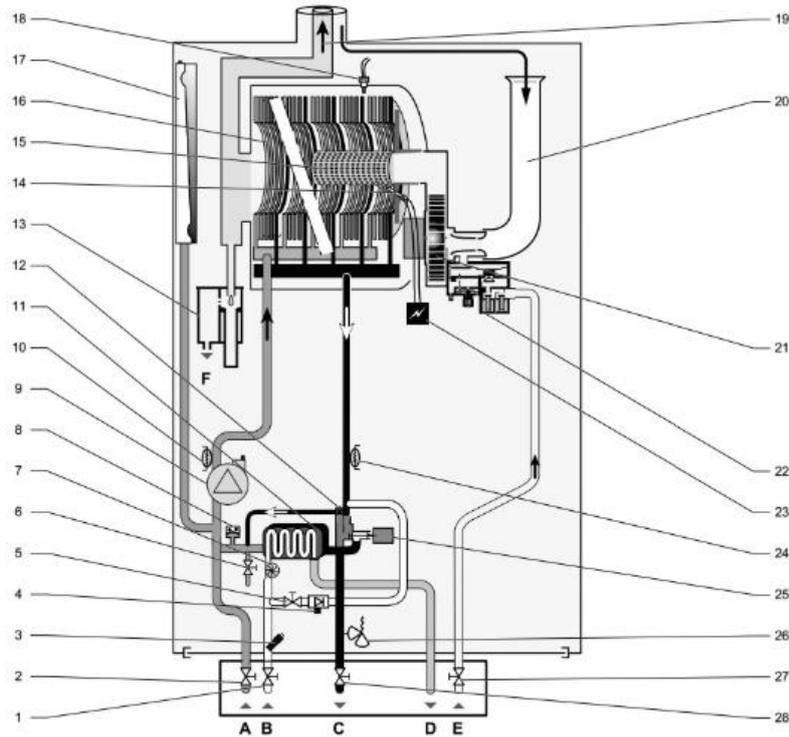


Figura 24. Componentes caldera de gas.

- | | | |
|---|---|------------------------------------|
| 1 Llave de corte de agua fría | 15 Quemador | E Alimentación gas |
| 2 Llave de corte retorno calefacción | 16 Intercambiador circuito de calefacción | F Evacuación de condensados |
| 3 Filtro en la entrada de agua fría | 18 Fusible térmico | |
| 4 Clapet anti- retorno | 19 Evacuación gases quemados | |
| 5 Llave de llenado | 20 Silenciador | |
| 6 Llave de vaciado de circuito calefacción | 21 Extractor | |
| 7 Detector demanda sanitaria | 22 Mecanismo de gas | |
| 8 Seguridad falta de agua | 23 Caja de encendido | |
| 9 Bomba | 24 Sonda de temperatura ida de calefacción | |
| 10 Sonda de temperatura retorno de calefacción | 25 Válvula de tres vías | |
| 11 Intercambiador circuito sanitario | 26 Válvula de seguridad circuito calefacción | |
| 12 By-pass | 27 Llave de corte gas | |
| 13 Recuperador condensados | 28 Llave de corte ida calefacción | |
| 14 Electrodo de encendido de control de llama | A Retorno calefacción | |
| | B Entrada agua fría | |
| | C Ida de calefacción | |
| | D Salida ACS | |

3.2.2.3. Clasificación

- Según la estructura:

Calderas de pie

Son aquellas que se apoyan en el suelo. Al ser más voluminosas, consiguen más potencias, y son adecuadas para viviendas que necesitan un rango de potencia considerable.

Calderas murales

Este tipo de calderas van ancladas a la pared y resultan adecuadas para viviendas más pequeñas. Gracias a sus reducidas dimensiones se pueden adaptar a cualquier lugar.

- Según el sistema de combustión:

Calderas de gas estancas

Son aquellas en las que la cámara de combustión está cerrada, no consume el aire del ambiente, lo que las hace más seguras porque los gases que proceden de la combustión no tienen ningún contacto con el aire local. Actualmente sólo se permite la instalación de este tipo de calderas.

Calderas de gas atmosféricas

En este caso la cámara de combustión está abierta, es decir, es todo lo contrario a las calderas estancas. Aquí el aire que se utiliza en el quemador para la combustión del gas se toma del mismo sitio en el que se encuentra la caldera. Este tipo de caldera es más contaminante y menos eficiente que una caldera estanca porque parte de los gases que se emiten en la combustión se quedan en el aire del edificio.

- Según el tipo de funcionamiento:

Calderas de gas estándar

Son las calderas de funcionamiento tradicional. Tienen un rendimiento inferior ya que necesitan consumir más energía para calentar el agua. Los rendimientos son bastante bajos, del orden del 90% de su capacidad.

Calderas de baja temperatura

Son las calderas que pueden funcionar continuamente con una temperatura de agua de retorno inferior a 40°C. Su rendimiento es menor que las de condensación, pero mayor que las estándar.

Calderas de condensación

Son las calderas más eficientes, ya que aprovechan el calor contenido en el vapor de agua que va mezclado en los gases de combustión. La tecnología de estos equipos hace que el vapor de agua producido en la combustión se condense para extraer el calor de este, aumentando así el rendimiento de forma considerable, alcanzando rendimientos de 109%.

Con las calderas de condensación se consume menos combustible para las mismas necesidades de calor y consecuentemente se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera con lo que se contribuye a reducir el efecto invernadero además de aumentar los índices de eficiencia energética de las instalaciones.

Desde el 26 de septiembre de 2015 los fabricantes sólo fabrican calderas de condensación ya que su alto rendimiento, bajo consumo y bajas emisiones de CO₂ y NO_x cumplen con la normativa de ecodiseño.

3.2.2.4. Rendimiento

Para definir la cantidad de calor generado en el equipo por cada unidad de combustible utilizado se emplea el parámetro Poder Calorífico Inferior (PCI) que informa sobre el calor que es capaz de suministrar cierto combustible teniendo en cuenta que una parte de este se pierde en forma de vapor de agua (*Figura 25*).

Otra forma de expresar el rendimiento es utilizar el Poder Calorífico Superior (PCS) que mide todo el calor producido en la reacción de combustión, incluso el que se pierde por la chimenea.

En general, cuando se quiere expresar el rendimiento de calderas de cualquier tipo, siempre se expresa en relación con el PCI. En el caso de las calderas de condensación en las que sí se aprovecha el calor del vapor de agua también se utiliza el PCI para expresar los rendimientos para poder compararlos con los de calderas de distintas tecnologías. De esta manera se obtienen rendimientos superiores a 100.



Figura 25. Comparación rendimientos caldera tradicional vs. caldera condensación.

3.2.2.5. Beneficios y barreras

La *Tabla 5* muestra los beneficios que aporta la caldera de gas y las principales barreras que puede presentar.

Beneficios	Barreras
Precio	Limitaciones de consumo de energía primaria no renovable
Amplia oferta en el mercado	
Independencia temperatura exterior	
Sin necesidad de acumulador de agua	

Tabla 5. Beneficios y barreras de la caldera de gas

Los principales beneficios de las calderas de gas son el precio bajo en el mercado y la gran oferta que existe. A diferencia de las bombas de calor no es necesaria la instalación de un acumulador de agua para el ACS, lo que facilita la instalación y abarata los costes de instalación. Al ser una tecnología plenamente desarrollada y con una gran presencia en la situación actual cuenta con muy pocas barreras, una de ellas podría ser la posible limitación del consumo de energía no renovable en el Código Técnico de la Edificación que podría perjudicar a este tipo de equipos.

3.2.2.6. Situación actual y perspectivas

En España las calderas de gas son las más empleadas para satisfacer las necesidades de calefacción y producción de ACS, un 43% de viviendas se calientan a gracias a esta tecnología, seguidos por sistemas eléctricos y calderas de gasoil.

En algunos países europeos se está optando por deshacerse progresivamente del gas para reducir las emisiones de gases efecto invernadero como es el caso de Holanda donde se pretende desconectar de la red de gas todos los edificios residenciales para 2050. Para ello, las nuevas viviendas construidas ya no contarán con infraestructura de gas como ya ha ocurrido en Ámsterdam. Además, existen préstamos entre 2.500€ y 15.000€ por propiedad con un interés bajo para medidas de aislamiento o instalación de equipos de energías limpias.

Puede que otros países europeos sigan este camino con el objetivo principal de reducir las emisiones por lo que se prevé que la venta de calderas de gas se reduzca los próximos años dejando paso a los sistemas que funcionan con energías limpias.

4. ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 Análisis de alternativas

El objetivo del estudio se basa en comparar los costes asociados a las dos tecnologías, por un lado, la más empleada en España actualmente, la caldera de gas y por otro, la bomba de calor que goza de poca penetración pero puede ser muy útil para la reducción de emisiones de CO₂ en el sector de la edificación y también para la reducción de la factura energética. Por ello, se debe elegir un tipo de instalación para cada tecnología y a partir de esa elección realizar el estudio económico que compare gastos e impactos medioambientales de ambas.

A la hora de realizar una instalación para calefacción y ACS o solamente para calefacción, se debe elegir el equipo y el modo de distribución. Tras el análisis técnico de las dos tecnologías, se tienen las siguientes posibilidades (*Figura 26*).

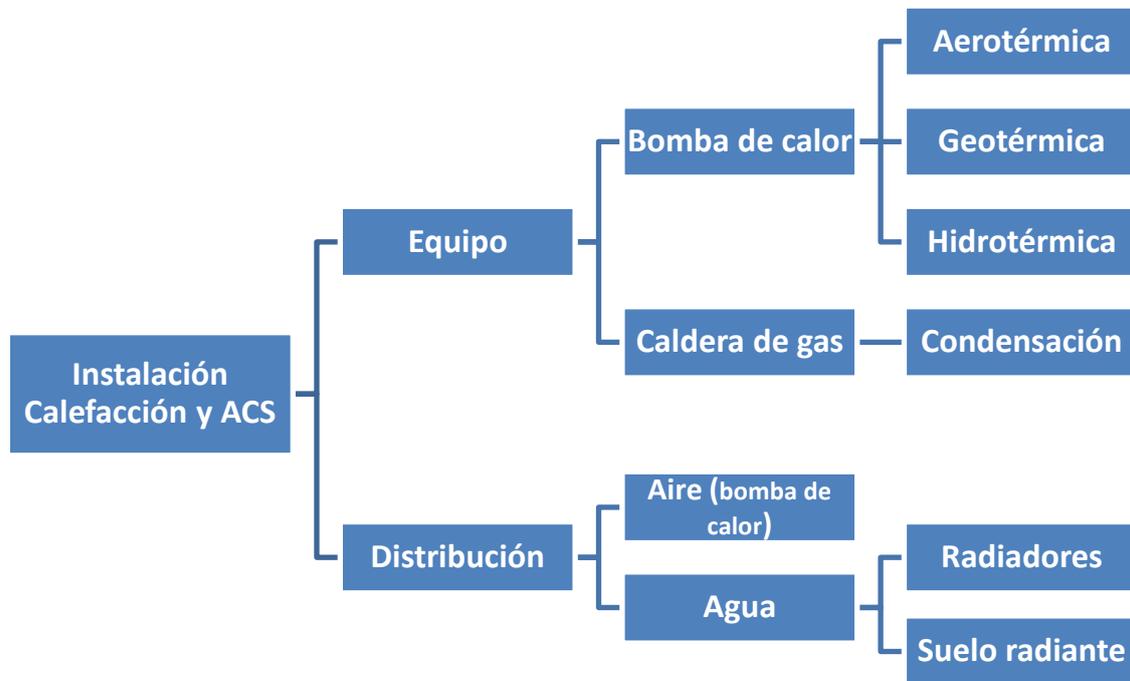


Figura 26. Identificación de alternativas

En el caso de la bomba de calor se disponen de tres opciones posibles: aerotermia, geotermia e hidrotermia. Para la caldera de gas, por el contrario, solamente es posible una opción: calderas de condensación. Como se ha mencionado en el estudio técnico de la caldera de gas, actualmente los fabricantes de equipos de climatización sólo fabrican de condensación.

En la distribución de calor existen dos opciones: aire, que solamente es compatible con la bomba de calor, y agua que permite instalar radiadores o suelo radiante.

4.2 Selección de la solución

En el estudio económico, por un lado, se evaluará la caldera de gas de condensación ya que no existe otra opción posible para estos equipos. Actualmente la tecnología comparable con la caldera de gas de condensación por precio, rendimientos y utilidad es la bomba de calor aerotérmica. La principal razón para descartar la geotermia y la hidrotermia es la inversión inicial necesaria, a pesar de tener rendimientos más altos que la aerotermia. La diferencia de precios entre las calderas y estas dos tecnologías haría muy difícil una recuperación temprana de la inversión. Además, la facilidad de instalación de una bomba de calor aerotérmica en comparación con la geotermia e hidrotermia hacen que sea una solución más viable en cualquier escenario.

Respecto al modo de distribución se ha optado por la opción a través de agua por razones de confort ya que este sistema es capaz de distribuir el calor de forma uniforme por todo el espacio y también para que las dos instalaciones estudiadas cuenten con el mismo sistema de distribución para poder hacer la comparativa más sencilla. Además, la distribución por aire no permite producción de ACS, lo que resulta una desventaja frente a la caldera de gas. Una vez elegida la distribución por agua, se debe elegir entre radiadores y suelo radiante. El suelo radiante trabaja con temperaturas más bajas (35°C) lo que reduce el salto térmico necesario y por lo tanto, aumenta el rendimiento de la instalación. La distribución de calor a través de aire podría ser interesante para escenarios de rehabilitación de vivienda en el que la instalación de suelo radiante supondría un sobrecoste muy alto.

La *Tabla 6* muestra un resumen de los criterios seguidos para la selección de las soluciones.

CRITERIOS	BOMBA DE CALOR	
	Aerotermia	Geotermia e Hidrotermia
Inversión	Baja	Alta
Instalación	Sencilla	Compleja

CRITERIOS	DISTRIBUCIÓN	
	Aire	Agua
Confort	Menor	Mayor
Función	Sin ACS	Con ACS
Rendimiento		Radiadores
		Menor
		Suelo radiante
		Mayor

Tabla 6. Criterios para selección de la solución

En la *Figura 27* aparece el árbol de alternativas anterior (*Figura 26*) con las soluciones seleccionadas resaltadas en color verde y las descartadas en color rojo.

