

# Optimización y eficiencia energética mediante aerotermia: un enfoque sostenible para la climatización residencial

Gabriel Pérez Barroso

Mario Benítez Alonso

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Grado en Ingeniería Mecánica

## Resumen

El objetivo de este proyecto se centra en la exploración de la aerotermia como tecnología innovadora para la optimización de sistemas de calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria en edificaciones. A través de una revisión exhaustiva de la literatura y análisis de casos prácticos, se examinarán los principios de funcionamiento, ventajas y desafíos asociados con la aerotermia. Además, se abordará la integración de la aerotermia en el contexto de la eficiencia energética y la sostenibilidad, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. Se explorarán estrategias de diseño, instalación y operación para maximizar el rendimiento y la rentabilidad de los sistemas aerotérmicos en diferentes tipos de edificaciones. Este estudio proporcionará una comprensión profunda de la aerotermia y su potencial para contribuir a la reducción del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción.

## 1. Introducción

La aerotermia es una tecnología que ha ganado un fuerte impulso debido a que promete revolucionar la forma en que calentamos y enfiamos nuestros hogares y edificios. Pero, ¿por qué es tan importante este tema bueno, si echamos un vistazo al panorama energético actual, veremos que estamos en un momento en el que la demanda de energía para calefacción y refrigeración es enorme. Esto nos lleva a depender en gran medida de combustibles fósiles, lo que no solo es costoso, sino también perjudicial para el medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Aquí es donde entra en juego la aerotermia. Esta tecnología aprovecha el calor presente en el aire exterior para proporcionar calefacción en invierno y refrigeración en verano, de manera eficiente y más ecológica. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la aerotermia todavía enfrenta algunos desafíos importantes.

Uno de ellos es la duda que existe sobre su eficiencia y confiabilidad, ya que hoy en día se sigue desconfiando de que estos sistemas funcionen bien en diferentes climas y puedan ser mejores a nivel de eficiencia que sistemas tradicionales actuales. Y si aparte añadimos el tema económico, que al final no deja de ser el más importante,

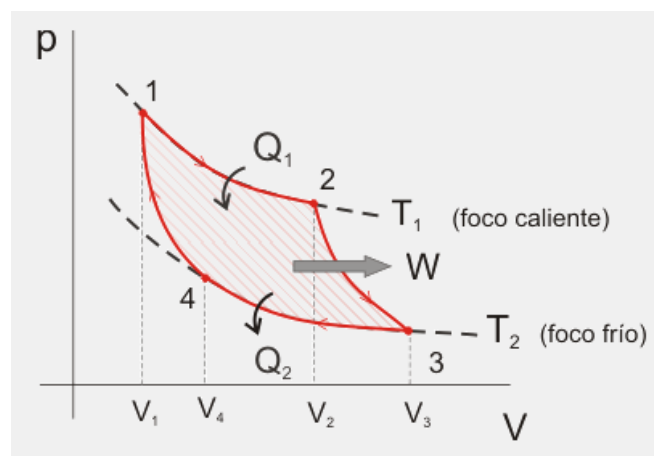
estos sistemas aerotérmicos suelen ser caros a la hora de instalarlos, lo que suele disuadir a muchos de dar el paso.

Por último, pero no menos importante, están las regulaciones y políticas energéticas. Las regulaciones locales y estatales pueden afectar la viabilidad y rentabilidad de estos sistemas a través de incentivos fiscales y programas de financiación o requisitos de eficiencia energética.

En conclusión se espera que nuestros problemas energéticos se resuelvan con el uso de estos sistemas, pero todavía quedan algunos obstáculos por superar. Identificar y abordar estos problemas es fundamental para promover un uso más amplio de la energía aerotérmica y avanzar hacia un futuro energético más sostenible.

