



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## ESTUDIO BASE PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA POBLACIÓN VULNERABLE A LA POBREZA ENERGÉTICA DE DIFERENTES ESCENARIOS DE DEMANDA TÉRMICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL A 2030 Y 2050.

Autor: Pablo Sánchez Villamor

Directores: Eva María Arenas Pinilla, José Carlos Romero Mora

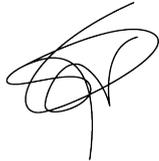
Coordinador: José Ignacio Linares Hurtado

Madrid

Agosto de 2020



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título “ESTUDIO BASE PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA POBLACIÓN VULNERABLE A LA POBREZA ENERGÉTICA DE DIFERENTES ESCENARIOS DE DEMANDA TÉRMICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL A 2030 Y 2050” en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2019-2020 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Pablo Sánchez Villamor

Fecha: 31/ Agosto / 2020

Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Eva María Arenas Pinilla

Fecha: 31/ Agosto / 2020

Fdo.: José Carlos Romero Mora

Fecha: 31/ Agosto / 2020





# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO BASE PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO EN  
LA POBLACIÓN VULNERABLE A LA POBREZA  
ENERGÉTICA DE DIFERENTES ESCENARIOS DE  
DEMANDA TÉRMICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL A  
2030 Y 2050.

Autor: Pablo Sánchez Villamor

Directores: Eva María Arenas Pinilla, José Carlos Romero Mora

Coordinador: José Ignacio Linares Hurtado

Madrid

Agosto de 2020



# ESTUDIO BASE PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA POBLACIÓN VULNERABLE A LA POBREZA ENERGÉTICA DE DIFERENTES ESCENARIOS DE DEMANDA TÉRMICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL A 2030 Y 2050

**Autor: Sánchez Villamor, Pablo.**

Directores: Arenas Pinilla, Eva María.

Romero Mora, José Carlos

Entidad Colaborativa: Cátedra de Energía y Pobreza, Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### Introducción

Según el informe “Pobreza energética en España 2018” realizado por la Asociación de Ciencias Ambientales, en el año 2016 “un total de 6,8 millones de personas, equivalente al 15% de la población de España, estarían sufriendo condiciones asociadas a la pobreza energética, es decir, con temperaturas inadecuadas en la vivienda o retraso en el pago de recibos, o ambos.”

Esta situación de pobreza lleva consigo una serie de riesgos, principalmente de salud. Está directamente relacionada con el exceso de mortalidad estacional (sobre todo en olas de frío y de calor), aumenta la prevalencia de enfermedades como infecciones respiratorias o asma y puede asociarse también con la ansiedad, la depresión y otros problemas de salud mental.

No resulta fácil abordar este problema; sin embargo, el Ministerio de Transición Ecológica de España propone 4 ejes sobre los que trabajar: (1) mejorar el conocimiento de la pobreza energética, (2) mejorar la respuesta frente a la situación actual de pobreza energética, (3) crear un cambio estructural para la reducción de la pobreza energética y (4) medidas de protección a los consumidores y concienciación social. Para llevar a cabo una estrategia de actuación a medio y largo plazo es indispensable tener una visión de cómo podrían afectar diferentes escenarios de transición energética a la población vulnerable a la pobreza energética, algo que no se encuentra explícitamente desarrollado en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC).

Este trabajo trata de recabar información y establecer una serie de valores que definan las características del sector térmico residencial para conocer las consecuencias sobre la población vulnerable a la pobreza energética de diferentes escenarios también propuestos en este trabajo.

Así, el documento pretende servir como base de un futuro trabajo en el que se realice la actualización del modelo MASTER.SO y puedan obtenerse resultados numéricos de las consecuencias que tendría para la población vulnerable vivir en uno de los escenarios propuestos.

## **Metodología**

En primer lugar, este trabajo realiza una revisión del estado del arte de las tecnologías empleadas para generar calor, agua caliente sanitaria (ACS) y frío en el sector residencial español. A partir de las tecnologías incluidas en el modelo MASTER.SO, se propone un listado final de las que protagonizan el mix de generación térmico español actual. Este proceso además se repite tanto para 2030 como para 2050. Para ello, el trabajo se basa en estudios de prospectiva realizados por diferentes instituciones que analizan las tecnologías que podrían llegar a tener importancia en el futuro para satisfacer dichas necesidades.

En segundo lugar, en este trabajo se ha realizado una profunda revisión de la normativa relativa al sector térmico residencial. En ella se establecen valores mínimos de rendimiento medio estacional que deben tener los diferentes equipos de los diferentes grupos. En los casos en los que las tecnologías no estaban reguladas directamente por la Unión Europea se ha recurrido a la legislación española.

En tercer lugar, se realiza una actualización de los rendimientos incluidos en el modelo MASTER.SO para las diferentes tecnologías. Para ello se ha llevado a cabo una transición de valores de rendimientos nominales a rendimientos medios estacionales de manera que el modelo pueda llegar a ser aún más preciso. Esta decisión además favorece la aplicación de la normativa europea, que trata con rendimientos de tipo estacional en todo momento. Además, para las nuevas tecnologías incluidas a partir del estudio de actualización y prospectiva se proponen valores de rendimiento basados en documentos de diferentes instituciones.

También se realiza una propuesta de cuatro escenarios a analizar: descarbonización, mantenimiento de políticas actuales, avance tecnológico acelerado y estancamiento secular. Para cada uno de ellos se definen unos valores de presencia en el mix de calefacción y de ACS de cada una de las tecnologías. Para ello se define también a partir de valores proporcionados por el Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), un mix actual.

Finalmente se realiza un análisis de la relación que guarda este trabajo con cada uno de los objetivos de desarrollo sostenible.

## **Resultados**

Los resultados obtenidos son, en primer lugar, una estimación de valores concretos de rendimientos de las diferentes tecnologías en los diferentes años de estudio.

En segundo lugar, también se han obtenido gracias a la realización de una propuesta del mix de cada uno de los escenarios, valores que determinan la presencia de cada una de las tecnologías en estos. Así, para los cuatro escenarios propuestos y analizados en este trabajo este documento presenta lo que podría ser un mix térmico residencial en los años 2020, 2030 y 2050 partiendo de valores actuales del mix.

Grupo	Tecnología	$\eta_{est}$ actual	$\eta_{est}$ 2030	$\eta_{est}$ 2050
<b>Calefacción</b>	Caldera gasóleo	69,7	75,1	78,7
	Caldera gasóleo colectiva	64,7	69,8	73,1
	Caldera gasóleo de condensación	85,6	92,7	97,7
	Caldera gasóleo de condensación colectiva	79,5	86,1	90,8
	Caldera de GN convencional	76,6	82,5	86,3
	Caldera de GN convencional colectiva	71,5	77	80,6
	Caldera de GN de baja Ta	80	-	-
	Caldera de GN de baja Ta colectiva	74,7	-	-
	Caldera de condensación de GN	94	100,4	105,8
	Caldera de condensación de GN colectiva	87,7	93,7	98,8
	Caldera convencional de GLP	74,7	80,5	84,4
	Caldera de GLP de baja Ta	80	-	-
	Caldera de condensación de GLP	91,8	99,4	104,8
	Calefacción resistiva eléctrica	100	100	100
	Bomba de calor aerotérmica	220,9	246,3	318,3
	Bomba de calor geotérmica	520,7	580,7	715,9
	Bomba de calor hidrotérmica	372,2	415,3	511,9
	Caldera de biomasa	69,6	70,3	71
	Caldera de biomasa colectiva	68,1	68,8	69,5
	Motor de combustión interna de gas	83,2	88,1	90,4
CHP con motor Stirling	85	89	95,8	
CHP con pilas de combustible	88,1	89	92,2	
<b>Refrigeración</b>	Bomba de calor aerotérmica	350	393,8	472,5
	Bomba de calor geotérmica	475,5	535	612,3
	Bomba de calor hidrotérmica	435,8	490,7	561,6
<b>ACS</b>	Calentador atmosférico de gas natural	73	75	77
	Calentador atmosférico de GLP (butano-propano)	73	75	77
	Calentador estanco de bajo NOx de gas natural	71	73	77
	Calentador estanco de bajo NOx de GLP (butano-propano)	71	73	77
	Calentador estanco de condensación de gas natural	90	91	92
	Calentador estanco de condensación de GLP (butano-propano)	90	91	92
	Termo eléctrico	36	37,3	39
	Bomba de calor	107	122,3	136
	Energía solar térmica	70	70	70
	Caldera gasóleo	70,5	76	79,6
Caldera gasóleo colectiva	65,4	70,5	73,9	

Grupo	Tecnología	$\eta_{est}$ actual	$\eta_{est}$ 2030	$\eta_{est}$ 2050
<b>Mixto (calefacción y ACS)</b>	Caldera gasóleo de condensación	84,1	91,1	95,9
	Caldera gasóleo de condensación colectiva	78,1	84,5	89,1
	Caldera de gas natural convencional	77,4	83,3	87,2
	Caldera de GN convencional colectiva	72,2	77,7	81,4
	Caldera de gas natural de baja Ta	80	-	-
	Caldera de gas natural de baja Ta colectiva	74,7	-	-
	Caldera de condensación de gas natural	92,2	98,6	103,9
	Caldera de condensación de GN colectiva	86,1	92	97
	Caldera convencional de GLP	75,5	81,3	85,3
	Caldera de GLP de baja Ta	80	-	-
	Caldera de condensación de GLP	90,1	97,5	102,8
	Caldera de biomasa	71,4	72,2	73
	Caldera de biomasa colectiva	71,4	72,2	73
	Bomba de calor aerotérmica	220,9	246,3	318,3
	Bomba de calor geotérmica	520,3	580,2	715,8
Bomba de calor hidrotérmica	372,6	415,1	511,8	

Tabla i: Valores de rendimientos medios estacionales estimados para las diferentes tecnologías