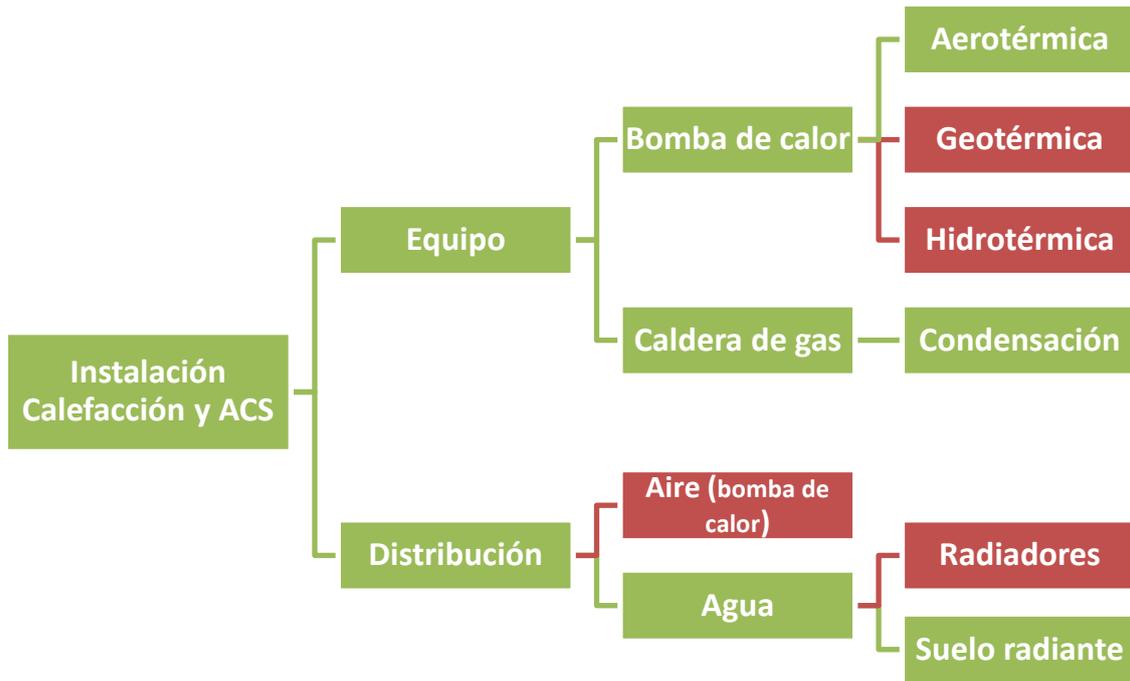


Figura 27. Alternativas seleccionadas

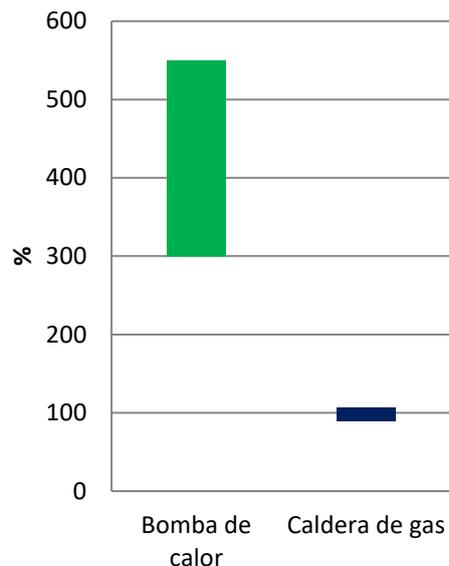
Una vez seleccionados los dos tipos de instalaciones, se van a comparar entre ellas en varios aspectos mediante colores para representar cuál es mejor en dicha comparativa en la siguiente *Tabla 7*. Posteriormente se da una breve explicación de cada punto comparado.

BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA VS CALDERA DE GAS CONDENSACIÓN	Rendimiento	Precio equipo	Mantenimiento	Coste funcionamiento	Potencia	Modos de uso	Dependencia del clima	Precio energía	Emisiones co2
Bomba de calor	Green	Red	Green	Green	Yellow	Green	Red	Red	Green
Caldera de gas	Yellow	Green	Yellow	Red	Green	Yellow	Green	Green	Red

Tabla 7. Análisis de alternativas

Rendimiento

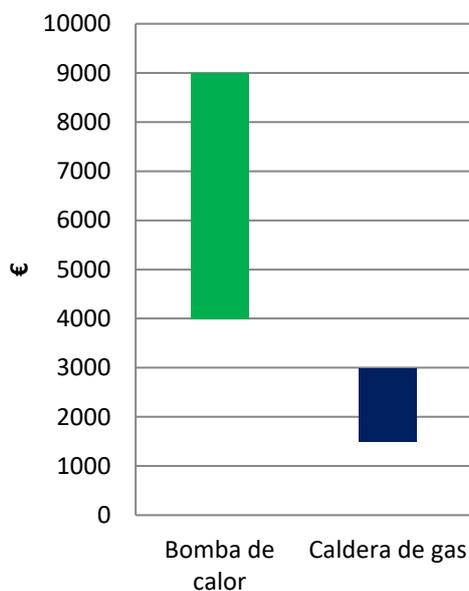
Los rendimientos de la bomba de calor se sitúan entre 300% y 600% gracias a la energía que obtienen del medio ambiente mientras que los de la caldera de gas de condensación son cercanos al 100% o superiores.



Gráfica 6. Rango de rendimiento

Precio del equipo

Los precios de las bombas de calor aire- agua oscilan entre 4000 y 7000€, mientras que las calderas cuestan entre 1500 y 3000€.



Gráfica 7. Rango de precio

Mantenimiento

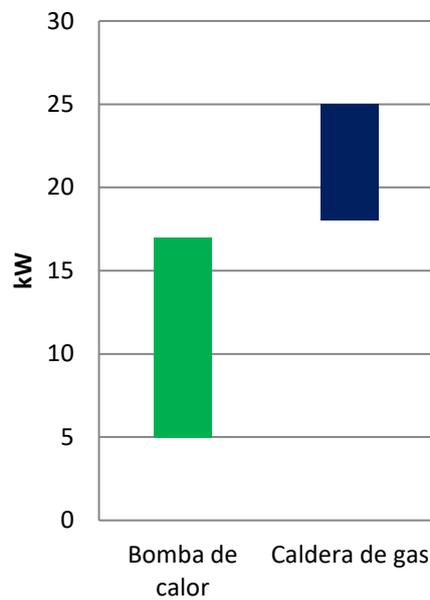
La bomba de calor apenas necesita mantenimiento, por lo que se logra un ahorro anual respecto la caldera de gas, la cual es obligatorio revisar cada dos años por un técnico especializado, dicho mantenimiento supone aproximadamente un coste de 100€ por revisión.

Coste funcionamiento

En este apartado es donde la bomba de calor logra el ahorro respecto la caldera de gas gracias los rendimientos comprendidos entre 300% y 600%. Se pueden lograr unos ahorros de hasta el 30% en la factura energética mensual.

Potencia

La bomba de calor tiene un rango de potencias mayor debido a que el dimensionamiento del equipo juega un papel fundamental en el ahorro del consumo energético. La caldera de gas cuenta con un rango menor de potencias, el consumo se adapta a la demanda, no produciendo así, un sobrecoste por la instalación de potencias superiores. Aún así, la bomba de calor no alcanza las potencias que ofrece la caldera de gas, lo que hace que en algunos casos sea necesario la instalación de los equipos en cascada.



Gráfica 8. Rangos de potencia

Modos de uso

Mientras que la bomba de calor es capaz de aportar calefacción, refrigeración y producir agua caliente sanitaria, la caldera solamente tiene la posibilidad de calefacción y producción de ACS, lo que presenta una ventaja económica para la bomba de calor en las zonas o edificios donde sea necesaria tanto la calefacción como la refrigeración. En la *Tabla 8* se muestra de forma más visual.

	Calefacción	Refrigeración	ACS
Bomba de calor	✓	✓	✓
Caldera de gas	✓	✗	✓

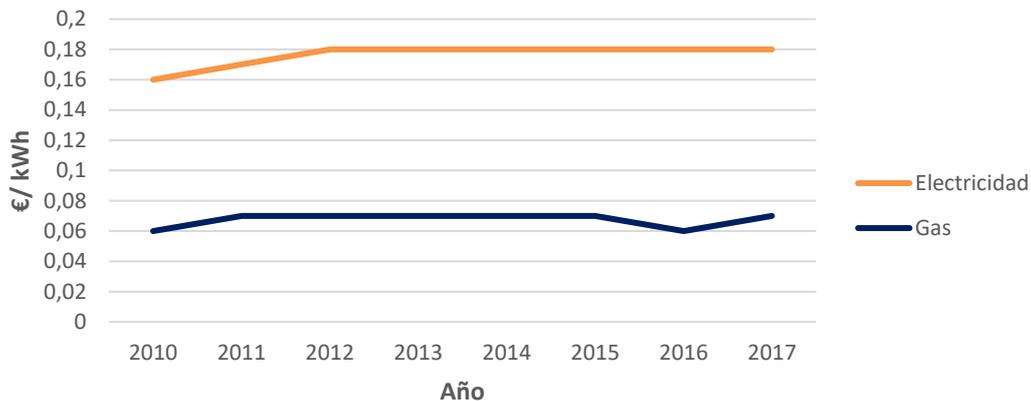
Tabla 8. Funcionalidad bomba de calor vs. caldera de gas

Dependencia del clima

Uno de los mayores problemas de la bomba de calor es el rendimiento en climas fríos, en algunos casos es necesario el aumento de la potencia del equipo para poder satisfacer las necesidades, lo que aumenta la inversión inicial, y en algunos casos puede que sea necesario el apoyo de otro sistema de calefacción para poder cubrir totalmente las necesidades. En el caso de la caldera de gas, la elección del equipo es totalmente independiente de las condiciones climáticas, lo que supone una ventaja frente a la bomba de calor.

Precio de la energía

La electricidad cuesta hasta tres veces más que el gas, esto supone una barrera para la penetración de la bomba de calor. En países en los que el ratio precio electricidad/gas es menor, existe un mayor uso de la tecnología como se ha visto anteriormente. En un futuro se prevé que este ratio se reduzca debido al aumento del precio del gas respecto al de la electricidad. En España el ratio precio electricidad/ gas se sitúa en torno a 2,5. Esta es la evolución de ambos precios en Europa los últimos años (*Gráfica 9*).



Gráfica 9. Evolución precio electricidad y gas en Europa

Emisiones de CO2

El empleo de la bomba de calor emite cuatro veces menos emisiones de CO2 que la caldera de gas, a pesar de que los datos actuales de emisiones del mix eléctrico son algo mayores que los del gas. El dato de emisiones de CO2 del mix eléctrico seguirá reduciéndose con el incremento de la penetración de renovables en la generación de electricidad hasta alcanzar valores cercanos a cero aumentando así la diferencia entre las emisiones de los dos sistemas.

4.3 Análisis de variables

Una vez analizadas las alternativas se deben analizar las variables que entran en juego en el análisis económico de una instalación de calefacción. Como se muestra en la *Tabla 9* hay muchas combinaciones posibles, en la que cualquier cambio varía considerablemente los resultados.

Tipo de edificio	Instalación	Tarifa	Características edificio	Otras variables
Vivienda Unifamiliar/ Bloque	Calefacción + Refrigeración	Plana	Aislamiento térmico	Fabricante
Vivienda nueva/ existente	Calefacción + Refrigeración + ACS	Reducida	Zona climática Metros cuadrados Nº de personas	Rendimiento Vida útil

Tabla 9. Variables relevantes en el análisis económico

Tipo de edificio

Las viviendas unifamiliares tienen una demanda térmica mayor que los pisos, lo que resulta una ventaja para el ahorro con bomba de calor en el caso de instalaciones individuales debido a que la diferencia de consumo con una instalación de gas natural será mayor. También cabe la posibilidad de una instalación centralizada para viviendas en bloque con bombas instaladas en cascada y depósitos de acumulación de gran volumen para ACS o depósitos multienergía.

La vivienda nueva permite la instalación del suelo radiante con mayor facilidad que una vivienda existente ya que permite la integración de este durante la fase de diseño. Otra opción es la instalación de radiadores de baja temperatura, aunque al igual que el suelo radiante también supone una inversión mayor respecto los radiadores convencionales. Es necesario emplear uno de estos dos sistemas en el caso de distribución por agua para que la temperatura de impulsión no supere los 50°C, lo que reduciría el rendimiento del equipo.

Instalación

Las bombas de calor son capaces de aportar calor y frío en un único equipo, y junto con un acumulador también pueden cubrir las necesidades de ACS. En la mayor parte de España la refrigeración no representa un gran consumo por lo que no se tiene en cuenta en el primer análisis general, de esta forma es posible compararlo directamente con una caldera de gas natural de condensación. Un segundo análisis se centrará en un caso particular en Madrid en el que es posible considerar la demanda de refrigeración.

Al incluir la generación de ACS en la instalación, el acumulador y la potencia necesaria para calentar el agua del depósito aumentan considerablemente el precio de la instalación. Además, el rendimiento para ACS en las bombas de calor se reduce aproximadamente a la mitad por el salto térmico, esto hace que los gastos de funcionamiento en comparación con las calderas tiendan a igualarse.

Tarifa

Los precios de la energía se han obtenido de las tarifas ofertadas por Iberdrola (*Tabla 10*) tanto para electricidad como para gas natural. Cada distribuidora tiene sus propias tarifas, lo que puede alterar los resultados. Se han tenido en cuenta dos tipos de tarifas, una plana y otra reducida (tarifa “Elige 8 horas” de Iberdrola). Esta última permite aprovechar un precio reducido de la electricidad durante las 8 horas del día que el cliente elija. Se considerará que todo el consumo eléctrico para calefacción y producción de ACS se realiza dentro de esas horas con tarifa reducida.