## 2. Fundamentos teóricos

En el punto 2 se proporcionará una base teórica sólida sobre los principios de la aerotermia, incluyendo el ciclo termodinámico, los mecanismos de transferencia de calor y los diferentes tipos de sistemas disponibles. Esto sentará las bases para comprender mejor el funcionamiento y las aplicaciones de la aerotermia en el contexto de este Trabajo de Fin de Grado



[1] Fig. 1. Gráfica de Carnot en modo calefacción

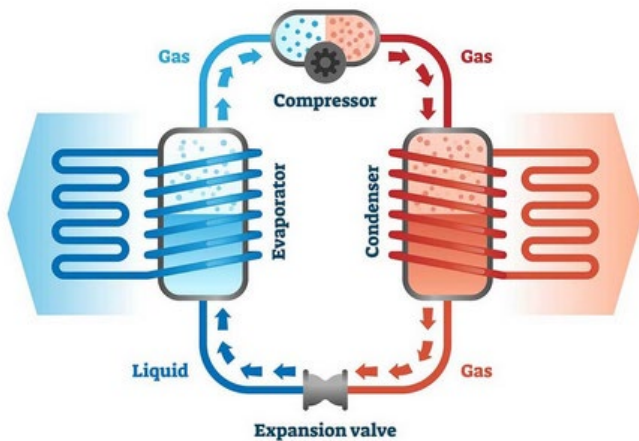
$$W_{12} = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = Q_1$$

$$W_{34} = nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} = -nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} = Q_2$$

[2] Fig. 2. Una de las fórmulas utilizadas para calcular el trabajo de una máquina de Carnot

### 3. Componentes y Funcionamiento de los sistemas de aerotermia

En el punto 3, se explorará en detalle la estructura básica y el funcionamiento de estos sistemas, abordando los elementos principales como compresores, evaporadores y condensadores, así como su papel en la producción de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Se discutirá la eficiencia energética y sostenibilidad de estos sistemas, junto con consideraciones de diseño e instalación, ofreciendo una visión integral de su funcionamiento y su contribución al desarrollo de edificios más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.



[3] Fig. 3. Esquema de los componentes de un sistema de aerotermia

### 4. Eficiencia energética y sostenibilidad

En el punto 4 abordaremos aspectos cruciales relacionados con la adopción de esta tecnología en la climatización de edificios. A través del análisis de la eficiencia energética (sección 4.1), se evaluará cómo los sistemas de aerotermia pueden optimizar el consumo de energía al aprovechar fuentes renovables como el aire exterior. Además, se estudiará el impacto ambiental comparado con sistemas convencionales (sección 4.2), proporcionando una visión detallada de cómo la aerotermia contribuye a la reducción de emisiones de carbono y al cuidado del medio ambiente. Finalmente, en la sección 4.3 se examinarán las ventajas y desventajas desde una perspectiva sostenible, considerando aspectos económicos, sociales y medioambientales para comprender plenamente el papel de la aerotermia en la construcción de un futuro más sostenible. Este análisis integral nos permitirá comprender mejor cómo la aerotermia puede impulsar la eficiencia energética y la sostenibilidad en el sector de la climatización de edificios,

con implicaciones significativas para la mitigación del cambio climático y la promoción de un desarrollo más sostenible.

	Horas de consumo al día	Consumo kWh	Precio consumo al día (€)	Precio total invierno con impuestos
Calefacción eléctrica (split)	8	1,2	2,04	181,56
Radiador	8	2	3,41	303,49
Bomba de calor	8	0,6	1,01	89,89

[4] *Tabla 1. Precios del consumo de tres sistemas diferentes para ocho horas al día*

Sistema de calefacción	Coste Inversión (€)	Coste Operación (€/año)	Emisiones CO2 (kg/año)	Vida Útil (años)
Aerotermia	5000-14000	300-600	500-1000	20-25
Caldera de Gas Natural	1000-2500	500-800	1000-2000	15-20
Caldera de Butano/propano	1500-3000	700-1000	2000-3000	10-15
Caldera de Gasoil	2000-4000	1000-1500	2500-4000	15-20
Electricidad	1000-2500	900-1800	1500-2500	10-15