<b>CALEFACCIÓN Y MIXTO (calefacción y ACS)</b>	<b>Descarbonización</b>			<b>Mantenimiento políticas actuales</b>		<b>Avance tecnológico acelerado</b>		<b>Estancamiento secular</b>		
	<b>Tecnología</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Caldera gasóleo	12,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caldera de gas natural convencional	10,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup>	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caldera convencional de GLP	3,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	3,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caldera de biomasa	18,92	24,55	24,55	23,38	16,81	23,38	8,19	25	27	
Caldera gasóleo de condensación	2,25	2,25	0,83	2,25	1,62	2,25	0,79	2	2	
Caldera de condensación de GN	1,99	15,81	5,82	21,19	15,23	7,36	2,58	25	18	
Caldera de condensación de GLP	0,6	4,78	1,76	6,40	4,60	2,22	0,78	8	5	
Calefacción resistiva eléctrica	21,89	21,89	8,05	21,89	15,74	21,89	7,67	21,89	23,91	
Bomba de calor aerotérmica	13,66	17,72	20	16,88	20	16,88	25	18,14	19,81	
Bomba de calor geotérmica	-	7	22	6	15	15	30	-	3	
Bomba de calor hidrotérmica	-	3	8	2	5	5	10	-	1	
Motor de combustión interna	-	1	3	-	2	2	5	-	-	
CHP con motor Stirling	-	1	3	-	2	2	5	-	-	
CHP con pilas de combustible	-	1	3	-	2	2	5	-	-	

Tabla ii: Valores del mix propuesto del grupo Calefacción y Mixto

ACS	Descarbonización			Mantenimiento políticas actuales		Avance tecnológico acelerado		Estancamiento secular		
	Tecnología	2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Calentador atmosférico de GN	34,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calentar estanco de condensación de GN	4,97	9	6,63	9,97	8,44	7,83	6,03	10,49	10	
Calentador estanco de bajo NOx de GN	9,93	17,99	13,26	19,94	16,87	15,67	12,05	20,97	20,01	
Calentador atmosférico de GLP	13,77	-	-	-	-	-	-	-	-	
Calentador estanco de bajo NOx de GLP	1,97	3,56	2,63	3,95	3,34	3,10	2,39	4,15	3,96	
Calentador estanco de condensación de GLP	3,93	7,13	5,25	7,9	6,68	6,21	4,77	8,31	7,92	
Termo eléctrico	20,41	36,96	27,24	40,97	34,67	32,19	24,76	43,08	41,10	
Bomba de calor	-	5	10	2	5	10	15	-	2	
Energía solar térmica	10,26	20,36	35	15,26	25	25	35	13	15	

Tabla iii: Valores del mix propuesto del grupo ACS

## Conclusiones

A lo largo de este documento se comprueba que las decisiones y normativas políticas juegan un papel determinante en la evolución del sector térmico residencial y por tanto en la población vulnerable a la pobreza energética.

La mejora de eficiencia de las tecnologías y la innovación son parámetros clave para alcanzar un escenario en el que las emisiones se reduzcan al máximo. Hoy en día siguen existiendo en España calderas que utilizan carbón como combustible y a pesar de que se han iniciado planes para sustituirlas y evolucionar hacia la eficiencia, el camino hacia un escenario con mínimas emisiones es largo y complejo. A falta de analizar cuál de los escenarios planteará una mayor reducción de la población vulnerable a la pobreza energética podemos concluir que un escenario en el que se maximice innovación y eficiencia y se reduzcan emisiones será óptimo para el medio ambiente. Es en un futuro trabajo donde se tendrá que revisar si este escenario es viable económicamente y concilia todos los requisitos para ser también óptimo para los ciudadanos.

Esta labor compete a los organismos públicos, especialmente a la Unión Europea que ha venido regulando el sector en los últimos años. Las medidas y normativas que propone se caracterizan por su aplicación a largo plazo. Estas medidas no pueden ser estáticas, sino que deben estar en continua evaluación y revisión de manera que se adecuen a la realidad de cada momento. Esto tiene remarcada relevancia en este momento en el que hacemos frente a una pandemia mundial que traerá consecuencias económicas importantes y aumentará el riesgo de sufrir pobreza energética.

Además, no se puede olvidar el importante rol que juega también el sector privado, de donde procede la mayoría de la innovación, algo clave para alcanzar un escenario óptimo tanto económicamente como en lo que se refiere a emisiones.

Con respecto a las tecnologías de generación térmica residencial puede concluirse que:

- Las calderas convencionales y de baja temperatura dejarán de estar presentes en el mix de generación térmica residencial en los próximos 10 años, lo que dará lugar a un aumento de la presencia del resto de tecnologías en todos los escenarios que se quieran llegar a analizar.
- Los equipos de cogeneración empezarán a tener mayor protagonismo llegando a ser una parte representativa del mix de generación de calefacción residencial en los próximos años.
- Las bombas de calor, por su alta eficiencia, jugarán un papel fundamental en el futuro del sector térmico residencial debido a los altos rendimientos que presentan. Esta tecnología será por tanto un vector clave en el futuro del sector.
- Los calentadores atmosféricos dejarán de estar presentes en el mix de generación de ACS residencial en 2030. Se producirá una evolución del mix del grupo ACS hacia el resto de las tecnologías.

# BASE STUDY FOR THE ANALYSIS OF THE IMPACT OF DIFFERENT SCENARIOS OF THERMAL DEMAND IN THE RESIDENTIAL SECTOR IN 2030 AND 2050 ON THE POPULATION VULNERABLE TO ENERGY POVERTY

**Author: Sánchez Villamor, Pablo.**

Directors: Arenas Pinilla, Eva María.

Romero Mora, José Carlos

Collaborative Entity: Cátedra de Energía y Pobreza, Universidad Pontificia Comillas

## PROJECT SUMMARY

### Introduction

According to the report "Energy Poverty in Spain 2018" carried out by the Association of Environmental Sciences, in the year 2016 a total of 6.8 million people, equivalent to the 15% of the population in Spain, would be suffering conditions associated with energy poverty, meaning inadequate temperatures in the house or delay in the payment of bills, or both.

This situation of poverty involves a series of risks, mainly related to health. It is directly associated with the excess of seasonal mortality (especially in hot and cold waves), increases the prevalence of diseases such as respiratory infections or asthma, and can also be associated with anxiety, depression, and other mental health problems.

It is not easy to address this problem; however, the Ministry of Ecological Transition of Spain proposes 4 guiding principles: (1) improvement of knowledge of energy poverty, (2) improvement of the response to the current situation of energy poverty, (3) creation of a structural change for the reduction of energy poverty and (4) measures to protect consumers and create social awareness. In order to carry out a medium and long-term action strategy, it is essential to have a vision of how different energy transition scenarios could affect the vulnerable population to energy poverty, something that is not explicitly developed in the Spanish National Integrated Energy and Climate Plan.

This work tries to collect information and establishes a series of values that could define the characteristics of the residential thermal sector to know the consequences on the vulnerable population to energy poverty of different scenarios in the future. Those scenarios are also proposed in this work.

Thus, the document aims to serve as the basis for future work in which the update of the MASTER.SO model is carried out and numerical results could be obtained regarding the consequences of living in one of the scenarios for the vulnerable population.

## **Methodology**

First of all, this work carries out a review of the state of the art of the technologies used to provide heat, domestic hot water (DHW) and cooling in the Spanish residential sector. Based on the technologies included in the MASTER.SO model, a final list of those shaping the current Spanish thermal generation mix is proposed. This process is also repeated for the years 2030 and 2050. For this purpose, the work is based on prospective studies carried out by different institutions that analyze the technologies that could become important in the future to satisfy these needs.

Secondly, in this work a thorough review of the regulations relating to the residential thermal sector has been conducted. It establishes minimum values of average seasonal performance that the different devices of the different groups must have. In cases where technologies were not directly regulated by the European Union, Spanish law has been used.

Thirdly, an update of the performances included in the MASTER.SO model for the different technologies is made. To this end, a transition has been made from nominal to seasonal efficiency values so that the model can become even more precise. This decision also favors the application of European regulations, which always deals with seasonal efficiencies. In addition, for the new technologies included in the current and prospective study, performance values based on documents from different institutions are proposed.

A proposal of four scenarios to analyze is also made. For each of them, presence values are defined in the heating and DHW mix of each of the technologies. To do this, a current mix is defined from values provided by the IDAE.

Finally, an analysis of the relationship that this work has with each of the sustainable development goals is performed.

## **Results**

The results obtained are, in the first instance, specific efficiency values of the different technologies in the different years of the study.

Secondly, values that determine the presence of each of the technologies in the scenarios have also been obtained thanks to the realization of a proposal of the mix of each one of the scenarios. Thus, for the four scenarios proposed and analyzed in this work, this document presents what could be a residential thermal mix in the years 2030 and 2050 based on current mix values.

<b>Group</b>	<b>Technology</b>	<b>Actual seasonal efficiency</b>	<b>2030 seasonal efficiency</b>	<b>2050 seasonal efficiency</b>
<b>Heating</b>	Diesel boiler	69,7	75,1	78,7
	Central diesel boiler	64,7	69,8	73,1
	Diesel condensing boiler	85,6	92,7	97,7
	Central diesel condensing boiler	79,5	86,1	90,8
	Natural gas boiler	76,6	82,5	86,3
	Central natural gas boiler	71,5	77	80,6
	Natural gas low temperature boiler	80	-	-
	Central natural gas low temperature boiler	74,7	-	-
	Natural gas condensing boiler	94	100,4	105,8
	Central natural gas condensing boiler	87,7	93,7	98,8
	LPG conventional boiler	74,7	80,5	84,4
	LPG low temperature boiler	80	-	-
	LPG condensing boiler	91,8	99,4	104,8
	Electric heating	100	100	100
	Air-to-air heat pump	220,9	246,3	318,3
	Geothermal heat pump	520,7	580,7	715,9
	Water source heat pump	372,2	415,3	511,9
	Biomass boiler	69,6	70,3	71
	Biomass central boiler	68,1	68,8	69,5
	Gas-fired internal combustion engine	83,2	88,1	90,4
Stirling engine	85	89	95,8	
Fuel cells	88,1	89	92,2	
<b>Cooling</b>	Air-to-air heat pump	350	393,8	472,5
	Geothermal heat pump	475,5	535	612,3
	Water source heat pump	435,8	490,7	561,6
<b>DHW</b>	Natural gas atmospheric heater	73	75	77
	GLP atmospheric heater (butane-propane)	73	75	77
	Natural gas low NOx airtight heater	71	73	77
	LPG (butane-propane) low NOx airtight heater	71	73	77
	Natural gas condensing airtight heater	90	91	92
	LPG (butane-propane) condensing airtight heater	90	91	92
	Electric boiler	36	37,3	39
	Heat pump	107	122,3	136
Solar thermal energy	70	70	70	
<b>Heating and DHW</b>	Diesel boiler	70,5	76	79,6
	Central diesel boiler	65,4	70,5	73,9
	Diesel condensing boiler	84,1	91,1	95,9
	Central diesel condensing boiler	78,1	84,5	89,1
	Natural gas boiler	77,4	83,3	87,2
	Central natural gas boiler	72,2	77,7	81,4
	Natural gas low temperature boiler	80	-	-
	Central natural gas low temperature boiler	74,7	-	-