Electricidad		Gas natural
Tarifa Plana	Tarifa Reducida	0,053153 €/kWh
0,123988 €/kWh	0,074613 €/kWh	

Tabla 10. Precio energía (Iberdrola)

Características de edificios

Las características del edificio como la zona climática, superficie, número de personas y aislamiento térmico son factores claves en la demanda energética y por lo tanto, en el consumo. Las zonas climáticas están definidas en el CTE (Código Técnico de Edificación), cuanto más extremo sea el clima mayor serán las necesidades energéticas, lo que beneficia a la bomba de calor en la factura energética pero también trabajará más tiempo a temperaturas más bajas reduciendo así su rendimiento. A mayor superficie y número de personas, mayor demanda térmica y de ACS, lo que es favorable para la bomba de calor. El aislamiento térmico del edificio es un factor clave para la demanda térmica, hay una gran diferencia de consumo entre edificios de nueva construcción y ya existentes por lo que se han tomado los valores límite de demanda energética fijados por el CTE para edificios de nueva construcción.

Otras variables

Hay muchos fabricantes de equipos de climatización, cada uno tiene sus catálogos con precios y especificaciones diferentes. Para este estudio se han escogido bombas de calor y calderas de la marca DAIKIN y equipos de aire acondicionado MITSUBISHI. El rendimiento es un factor clave dentro de las especificaciones, el dato que aparece normalmente en los catálogos es el COP, que nos informa del rendimiento para unas condiciones de temperatura específicas a plena carga, en la mayoría de los casos a 7°C. Este dato no representa fielmente la realidad ya que la bomba no trabajará siempre a plena carga ni a 7°C. Otro factor importante es la vida útil de los equipos, se ha considerado que tanto la bomba de calor como la caldera de gas tienen una vida útil de 20 años.

4.4 Metodología aplicada

Se debe señalar que para lograr un ahorro energético y económico, es imprescindible el correcto dimensionamiento de la instalación de la bomba de calor. Para ello se debe estudiar cada caso de manera individual, analizando las necesidades a cubrir y la potencia necesaria para ello. Instalar una potencia por debajo de la necesaria impedirá cubrir las necesidades de manera satisfactoria y sobredimensionar la instalación de forma excesiva puede dar lugar a un consumo mayor del necesario, lo que se verá reflejado en la factura.

En el análisis se calcularán los consumos y las emisiones producidas de manera aproximada por una bomba de calor aerotérmica y una caldera de condensación de gas natural para el mayor número de escenarios posibles, realizando una comparativa con el objetivo de evaluar la rentabilidad y viabilidad de la tecnología de la bomba de calor y evaluar el impacto de las posibles medidas que se pueden adoptar con el fin de aumentar la penetración de estos equipos en un futuro.

Para realizar una instalación de este tipo lo principal es el cálculo de la demanda necesaria para calefacción y producción de ACS. Para obtener un valor más exacto de la demanda térmica sería necesario calcular la carga térmica del edificio, pero en este caso se desea obtener una comparativa entre varias zonas climáticas y tipos de edificio, por lo que el cálculo de la demanda térmica será aproximado. En este caso se va a partir de los límites establecidos por el CTE DB HE1 (Documento Básico de ahorro de energía) para demanda energética en calefacción.

En el Código Técnico de la Edificación las localidades españolas se clasifican en 5 zonas climáticas de invierno. Estas se nombran con letras desde la A hasta la E, en función de la demanda de calefacción creciente (*Figura 28*).



Figura 28. Zonas climáticas España CTE

Para hacer un cálculo de la demanda térmica de la vivienda, calcularemos los valores a partir de las limitaciones establecidas por el DB HE1 del CTE que dependen de la localización del edificio. Los valores límite para la demanda energética de calefacción que establece el documento se calculan a través de la siguiente fórmula:

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + \frac{F_{cal,sup}}{S}$$

$D_{cal,lim}$ = Demanda de calefacción límite

$D_{cal,base}$ = Demanda de calefacción base

$F_{cal,sup}$ = Factor de corrección en función de superficie

S = Superficie

	ZONA CLIMÁTICA DE INVIERNO				
	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ (kWh/m ² .año)	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	1000	2000	3000

Tabla 11. Valor base y factor de corrector por superficie de la demanda energética de calefacción

Sustituyendo los valores correspondientes a cada localización en la fórmula, obtenemos los valores límite de demanda energética para calefacción en edificios. Una vez conocida la demanda energética del edificio estudiado en cada caso, multiplicando el valor obtenido en la fórmula (kWh/m².año) por la superficie (m²) tendremos el consumo anual destinado a calefacción de la vivienda.

El siguiente paso será elegir un equipo que logre satisfacer las necesidades energéticas en cada caso, para tener en cuenta las temperaturas mínimas para cada zona climática, se sobredimensionará la bomba de modo que alcancemos la potencia necesaria para temperaturas menores a las de ensayo. Por este motivo se aplicará un factor de sobredimensión, en el caso de las zonas climáticas A, B y C un 20% y en D y E un 30%. En la siguiente *Tabla 12* aparece el catálogo elaborado a partir de los diferentes equipos preseleccionados de aire acondicionado, bomba de calor y caldera de gas.

Aire Acondicionado	kW	SEER	€	Ud. Interior (€)		
SET Mitsubishi MSZ-EF25VE	2,5	7,6	1125	479		
SET Mitsubishi MSZ-EF35VE	3,5	7,2	1259	579		
Bomba de calor aire agua	<i>Sólo calefacción</i>				<i>ACS incluido</i>	
	kW	SCOP	EER	€	Rendimiento (ACS)	€
Daikin ERGA DV 5	5,75	4,48	5,64	4003	3	5759
Daikin ERGA DV 7	7,4	4,47	4,83	4098	3	5854
Daikin ERGA DV 8	8,86	4,56	4,58	4636	3	6392
Daikin ERHQ 11	11,2	4,3	3,67	5259	3	6931
Daikin ERHQ 14	14	4,1	3	5903	3	7575
Daikin ERHQ 16	16	4	2,63	6677	3	8349
Caldera de gas	kW máx	Rendimiento	€			
Daikin D2C (sin ACS)	24	108	1950			
Daikin D2T (con ACS)	24	108	2342			

Tabla 12. Catálogo

Es lógico que a mayor severidad climática y mayor superficie, la potencia necesaria de la bomba de calor también será mayor, aumentando así la inversión inicial. A diferencia de lo que ocurre con las calderas de gas, elegir la potencia de una bomba de calor es crucial para un ahorro energético y económico.

Una vez elegido el equipo, mediante el rendimiento y la demanda energética, se conoce el consumo de electricidad o gas necesario para cubrir dicha demanda. Con este consumo de energía se podrá calcular el gasto anual, además habrá que añadir los costes fijos anuales por contratación de potencia y por tener acceso a la red de gas. Será necesario añadir los correspondientes impuestos a la electricidad, impuesto a los hidrocarburos y el IVA. También se calcularán las emisiones de CO₂ anuales producidas por cada sistema y el precio extra que supondría el hecho de poner un precio a las emisiones que es una de las medidas ya se aplican en otros sectores. Otra de las medidas propuestas es aplicar una reducción de la factura eléctrica del 30% considerando que casi la mitad del precio de la electricidad es ajeno al suministro. Los valores empleados para estos cálculos son los siguientes (*Tabla 13*).

	ELECTRICIDAD	GAS
Precio (€/kWh)	0,123988 (plana) 0,074613 (reducida)	0,053153
Precio término fijo	3,5 (€/kW.mes)	4,36 (€/mes)
Impuestos	5,1127% IVA (21%)	0,00234 €/kWh IVA (21%)
Emisiones de CO₂ (Kg/kWh)	0,245	0,204
Precio emisiones CO₂ (€/tonCO₂)	50	50
Reducción de factura	30%	0%

Tabla 13. Valores de referencia

Todos los cálculos anteriores serán realizados mediante un Excel. Para poder llegar a los resultados de gastos y emisiones anuales se deberán definir las características de la vivienda, suponiendo que se tratará de una vivienda unifamiliar nueva con un nivel de aislamiento muy alto en una primera hipótesis, de acuerdo con los límites mencionados anteriormente (*Tabla 11*) y equipada con una instalación de suelo radiante para la distribución de calor. Se deberán introducir los datos de zona climática y superficie de la vivienda (*Tabla 14*).

DATOS VIVIENDA	
Tipo de vivienda	Unifamiliar
Nivel de aislamiento	CTE DB HE1
Tipo de instalación para calefacción	Suelo radiante
Zona climática	
Superficie útil vivienda (m ²)	

Tabla 14. Datos vivienda

Una vez introducidos estos datos, aplicando la fórmula establecida por el DB HE1, se obtendrá la demanda térmica anual (kWh/año) y la potencia nominal necesaria de la bomba, con su correspondiente sobredimensión. Con estos datos, se elegirá del catálogo (*Tabla 12*) la bomba y la caldera que mejor se ajuste a los resultados obtenidos y se deberá introducir en la *Tabla 15*. Al seleccionar un equipo del catálogo mediante una pestaña desplegable se rellenarán automáticamente las características de dichos equipos: precio, potencia y rendimiento.

CATÁLOGO			
Bomba de calor		Caldera de gas	
Precio (€)		Precio (€)	
Potencia nominal (kW)		Potencia nominal (kW)	
SCOP		Rendimiento (%)	

Tabla 15. Bomba seleccionada de catálogo

Una vez elegidos los equipos, se dan los resultados de consumo energético y su correspondiente factura anual, la potencia fija anual necesaria a contratar y su gasto correspondiente y la suma de ambos gastos sin impuestos primeramente y en el apartado “TOTAL FACTURA” con los impuestos (Tabla 13) incluidos. Otro de los resultados mostrados son las emisiones de CO2 producidas por cada equipo en el caso que se estudia. También aparecen los resultados de las dos medidas propuestas: reducción de factura eléctrica y precio a las emisiones. Cuando se elige el equipo que satisface las necesidades descritas, se completa la siguiente tabla de forma automática (Tabla 16).

GASTO CONSUMO ANUAL (€)	
Consumo eléctrico (kWh/año)	
GASTO ANUAL CONSUMO ELECTRICO (€/año)	
Potencia contratada electricidad (kW)	
GASTO ANUAL POTENCIA CONTRATADA (€/año)	
PRECIO ENERGÍA+POTENCIA	€/año
TOTAL FACTURA	€/año
TOTAL FACTURA (REDUCCIÓN 30%)	€/año
EMISIONES ANUALES C02 (KgCO2)	
TOTAL	KgCO2
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	
TOTAL	€/año

Tabla 16. Gastos y emisiones anuales

Con los resultados obtenidos se elaborarán las tablas en las que se compararán ambos equipos en diferentes escenarios dependiendo del tipo de instalación:

- Sólo calefacción
- Calefacción y ACS

Para cada escenario se estudiarán varios casos en los que se verá reflejado el impacto de las medidas propuestas:

- Tarifa plana
- Tarifa reducida
- Reducción de factura eléctrica

- Precio a las emisiones

En cada tabla se mostrarán todas las zonas climáticas (A, B, C, D y E) y un rango de superficie de vivienda entre 80 y 280 m² con intervalos de 20 m². Para cada equipo (BC: bomba de calor y GN: caldera de gas natural) se mostrarán dos datos: la factura anual y las emisiones de CO₂ anuales. El objetivo es tener la comparativa entre ambas instalaciones de un vistazo. Aparecerá un tercer dato que será los años de recuperación que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Años de recuperación} = \frac{\text{Inversión bomba de calor} - \text{inversión caldera}}{\text{Gasto anual caldera} - \text{gasto anual bomba de calor}}$$

Las tablas tendrán el siguiente aspecto (*Tabla 17*):

(Escenario)		(Superficie m ²)		
Zona climática	Equipo	Gasto (€/año)	CO ₂ (kg/año)	Años recuperación
A-B	BC			
	GN			
C	BC			
	GN			
D	BC			
	GN			
E	BC			
	GN			

Tabla 17. Tabla ejemplo escenarios

Tras mostrar las tablas de todos los escenarios estudiados, con el fin de comparar de manera más detallada dos casos concretos, se considerarán dos zonas climáticas muy diferentes (A y E) con una superficie de vivienda de 200 m². De esta manera se pueden comparar los dos casos extremos y obtener conclusiones. También se mostrarán gráficas relacionadas con estos casos concretos para que la comparativa pueda ser más visual.

4.5 Escenarios

4.5.1 Calefacción

- Tarifa plana

TARIFA PLANA		80			120			160		
		Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
Zona climática	BC	111	66	77	132	98	48	153	131	35
	GN	137	227		174	340		211	453	
A-B	BC	160	142	32	188	186	24	216	230	19
	GN	224	491		273	642		323	793	
C	BC	215	228	20	253	287	15	311	329	15
	GN	320	786		387	990		453	1194	
D	BC	307	340	15	374	419	16	483	536	21
	GN	446	1171		545	1473		643	1776	
E	BC	174	164	27	195	197	23	216	229	19
	GN	248	567		285	680		323	793	
200	BC	245	273	16	293	372	17	321	362	14
	GN	372	944		421	1096		471	1247	
240	BC	360	398	17	450	483	24	490	545	20
	GN	520	1398		587	1602		653	1806	
280	BC	605	657	29	667	753	23	773	870	28
	GN	742	2078		841	2380		940	2682	

Tabla 18. Escenarios: calefacción – tarifa plana

▪ Tarifa reducida

TARIFA ELIGE 8 HORAS	80			120			160			
	Zona climática	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
A-B	BC	94	66	47	107	98	30	119	131	22
	GN	137	227		174	340		211	453	
C	BC	124	142	20	141	186	15	158	230	12
	GN	224	491		273	642		323	793	
D	BC	157	228	13	180	287	10	223	329	9
	GN	320	786		387	990		453	1194	
E	BC	220	340	10	266	419	10	347	536	11
	GN	446	1171		545	1473		643	1776	

200			240			280		
Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
132	164	18	145	197	15	157	229	13
248	567		285	680		323	793	
174	273	10	191	372	9	228	362	9
372	944		421	1096		471	1247	
258	398	10	326	483	13	360	545	11
520	1398		587	1602		653	1806	
382	657	9	474	753	11	551	870	12
742	2078		841	2380		940	2682	

Tabla 19. Escenarios: calefacción – tarifa reducida

▪ Reducción del 30% de la factura eléctrica

TARIFA PLANA		80			120			160		
		Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
A-B	BC	78	66	34	92	98	25	107	131	20
	GN	137	227		174	340		211	453	
C	BC	112	142	18	132	186	14	151	230	12
	GN	224	491		273	642		323	793	
D	BC	150	228	12	177	287	10	204	329	8
	GN	320	786		387	990		453	1194	
E	BC	215	340	9	261	419	10	339	536	11
	GN	446	1171		545	1473		643	1776	