[5] *Tabla 2. Impacto ambiental comparado con sistemas convencionales*

Hemos realizado un ejemplo de un VAR y TIR, teniendo en cuenta una inversión inicial de 6000, que la media de amortización de un sistema de aerotermia sin tener en cuenta las subvenciones y ayudas es de entre 5 a 12 años, un ahorro de 1106 € en comparación con el gas y una inflación en España del 2,7% más un riesgo del 5% lo que nos da una tasa de descuento de 7,7%

Tasa de descuento	7,7%	0,077
-------------------	------	-------

*Tabla 4. Tasa de descuento utilizada para el cálculo del VAN y el TIR*

Año	Flujo de caja
0	- 6.000,00 €
1	1.106,00 €
2	1.106,00 €
3	1.106,00 €
4	1.106,00 €
5	1.106,00 €
6	1.106,00 €
7	1.106,00 €
8	1.106,00 €
9	1.106,00 €
10	1.106,00 €

Tabla 4. Tabla utilizada para el cálculo del VAN y el TIR

TIR	13%
VAN	1.413,95 €

Tabla 5. Resultado del cálculo del VAN y el TIR

Si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada para evaluar la inversión, entonces la inversión se considera rentable.

Un VAN positivo indica que la inversión es rentable, mientras que si sale negativo indicaría que la inversión no es rentable.

Por lo que se podría confirmar que estaríamos ahorrando y obteniendo beneficios económicos. Cabe la posibilidad de amortizarlo de una manera más rápida combinando la aerotermia con la energía solar fotovoltaica, con ello podía ahorrar un gran porcentaje de lo que consumía antes. Obviamente, para calcular cualquier precio y gasto en energía deberemos tener en cuenta los precios de las distintas tarifas de precios de la energía, ya sea regulada o precio fijo. Para ello deberemos estar muy atentos también a la variación de los precios y a las comercializadoras de energía.

## 5. Aplicaciones prácticas

Nuestra parte práctica se basa en automatizar los cálculos necesarios para la instalación de sistemas de aerotermia a nivel residencial. En una hoja de Excel, construimos una pequeña base de datos con temperaturas, zonas climáticas, datos de las bombas de calor que vamos a usar... y en la hoja principal vinculamos esos datos, con los diferentes tipos de cálculos para ver que potencias y energías son necesarias.

La hoja principal está dividida en cuatro partes principales:

En esta primera parte, se introducen unos parámetros, siendo estos: la superficie de la residencia en m<sup>2</sup>, la

provincia donde se encuentre esta, el uso de la calefacción (bajo, medio, alto), el equipo que queremos y la cantidad de estos. La hoja nos devolverá unos cálculos que ya están automatizados para saber la potencia y energía necesaria para poder calefactar la residencia.

Remarcados en naranja, serían los parámetros que nosotros tendríamos que escoger.

DATOS CALEFACCIÓN	
<b>DATOS DE LA INSTALACIÓN</b>	
Provincia	Ciudad Real
Zona climática (1)	C4
Temperatura mínima provincia (°C)	0
Temperatura confort (°C)	21
Superficie (m <sup>2</sup> )	120
Altura (m)	2,5
Tipo de instalación	Radiadores de baja temperatura
Temperatura máxima de impulsión (°C)	55
Equipo seleccionado	BC R290 9kW
Número de equipos	1
Uso calefacción	Medio (0,4)

En la segunda parte de la calculadora, podemos ver la potencia demandada que nos da según la temperatura exterior (ya parametrizada según localización). Llega hasta 20°C ya que consideramos que la temperatura de confort en una residencia son los 21°C.

Si la máquina, seleccionada con anterioridad, no es la adecuada (saltarán en rojo las temperaturas a las que no se podría llegar a la temperatura de confort, causadas por la falta de potencia), deberemos cambiar esta por una con más potencia o variar el número de equipos necesarios.