Group	Technology	Actual seasonal efficiency	2030 seasonal efficiency	2050 seasonal efficiency
	Natural gas condensing boiler	92,2	98,6	103,9
	Central natural gas condensing boiler	86,1	92	97
	LPG conventional boiler	75,5	81,3	85,3
	LPG low temperature boiler	80	-	-
	LPG condensing boiler	90,1	97,5	102,8
	Biomass boiler	71,4	72,2	73
	Biomass central boiler	71,4	72,2	73
	Air-to-air heat pump	220,9	246,3	318,3
	Geothermal heat pump	520,3	580,2	715,8
	Water source heat pump	372,6	415,1	511,8

Table i: Average seasonal efficiency values estimated for the different technologies

Heating and Heating&DHW	Decarbonization			Maintenance of current policies		Accelerated technological advance		Secular stagnation	
	2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Diesel boiler	12,09	-	-	-	-	-	-	-	-
Natural gas boiler	10,72	-	-	-	-	-	-	-	-
Natural gas low temperature boiler	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
LPG conventional boiler	3,23	-	-	-	-	-	-	-	-
LPG low temperature boiler	3,46	-	-	-	-	-	-	-	-
Biomass boiler	18,92	24,55	24,55	23,38	16,81	23,38	8,19	25	27
Diesel condensing boiler	2,25	2,25	0,83	2,25	1,62	2,25	0,79	2	2
Natural gas condensing boiler	1,99	15,81	5,82	21,19	15,23	7,36	2,58	25	18
LPG condensing boiler	0,6	4,78	1,76	6,40	4,60	2,22	0,78	8	5
Electric heating	21,89	21,89	8,05	21,89	15,74	21,89	7,67	21,89	23,91
Air-to-air heat pump	13,66	17,72	20	16,88	20	16,88	25	18,14	19,81
Geothermal heat pump	-	7	22	6	15	15	30	-	3
Water source heat pump	-	3	8	2	5	5	10	-	1
Gas-fired internal combustion engine	-	1	3	-	2	2	5	-	-
Stirling engine	-	1	3	-	2	2	5	-	-
Fuel cells	-	1	3	-	2	2	5	-	-

Table ii: Values of the proposed Heating and Heating&DHW group mix

ACS Technology	Decarbonization			Maintenance of current policies		Accelerated technological advance		Secular stagnation	
	2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Natural gas atmospheric heater	34,76	-	-	-	-	-	-	-	-
Natural gas condensing airtight heater	4,97	9	6,63	9,97	8,44	7,83	6,03	10,49	10
Natural gas low NOx airtight heater	9,93	17,99	13,26	19,94	16,87	15,67	12,05	20,97	20,01
GLP atmospheric heater (butane-propane)	13,77	-	-	-	-	-	-	-	-
LPG (butane-propane) low NOx airtight heater	1,97	3,56	2,63	3,95	3,34	3,10	2,39	4,15	3,96
LPG (butane-propane) condensing airtight heater	3,93	7,13	5,25	7,9	6,68	6,21	4,77	8,31	7,92
Electric boiler	20,41	36,96	27,24	40,97	34,67	32,19	24,76	43,08	41,10
Heat pump	-	5	10	2	5	10	15	-	2
Solar thermal energy	10,26	20,36	35	15,26	25	25	35	13	15

Table iii: Values of the proposed DHW group mix

## Findings and conclusions

Throughout this document, it is verified that political decisions and regulations play a determining role in the evolution of the thermal residential sector and therefore in the vulnerable population to energy poverty.

Improving the efficiency of technologies and innovation are key parameters to achieve a scenario in which emissions are reduced to the maximum. Today there are still boilers in Spain that use coal as fuel and even though plans have been initiated to replace them and evolve towards higher efficiency, the road towards a scenario with minimal emissions is long and complex. In the absence of analyzing which of the scenarios will lead to a greater reduction in the total population suffering energy poverty, we can conclude that a scenario in which innovation and efficiency are maximized and emissions are reduced will be optimal for the environment and thus for all citizens. It is in a future work that continues to this where it will have to be reviewed if this scenario is economically viable.

This task is the responsibility of political bodies, especially of the European Union, which has been regulating the sector in recent years. The measures and regulations it proposes are characterized by their long-term application. These measures cannot be static but must be continuously evaluated and reviewed so that they are adapted to the reality of each moment. This is highly relevant at this time when we are facing a global pandemic that will bring significant economic consequences and increase the risk of suffering from energy poverty.

In addition, it cannot be forgotten the important role played by the private sector. This is where most of the innovation comes from, which is key to achieving an optimal scenario both economically and in terms of emissions.

Regarding residential thermal generation technologies, it can be concluded that:

- Conventional and low-temperature boilers will no longer be present in the residential thermal generation mix in the next 10 years, which will lead to an increase in the presence of the rest of the technologies in all the scenarios to be analyzed.
- Cogeneration equipment will begin to have a greater role, becoming a representative part of the residential heating generation mix in the coming years.
- Heat pumps, due to their high efficiency, will play a fundamental role in the future of the residential thermal sector due to their high performances. This technology will therefore be a key vector in the future of the sector.
- Atmospheric heaters will no longer be present in the residential DHW generation mix in 2030. There will be an evolution of the ACS group mix towards the rest of the technologies.

# Tabla de contenidos

## Capítulo 1

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Prefacio .....	1
1.2 El modelo MASTER.SO. Estado de la cuestión .....	3
1.3 Motivación.....	5
1.4 Objetivos del proyecto.....	5
1.5 Metodología del trabajo.....	5
1.6 Recursos a emplear.....	6

## Capítulo 2

<b>Estudio actual y de prospectiva.....</b>	<b>7</b>
2.1 Documentos de referencia para el estudio de prospectiva.....	7
2.2 Tecnologías disponibles en el modelo MASTER.SO para satisfacer las demandas térmicas.....	8
2.3 Inclusión y actualización de tecnologías para el estudio actual y de prospectiva.....	9
2.3.1 Caldera gasóleo de condensación .....	9
2.3.2 Bombas de calor .....	9
2.3.2.1 Bomba de calor aerotérmica.....	10
2.3.2.2 Bomba de calor hidrotérmica .....	10
2.3.2.3 Bomba de calor geotérmica.....	10
2.3.3 Tecnologías de microgeneración .....	11
2.3.3.1 Microgeneración con motor de combustión interna de gas .....	11
2.3.3.2 Microgeneración con motor Stirling.....	11
2.3.3.3 Microgeneración mediante pilas de combustible .....	12
2.3.4 Equipos mixtos .....	13
2.3.5 Equipos ACS .....	13

---

2.3.6	Equipos colectivos.....	14
2.3.7	Tecnologías finales incluidas en el estudio de actualidad y prospectiva..	15
2.4	Definición del parámetro eficiencia .....	17
2.4.1	Eficiencia o rendimiento.....	17
2.4.1.1	Poder calorífico inferior y superior .....	17
2.4.1.2	Rendimiento estacional y rendimiento instantáneo.....	17
2.5	Normativa aplicable a las de tecnologías en el modelo.....	18
2.6	Estudio del grupo de calefacción.....	19
2.6.1	Requisitos de diseño .....	19
2.6.2	Parametrización de la eficiencia.....	22
2.6.2.1	Rendimientos nominales .....	22
I.	Calderas .....	22
II.	Caldera de biomasa.....	23
III.	Bombas de calor.....	24
A.	Aerotérmica.....	24
B.	Geotérmica .....	26
C.	Hidrotérmica.....	27
IV.	Microcogeneración .....	28
V.	Calefacción resistiva eléctrica .....	28
2.6.2.2	Rendimientos estacionales .....	29
I.	Calderas y caldera de biomasa.....	29
II.	Bombas de calor.....	30
III.	Microcogeneración .....	31
A.	CHP con motor de combustión interna de gas .....	31
B.	CHP con motor Stirling.....	32
C.	CHP con pilas de combustible.....	32
2.7	Estudio del grupo de refrigeración .....	32
2.7.1	Requisitos de diseño ecológico.....	32

---

2.7.2	Parametrización de la eficiencia .....	33
2.8	Estudio del grupo de ACS .....	35
2.8.1	Requisitos de diseño ecológico.....	35
2.8.2	Parametrización de la eficiencia .....	37
IV.	Rendimientos estacionales .....	37
2.9	Estudio del grupo mixto .....	38
2.9.1	Requisitos de diseño ecológico.....	38
2.9.2	Parametrización de la eficiencia .....	39

### **Capítulo 3**

<b>Escenarios.....</b>	<b>41</b>	
3.1	Mix de consumo térmico residencial actual .....	42
3.1.1	Grupo Calefacción y Mixto .....	42
3.1.2	Grupo ACS .....	44
3.1.3	Grupo refrigeración .....	46
3.2	Descarbonización.....	47
3.2.1	Contexto del escenario.....	47
3.2.1.1	Mix del grupo Calefacción y Mixto .....	47
3.2.1.2	Mix del grupo ACS .....	50
3.2.1.3	Mix del grupo Refrigeración .....	51
3.3	Mantenimiento de las políticas actuales .....	52
3.3.1.1	Mix del grupo Calefacción y Mixto .....	52
3.3.1.2	Mix del grupo ACS .....	55
3.4	Avance tecnológico acelerado .....	57
3.4.1	Contexto del escenario.....	57
3.4.1.1	Mix del grupo Calefacción y Mixto .....	57
3.4.1.2	Mix del grupo ACS .....	60
3.5	Estancamiento secular .....	62

3.5.1.1	Mix del grupo Calefacción y Mixto .....	62
3.5.1.2	Mix del grupo ACS .....	65
<b>Capítulo 4</b>		
<b>Conclusiones.....</b>		<b>67</b>
4.1	Listado de tecnologías actualizadas y valores de eficiencias .....	68
4.2	Mix térmico en los diferentes escenarios .....	72
<b>Capítulo 5</b>		
<b>Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas .....</b>		<b>77</b>
<b>Capítulo 6</b>		
<b>Bibliografía.....</b>		<b>85</b>