200			240			280		
Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
122	164	16	137	197	14	151	229	12
248	567		285	680		323	793	
171	273	10	191	372	9	225	362	9
372	944		421	1096		471	1247	
252	398	10	315	483	12	343	545	11
520	1398		587	1602		653	1806	
380	657	9	467	753	11	510	870	9
742	2078		841	2380		940	2682	

Tabla 20. Escenarios: calefacción – reducción de factura eléctrica

▪ Precio a las emisiones de CO2

TARIFA PLANA		80			120			160		
		Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
A-B	BC	111	66	54	132	98	48	153	131	25
	GN	149	227		191	340		234	453	
C	BC	160	142	23	188	186	18	216	230	14
	GN	248	491		305	642		362	793	
D	BC	215	228	14	253	287	11	311	329	11
	GN	359	786		436	990		513	1194	
E	BC	307	340	11	374	419	12	483	536	13
	GN	504	1171		618	1473		732	1776	

200			240			280		
Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
174	164	20	195	197	17	216	229	14
277	567		319	680		362	793	
245	273	12	293	372	10	321	362	9
419	944		476	1096		533	1247	
360	398	12	450	483	16	490	545	13
590	1398		667	1602		744	1806	
605	657	16	667	753	13	773	870	16
846	2078		960	2380		1074	2682	

Tabla 21. Escenarios: calefacción – precio a las emisiones

4.5.2 Calefacción y ACS

- Tarifa normal

TARIFA PLANA		80			120			160		
		Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
Zona climática	BC	355	268	-	377	302	-	399	336	-
	GN	290	687	-	327	801	-	364	914	-
A-B	BC	406	347	-	435	393	-	465	438	402
	GN	377	952	-	426	1103	-	476	1254	402
C	BC	463	436	441	503	498	121	542	559	70
	GN	474	1246	441	541	1450	121	608	1654	70
D	BC	538	552	73	597	644	44	655	735	32
	GN	600	1632	73	700	1934	44	799	2236	32

200			240			280		
Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
421	370	-	443	404	-	465	438	402
401	1027	-	439	1141	-	476	1254	402
494	484	144	523	530	88	553	575	63
526	1405	144	576	1556	88	625	1707	63
582	621	49	622	682	38	661	809	31
675	1858	49	742	2062	38	744	2266	31
734	856	32	795	952	26	870	1069	26
899	2538	32	998	2841	26	1098	3143	26

Tabla 22. Escenarios: calefacción y ACS – tarifa plana

▪ Tarifa reducida

TARIFA elige 8h		80			120			160		
		Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
Zona climática	A-B	286	267	1316	299	302	167	312	336	89
	BC	290	687		327	801		364	914	
C	BC	317	347	77	335	393	50	352	438	37
	GN	377	952		426	1103		476	1254	
D	BC	351	436	38	375	498	28	399	559	22
	GN	474	1246		541	1450		608	1654	
E	BC	396	552	23	432	644	17	467	734	14
	GN	600	1632		700	1934		799	2236	

200			240			280		
Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
326	370	61	339	404	46	352	438	37
401	1027		439	1141		476	1254	
370	484	29	388	530	24	405	575	21
526	1405		576	1556		625	1707	
423	621	18	447	682	16	471	744	14
675	1858		742	2062		744	2266	
502	826	12	551	952	12	596	1069	12
899	2538		998	2841		1098	3143	

Tabla 23. Escenarios: calefacción y ACS – tarifa reducida

▪ Reducción del 30% de la factura eléctrica

TARIFA PLANA		80			120			160		
		Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
A-B	BC	249	268	111	264	302	73	279	336	54
	GN	290	687		327	801		364	914	
C	BC	284	347	50	305	393	38	326	438	30
	GN	377	952		426	1103		476	1254	
D	BC	324	436	31	352	498	24	379	559	20
	GN	474	1246		541	1450		608	1654	
E	BC	377	552	20	418	644	16	459	735	13
	GN	600	1632		700	1934		799	2236	

200			240			280		
Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
295	370	43	310	404	36	326	438	30
401	1027		439	1141		476	1254	
346	484	25	366	530	22	387	575	19
526	1405		576	1556		625	1707	
407	621	17	435	682	15	463	809	13
675	1858		742	2062		744	2266	
514	856	14	557	952	12	609	1069	12
899	2538		998	2841		1098	3143	

Tabla 24. Escenarios: calefacción y ACS – reducción de factura eléctrica

▪ Precio a las emisiones

TARIFA PLANA		80			120			160		
Zona climática		Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
A-B	BC	368	66	-	392	98	-	415	131	-
	GN	324	227	-	367	340	-	410	453	-
C	BC	423	142	-	455	186	173	487	230	88
	GN	424	491	-	481	642	-	539	793	-
D	BC	485	228	90	528	287	54	570	329	38
	GN	536	786	-	613	990	-	691	1194	-
E	BC	565	340	39	629	419	27	692	536	21
	GN	682	1171	-	797	1473	-	911	1776	-

200			240			280		
Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación	Consumo €/año	CO2 (kg/año)	Años recuperación
439	164	335	463	197	139	487	229	88
453	567	-	496	680	-	539	793	-
518	273	59	550	372	44	581	362	35
596	944	-	653	1096	-	711	1247	-
613	398	30	656	483	24	698	545	20
768	1398	-	845	1602	-	923	1806	-
755	657	17	842	753	17	924	870	18
1026	2078	-	1140	2380	-	1255	2682	-

Tabla 25. Escenarios: calefacción y ACS - precios a las emisiones

4.5.3 Vivienda nueva unifamiliar en zona climática A

- **Calefacción**

- ✓ **Bomba de calor**

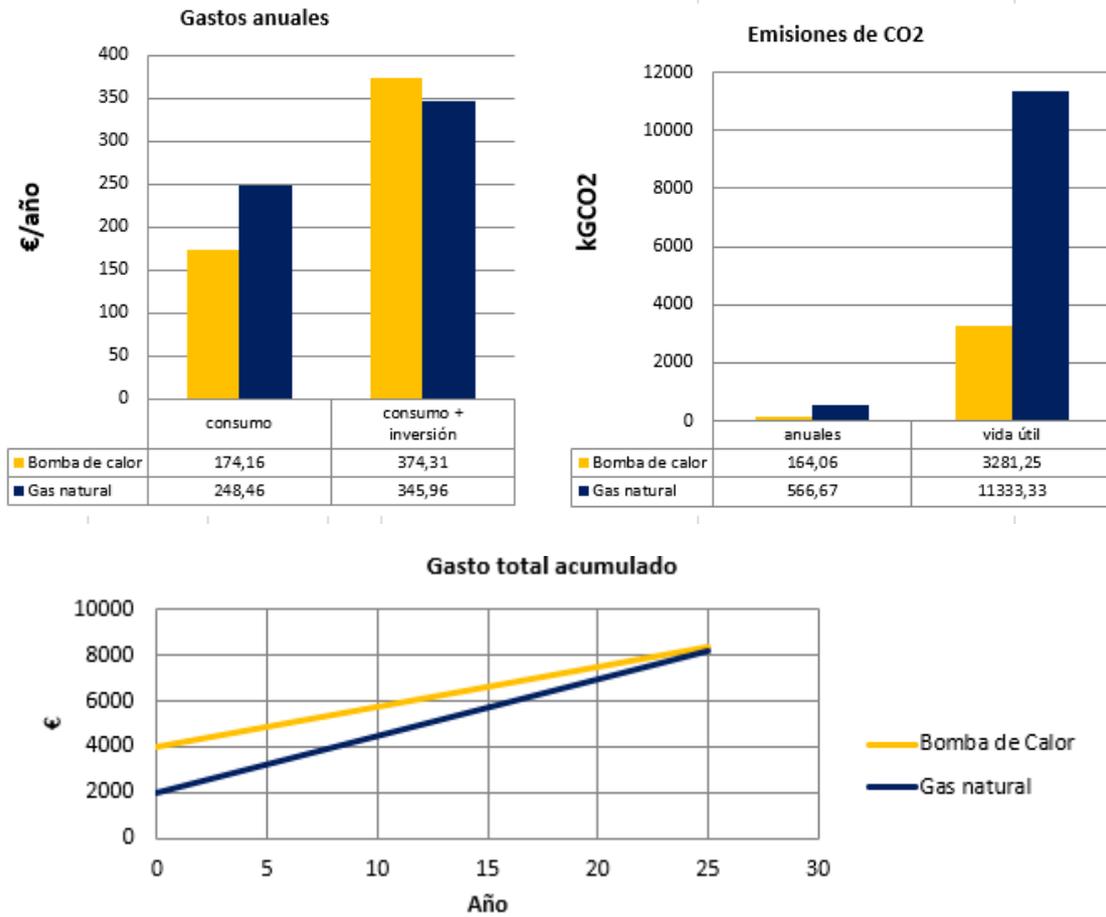
CATÁLOGO	
Bomba seleccionada	Daikin ERGA DV 5
Precio (€)	4003
Potencia nominal (kW)	5,75
SCOP	4,48
INVERSIÓN (€)	
Precio bomba (€)	4003
TOTAL	4003 €
GASTO CONSUMO ANUAL (€)	
Consumo eléctrico (kWh/año)	669,64
GASTO ANUAL CONSUMO ELECTRICO (€/año)	83,03
Potencia contratada electricidad (kW)	1,28
GASTO ANUAL POTENCIA CONTRATADA (€/año)	53,91
PRECIO ENERGÍA+POTENCIA	136,93 €/año
TOTAL FACTURA	174,16 €/año
TOTAL FACTURA (REDUCCIÓN 30%)	121,91 €/año
EMISIONES ANUALES CO2 (KgCO2)	
TOTAL	164,06 KgCO2
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	8,20
TOTAL	182,36 €/año

Tabla 26. Resultados bomba de calor zona climática A

✓ **Caldera de gas**

CATÁLOGO	
Caldera seleccionada	DAIKIN D2C
Precio (€)	1950
Potencia nominal (kW)	24
Rendimiento (%)	108
INVERSIÓN	
Precio caldera (€)	1950
TOTAL	1950 €
GASTO CONSUMO ANUAL	
Consumo gas (kWh/año)	2777,78
Consumo gas (m3/año)	237,42
GASTO ANUAL CONSUMO GAS (€/año)	147,65
Término fijo de gas contratado (€/mes)	4,36
GASTO ANUAL GAS CONTRATADO (€/año)	52,32
PRECIO ENERGÍA+POTENCIA	199,97 €/año
TOTAL FACTURA	248,46 €/año
EMISIONES ANUALES CO2 (KgCO2)	
TOTAL	566,67 KgCO2
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	28,33
TOTAL	276,79 €/año

Tabla 27. Resultados caldera de gas zona climática A



Gráfica 10. Resultados zona climática A

Zona climática A, sólo calefacción: en esta zona climática la demanda es baja por lo que no se produce ahorro hasta el año 25 como se puede ver en el cruce de rectas. En este caso la bomba de calor no sería rentable teniendo en cuenta que los cálculos se han realizado para la tarifa plana. Respecto las emisiones de CO₂, la bomba de calor produciría 3 veces menos durante su vida útil.

- **Calefacción y ACS**

- ✓ **Bomba de calor**

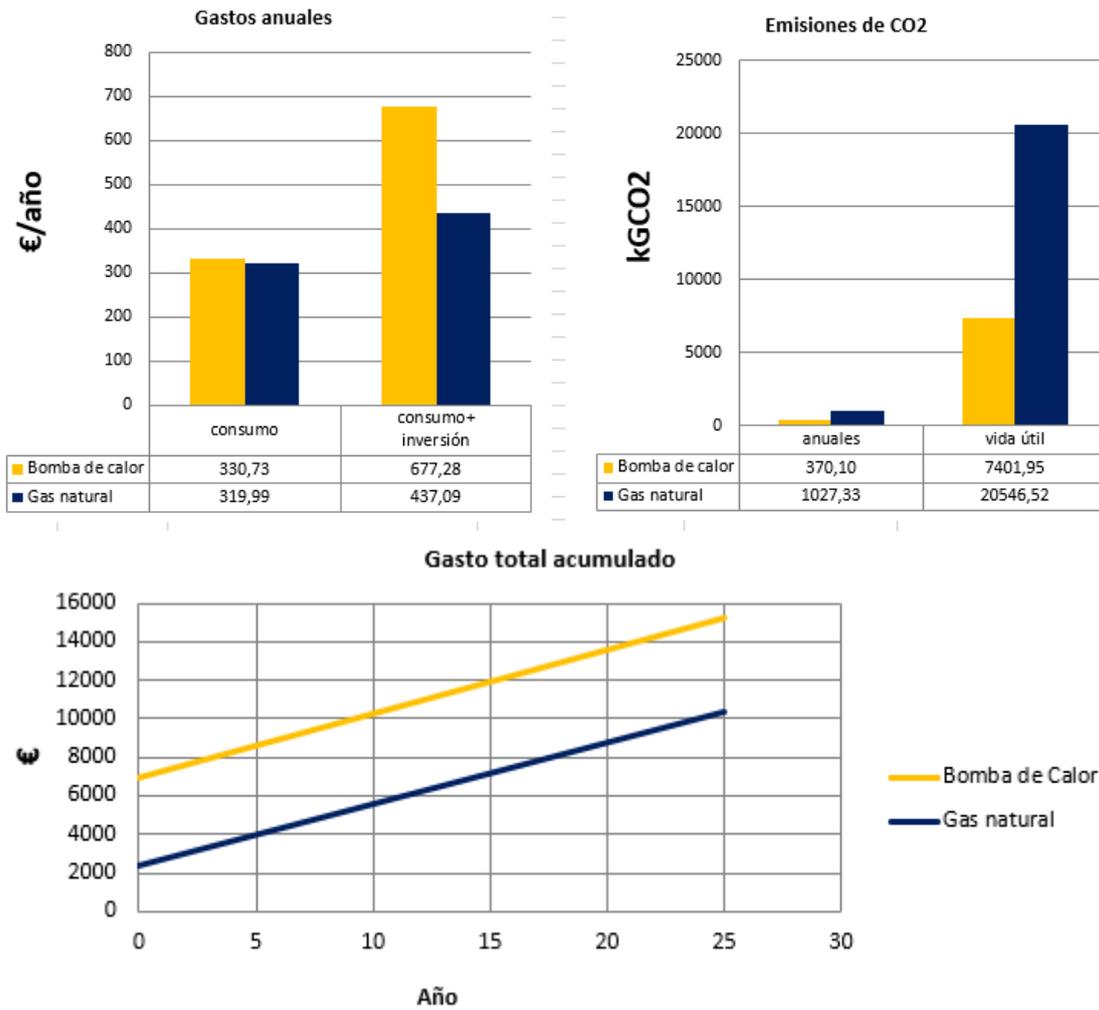
CATÁLOGO	
Bomba seleccionada	Daikin ERHQ 11
Precio (€)	6931
Potencia nominal (kW)	11,2
SCOP ACS	3
INVERSIÓN	
Precio bomba (€)	6931
TOTAL	6931 €
GASTO CONSUMO ANUAL (€/año)	
Consumo eléctrico (kWh/año)	1510,60
GASTO ANUAL CONSUMO ELECTRICO (€/año)	187,30
Potencia contratada electricidad (kW)	3,42
GASTO ANUAL POTENCIA CONTRATADA (€/año)	143,43
PRECIO ENERGÍA+POT	330,73 €/año
TOTAL FACTURA	420,64 €/año
TOTAL FACTURA (REDUCCIÓN 30%)	294,45 €/año
EMISIONES ANUALES CO2 (KgCO2)	
TOTAL	370,10 KgCO2/año
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	18,50
TOTAL	312,95 €/año