POTENCIA DEMANDADA Y GENERADA CALEFACCIÓN				
Temperatura exterior	Potencia demandada	Potencia máxima	Potencia mínima	Potencia apoyo
°C	kW	kW	kW	kW
-6,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	6,30	5,03	1,51	1,27
1,00	6,00	5,46	1,64	0,54
2,00	5,70	5,51	1,65	0,19
3,00	5,40	5,56	1,67	0,00
4,00	5,10	5,62	1,68	0,00
5,00	4,80	5,67	1,70	0,00
6,00	4,50	5,72	1,72	0,00
7,00	4,20	5,77	1,73	0,00
8,00	3,90	5,80	1,74	0,00
9,00	3,60	5,83	1,75	0,00
10,00	3,30	5,86	1,76	0,00
11,00	3,00	5,89	1,77	0,00
12,00	2,70	5,92	1,78	0,00
13,00	2,40	5,94	1,78	0,00
14,00	2,10	5,97	1,79	0,00
15,00	1,80	6,00	1,80	0,00
16,00	1,50	6,04	1,81	0,00
17,00	1,20	6,08	1,83	0,00
18,00	0,90	6,13	1,84	0,00
19,00	0,60	6,17	1,85	0,00
20,00	0,30	6,22	1,87	0,00

En la tercera parte de la hoja podemos encontrar desglosados todos los cálculos necesarios de manera

mensual y según la media de temperatura en esa provincia. Con estos datos podremos saber qué meses se consume más o menos.

**CONSUMO CALEFACCIÓN Y COMPARATIVA**

Mes	T Ambiente	Dias	Potencia demandada	Potencia generada	Energía demandada	Energía generada BC	Energía consumida BC	COP BC
			kW	kW	kWh	kWh	kWh	
Enero	6,5	31	4,35	5,77	1294,56	1294,56	430,09	3,01
Febrero	9,7	28	3,39	5,8604	911,23	911,23	278,90	3,27
Marzo	9,9	31	3,33	5,8604	991,01	991,01	303,32	3,27
Abril	11,9	30	2,73	5,92	786,24	786,24	228,56	3,44
Mayo	20,3	31	0,21	6,22	62,50	62,50	15,86	3,94
Junio	24,5	30	0	6,396	0,00	0,00	0,00	4,22
Julio	29,3	31	0	6,396	0,00	0,00	0,00	4,22
Agosto	27,6	31	0	6,396	0,00	0,00	0,00	4,22
Septiembre	21,7	30	0	6,308	0,00	0,00	0,00	4,08
Octubre	19,7	31	0,39	6,22	116,06	116,06	29,46	3,94
Noviembre	12,1	30	2,67	5,92	768,96	768,96	223,53	3,44
Diciembre	10,2	31	3,24	5,8604	964,22	964,22	295,12	3,27
Anual	17	365			5894,78	5894,78	1804,84	

Por último hicimos un resumen energético para saber el ahorro anual, energías consumidas... Y a parte, también hicimos una comparativa con otros sistemas de calefacción para saber el consumo y la huella de carbono que se producirían utilizando las mismas potencias y energías.

**RESUMEN**

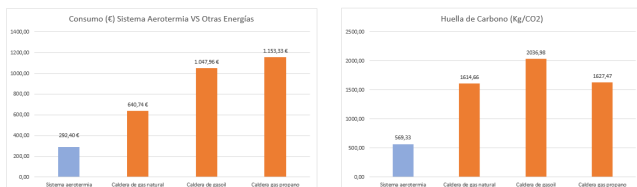
**RESUMEN CARGA TÉRMICA**

Demanda máxima de calefacción (kW)	6,30
Potencia generada BC máxima demanda (kW)	5,03
Energía demandada anual (kWh/año)	5894,78
Energía consumida BC (kWh/año)	1804,84

**RESUMEN ENERGÉTICO Y AHORRO**

Energía producida BC (kWh/año)	5894,78
Energía consumida BC (kWh/año)	1804,84
Energía aerotérmica (gratuita) (kWh/año)	4089,94
Ahorro energético anual	69,38%

**COMPARATIVA CONSUMO Y HUELLA DE CARBONO**



Para poner a prueba la calculadora, escogimos un edificio de 4 residencias, en la provincia de Barcelona y con un total de 338,88m<sup>2</sup> para saber que máquina tendríamos que utilizar y cuantas de ellas harían falta.