# Listado de figuras

Figura 1: Diagrama de Sankey del sistema energético español en 2009 [7]	3
Figura 2: Columnas en las que se puede dividir el diagrama de Sankey [7]	4
Figura 3: Etapas en el funcionamiento de un motor Stirling [36][36]	12
Figura 4: Pila de combustible para producción de electricidad, agua y calor	12
Figura 5: Evolución del valor del rendimiento nominal para calderas de biomasa [26][27]	24
Figura 6: Línea de tendencia del valor del COP promedio de las bombas de calor instaladas en España	26
Figura 7: SEERs de los equipos residenciales disponibles de aire acondicionado con bomba de calor en diferentes zonas geográficas	33
Figura 8: Evolución del SEER de los equipos de aire acondicionado con bomba de calor hasta 2050	34
Figura 9: Consumos de energía final por usos del sector residencial (%) en el año 2018. Calefacción	43
Figura 10: Representación del mix del grupo de calefacción actual en los hogares españoles	44
Figura 11: Consumos de energía final por usos del sector residencial (%) en el año 2018. ACS	45
Figura 12: Representación del mix del grupo de calefacción en 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en los hogares españoles en la actualidad.	46
Figura 13: Representación del mix del grupo Calefacción y Mixto en 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en los hogares españoles en el escenario de descarbonización.	47
Figura 14: Evolución del mix del grupo de calefacción en el escenario de descarbonización.	49
Figura 15: Representación del mix del grupo de ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de descarbonización	50
Figura 16: Evolución del mix del grupo de ACS en el escenario de descarbonización	51
Figura 17: Representación del mix del grupo de Calefacción y Mixto en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de mantenimiento de políticas actuales	53

---

Figura 18: Evolución del mix del grupo Calefacción y Mixto en el escenario de mantenimiento de políticas actuales	54
Figura 19: Representación del mix del grupo de ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de mantenimiento de políticas actuales	55
Figura 20: Evolución del mix del grupo de ACS en el escenario de mantenimiento de políticas actuales	56
Figura 21: Representación del mix del grupo Calefacción y Mixto en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de avance tecnológico acelerado	58
Figura 22: Evolución del mix del grupo de calefacción en el escenario de avance tecnológico acelerado	59
Figura 23: Representación del mix del grupo de ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de avance tecnológico acelerado	60
Figura 24: Evolución del mix del grupo de ACS en el escenario de avance tecnológico acelerado	61
Figura 25: Representación del mix del grupo de Calefacción y Mixto en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de estancamiento secular	63
Figura 26: Evolución del mix del grupo Calefacción y Mixto en en el escenario de estancamiento secular	64
Figura 27: Representación del mix del grupo ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de estancamiento secular	65
Figura 28: Evolución del mix del grupo ACS en el escenario de estancamiento secular	66

# Listado de tablas

Tabla 1 Evolución del valor de los 4 indicadores EPOV para medir la pobreza energética. [3] .....	2
Tabla 3: Clasificación de la eficiencia de los nuevos aparatos de calefacción [18].....	21
Tabla 4: Equivalencia entre clase de eficiencia energética y rendimientos medios estacionales para aparatos de calefacción [25] .....	21
Tabla 5: Información sobre la normativa que afecta al grupo de calefacción.....	22
Tabla 6: Valores de rendimiento nominal correspondientes a las calderas dentro del grupo de calefacción para la actualidad, 2030 y 2050. ....	23
Tabla 7: Valores de los factores de paso para obtener el rendimiento de equipos colectivos a partir del rendimiento de equipos individuales.....	23
Tabla 8: Valor del factor de paso para obtener el rendimiento de equipos gasóleo a partir del rendimiento de equipos de GLP .....	23
Tabla 9: Estimación del valor de rendimiento del equipo colectivo de biomasa a partir del rendimiento del equipo individual.....	24
Tabla 10: COP del parque de bombas de calor por sectores en España [14] .....	25
Tabla 11: COP del parque de bombas de calor por año de puesta en funcionamiento en España [14].....	25
Tabla 12: Evolución del COP promedio de las bombas aerotérmicas .....	26
Tabla 13: Cálculo del valor promedio actual del COP para la bomba geotérmica .....	27
Tabla 14: Cálculo del valor promedio del COP en 2030 para la bomba de calor geotérmica .....	27
Tabla 15: Cálculo del valor promedio del COP en 2050 para la bomba de calor geotérmica .....	27
Tabla 16: Cálculo del valor promedio actual del COP para la bomba hidrotérmica.....	27
Tabla 17: Cálculo del valor promedio del COP en 2030 para la bomba de calor hidrotérmica.....	27
Tabla 18: Cálculo del valor promedio del COP en 2050 para la bomba de calor hidrotérmica.....	28

---

Tabla 19: Valores de eficiencia nominal para las tecnologías del grupo de calefacción	29
Tabla 20: Factores de ponderación para sistemas de calefacción basados en calderas de combustión .....	29
Tabla 21: Rendimientos medios estacionales para las distintas calderas del grupo de calefacción .....	30
Tabla 22: Factores de ponderación aplicables a bombas de calor según la zona climática [15] .....	30
Tabla 23: Factores de corrección aplicables a bombas de calor según la zona climática [15] .....	30
Tabla 24: Rendimientos estacionales de diferentes tipos de bomba de calor.....	31
Tabla 25: Rendimientos estacionales del motor de combustión interna de gas .....	31
Tabla 26: Rendimientos estacionales del motor Stirling .....	32
Tabla 27: Rendimientos estacionales de la microgeneración con pilas de combustible .....	32
Tabla 28: Valores del valor del SEER de equipos de aire acondicionado y cálculo de factor de paso de mundial a España.....	34
Tabla 29: Calculo del valor del SEER de equipos geotérmicos e hidrotérmicos a partir del valor de SEER de equipos aerotérmicos y factores de paso.....	34
Tabla 30: Eficiencia mínima energética del caldeo de agua según perfil de carga declarados de 3XS a 4XL .....	35
Tabla 31: Eficiencia mínima energética del caldeo de agua según perfil de carga declarados de XXL a 4XL .....	35
Tabla 32: Valores de eficiencia energética de diferentes modelos de las tecnologías ACS .....	37
Tabla 33: Valores de rendimiento medio estacional para el grupo de ACS en los años 2020, 2030 y 2050 .....	38
Tabla 34: Valores de eficiencia mínima establecidos por la normativa para los diferentes perfiles de carga.....	38
Tabla 35: Valores de eficiencia mínima establecidos por la normativa para las tecnologías de calefacción del modelo MASTER .....	39
Tabla 36: Factores de paso para sistemas mixtos basados en calderas de combustión..	40

---

Tabla 37: Valores de rendimientos estacional para las tecnologías mixtas.....	40
Tabla 38:Tipos de sistema de calefacción en los hogares (%). Base: 16.504.809 hogares con calefacción individual .....	42
Tabla 39: Consumos de energía final por usos del sector residencial (ktep) en el año 2018. Calefacción .....	43
Tabla 40: Cálculo de aportación al mix final de las tecnologías del grupo calefacción.	43
Tabla 41: Consumos de energía final por usos del sector residencial (ktep) en el año 2018. ACS .....	45
Tabla 42: Cálculo de aportación al mix final de las tecnologías del grupo ACS .....	45
Tabla 43: Listado de tecnologías actualizadas y valores de eficiencias .....	71
Tabla 44: Valores del% de participación de cada tecnología al mix térmico del grupo Calefacción y Mixto para los diferentes escenarios .....	72
Tabla 45: Valores del % de participación de cada tecnología al mix térmico del grupo de ACS para los diferentes escenarios .....	73



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Prefacio

Para poder comprender la motivación y objetivos de este proyecto es necesario definir dos términos que van estrechamente ligados al mismo: pobreza energética y consumidor vulnerable.

De acuerdo con el Ministerio de Transición Ecológica, el termino **pobreza energética** hace referencia a “la situación en la que se encuentra un hogar en el que no pueden ser satisfechas las necesidades básicas de suministros de energía, como consecuencia de un nivel de ingresos insuficiente y que, en su caso, puede verse agravada por disponer de una vivienda ineficiente en energía.” [1].

De igual manera, el termino **consumidor vulnerable** se puede definir como “el consumidor de energía eléctrica o de usos térmicos que se encuentra en situación de pobreza energética, pudiendo ser beneficiario de las medidas de apoyo establecidas por las administraciones.” [1]

Para evaluar, entender y parametrizar el porcentaje de la población de los países miembros de la Unión Europea que se encuentra en una situación de pobreza energética o en riesgo de estarlo, el Observatorio Europeo de Pobreza Energética (EPOV) define 4 indicadores oficiales que pueden ser calculados para todos los Estados a partir de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) y de la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) de cada país:

1. “Gasto desproporcionado: indicador EPF que mide el porcentaje de población para el que los gastos reales en energía (como porcentaje respecto de los ingresos totales del hogar) está dos veces por encima de la mediana.” [2]
2. “Pobreza energética escondida: indicador EPF que mide el porcentaje de población para el que el gasto total en energía doméstica está por debajo de la mitad de la mediana nacional.” [2]
3. “Incapacidad para mantener la vivienda a una temperatura adecuada: porcentaje de población que se declara incapaz de mantener la vivienda a una temperatura adecuada (indicador ECV).” [2]

4. “Retraso en el pago de las facturas: porcentaje de población que declara retrasos en el pago de las facturas de la vivienda (indicador ECV).” [2]

Así, en las últimas mediciones de estos indicadores realizadas por el MITECO para la elaboración de la Estrategia Nacional en 2018, se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 1 para ese año y años anteriores:

<b>INDICADOR</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Gasto desproporcionado (% hogares)	16,6	16,7	17,3	16,9
Pobreza energética escondida (% hogares)	10,8	11,3	10,7	11,0
Tª inadecuada de la vivienda en invierno (% población)	10,6	10,1	8	9,1
Retraso en el pago de las facturas (% población)	8,8	7,8	7,4	7,20

Tabla 1: Evolución del valor de los 4 indicadores EPOV para medir la pobreza energética. [3]

Según el informe financiado por la Unión Europea “Pobreza energética en España 2018” realizado por la Asociación de Ciencias Ambientales, en el año 2016 “un total de 6,8 millones de personas, equivalente al 15% de la población de España, estarían sufriendo condiciones asociadas a la pobreza energética, es decir, con temperaturas inadecuadas en la vivienda o retraso en el pago de recibos, o ambos.” [2]. Este valor resulta de la yuxtaposición de ambos indicadores.

Esta situación de pobreza lleva consigo una serie de riesgos, principalmente de salud: está directamente relacionada con el exceso de mortalidad estacional (sobre todo en olas de frío y de calor), aumenta la prevalencia de enfermedades como infecciones respiratorias o asma y puede asociarse también con la ansiedad, la depresión y otros problemas de salud mental. También está relacionada con una serie de efectos indirectos sobre la salud y, según el Boletín de Vulnerabilidad social nº17 de Cruz Roja [4] tiene implicaciones de exclusión social como no disponer de dinero para gastos imprescindibles o absentismo escolar o laboral.