Tabla 28. Resultados bomba de calor con ACS zona climática A

✓ **Caldera de gas**

CATÁLOGO	
Caldera seleccionada	DAIKIN D2T
Precio (€)	2342
Potencia nominal (kW)	24
Rendimiento (%)	108
INVERSIÓN	
Precio caldera (€)	2342
TOTAL	2342 €
GASTO CONSUMO ANUAL (€/AÑO)	
Consumo gas (kWh/año)	5035,91
Consumo gas (m3/año)	430,42
GASTO ANUAL CONSUMO GAS (€/año)	267,67
Término fijo de gas contratado (€/mes)	4,36
GASTO ANUAL GAS CONTRATADO (€/año)	52,32
PRECIO ENERGÍA+POTENCIA	319,99 €/año
TOTAL FACTURA	401,45 €/año
EMISIONES ANUALES CO2 (KgCO2)	
TOTAL	1027,33 KgCO2/año
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	51,37
TOTAL	452,82 €/año

Tabla 29. Resultados caldera de gas con ACS zona climática A



Gráfica 11. Resultados con ACS zona climática A

Zona climática A, calefacción y ACS: al igual que antes la demanda para calefacción en esta zona es baja pero al considerar la producción de ACS los resultados para la bomba de calor son desfavorables ya que el ACS reduce el rendimiento de la bomba de calor al tener que alcanzar temperaturas más altas. Es por eso que el gasto de consumo anual es mayor para la bomba de calor que para la caldera de gas y por lo tanto las rectas no se cruzan en ningún momento. Se puede concluir que en este escenario la bomba de calor no es rentable.

4.5.4 Vivienda nueva unifamiliar en zona climática E

- **Calefacción**

- ✓ **Bomba de calor**

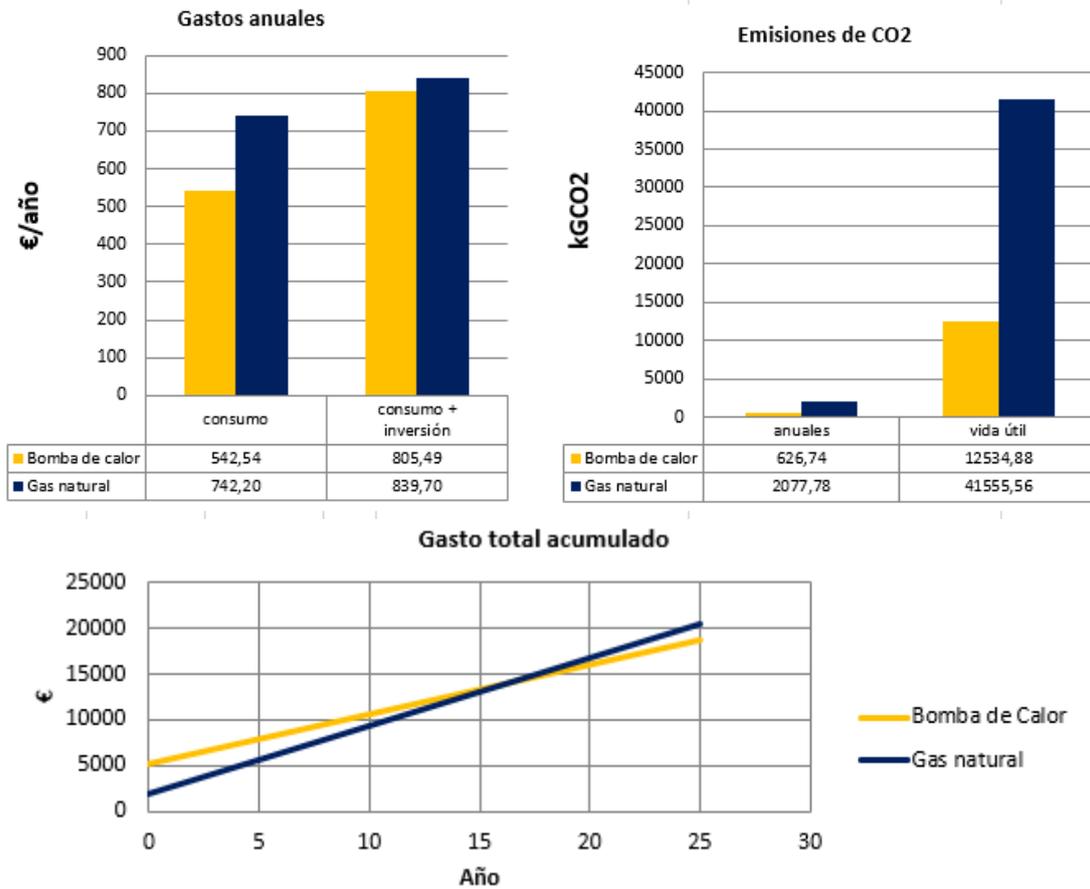
CATÁLOGO	
Bomba seleccionada	Daikin ERHQ 11
Precio (€)	5259
Potencia nominal (kW)	11,2
SCOP	4,3
INVERSIÓN (€)	
Precio bomba (€)	5259
TOTAL	5259 €
GASTO CONSUMO ANUAL (€)	
Consumo eléctrico (kWh/año)	2558,14
GASTO ANUAL CONSUMO ELECTRICICO (€/año)	317,18
Potencia contratada electricidad (kW)	2,60
GASTO ANUAL POTENCIA CONTRATADA (€/año)	109,40
PRECIO ENERGÍA+POTENCIA	426,57 €/año
TOTAL FACTURA	542,54 €/año
TOTAL FACTURA (REDUCCIÓN 30%)	379,78 €/año
EMISIONES ANUALES CO2 (KgCO2)	
TOTAL	626,74 KgCO2
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	31,34
TOTAL	573,88 €/año

Tabla 30. Resultados bomba de calor zona climática E

✓ **Caldera de gas**

CATÁLOGO	
Caldera seleccionada	DAIKIN D2C
Precio (€)	1950
Potencia nominal (kW)	24
Rendimiento (%)	108
INVERSIÓN	
Precio caldera (€)	1950
TOTAL	1950 €
GASTO CONSUMO ANUAL	
Consumo gas (kWh/año)	10185,19
Consumo gas (m ³ /año)	870,53
GASTO ANUAL CONSUMO GAS (€/año)	541,37
Término fijo de gas contratado (€/mes)	4,36
GASTO ANUAL GAS CONTRATADO (€/año)	52,32
PRECIO ENERGÍA+POTENCIA	593,69 €/año
TOTAL FACTURA	742,20 €/año
EMISIONES ANUALES CO₂ (KgCO₂)	
TOTAL	2077,78 KgCO₂
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	103,89
TOTAL	846,09 €/año

Tabla 31. Resultados caldera de gas zona climática E



Gráfica 12. Resultados zona climática E

Zona climática E, sólo calefacción: en esta zona climática la demanda para calefacción es alta debido a las temperaturas más bajas que se dan. Por esta razón la inversión se recupera en menor tiempo que en la zona climática A, el ahorro se ve reflejado más rápidamente, las rectas se cruzan en 16 años. Este periodo de recuperación puede que no sea suficientemente corto como para atraer a los usuarios a decidirse por la bomba de calor pero este escenario junto con las medidas propuestas anteriormente pueden resultar en periodos de recuperación de 6-8 años.

▪ **Calefacción y ACS**

✓ **Bomba de calor**

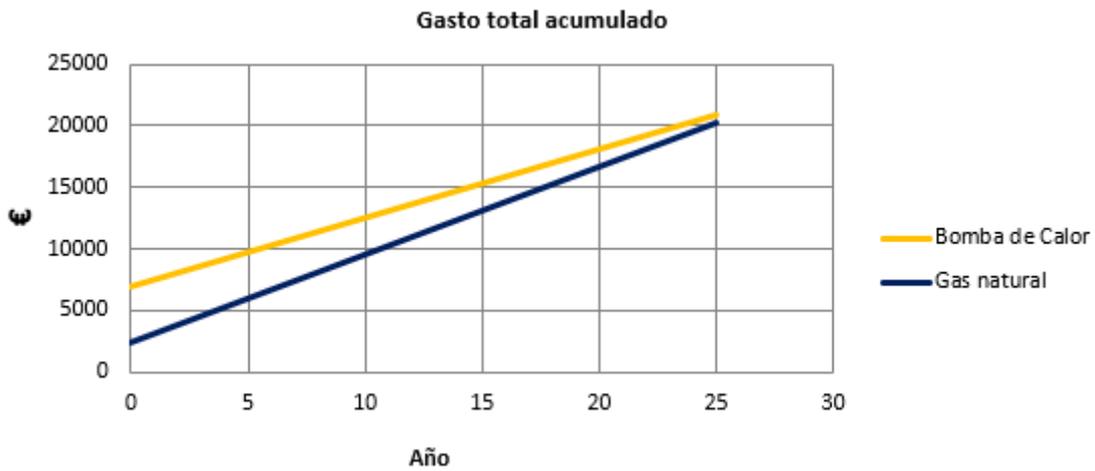
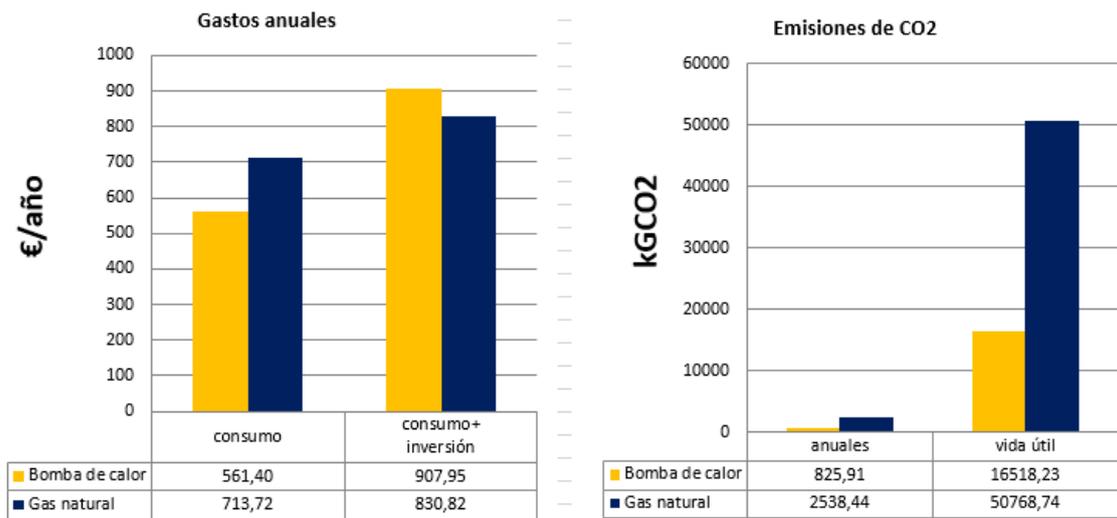
CATÁLOGO	
Bomba seleccionada	Daikin ERHQ 11
Precio (€)	6931
Potencia nominal (kW)	11,2
SCOP ACS	3
INVERSIÓN	
Precio bomba (€)	6931
TOTAL	6931 €
GASTO CONSUMO ANUAL (€/año)	
Consumo eléctrico (kWh/año)	3371,07
GASTO ANUAL CONSUMO ELECTRICO (€/año)	417,97
Potencia contratada electricidad (kW)	3,42
GASTO ANUAL POTENCIA CONTRATADA (€/año)	143,43
PRECIO ENERGÍA+POT TARIFA NORMAL	561,40 €/año
TOTAL FACTURA	714,03 €/año
TOTAL FACTURA (REDUCCIÓN 30%)	499,82 €/año
EMISIONES ANUALES CO2 (KgCO2)	
TOTAL	825,91 KgCO2/año
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	41,30
TOTAL	541,12 €/año

Tabla 32. Resultados bomba de calor con ACS zona climática E

✓ **Caldera de gas**

CATÁLOGO	
Caldera seleccionada	DAIKIN D2T
Precio (€)	2342
Potencia nominal (kW)	24
Rendimiento (%)	108
INVERSIÓN	
Precio caldera (€)	2342
TOTAL	2342 €
GASTO CONSUMO ANUAL (€/AÑO)	
Consumo gas (kWh/año)	12443,32
Consumo gas (m3/año)	1063,53
GASTO ANUAL CONSUMO GAS (€/año)	661,40
Término fijo de gas contratado (€/mes)	4,36
GASTO ANUAL GAS CONTRATADO (€/año)	52,32
PRECIO ENERGÍA+POTENCIA	713,72 €/año
TOTAL FACTURA	898,83 €/año
EMISIONES ANUALES CO2 (KgCO2)	
TOTAL	2538,44 KgCO2/año
PRECIO A LAS EMISIONES	
Gasto extra anual (€/año)	126,92
TOTAL	1025,75 €/año

Tabla 33. Resultados caldera de gas con ACS zona climática E



Gráfica 13. Resultados zona climática

Zona climática E, calefacción y ACS: al igual que en el caso anterior la consideración de ACS perjudica a la bomba de calor, no alcanzando la recuperación de la inversión hasta los 25 años.