Este sería un ejemplo de los 4 pisos que hemos escogido. El resultado final ha sido que se necesitaban 2 bombas de calor de 15kW para poder llegar a calefactar los 4 pisos. En comparación a otras energías, el gasto anual era incluso cuatro veces más barato que utilizando otros sistemas de calefacción. Lo mismo pasaba con la huella de carbono, el sistema de aerotermia generaba tres veces menos kg/CO<sub>2</sub>, en comparación a los otros sistemas de calefacción

Finalmente, para el ejercicio práctico, hicimos un análisis de viabilidad económica a largo plazo entre el sistema de aerotermia y una caldera de gas natural. Para ello hicimos el TIR y el VAN a 10 años para comprobar la dicha viabilidad económica. Resultó positivo ya que el TIR ha sido superior a la Tasa de descuento.

AÑO	VALOR
0	- 7.200,00 €
1	1.045,26 €
2	1.045,26 €
3	1.045,26 €
4	1.045,26 €
5	1.045,26 €
6	1.045,26 €
7	1.045,26 €
8	1.045,26 €
9	1.045,26 €
10	1.045,26 €
VAN	2.837,93 €
TIR	7,4%
TASA DE DESCUENTO	3,5%

Por último, preparamos una entrevista con un profesional, David Martínez Vicente, Category Manager en Energías renovables y soluciones colectivas, trabajando para Groupe Atlantic.

En la entrevista le hicimos las siguientes preguntas:

1. ¿Para ti, qué es la aerotermia?
2. ¿Cuál es el estado actual del mercado de la aerotermia en nuestro país y cómo ha evolucionado en los últimos años?
3. ¿Cuáles son las principales barreras que encuentran los consumidores a la hora de adoptar la aerotermia?
4. ¿Crees que deberían existir más subvenciones o incentivos gubernamentales para la instalación de sistemas de aerotermia?

5. ¿Cómo ha afectado la reciente crisis energética y los aumentos en los precios de la electricidad al interés por la aerotermia?

6. ¿Cuáles son las expectativas económicas para esperar en los próximos años?

7. ¿Cuáles crees que son las perspectivas tecnológicas a esperar en los próximos años?

Las conclusiones que sacamos sobre estas preguntas fueron claras. La aerotermia es un sistema de calefacción el cual la gente desconoce a diferencia de otros sistemas. A día de hoy, el mercado está a la baja, ya que hasta hace poco hubo una burbuja causada por diferentes factores, como la guerra y la pandemia, pero se esperan subidas en el mercado. Se esperan cambios tecnológicos, sobre todo aquellos relacionados con los gases utilizados, ya que se busca un mayor rendimiento y la Unión Europea está poniendo prohibiciones respecto a ciertos gases ya que son tóxicos. También se están empezando a implantar nuevas ayudas gracias a subvenciones gubernamentales y los certificados de eficiencia energética.

## 6. Normativas y regulaciones

La implementación exitosa de sistemas de aerotermia en la actualidad no solo depende de su eficiencia técnica y económica, sino también de un entorno normativo y regulatorio que promueva su adopción y asegure su funcionamiento óptimo. En este sentido, el punto 6 de este trabajo se adentra en el complejo mundo de las normativas, certificaciones, incentivos y políticas que impactan directamente en el desarrollo y la utilización de sistemas de aerotermia.