Por tanto, hacer frente a la pobreza energética es algo que cada vez tiene más presencia en la conciencia pública. Dada la naturaleza transversal de la pobreza energética, aparece reflejada en diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los ODS 1, 2 y 10 hacen referencia a ésta desde la perspectiva de la pobreza mientras que los objetivos 7, 11 y 13 lo hacen desde la parte de energía [5].

A la hora de hacer frente a la pobreza energética, el Ministerio de Transición Ecológica de España propone 4 ejes sobre los que trabajar: (1) mejorar el conocimiento de la pobreza energética, (2) mejorar la respuesta frente a la situación actual de pobreza energética, (3) crear un cambio estructural para la reducción de la pobreza energética y (4) medidas de protección a los consumidores y concienciación social. Para llevar a cabo una estrategia de actuación a medio y largo plazo es indispensable tener una visión de cómo podrían afectar diferentes escenarios de transición energética a la población vulnerable a la pobreza energética, algo que no se encuentra explícitamente desarrollado en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) [6].

## 1.2 El modelo MASTER.SO. Estado de la cuestión

El modelo **MASTER.SO** (Model for the Analysis of Sustainable Energy Roadmaps. Static Optimization version) se comenzó a desarrollar por el IIT en 2011 con **2 objetivos principales**: calcular el suministro energético para un país teniendo en cuenta consideraciones acerca de la sostenibilidad y presentar resultados de una manera fácil y entendible que facilitara el uso de la herramienta para los responsables políticos, que serán los responsables en última instancia de diseñar la estrategia de actuación.

El primer objetivo se presenta como algo estrictamente necesario en un mundo en el que la sostenibilidad toma cada vez mayor protagonismo. Para plantear escenarios realistas el modelo MASTER.SO incluye consideraciones como el coste social de emisiones de CO<sub>2</sub>. Así, para poder incluirlas, se desarrolló como un modelo de optimización utilizando programación lineal. La función objetivo desarrollada fue, por tanto, una medida de la sostenibilidad del suministro energético para que el modelo tuviese como misión maximizar la sostenibilidad siempre dentro de unas restricciones.

Para cumplir el segundo objetivo, el modelo MASTER.SO utiliza los diagramas Sankey como medio para representar el flujo energético de manera sencilla. De esta forma los resultados del modelo se presentan de una manera muy intuitiva y esquemática. Los diagramas muestran todos los flujos de energía del país: importaciones de energía primaria, consumo total de energía primaria, conversión de energía, exportaciones de energía final, transporte y distribución de energía final y, por último, consumo por sector. Entre las diferentes formas que puede tener un diagrama de Sankey, el modelo utiliza un diagrama anual, que muestra el sistema de energía español. En la Figura 1 puede verse el ejemplo del diagrama correspondiente al año 2009:

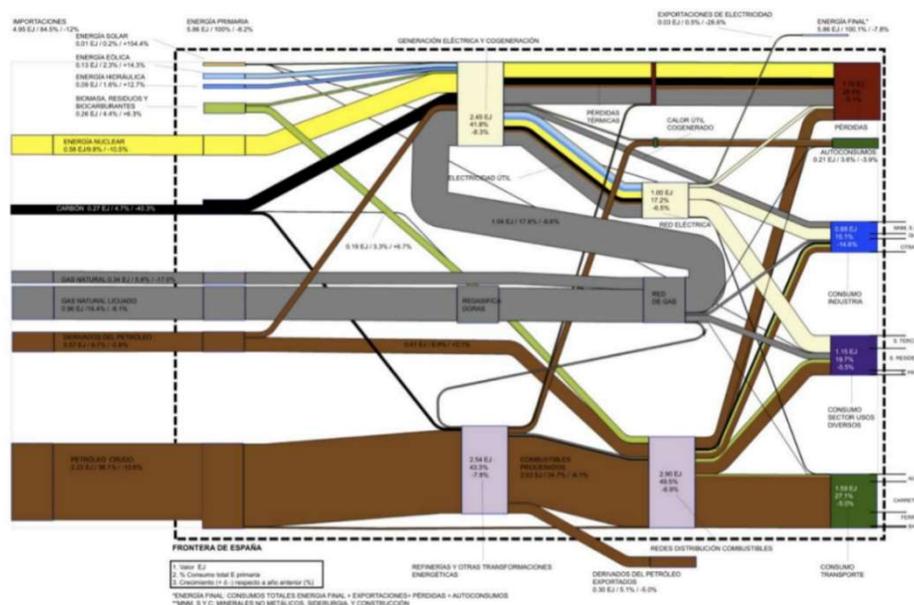


Figura 1: Diagrama de Sankey del sistema energético español en 2009 [7]

El diagrama de Sankey se puede representar también utilizando cajas y flujos de energía que van de unas a otras. Convertir cada una de estas cajas en un proceso concreto permite

que estos procesos puedan ser modelados como un elemento en el conjunto del modelo de optimización.

Por esta razón, el modelo MASTER.SO trabaja con un diagrama de Sankey dividido en 4 cajas, como el que se presenta en la Figura 2. Las 4 cajas representan los procesos que se suceden desde la obtención de energía primaria hasta su consumo:

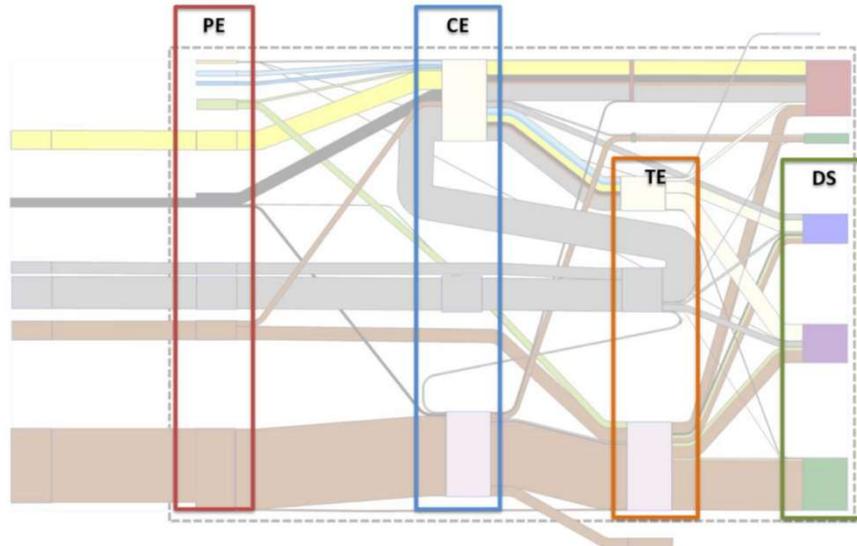


Figura 2: Columnas en las que se puede dividir el diagrama de Sankey [7]

La columna PE (Primary Energy) representa la cantidad total de cada tipo de energía primaria (nuclear, gas natural, renovables, ...) que es utilizada en el sistema energético del país. La columna CE (Conversion of Energy) representa el proceso de conversión de la energía, incluyendo la generación eléctrica en la parte superior, el refinamiento de petróleo en la parte inferior y el gas natural licuado. Las pérdidas y autoconsumos de estos procesos de conversión se representan en la parte superior derecha del diagrama. La columna TE (Transportation of Energy) se refiere a las redes de transporte y distribución que llevan la energía hasta el consumidor final. En la última columna DS (Demand Sectors) se representan los sectores económicos que demandan energía. En este caso se pueden diferenciar 3 sectores diferentes: en la parte superior, el sector industria; en el centro, "otros usos", que se refiere al uso residencial, servicios y sector primario; y en la parte inferior, el sector transporte. Esta columna DS, a su vez, encierra una quinta, que recoge la demanda, no de energía, sino de servicio energético en el país en un año. Para ello, el modelo define las ESST (Energy Service Supply Technologies), que representan las distintas tecnologías que pueden hipotéticamente cubrir cada demanda. Será en este ámbito donde se desarrollará la principal tarea de este proyecto.

Así, la representación del diagrama de Sankey utilizada en el modelo de optimización es una abstracción del esquema mostrado en las figuras anteriores.

En la primera fase de este proyecto se trabajará en la actualización de algunos parámetros del modelo relacionados con la manera en la que se satisface la demanda térmica residencial. Dentro del análisis de la demanda residencial del modelo se incluyen cada una de las tecnologías térmicas disponibles para obtener ACS, calefacción o aire acondicionado.

## 1.3 Motivación

Realizar un estudio de pobreza energética es fundamental para poder llevar a cabo una estrategia adecuada para reducirla. Trabajar con un modelo del sistema energético que sea capaz de crear escenarios futuros de suministro energético permite que este estudio pueda llevarse a cabo basándose en una serie de asunciones suficientemente válidas.

En un modelo capaz de simular situaciones en los años 2030 y 2050, es imprescindible realizar un seguimiento de los valores de entrada de cada una de las variables. Así, como la información obtenida acerca del avance en el desarrollo de cada una de las tecnologías, las nuevas políticas, los tipos de interés, etc., se debe actualizar el modelo año tras año, para ajustarse a la realidad de la mejor forma posible y poder obtener escenarios realistas.

## 1.4 Objetivos del proyecto

Los objetivos de este proyecto se pueden plasmar en las siguientes líneas de trabajo:

- Realizar una revisión y actualización de las tecnologías incluidas en el modelo MASTER.SO para satisfacer la demanda térmica a nivel doméstico en los años 2030 y 2050.
- Llevar a cabo un análisis de los valores de la eficiencia de las diferentes tecnologías que están llamadas a tener presencia en el futuro del suministro térmico residencial.
- Realizar una revisión de la normativa que afecte a las tecnologías presentes tras la actualización, llevada a cabo en el primer objetivo, para entender las limitaciones de estas.
- Definir unos escenarios base que permitan, en un próximo proyecto, realizar un análisis sobre el impacto sobre el consumidor vulnerable de cada uno de estos.
- Definir un mix térmico para cada uno de los escenarios anteriores.

## 1.5 Metodología del trabajo

Este proyecto se dividirá en 3 etapas bien diferenciadas:

En un primer momento, se realizará un estudio de prospectiva de las tecnologías empleadas en el suministro de demanda térmica en el sector residencial a 2030 y 2050. Para ello, se analizará que tecnologías están llamadas a formar parte del mix térmico residencial en la actualidad, 2030 y 2050, incluyendo y excluyendo algunas de las que

aparecen en el modelo MASTER.SO actual. Además, este estudio tendrá el objetivo de obtener el valor de eficiencia de cada una de las tecnologías necesario para modelarlas e incluirlas en el modelo.