4.5.5 Caso Madrid

En los casos anteriores no se ha tenido en cuenta la posibilidad de refrigeración que ofrecen las bombas de calor, en muchos lugares de España no es necesario el aire acondicionado pero en aquellos en los que sí, se puede conseguir un mayor ahorro con la bomba de calor. Para tener en cuenta este aspecto se estudiará un nuevo escenario en Madrid para vivienda unifamiliar y para bloques de pisos.

▪ Vivienda unifamiliar

Para estudiar este caso se va a realizar el análisis para una nueva vivienda unifamiliar en Madrid, zona climática D (*Tabla 34*).

Para la demanda térmica de refrigeración se va a tomar el valor límite del CTE, en este caso es $D_{ref,lim}=15$ (kWh/m².año). Cuantas más unidades de refrigeración sean necesarias instalar en la vivienda, debido a la necesidad de mantener refrigeradas más habitaciones, más rápida será la recuperación de la inversión.

Bomba de calor VS caldera de gas + aire acondicionado			1 ud. refrigeración	2 uds. refrigeración	3 uds. refrigeración	4 uds. refrigeración	
Superficie (m ²)		Consumo (€/año)	CO ₂ (kgCO ₂)	Años recuperación	Años recuperación	Años recuperación	Años recuperación
80	BC	436	495	44	38	32	28
	GN	516	1285				
120	BC	495	586	35	30	26	21
	GN	596	1509				
160	BC	553	677	29	25	21	17
	GN	675	1732				
200	BC	612	767	25	21	18	15
	GN	755	1955				
240	BC	670	859	22	19	16	13
	GN	834	2179				
280	BC	729	950	19	17	14	11
	GN	914	2402				

Tabla 34. Resultados Madrid vivienda unifamiliar nueva

Se observa que a mayor superficie de vivienda menor tiempo de recuperación de la inversión, un mayor consumo hace que el efecto del ahorro producido por la bomba de calor sea mayor. En la mayoría de casos estudiados los años de recuperación superan los 15 años, un periodo demasiado largo para invertir en la bomba de calor.

▪ Bloque de pisos

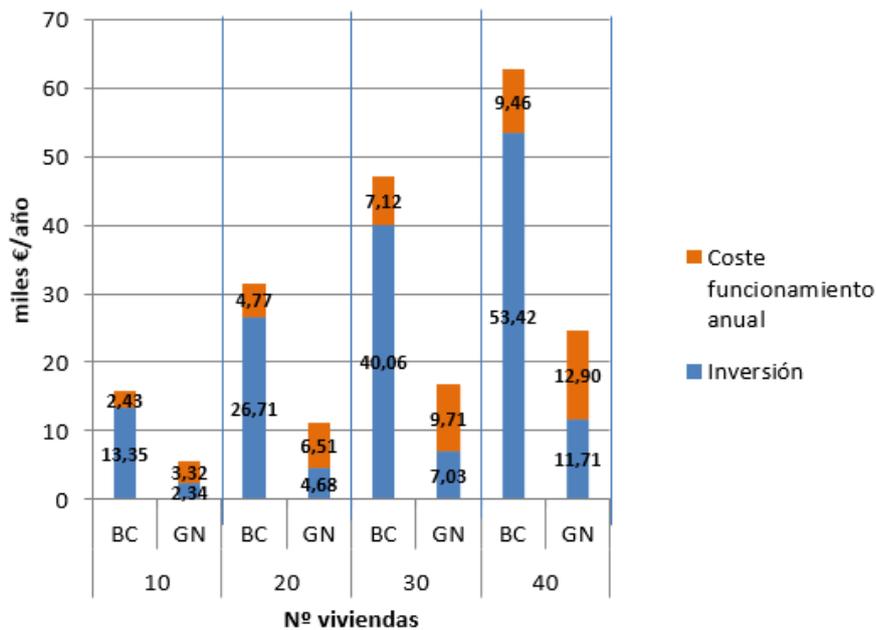
También se ha estudiado el caso de bloques de pisos nuevos en Madrid, considerando una instalación centralizada para calefacción y producción de ACS. Teniendo en cuenta una superficie media de 100m² por vivienda, se han calculado los años de recuperación, consumo energético, gasto anual y emisiones de CO₂ (*Tabla 35*).

BLOQUE DE PISOS MADRID	Nº viviendas							
	10		20		30		40	
	BC	GN	BC	GN	BC	GN	BC	GN
Consumo energético (kWh/año)	15379	49433	30259	97015	45138	144596	60017	192177
Consumo (€/año)	2425	3319	4772	6514	7118	9709	9464	12904
Emisiones de CO2 (KgCO2/año)	3768	10084	7413	19791	11059	29498	14704	39204
Años recuperación	12		11		12		12	

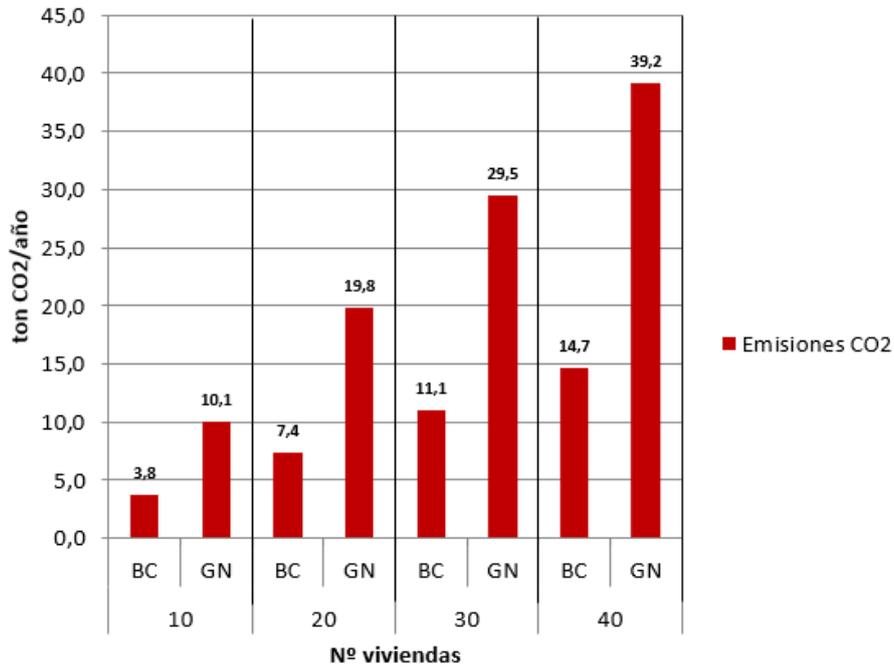
Tabla 35. Resultados Madrid boque de pisos nuevo

Como la demanda para satisfacer las necesidades de un conjunto de pisos es mayor, el ahorro anual aumenta en el caso de bomba de calor reduciendo así los años de recuperación. Una vez obtenidos estos resultados, se puede concluir que la instalación centralizada de bombas de calor para bloques de pisos nuevos es el escenario más favorable. Se debe resaltar que se logran periodos de recuperación de 11 años con la tarifa plana, en caso de aplicar la tarifa reducida y las otras medidas propuestas los periodos de recuperación podrían alcanzar los 4-6 años.

Para este caso se han obtenido varias gráficas que representan las ventajas de la bomba de calor frente a la caldera de gas. En las Gráficas 14 y 15 se pueden comparar las inversiones y costes de funcionamiento anuales y las emisiones de CO2. Se puede observar claramente que la inversión de la bomba de calor es mucho mayor pero se va recuperando con el ahorro anual que se logra en su funcionamiento:



Gráfica 14. Inversión y gastos anuales



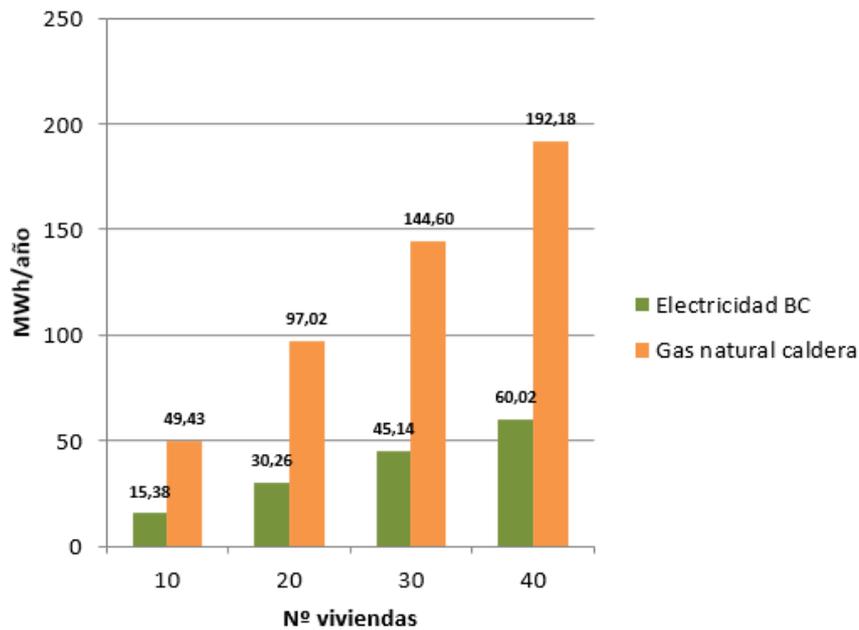
Gráfica 15. Emisiones de CO2

En las Gráficas 16 y 17 se muestran las ventajas de la bomba de calor en relación a energía final consumida en electricidad y gas natural y la energía primaria no renovable consumida a partir de los factores de paso del documento del IDAE “Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España” (Tabla 36).

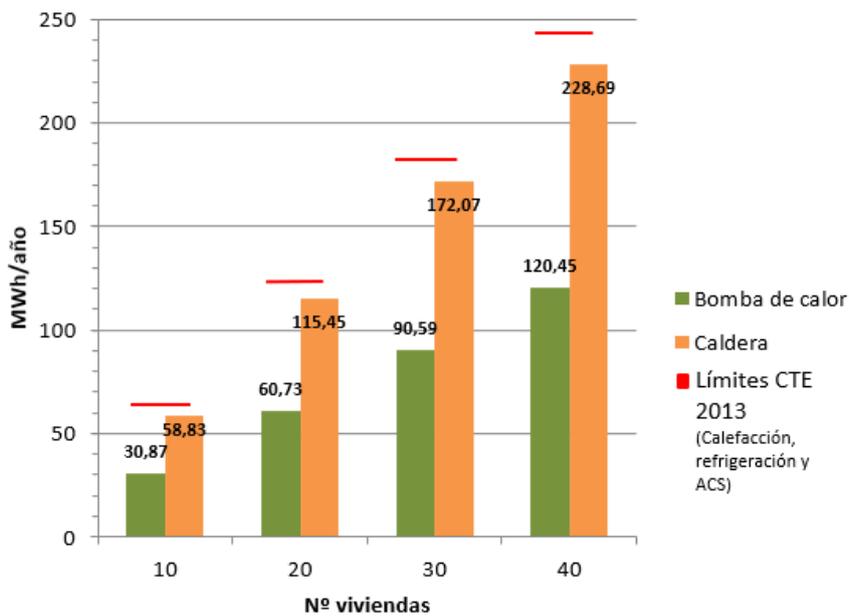
Factores de paso a energía primaria	kWh E. Primaria no renovable/ kWh E. final
Electricidad	2.007
Gas natural	1.190

Tabla 36. Factores de paso a energía primaria

Además, también se muestra el límite fijado por el CTE para consumo de energía primaria no renovable, de lo que se puede deducir que en el caso de que estos límites se vuelvan más estrictos en la nueva modificación del documento, podría suponer un problema para las instalaciones con caldera de gas.

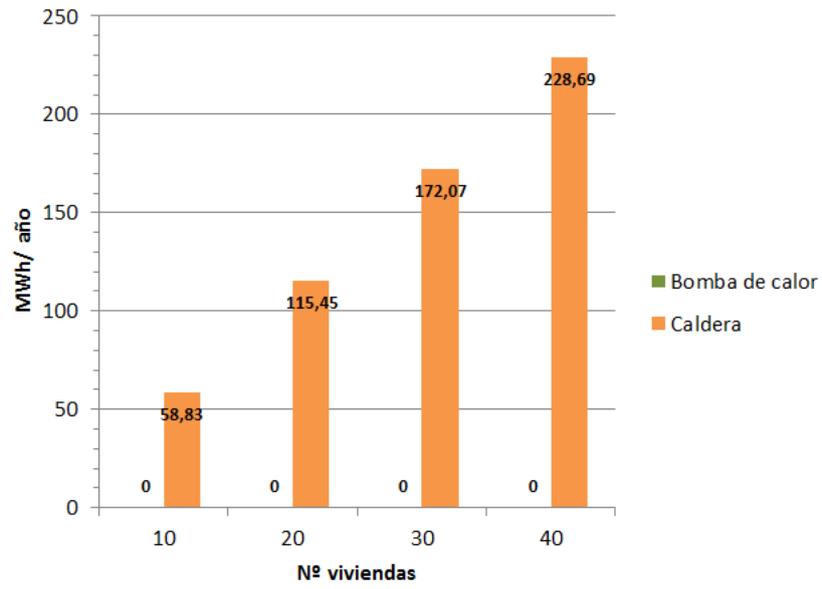


Gráfica 16. Consumo de energía final



Gráfica 17. Consumo de energía primaria no renovable

Con el aumento de penetración de las energías renovables en la generación de electricidad, en un futuro será de origen 100% renovable lo que conllevará que no se produzcan emisiones de CO2 aumentando aún más la diferencia de emisiones entre la bomba de calor y la caldera de gas y que no se consuma energía no renovable como se puede observar en la *Gráfica 18*.