Además de las normativas legales, en este apartado se analizarán las certificaciones y estándares de calidad que pueden obtener los sistemas de aerotermia. Estas certificaciones no solo son un indicador de la calidad del producto, sino que también pueden influir en la elegibilidad para ciertos incentivos y ayudas gubernamentales. [6]

En instalaciones que tienen que cumplir unos estándares de calidad y seguridad, se hace muy necesario tener en cuenta las normas UNE. Para ello veremos algunas de las normas presentes en los sistemas de aerotermia. [7]

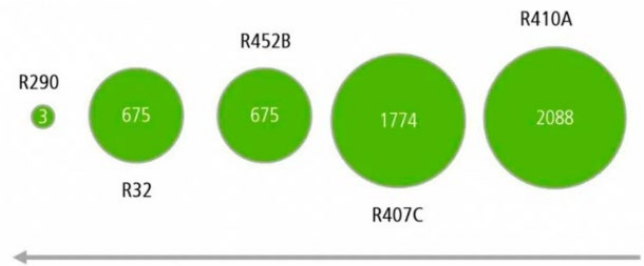
Por último, en este punto se examinarán los diferentes incentivos y políticas de fomento que existen a nivel local, regional y nacional para promover la adopción de sistemas de aerotermia. Desde subvenciones económicas hasta beneficios fiscales o programas de financiación, estas políticas pueden tener un impacto significativo en la viabilidad económica de la inversión en aerotermia.

## 7. Perspectivas Futuras

Antes de abordar las conclusiones y reflexiones finales, examinaremos las perspectivas futuras de la aerotermia. Este análisis se centrará en las tendencias emergentes y el desarrollo potencial en investigación, tecnología y mercado

que podrían transformar significativamente este campo en los próximos años.

Esta parte abordará las investigaciones actuales y los avances tecnológicos en el campo de la aerotermia. Se explorarán proyectos de investigación en curso que buscan mejorar la eficiencia, la fiabilidad y la versatilidad de los sistemas de aerotermia. Además, se discutirán posibles innovaciones tecnológicas que podrían surgir en el futuro y su impacto en la eficiencia energética y la sostenibilidad.



[8] Fig. 4. Potencial de Calentamiento Atmosférico de los distintos tipos de refrigerantes

También se examinarán las tendencias actuales y futuras en el mercado de la aerotermia. Se analizará el crecimiento del mercado, las preferencias de los consumidores, y otros factores que pueden influir en la adopción y el desarrollo de la aerotermia. Además, se discutirán posibles cambios en la demanda de sistemas de calefacción y refrigeración basados en aerotermia y cómo pueden afectar el mercado en el futuro.

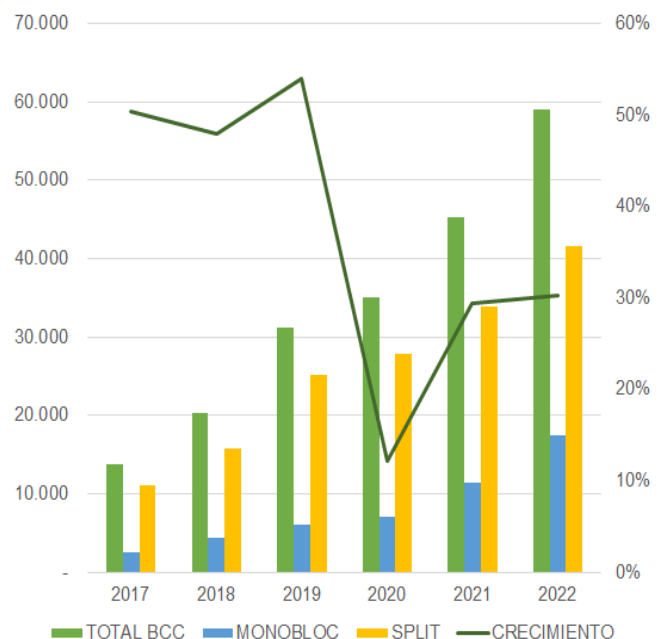


Fig. 5. Evolución del mercado de las bombas de calor

## 8. Conclusiones

Este proyecto ha explorado exhaustivamente la aerotermia como una alternativa innovadora para la optimización de sistemas de calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria. Hemos demostrado que la aerotermia, al utilizar energía del aire externo, ofrece una eficiencia energética significativamente superior en comparación con los sistemas convencionales basados en combustibles fósiles. Además, hemos evidenciado que, a pesar de las altas inversiones iniciales, los sistemas aerotérmicos pueden ser económicamente viables a largo plazo debido a su bajo consumo energético y menores costos operativos.