En segundo lugar, se realizará una propuesta de posibles escenarios futuros y de la representación en el mix del suministro térmico residencial de cada una de las tecnologías del modelo de manera que pueda llevarse a cabo el modelado de estos escenarios y analizar su impacto sobre la población vulnerable.

Finalmente, para favorecer una futura continuación de este trabajo se realizará un análisis de las conclusiones y consideraciones de este documento de manera que con esto pueda realizarse la implementación en el modelo MASTER.SO y el análisis de los resultados de los distintos escenarios.

## **1.6 Recursos a emplear**

Para seguir la metodología de trabajo se deberá contar como punto de partida con fuentes de información fiables que cuenten con estudios de prospectiva acerca de las tecnologías para satisfacer demanda térmica residencial en los años 2030 y 2050. Para ello, el proyecto recopilará información de documentos de organismos tanto públicos, como el propio gobierno de España, como privados, que hayan realizado estudios sobre el tema.

Como herramienta, con el fin de obtener los valores actuales de los parámetros y poder llevar a cabo la actualización de éstos, se utilizará el modelo MASTER.SO desarrollado por el IIT.

# Capítulo 2

## Estudio actual y de prospectiva

El estudio actual y de prospectiva tiene como objetivo realizar un análisis acerca de las diferentes tecnologías presentes en el suministro térmico residencial en España y así servir como base para futuras actualizaciones del modelo MASTER.SO.

Además, para cada una de las tecnologías, tanto las nuevas como las inicialmente incluidas en el modelo, se investigará y establecerá el valor del parámetro eficiencia.

A partir de los resultados de este estudio se analizará la posibilidad de incorporar cada una de las nuevas tecnologías que no estén presentes en el modelo MASTER actual.

### 2.1 Documentos de referencia para el estudio de prospectiva

Para elaborar el estudio de prospectiva y obtener los valores de eficiencias de las diferentes tecnologías en los años 2030 y 2050 se han tomado como base diversos documentos a los que se hace referencia a lo largo de este capítulo. Sin embargo, gran parte del estudio se basa en tres documentos los cuales merece la pena introducir brevemente:

- “Technology pathways in decarbonisation scenarios”. Informe realizado para la Dirección General de Energía de la Comisión Europea como parte del proyecto ASSET (Advanced System Studies for Energy Transition), de la Unión Europea, que tiene por objetivo definir estudios que sirvan de apoyo para la toma de decisiones políticas incluyendo aquellas que tienen que ver con la innovación y el desarrollo. En concreto, este estudio pretende definir algunas de las asunciones necesarias para el modelo PRIMES, uno de los modelos que utiliza la Comisión Europea para estudiar escenarios que ilustren el potencial impacto de las políticas energéticas y climáticas. En el informe se definen las tecnologías que serán cruciales para alcanzar escenarios futuros de descarbonización y sus características.
- “Mapping and analyses of the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables)”. Es un estudio realizado por la Comisión Europea que consiste en cinco documentos (WP1-5) sobre el consumo de

combustible (WP1) y las tecnologías (WP2) utilizadas en el sector de calefacción y refrigeración en los países miembros de la Unión Europea. En este también se lleva a cabo un análisis de escenarios en 2020 y 2030 (WP3) y un análisis económico conjuntamente (WP4) donde se identifican los obstáculos, las mejores prácticas y las recomendaciones sobre políticas (WP5). En concreto, el documento WP2 ha servido de apoyo para definir parte de los parámetros de este capítulo.

- “The Future of Cooling Opportunities for energy efficient air conditioning”. Informe realizado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) que da información clave sobre las tendencias presentes y futuras de la refrigeración y propone respuestas políticas para lograr un camino al suministro futuro de la manera más sostenible basado en el incremento de eficiencias.

## 2.2 Tecnologías disponibles en el modelo MASTER.SO para satisfacer las demandas térmicas

En el modelo MASTER.SO se incluyen diferentes tecnologías para satisfacer la demanda térmica del sector residencial. Se dividen en 3 grupos: calefacción, refrigeración y ACS.

Las tecnologías incluidas dentro del grupo de **calefacción** son:

- Caldera **gasóleo**.
- Caldera de **gas natural** convencional.
- Caldera de **gas natural** de baja temperatura.
- Caldera de condensación de **gas natural**.
- Caldera convencional de **gas licuado de petróleo**.
- Caldera de **gas licuado de petróleo** de baja temperatura.
- Caldera de condensación de **gas licuado de petróleo**.
- Calefacción resistiva **eléctrica**.
- Bomba de calor.
- Caldera de **biomasa**.
- Microgeneración de energía y calor.
- Calefacción de distrito.

Dentro del grupo de tecnologías de **refrigeración** se encuentra:

- Bomba de calor reversible.

El grupo de **suministro de ACS** incluye las siguientes tecnologías:

- Caldera **gasóleo**.
- Caldera de **gas natural** convencional.
- Caldera de **gas natural** de baja temperatura.

- Caldera de condensación de **gas natural**.
- Caldera convencional de **gas licuado de petróleo**.
- Caldera de **gas licuado de petróleo** de baja temperatura.
- Caldera de condensación de **gas licuado de petróleo**.
- Calentamiento por resistencia **eléctrica**.
- **Biomasa**.
- **Solar** térmica.

Cada una de estas tecnologías está parametrizada en el modelo mediante 3 indicadores: eficiencia, emisiones y coste.

## 2.3 Inclusión y actualización de tecnologías para el estudio actual y de prospectiva

En este apartado se presentan las tecnologías no incluidas en el modelo MASTER.SO y se desdoblan algunas sí presentes que tienen un papel importante en el suministro térmico en la actualidad o podrían llegar a tenerlo en un futuro.

### 2.3.1 Caldera gasóleo de condensación

Las calderas de condensación aprovechan el vapor de agua producido en la combustión del hidrocarburo empleado como combustible y tienen por tanto unos rendimientos muy superiores a los de las calderas convencionales. Su presencia ya es notable en el escenario térmico actual y se prevé que lo sea cada vez más. Entre los hidrocarburos con los que puede funcionar una caldera de condensación se incluye el gasóleo. Las aplicaciones de esta tecnología son de calefacción a baja temperatura, como por ejemplo instalaciones de suelo radiante.

En el modelo MASTER.SO únicamente se presentaba una tecnología que funciona utilizando gasóleo como combustible: la caldera gasóleo convencional.

La “caldera gasóleo de condensación” al igual que el resto de las calderas de este tipo tiene un papel protagonista en el suministro térmico y por tanto se incluye como una nueva tecnología en el estudio actual y de prospectiva.

### 2.3.2 Bombas de calor

Una bomba de calor es una máquina térmica que transfiere calor de un foco frío a otro caliente con la aplicación de un trabajo relativamente pequeño. La gran ventaja que presentan las bombas de calor con respecto a otras tecnologías reside en su capacidad de

aprovechar la energía existente en el ambiente para calentar un espacio interior con una aportación relativamente pequeña de energía eléctrica<sup>1</sup>. [28]

El IDAE en su estudio sobre el parque de bombas de calor destinadas a satisfacer las necesidades del hogar [14] habla de bombas de calor aerotérmicas, hidrotérmicas y geotérmicas.

### 2.3.2.1 Bomba de calor aerotérmica

La bomba de calor aerotérmica es una maquina térmica que extrae la energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente a través del evaporador y lo transfiere al interior de un espacio. Es el tipo de bomba de calor más presente en el escenario térmico residencial actual.

### 2.3.2.2 Bomba de calor hidrotérmica

La bomba de calor hidrotérmica extrae calor del agua procedente de un río, subterránea o de un estanque para calentar un espacio interior. Ofrece rendimientos superiores a los de la bomba de calor aerotérmica y, aunque es mucho menos común, ya comienza a estar presente en algunas instalaciones en España.

### 2.3.2.3 Bomba de calor geotérmica

La bomba de calor geotérmica capta calor del suelo para transferirlo a un espacio interior. Es una tecnología muy presente en países del norte de Europa y Estados Unidos y está comenzando a difundirse en España. Se pueden diferenciar dos sistemas de bomba de calor geotérmica: de circuito cerrado y de circuito abierto. En los circuitos abiertos, el calor intercambiado se obtiene mediante la captación de un recurso hídrico subterráneo, como acuíferos, ríos o lagos subterráneos. En los circuitos cerrados, sin embargo, es un fluido caloportador dentro de una tubería el que lleva a cabo el intercambio generalmente con el suelo. Es la tecnología con mayores eficiencias dentro del grupo de bombas de calor y tiene un enorme potencial. [28]

En el modelo MASTER.SO se hacía referencia a estas tecnologías como “Bomba de calor con COP3” y “Bomba de calor con COP6”.

En el estudio de actualidad y prospectiva, que tiene por objetivo servir como base para futuras actualizaciones del modelo, se hablará de “Bomba de calor aerotérmica”, “Bomba de calor geotérmica” y “Bomba de calor hidrotérmica”. Además, de esta manera se consigue que el estudio se adecue a la normativa española y europea.

Dentro de cada una de estas clases no se diferenciará entre bombas de mayor o menor rendimiento ya que el IDAE facilita en su estudio [14] información sobre el COP promedio de las bombas de calor instaladas en el país y a partir de este valor se puede realizar un análisis preciso de estas tecnologías.

---

<sup>1</sup>: Además, existen otro tipo de bombas de calor que utilizan una fuente de energía diferente a la eléctrica, como por ejemplo el gas natural.

### 2.3.3 Tecnologías de microgeneración

Los equipos combinados de calor y electricidad son un elemento fundamental en la consecución de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de la Unión Europea. Esto se debe a que permiten producir simultáneamente calor para calefacción de espacios o producción de ACS y electricidad, lo que supone un mayor grado de utilización del combustible que si se produjesen por separado.

En el modelo MASTER.SO se presentaba una única versión de tecnologías de microgeneración que pretendía generalizar los diferentes tipos de equipos de microgeneración existentes.

Para poder llegar a obtener un modelo más preciso y representativo en el estudio de actualidad y prospectiva se actualizará esta tecnología dividiéndola en tres de las formas con más posibilidades de ser opciones de futuro de microgeneración [13]: “Microgeneración con motor de combustión interna de gas”, “Microgeneración con motor Stirling” y “Microgeneración mediante pilas de combustible”.