Gráfica 18. Energía primaria no renovable (electricidad 100% renovable)

5 CONCLUSIONES

Tras el estudio realizado en los diferentes escenarios, se puede concluir que para ser competitiva, la bomba de calor necesita una reducción de costes significativa de modo que pueda resultar rentable frente a la caldera de gas de condensación. En los casos más favorables, el período de recuperación no baja de 10 años. El consumidor raramente optará por una inversión que no recuperará en menos de ese período.

Las principales barreras de estos equipos son el precio de mercado y el de la electricidad frente al gas. El avance tecnológico y el aumento de la penetración de los equipos bomba de calor generará una reducción de costes de mercado, pero también serán necesarias medidas adicionales para que este proceso se agilice, así como ayudas económicas por parte de la Administración y las medidas propuestas en este documento como la aplicación de precio a las emisiones de CO₂ y la reducción de la tarifa eléctrica que actualmente está sometida a cargos ajenos al suministro.

A pesar de no conseguir un ahorro económico inmediato con la bomba de calor, sí se produce un ahorro de emisiones de CO₂ en comparación con la caldera de gas. Este factor puede ser clave para la consecución de los objetivos fijados por la UE ya que la bomba de calor puede ser un equipo clave para reducir las emisiones en la edificación. En un futuro, la electricidad producida será prácticamente 100% renovable lo que conllevará que la bomba de calor no produzca emisiones. No sólo se reducen las emisiones, también se consigue una reducción del consumo de energía primaria apoyando así la sostenibilidad energética.

De los escenarios estudiados, la bomba de calor sale mejor parada en aquellos en los que el consumo es mayor, con superficies más grandes y zonas climáticas más severas, debido a que el ahorro provocado por el coste de funcionamiento se ve reflejado en un periodo de tiempo menor. También se deduce que la producción de ACS en la bomba de calor reduce el rendimiento de la instalación debido al salto térmico necesario, aumentando así el periodo de recuperación en comparación con instalaciones que no incorporan ACS.

Se debe tener en cuenta que la bomba de calor es capaz de refrigerar, factor que no se ha tenido en cuenta en un primer análisis debido a que en muchos lugares de España el consumo para dicho fin podría considerarse despreciable. La inversión necesaria en unidades de refrigeración para poder satisfacer las necesidades de la vivienda hace que la inversión inicial de ambos sistemas se iguale, superando una de las principales barreras de la bomba de calor.

El escenario de bloques de pisos nuevos con instalación centralizada resulta el más rentable de los estudiados debido a que con un único equipo se satisfacen las necesidades de varias viviendas.

6 PLANIFICACIÓN

6.1 Descripción de tareas

Fase 1: Identificación del problema

Se debe identificar el problema al que se desea dar solución y establecer una hoja de ruta esquemática del trabajo que se debe realizar.

Duración: 1 semana

Fase 2: Definición de los objetivos

Tras conocer el problema a resolver, se definen los objetivos que se desean alcanzar tras la elaboración del trabajo.

Duración: 1 semana

Fase 3: Contextualización

Una vez conocido el problema y establecidos los objetivos, se realiza la primera toma de contacto con el tema a tratar, conociendo la situación actual en Europa a nivel de energías renovables, emisiones, eficiencia energética, niveles de consumo y medidas al respecto.

Duración: 2 semanas

Fase 3: Búsqueda de estudios existentes

En esta fase se pretende profundizar más en el tema y obtener más información sobre los equipos de climatización y su modo de funcionamiento. Para ello se realizan búsquedas en asociaciones que tengan relación con el sector con el fin de buscar documentación que pueda servir de apoyo para la elaboración del trabajo. Durante todo el período de trabajo se han realizado búsquedas para encontrar información nueva.

Duración: 13 semanas

Fase 4: Estudios técnicos

En esta fase se realiza un estudio más técnico de los equipos analizados, explicando el funcionamiento, la utilidad, el rendimiento, sus componentes y la forma de clasificarlos.

Duración: 3 semanas

Fase 5: Análisis de alternativas y selección de la solución

Una vez realizados los estudios técnicos de los equipos y conocidas todas las alternativas disponibles, se deben analizar, comparar y elegir las más viables.

Duración: 5 semanas

Fase 6: Análisis económico

Esta fase es la que más trabajo requiere debido a la complejidad de obtener unos cálculos cercanos a la realidad, esto ocurre por la cantidad de variables que entran en juego a la hora de hacer el análisis como ya se ha expuesto en la memoria. Se ha elaborado un Excel con la mayoría de los casos posibles para lograr una comparativa a nivel económico y de emisiones de CO₂ con el objetivo de obtener unas conclusiones respecto los beneficios y las barreras que tiene la bomba de calor actualmente. Dentro de esta fase se puede introducir la búsqueda de catálogos de equipos de climatización, de documentación relativa al consumo energético en viviendas, de otros análisis económicos y la elaboración de gráficas que permitan una comparativa más visual.

Duración: 12 semanas

Fase 7: Marco regulatorio

Tras conocer la parte técnica y económica, es necesario conocer la situación regulatoria actual a nivel nacional y europeo. Para ello se estudian las Directivas relacionadas con energías renovables, eficiencia energética, etiquetado etc.

Duración: 2 semanas

Fase 8: Conclusiones

Tras realizar el análisis técnico, económico y regulatorio se deben obtener unas conclusiones derivadas del trabajo realizado.

Duración: 1 semana

Fase 9: Redacción de la memoria

Esta fase ha sido realizada durante todo el proceso mientras se avanzaba con el estudio.

Duración: 20 semanas

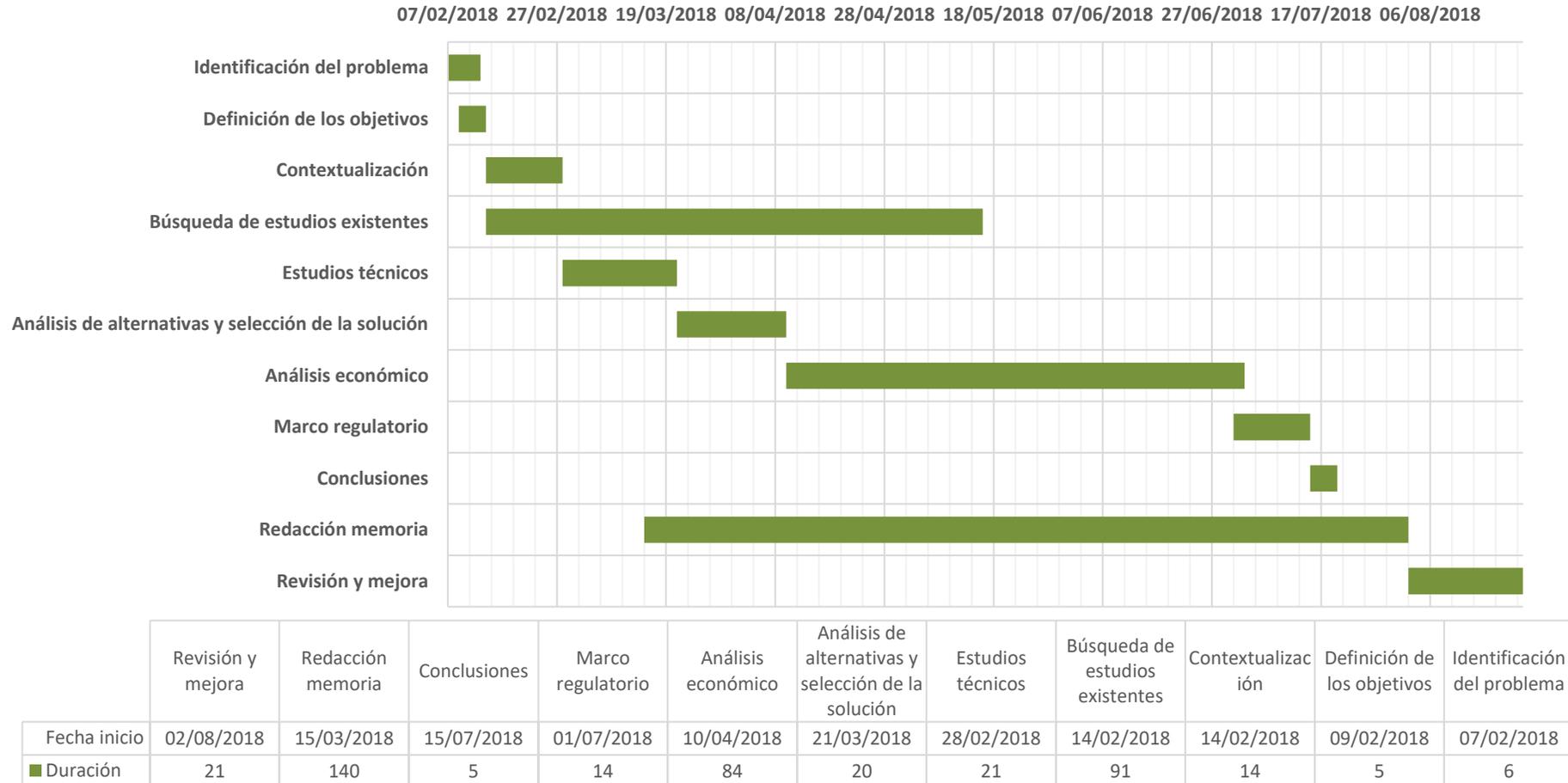
Fase 10: Revisión y mejora

Tras completar la redacción de la memoria se realiza una revisión exhaustiva con el objetivo de encontrar errores y de mejorar la redacción y la presentación del documento.

Duración: 3 semanas

6.2 Diagrama de Gantt

A continuación se muestra el diagrama de Gantt con las actividades descritas en el apartado anterior.



7 PRESUPUESTO

En este apartado se pretende mostrar un cálculo aproximado del coste que supondría un análisis como el realizado en este documento para una vivienda real (*Tabla 37*). El presupuesto se divide en tres apartados: horas internas, gastos e inversiones.

HORAS INTERNAS	Horas (h)	Tasa (€/h)	Coste (€)
Ingeniero	620	25	15.500

GASTOS	Coste (€)
Material de oficina	50
Documentación	120

INVERSIONES	Precio (€)	Vida útil (h)	Utilización (h)	Total/ amortización (€)
Ordenador	860	4.900	500	87
Microsoft Office	70	2.400	350	10

INVERSIÓN TOTAL	15.767 €	100 %
------------------------	-----------------	--------------

Tabla 37. Presupuesto

Como se puede observar el mayor peso de la inversión lo representa el salario requerido por el ingeniero que realiza el estudio. El material de oficina y documentación se refiere a todo el material complementario que ha sido necesario para la realización del estudio.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ecofys (2013). *Heat Pump Implementation Scenarios until 2030*.
- [2] IRENA (2013). *Heat pump technology brief*.
- [3] EEA (2017). *Renewable energy in Europe*.
- [4] EPRI (2018). *U.S. national electrification assessment*.
- [5] BOE. <http://www.boe.es/>
- [6] European Union Law. <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- [7] Calor y Frío. <https://www.caloryfrio.com/>
- [8] AFEC. <http://www.afec.es/es/index.asp>
- [9] Bomba de calor. <http://www.bombadecolor.org/>
- [10] European Heat Pump Association. <http://www.ehpa.org/>
- [11] Orkestra (2017). Energías renovables en calefacción y refrigeración en los sectores residencial y terciario.
- [12] Ministerio de energía, turismo y agenda digital. <http://www.minetad.gob.es/es-ES/Paginas/index.aspx>
- [13] Eurostat. <http://ec.europa.eu/eurostat>
- [14] IDAE. <http://www.idae.es/>
- [15] Renewable Heating and Cooling. <http://www.rhc-platform.org/>
- [16] Ente Vasco de la Energía. <http://www.eve.eus/index.aspx>
- [17] International Energy Agency. <https://www.iea.org/>
- [18] Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org/>
- [19] Daikin. https://www.daikin.es/es_es/inicio.html
- [20] Ariston. <http://www.ariston.com/es/>
- [21] Saunier Duval. <https://www.saunierduval.es/para-el-usuario/>
- [22] Vaillant. <https://www.vaillant.es/usuarios/>
- [23] Heat Pumping Technologies. <http://heatpumpingtechnologies.org/>
- [24] Eurostat. <http://ec.europa.eu/eurostat>

9 ANEXO I: Regulación relacionada

9.1 Europa

La Comisión Europea publicó la Estrategia de Calor y Frío en 2016 con el objetivo principal de reducir la dependencia energética y contribuir a los objetivos 2030. No contiene medidas concretas, es la etapa preliminar antes de elaborar propuestas legislativas concretas.

Esta estrategia provocó cambios en algunas de las Directivas. Los EEMM incluyeron el sector de calor y frío en los planes nacionales tomando medidas como el fomento de ayudas a la inversión y proporcionando información sobre los productos disponibles en el mercado. Las principales Directivas relativas al sector Calor y Frío son y en concreto a la bomba de calor son las siguientes:

Directiva 2009/28 “Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables”

La primera vez que se menciona específicamente la aerotermia, geotermia e hidrotermia como fuente de energía renovable en un texto legislativo es en esta Directiva en la que se pretende establecer un marco común para contemplar la energía procedente de fuentes renovables y un método de cálculo de la cuota de energía procedente de fuentes renovables. En el Anexo VII “*Balance energético de las bombas de calor*” se establece el método para calcular la energía renovable procedente de esta tecnología:

La cantidad de energía aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica capturada por bombas de calor que debe considerarse energía procedente de fuentes renovables a los efectos de la presente Directiva, ERES, se calculará de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$ERES = Q_{usable} * (1 - 1/SPF),$$

Siendo

— *Q_{usable} = el calor útil total. ...sólo se tendrán en cuenta las bombas de calor para las que $SPF > 1.15 * 1/\eta$,*

— *SPF = el factor de rendimiento medio estacional estimativo para dichas bombas de calor,*

— *η el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad, y se calculará como una media de la UE basada en datos de Eurostat.*

Para poder efectuar el cálculo del SPF es necesario el valor de η , el cual está definido en la Decisión de la Comisión Europea del año 2013 (2013/114/UE) con un valor de $\eta=45,4\%$, por lo que las bombas de calor accionadas eléctricamente deben ser consideradas como renovables siempre que su SPF sea superior a 2,5. Dicha Decisión establece que la determinación del SPF de las bombas de calor accionadas eléctricamente debe efectuarse de acuerdo con la norma **EN 14825:2012** en el caso de calefacción y refrigeración y con la norma **EN 16147:2017** para ACS (el SPF se refiere

al SCOPnet). Sólo se considera calefacción para el cómputo de energía renovable procedente de fuentes renovable.