El estudio ha proporcionado un análisis detallado de los principios de funcionamiento de la aerotermia y su integración en sistemas residenciales y comerciales, contribuyendo así a un mejor entendimiento de sus capacidades y limitaciones. También hemos desarrollado una herramienta de cálculo que facilita la evaluación de la rentabilidad de estos sistemas en diversos escenarios, lo que representa una aportación práctica importante para futuros proyectos y estudios de ingeniería en el campo de la eficiencia energética.

A pesar de los avances presentados en este trabajo, existen limitaciones relacionadas con la dependencia de las condiciones climáticas que pueden afectar el rendimiento de los sistemas aerotérmicos. Además, la investigación se limitó a un número reducido de estudios de caso, lo que podría afectar la generalización de los resultados. Para futuras investigaciones, sería beneficioso expandir el estudio a diferentes climas y configuraciones de edificios para validar aún más la eficacia de la aerotermia en una gama más amplia de situaciones. Además, sería interesante explorar la integración de la aerotermia con otras tecnologías renovables para maximizar la sostenibilidad y la eficiencia energética.

## 9. Agradecimientos

Agradecemos sinceramente a nuestro tutor, Ramon, por su dedicación, orientación y apoyo durante la realización de este trabajo. Su experiencia, consejos y retroalimentación fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de este proyecto. Su compromiso y disposición para brindarnos su tiempo y conocimientos son invaluable. Gracias por inspirarnos a alcanzar nuestras metas académicas y por ser un guía excepcional a lo largo de este proceso de investigación.

¡Gracias por ser parte de este viaje académico!

Y a nivel personal, yo, Gabriel, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres por su inquebrantable apoyo, amor y sacrificio a lo largo de este viaje académico. Su constante aliento y respaldo han sido mi mayor fortaleza. Agradezco su comprensión, paciencia y sacrificio para que pudiera dedicarme plenamente a mis estudios. Su ejemplo de dedicación y valores familiares ha sido una inspiración constante para mí. Este logro no habría

sido posible sin su amor y apoyo incondicional. Gracias por estar siempre a mi lado.

Y a nivel personal yo, Mario, me gustaría agradecer a mis padres y a mi hermana, sobre todo a ella, por tener ese apoyo incondicional sobre mi persona. Siempre me han inculcado y me han transmitido unos valores de los cuales estoy muy orgulloso. Yo me he podido labrar un futuro y estar donde estoy a día de hoy gracias al esfuerzo que ellos han realizado. Les estaré agradecido de por vida. Gracias por todo

## Referencias

[1] [2] [en línea]. [consulta: marzo 2024]. Disponible en: <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo2p/carnot.html>

[3] [en línea]. [consulta: marzo 2024]. Disponible en: <https://retokommerling.com/aerotermia/>

[4] [en línea]. [consulta: abril 2024]. Disponible en: <https://www.businessinsider.es/calefaccion-pagaras-menos-factura-luz-2024-1358794>

[5] [en línea]. [consulta: abril 2024]. Disponible en: <https://amsisl.es/comparativa-aerotermia-vs-otros-sistemas/>

[6] [en línea]. [consulta: abril 2024]. Disponible en: <https://todoaerotermia.com/real-decreto-732-2019-nuevo-codigo-tecnico-edificacion/>

[7] [en línea]. [consulta: abril 2024]. Disponible en: <https://lasian.es/normas-une-aerotermia/>

[8] [en línea]. [consulta: mayo 2024]. Disponible en: <https://didascalía.es/r290-refrigerante-aerotermia/>