#### 2.3.3.1 Microgeneración con motor de combustión interna de gas

El motor de combustión interna de gas consiste en un motor de pistón en el que la combustión tiene lugar dentro del cilindro. El motor es impulsado por una mezcla de gas y aire que se comprimen y luego se encienden. Cuando se enciende, la mezcla de gas y aire se expande provocando el movimiento del pistón, que hace funcionar un generador eléctrico. El movimiento del pistón también da lugar a la compresión de la siguiente porción de gas y aire. El motor y los gases de escape se enfrían con agua y el agua calentada puede utilizarse para la calefacción de espacios.

#### 2.3.3.2 Microgeneración con motor Stirling

El motor Stirling, Figura 3, es un motor de pistón que se diferencia de los tradicionales porque la combustión se produce fuera del cilindro. El motor es impulsado por diferencias de temperatura entre las dos partes del motor, creadas por un calentamiento externo y por fuentes refrigerantes. Dentro del motor se encuentra un gas, como aire a presión o helio, que se mueve entre la parte caliente y la parte fría del motor mediante un sistema mecánico que comprende un pistón de desplazamiento acoplado a un pistón de trabajo. Cuando el gas se calienta al estar en el lado de mayor temperatura, se expande y empuja al pistón de trabajo. Cuando este pistón se mueve, fuerza al gas hacia la parte fría del motor donde se enfría y contrae. Como consecuencia de este proceso se obtiene

electricidad a la vez que calor para calefacción de espacios y ACS. Generalmente se utiliza gas natural como combustible.

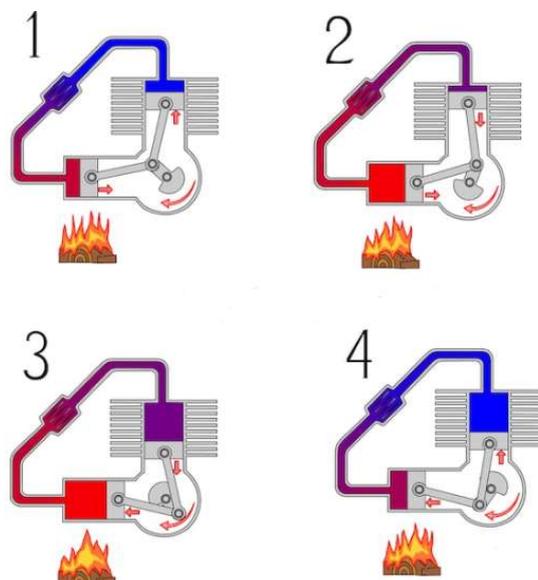


Figura 3: Etapas en el funcionamiento de un motor Stirling [36][36]

### 2.3.3.3 Microgeneración mediante pilas de combustible

Las pilas de combustible producen simultáneamente electricidad y calor mediante una reacción electroquímica entre oxígeno y combustible. En el proceso se aporta gas natural que se emplea para la producción de hidrógeno mediante un reformador<sup>1</sup>. Este hidrógeno al ser mezclado con el aire genera electricidad, ACS y calor para calefacción doméstica. La corriente resultante de esta reacción química es corriente continua por lo que es necesario un inversor DC/AC para convertirla en corriente alterna.

El hecho de ser una tecnología libre de emisiones indirectas la convierte en una gran apuesta para la generación térmica y eléctrica.

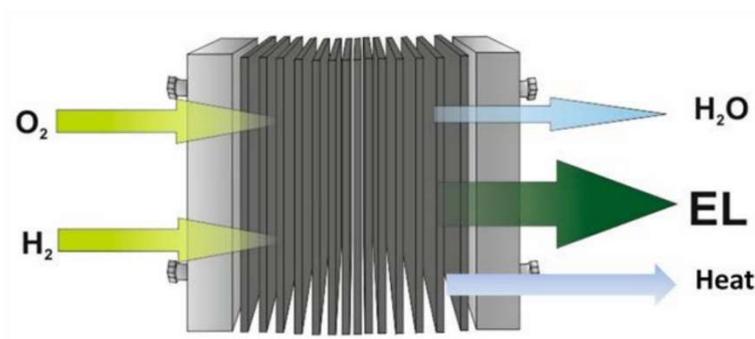


Figura 4: Pila de combustible para producción de electricidad, agua y calor

<sup>1</sup>: El hidrógeno obtenido a través de este proceso es conocido como hidrógeno azul. Por otro lado, se conoce como hidrógeno verde al que se obtiene a partir de un proceso de electrólisis limpio de emisiones, es decir, de la división de moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno utilizando una corriente eléctrica generada por renovables. Actualmente se está trabajando para incorporar el hidrógeno como fuente propia en el modelo MASTER, de manera que pueda ser generado en plantas locales y utilizado en todos los usos finales, especialmente en industria.

### 2.3.4 Equipos mixtos

Los equipos mixtos suministran tanto calor para calefacción de espacios como ACS. Su presencia en el suministro térmico español es notable y por tanto se considera necesario incluirlos en este estudio de prospectiva y actualidad.

Se establece por tanto un cuarto grupo llamado “Equipos mixtos” que incluirá las siguientes tecnologías:

- Caldera gasóleo mixta.
- Caldera gasóleo colectiva mixta.
- Caldera gasóleo de condensación mixta.
- Caldera gasóleo de condensación colectiva mixta.
- Caldera de gas natural convencional mixta.
- Caldera de gas natural convencional colectiva mixta.
- Caldera de gas natural de baja temperatura mixta.
- Caldera de gas natural de baja temperatura colectiva mixta.
- Caldera de condensación de gas natural mixta.
- Caldera de condensación de gas natural colectiva mixta.
- Caldera convencional de GLP mixta.
- Caldera de GLP de baja temperatura mixta.
- Caldera de condensación de GLP mixta.
- Caldera de biomasa mixta.
- Caldera de biomasa colectiva mixta.
- Bomba de calor aerotérmica mixta.
- Bomba de calor geotérmica mixta.
- Bomba de calor hidrotérmica mixta.

### 2.3.5 Equipos ACS

Al incluir un grupo de equipos mixtos, el grupo de ACS queda completamente desvinculado de la generación de calor para la calefacción de espacios. Por tanto, para realizar el estudio de actualidad y prospectiva se realizará una actualización completa del grupo para considerar equipos destinados únicamente a la producción de ACS.

Según el tipo de combustible que utilicen, los equipos se clasifican en [29][33][20]:

- Calentadores de gas: Calientan el agua gracias a la combustión de un gas, generalmente gas natural, propano o butano. Pueden ser de dos tipos según donde tenga lugar la combustión:
  - Atmosféricos: La combustión se realiza cogiendo el oxígeno de la habitación donde se ubica el calentador y los gases se extraen al exterior por una chimenea o por la fachada gracias a la diferencia de presión entre el calentador y el aire ambiente.

- Estancos: La combustión tiene lugar dentro de una cámara hermética, lo que los hace mucho más seguros, y la evacuación de gases se realiza con la ayuda de un ventilador. Necesitan aire del exterior para su funcionamiento y deben contar por tanto con conductos de evacuación para la admisión y expulsión de gases. Estos calentadores estancos son generalmente de bajo NOx para adaptarse a la normativa europea. También, aunque menos comunes, existen los de condensación que tienen un mayor rendimiento.
- Calentadores eléctricos: Calientan el agua gracias al efecto Joule a través de una resistencia eléctrica.
- Calentadores solares: Calientan el agua mediante un panel solar térmico.

A partir de esta clasificación y considerando los equipos empleados actualmente para el suministro de ACS y los que podrían llegar a emplearse en un futuro, el estudio de actualidad y prospectiva incluye en el grupo ACS:

- Calentador atmosférico de gas natural.
- Calentador atmosférico de GLP (butano- propano).
- Calentador estanco de bajo NOx de gas natural.
- Calentador estanco de bajo NOx de GLP (butano- propano).
- Calentador estanco de condensación de gas natural.
- Calentador estanco de condensación de GLP (butano- propano).
- Termo eléctrico.
- Bomba de calor.
- Energía solar térmica.

### 2.3.6 Equipos colectivos

Según el informe realizado por el IDAE en 2018 [21], en España hay un total de 17.199.630 hogares (viviendas ocupadas permanentemente). De estas, un total de 16.504.809 disponen de sistemas de calefacción individual. El resto de los hogares contarían con un sistema colectivo o directamente no dispondrían de calefacción. Así, el número de viviendas con equipos de calefacción colectiva, aunque menos representativo es también considerable.

Dentro de las tecnologías del modelo MASTER.SO no se diferenciaba entre equipos térmicos individuales y equipos colectivos. En este estudio de prospectiva se incluyen las tecnologías colectivas que tienen o pueden llegar a tener importancia en el suministro térmico del sector residencial. Como se ha comentado anteriormente, este estudio servirá como base para las actualizaciones futuras del modelo.

Las tecnologías en las que se diferenciará entre individual y colectiva son las siguientes:

- Grupo de calefacción: Las calderas de gas natural y gasóleo y la caldera de biomasa. Las bombas de calor no entran dentro de las tecnologías a actualizar ya que el IDAE ha realizado un estudio del parque de bombas nacional que presenta las medias de los tamaños y eficiencias de los equipos y se trabajará con una sola categoría en representación de las bombas de calor individuales y las colectivas.
- Grupo de refrigeración: Como los equipos de refrigeración del modelo son bombas de calor, se sigue el mismo razonamiento que con las bombas de calor del grupo de calefacción y por tanto no se diferenciará entre individual y colectiva.
- Grupo de ACS: No se incluyen en este grupo equipos colectivos por no ser común contar con este tipo de equipos dedicados exclusivamente a la generación de ACS.
- Grupo mixto calefacción-ACS: La distinción entre equipo individual y colectivo en esta categoría ya se ha tenido en cuenta en el apartado 2.3.4.