La Directiva 2009/28 está siendo modificada actualmente y los cambios más importantes son:

- nuevos objetivos de renovables, eficiencia energética y emisiones de CO₂ establecidos para los EEMM para el año 2030
- introducción del término *calor ambiente* o *energía ambiente* que se refiere a la aerotermia, geotermia e hidrotermia como conjunto, siendo la definición la siguiente:

Energía térmica a un nivel de temperatura útil extraída por medio de bombas de calor que necesitan electricidad u otra energía auxiliar para funcionar, y que puede acumularse en el aire ambiente, bajo la superficie de la tierra sólida o en las aguas superficiales.

Directiva 2010/31 “Eficiencia energética de los edificios”

Fomenta el empleo de energías renovables en el sector de la edificación y menciona la bomba de calor como alternativa para mejorar la eficiencia energética en edificios nuevos.

El 40 % del consumo total de energía en la Unión corresponde a los edificios. El sector se encuentra en fase de expansión, lo que hará aumentar el consumo de energía. Por ello, la reducción del consumo de energía y el uso de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la edificación constituyen una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética de la Unión y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los Estados miembros deben elaborar planes nacionales para aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo, y deben comunicar dichos planes a la Comisión periódicamente.

En los edificios nuevos, los Estados miembros velarán por que, antes de que se inicie la construcción, se consideren y tengan en cuenta la viabilidad técnica, medioambiental y económica de instalaciones alternativas de alta eficiencia como las que se detallan a continuación, siempre que estén disponibles: a) instalaciones descentralizadas de abastecimiento de energía basadas en energía procedente de fuentes renovables; b) cogeneración; c) calefacción o refrigeración urbana o central, en particular si se basa total o parcialmente en energía procedente de fuentes renovables; d) bombas de calor.

Los Estados miembros se asegurarán de que: a) a más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, y de que b) después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo. Los Estados miembros elaborarán planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo.

Directiva 2012/27 “Eficiencia energética”

Esta muy relacionada con la anterior, aunque no menciona específicamente la bomba de calor, incentiva la rehabilitación de edificios existentes, identificando este sector como clave a la hora de lograr los objetivos de eficiencia energética ya que es el responsable de una gran parte del consumo energético total.

Los Estados miembros deberían crear una estrategia a largo plazo para después de 2020 destinada a movilizar inversiones en la renovación de edificios residenciales y comerciales para mejorar el rendimiento energético del parque inmobiliario. Esa estrategia debería abordar renovaciones exhaustivas y rentables que den lugar a reformas que reduzcan el consumo tanto de energía suministrada como de energía final de un edificio en un porcentaje significativo con respecto a los niveles anteriores a la renovación, dando lugar a un alto rendimiento energético.

El ritmo de renovación de edificios tiene que aumentar ya que el parque inmobiliario existente constituye el sector con mayor potencial de ahorro de energía. Además, los edificios son cruciales para alcanzar el objetivo de la Unión de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80 % y un 95 % para 2050 respecto a 1990.

Directiva 2009/125 “Marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía”

En esta Directiva aparecen reglamentos específicos para cada tipo de producto, en concreto el que hace referencia a la bomba de calor es el **Reglamento 813/2013**, donde se definen las especificaciones que se deben cumplir y los métodos de cálculo, y el **Reglamento 814/2013** para los calentadores y acumuladores de agua. El **Reglamento 2281/ 2016** establece los requisitos de información necesaria que debe aparecer junto a los equipos bomba de calor.

Directiva 2010/30 “Etiquetado energético”

En 2017 la Directiva de etiquetado energético fue sustituida por un Reglamento Marco, lo que evita a los EEMM tener que hacer transposición de este y pasan a formar parte de la legislación directamente sin aplicar ningún cambio. Las características específicas del etiquetado de cada uno de los productos no están recogidas en dicho Reglamento, sino en los correspondientes Reglamentos Delegados que se van implementando para cada producto o grupo. El **Reglamento Delegado 811/ 2013** establece las condiciones de etiquetado para las bombas de calor. Los principales aspectos de este Reglamento son:

- Vuelta a la Escala A-G de etiquetado. Desaparecen las clases A+, A++ y A+++.
- Reescalado. La Comisión debe reescalar las etiquetas existentes que estuvieran en vigor el 1 de agosto de 2017. Para ello, irá publicando los correspondientes Reglamentos Delegados. El plazo máximo es hasta 2030.

- Base de Datos. Compuesta por una parte pública, una parte de cumplimiento y un portal en línea que permitirá acceder a estas dos partes. La Comisión Europea será la encargada de su creación y mantenimiento.

Los equipos de climatización deben ir acompañados con las etiquetas que aparecen en la *Figura 29*, donde aparecen las especificaciones principales.

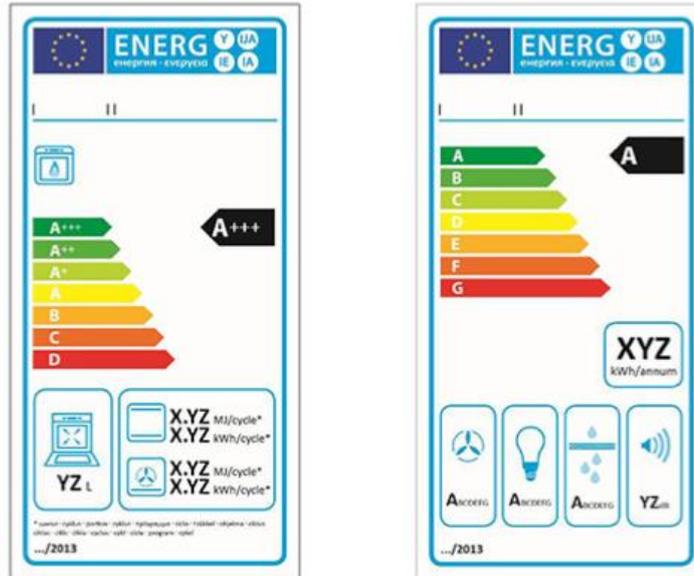


Figura 29. Etiquetado antiguo y nuevo

Reglamento sobre los gases fluorados de efecto invernadero

Este nuevo Reglamento acelerará la renovación de los sistemas de calefacción y refrigeración. Los refrigerantes respetuosos con el clima ofrecen un gran potencial de ahorro energético; ahora bien, para algunas aplicaciones, se requiere una actualización de las normas existentes con el fin de garantizar el uso seguro de los mismos. Para tal fin, la Comisión ha iniciado el proceso de revisión de las normas europeas pertinentes.

En la siguiente *Tabla 38* se muestra el impacto que tiene cada directiva en la bomba de calor. Se puede observar que la mayoría promueve el empleo de esta tecnología.

Textos legislativos	Impacto
Directiva Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables	Impacto positivo
Directiva Eficiencia energética de los edificios	Impacto positivo
Directiva marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía	Impacto positivo
Directiva etiquetado energético	Impacto positivo
Directiva eficiencia energética	Impacto positivo
Estrategia energética EU 2050	Sin impacto significativo
Comunicación de energía renovables	Sin impacto significativo
Reglamento de gases fluorados	Depende de la Decisión

Tabla 38. Impacto de la legislación en la bomba de calor

En algunos países se ha fomentado la mejora de la eficiencia energética en el sector de calor y frío mediante las siguientes medidas:

Croacia: cofinanciación de los costes de adquisición e instalación de sistemas de energía renovable en los hogares. Al menos el 50% de los costes totales de adquisición de instalación de los equipos en hogares se financia a través de subvenciones en las que el gobierno central cofinancia el 40% y los gobiernos regionales y locales al menos el 10%.

Finlandia: la principal medida para la promoción del uso de energías renovables en las actividades de calefacción y refrigeración es llevada a cabo por el Ministerio de Economía, que tiene puesto en marcha un plan de inversiones para apoyar la financiación de bombas de calor y de sistemas de calefacción solar en empresas y hogares mediante subsidios por valor del 20% de la inversión.

Letonia: ha tomado diversas medidas encaminadas a reducir el impacto ambiental de los sistemas de calefacción y refrigeración. Con el objetivo de promover el uso de energías renovables en grandes instalaciones, se han diseñado programas de inversión directa en sistemas de tecnologías renovables que cubren al menos el 25% de los costes de instalación.

Portugal: se han tomado algunas medidas orientadas a fomentar el uso de energías renovables en sistemas de calefacción y refrigeración. El Sistema de Clasificación Energética de edificios proporciona beneficios para los edificios que utilizan energías renovables para la climatización o para el calentamiento de agua, fomentando así el uso de fuentes de energía renovables en los edificios. La certificación energética es obligatoria para todos los edificios nuevos o construcciones que se han sometido a una gran remodelación. Para el calentamiento de agua de uso doméstico es obligatoria la instalación de colectores solares térmicos siempre que sea viable. Estas inversiones

pueden solicitar la cofinanciación, con un límite máximo del 70% de los gastos subvencionables al Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN).

Suecia: Las principales medidas incluyen ayudas a la conversión de sistemas de calefacción residencial a sistemas de calefacción urbana o de distrito. Estas ayudas se aplican a la conversión a sistemas de calefacción de distrito basados en fuentes renovables, tales como bombas de calor de tierra, de agua y geotérmicas, fuentes basadas en biocombustibles y sistemas de calefacción de transmisión por agua.

Holanda: el objetivo es la reducción del 80% emisiones de CO₂ en la edificación para el año 2050. Para ello las medidas principales propuestas han sido la desconexión de los edificios residenciales de la red de gas para 2050 y la mejora del aislamiento térmico de edificios. Las nuevas viviendas no serán conectadas a la infraestructura de gas, como ya ha ocurrido con varios barrios en Ámsterdam, donde también se ofrecen préstamos entre 2.500€ y 15.000€ por propiedad con un interés bajo para medidas de aislamiento o instalación de equipos de energías limpias.

9.2 España

A nivel nacional las normativas más relacionadas con la bomba de calor son:

Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios

El contenido del RITE afecta al diseño, dimensionado, ejecución, puesta en marcha, manejo, mantenimiento, uso e inspección de las instalaciones térmicas.

Código Técnico de Edificación

El CTE va a ser modificado este año 2018, entre las novedades incluirá una definición concreta de los Edificios de Consumo Casi Nulo (EECN) y los requisitos necesarios para cumplir con el objetivo marcado por la Directiva relativa a Eficiencia Energética en Edificios. Será necesario un indicador de consumo de energía primaria (kWh/año.m²) para este tipo de edificios. Cada Estado Miembro debe desarrollar su propia definición, en la *Fig.30* se observa la etapa en la que se encuentra cada país europeo en el desarrollo de la definición de los EECN.



Figura 30. Estado de desarrollo de definición de los EECN en la UE (2015)

El indicador de consumo de energía primaria no renovable empleado actualmente en el CTE, no parece el más adecuado. Según este indicador, es más eficiente un edificio que apenas consume energía que uno que consume más, aunque dicha energía sea renovable. También resulta necesario el establecimiento de un nivel de eficiencia global, ya que que no tiene sentido analizar las demandas energéticas de manera separada para cada servicio como ocurre en el CTE actual.

El Ministerio de Fomento, a través del documento de bases, ha realizado este análisis crítico. Las limitaciones expuestas pretenden concluir en la necesidad de mejora del documento de ahorro de energía del CTE. Dichas mejoras se resumen en lo siguiente:

- La evaluación de la eficiencia energética debe contemplar el conjunto de las necesidades de energía del edificio, incluyendo el uso de energía procedente de fuentes renovables.
- Se requiere una visión más integrada, menos parcializada por servicios y tecnologías, de las estrategias de eficiencia energética.
- La evaluación de la envolvente térmica no debe limitarse a controlar la calidad constructiva mínima de sus componentes, sino que debe incluir aspectos del diseño pasivo y el tratamiento eficiente de las protecciones solares.
- Es necesario incidir en la mayor facilidad de uso y aplicabilidad del documento.

La actualización del DB HE de 2018 traerá consigo un documento revisado con nuevos indicadores. Dichos indicadores deben responder a los objetivos explícitos de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios (DEEE). Unos objetivos que promueven

la reducción del consumo de energía y de recursos fósiles, además del aumento del uso de energías renovables.

Los nuevos indicadores serán:

- **Consumo de energía primaria total (CEP)**
- **Consumo de energía primaria no renovable (CEPNR)**

La definición de los EECN será un gran apoyo para la tecnología de la bomba de calor, ya que muchas tecnologías de climatización no serán capaces de alcanzar los requisitos mínimos exigidos.

Respecto a las normas UNE relacionadas de forma más directa con el sector y la bomba de calor se tienen las siguientes:

UNE EN 14511:2014

Esta norma UNE estudia la casuística de acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para calefacción y refrigeración de locales. En ella se definen la evaluación y determinación de los rendimientos de dichas máquinas.

UNE EN 14825:2014

Se comentan de forma detallada los diferentes apartados relacionados directamente con el proceso de cálculo del rendimiento estacional. Estudia los acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales.

En el documento se proporcionan las condiciones de carga parcial, así como los métodos de cálculo para la obtención del Factor de Eficiencia Energética Estacional (SEER_{on}) y el Coeficiente de Rendimiento Estacional (SCOP_{on} y SCOP_{net}).

UNE EN 15316-4-2

Esta norma UNE se aplica a los sistemas de calefacción en los edificios. En el texto se presenta el método de cálculo de los requisitos de energía del sistema, así como la eficiencia del mismo.

Concretamente el apartado 4-2 estudia los sistemas de generación para calefacción de locales mediante bomba de calor. Dicho documento estudia la temática de las bombas de calor utilizadas para calefacción de locales, para los calentadores de agua y producción de agua caliente sanitaria.

UNE EN 16147:2011

Esta norma estudia, para ACS, las bombas de calor con compresor accionado eléctricamente. Especifica los métodos de ensayo y requisitos para el marcado de bombas de calor aire/agua, salmuera/agua, agua/agua e intercambio directo/agua en el caso de compresores accionados eléctricamente conectados o que incluyan un depósito acumulador de agua caliente sanitaria.