### 2.3.7 Tecnologías finales incluidas en el estudio de actualidad y prospectiva

La Tabla 2 muestra el resumen de tecnologías inicialmente incluidas en el modelo MASTER.SO y las que se incluirán finalmente en este estudio para posteriormente llevar a cabo la actualización del modelo:

Grupo	N.º	Tecnología en el modelo MASTER	Actualización
Calefacción	1	Caldera gasóleo	Ídem
	2	-	Caldera gasóleo colectiva
	3	-	Caldera gasóleo de condensación
	4	-	Caldera gasóleo de condensación colectiva
	5	Caldera de GN convencional	Ídem
	6	-	Caldera de GN convencional colectiva
	7	Caldera de GN de baja T <sup>a</sup>	Ídem
	8	-	Caldera de GN de baja T <sup>a</sup> colectiva
	9	Caldera de condensación de GN	Ídem
	10	-	Caldera de condensación de GN colectiva
	11	Caldera convencional de GLP	Ídem
	12	Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	Ídem
	13	Caldera de condensación de GLP	Ídem
	14	Calefacción resistiva eléctrica	Ídem
	15		Bomba de calor aerotérmica
	16	Bomba de calor con COP3	Bomba de calor geotérmica
	17	Bomba de calor con COP6	Bomba de calor hidrotérmica
	18	Caldera de biomasa	Ídem
	19	-	Caldera de biomasa colectiva
	20		Motor de combustión interna de gas
	21	Microgeneración	CHP con motor Stirling
	22		CHP con pilas de combustible

Grupo	N.º	Tecnología en el modelo MASTER	Actualización
Refrigeración	1	Bomba de calor con COP2	Bomba de calor aerotérmica
	2	Bomba de calor con COP6	Bomba de calor geotérmica
	3		Bomba de calor hidrotérmica
ACS	1	-	Calentador atmosférico de gas natural
	2	-	Calentador atmosférico de GLP (butano-propano)
	3	-	Calentador estanco de bajo NOx de gas natural
	4	-	Calentador estanco de bajo NOx de GLP (butano-propano)
	5	-	Calentador estanco de condensación de gas natural
	6	-	Calentador estanco de condensación de GLP (butano-propano)
	7	Termo eléctrico	Termo eléctrico
	8	-	Bomba de calor
	9	Energía solar térmica	Energía solar térmica
Mixto (calefacción y ACS)	1	-	Caldera gasóleo
	2	-	Caldera gasóleo colectiva
	3	-	Caldera gasóleo de condensación
	4	-	Caldera gasóleo de condensación colectiva
	5	-	Caldera de gas natural convencional
	6	-	Caldera de GN convencional colectiva
	7	-	Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup>
	8	-	Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup> colectiva
	9	-	Caldera de condensación de gas natural
	10	-	Caldera de condensación de GN colectiva
	11	-	Caldera convencional de GLP
	12	-	Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>
	13	-	Caldera de condensación de GLP
	14	-	Caldera de biomasa MIXTA
	15	-	Caldera de biomasa colectiva MIXTA
	16	-	Bomba de calor aerotérmica MIXTA
	17	-	Bomba de calor geotérmica MIXTA
	18	-	Bomba de calor hidrotérmica MIXTA

Tabla 2 Tecnologías térmicas incluidas en el estudio de actualidad y prospectiva.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: Además, en el modelo MASTER inicial se incluía la calefacción de distrito. Se ha decidido no incluirla porque se considera que al implicar instalaciones de gran escala como conducciones de tubería que distribuyan el calor a diferentes edificios y tener una gran variabilidad en cuanto al tipo de central generadora, no se puede hacer una generalización sencilla de sus características.

## 2.4 Definición del parámetro eficiencia

### 2.4.1 Eficiencia o rendimiento

El rendimiento o eficiencia es el primer parámetro con el que se caracterizarán cada una de las tecnologías térmicas disponibles en los diferentes años. El rendimiento se puede definir como la cantidad de calor exportado por el fluido (agua, vapor, etc.) dividida entre la energía entrante [9].

Existen diferentes definiciones de rendimiento y de formas de medirlo que condicionarán el valor obtenido y que se empleará en la parametrización de las tecnologías. Por esto, es importante aclarar sobre qué tipo de rendimiento se quiere trabajar. Para ello, se priorizará la precisión del modelo y se seguirá la línea de trabajo establecida por la Unión Europea, responsable de la regulación de las tecnologías sobre las que trabaja el modelo.

#### 2.4.1.1 Poder calorífico inferior y superior

La eficiencia de los sistemas que se alimentan de un combustible puede medirse sobre el poder calorífico superior (PCS) o sobre el poder calorífico inferior (PCI). “El PCS considera que el vapor de agua generado en la combustión está condensado y por lo tanto tiene en cuenta el calor generado por el cambio de fase; mientras que, en el caso del poder calorífico inferior, no se tiene en cuenta el aporte de calor por la condensación del vapor de agua”. [10] Elegir un valor u otro será importante, por ejemplo, para determinar el rendimiento de las calderas de condensación que podrá llegar a superar el 100% si se trabaja con el PCI.

La Unión Europea define como consumo anual de energía “*el consumo energético necesario para satisfacer la demanda anual de calefacción de referencia para una temporada de calefacción designada, expresado en kWh en términos de GCV (valor calorífico bruto) [...]*” [11]. Se puede ver como para el cálculo del rendimiento se utiliza el valor del poder calorífico superior por lo que no tendrá sentido hablar de rendimientos superiores al 100% en las calderas de condensación. Sin embargo, sí será válido hablar de rendimientos superiores al 100% en el caso de las bombas de calor, por el propio funcionamiento de estas.

#### 2.4.1.2 Rendimiento estacional y rendimiento instantáneo

El rendimiento puede ser estacional o instantáneo. La diferencia entre ambos radica en que el instantáneo equivale al obtenido en las pruebas estáticas en laboratorio (rendimiento puntual en unas condiciones concretas) y el estacional al valor promedio (normalmente anual) cuando se usa en circunstancias reales (rendimiento en condiciones variables de demanda y funcionamiento).

En la última versión del modelo MASTER.SO, se trabajaba con valores de rendimiento nominal (instantáneo) de equipos ya que en el momento en que se inició el proyecto era

más habitual hacer referencia a este tipo de rendimiento y resultaba una simplificación no muy alejada de la realidad.

Para obtener un modelo aún más preciso, este trabajo lleva cabo una transición de valores de rendimiento instantáneo a valores de rendimiento estacional tanto en la actualidad como en el estudio de prospectiva. Además, esta decisión hace posible la aplicación de la normativa europea actual que establece requisitos sobre eficiencias estacionales mínimas para aparatos térmicos que permitirán descartar alguna de las tecnologías para escenarios del modelo en 2030 y 2050.

La obtención del valor de los rendimientos estacionales se realiza de una de las siguientes maneras:

- Siguiendo la metodología propuesta por el gobierno de España en el documento “Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas” [23]. En este, se establecen unos factores de corrección para pasar de rendimiento nominal a rendimiento medio estacional ( $\eta_s$ ) para las diferentes tecnologías térmicas.
- Obteniendo directamente a través de catálogos de fabricantes el rendimiento estacional, cuya presencia en las etiquetas energéticas es obligatoria por normativa de la Unión Europea.

## 2.5 Normativa aplicable a las de tecnologías en el modelo

Conocer la normativa sobre eficiencias estacionales mínimas y sobre emisiones máximas permite conocer qué tecnologías térmicas dejarán de estar presentes en los próximos años.

Los reglamentos que afectan a los diferentes grupos son los siguientes:

- Grupo de calefacción:
  - “REGLAMENTO (UE) No 813/2013 DE LA COMISIÓN de 2 de agosto de 2013 por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados” [11]
  - “REGLAMENTO DELEGADO (UE) No 811/2013 DE LA COMISIÓN de 18 de febrero de 2013 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de aparatos de calefacción, calefactores combinados, equipos combinados de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y equipos combinados de calefactor combinado, control de temperatura y dispositivo solar.” [25]

- “Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.” [16]
- Grupo de refrigeración:

La tecnología dentro de este grupo es la bomba de calor, que está incluida también en el grupo de calefacción y por tanto se verá condicionada por la misma normativa. Como se ve más adelante, las bombas de calor son equipos altamente eficientes que superan ampliamente los requisitos mínimos establecidos por los reglamentos.

- Grupo de ACS:
  - “REGLAMENTO (UE) no 814/2013 DE LA COMISIÓN, de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente.” [34]
  - “REGLAMENTO DELEGADO (UE) No 812/2013 DE LA COMISIÓN de 18 de febrero de 2013 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar”. [35]
- Grupo mixto:

Tanto la normativa aplicable al grupo de calefacción como la que afecta al grupo de ACS incluyen aspectos que afectan al grupo mixto.

## 2.6 Estudio del grupo de calefacción

### 2.6.1 Requisitos de diseño

La normativa europea actual elaborada por la Directiva ErP (Energy Related Products) entró en vigor el 26 de septiembre de 2015 y su ámbito de aplicación incluye los aparatos de calefacción y los calefactores combinados; por tanto, se refiere a los grupos calefacción y mixto.

Esta normativa establece unos valores mínimos que deben alcanzar la eficiencia de todos los aparatos fabricados a partir de unas determinadas fechas. Las diferentes normas establecidas que se refieren a alguna de las tecnologías de calefacción incluidas en el modelo MASTER son [11]:

A partir del 26 de septiembre de 2015:

- “Aparatos de calefacción con caldera de combustible con una potencia calorífica nominal  $\leq 70$  kW y calefactores combinados con caldera de combustible con una potencia calorífica nominal  $\leq 70$  kW [...]: La eficiencia energética estacional de calefacción de espacios no podrá ser inferior al 86 %.”
- “Aparatos de calefacción con caldera de combustible con una potencia calorífica nominal  $> 70$  kW e  $\leq 400$  kW y calefactores combinados con caldera de combustible con una potencia calorífica nominal  $> 70$  kW e  $\leq 400$  kW: La eficiencia útil al 100 % de la potencia calorífica nominal no podrá ser inferior al 86 % y la eficiencia útil al 30 % de la potencia calorífica nominal no podrá ser inferior al 94 %.”

A partir del 26 de septiembre de 2017:

- “Aparatos de calefacción con caldera eléctrica y calefactores combinados con caldera eléctrica: La eficiencia energética estacional de calefacción de espacios no podrá ser inferior al 36 %.”
- “Aparatos de calefacción de cogeneración: La eficiencia energética estacional de calefacción de espacios no podrá ser inferior al 100 %.”
- “Aparatos de calefacción con bomba de calor y calefactores combinados con bomba de calor, a excepción de las bombas de calor de baja temperatura: La eficiencia energética estacional de calefacción de espacios no podrá ser inferior al 110 %.”
- “Bombas de calor de baja temperatura: La eficiencia energética estacional de calefacción de espacios no podrá ser inferior al 125 %.”

Además, define ‘Eficiencia energética estacional de calefacción de espacios’ ( $\eta_s$ ) como: “la relación entre la demanda de calefacción de espacios para una determinada temporada de calefacción, suministrada por un calefactor, y el consumo anual de energía necesario para satisfacer dicha demanda, expresada en %.” [11]

Esta normativa no es aplicable a la generación térmica por medio de biomasa. Sin embargo, el reglamento de instalaciones de los edificios (RITE) hace referencia a ésta y fija un valor mínimo para su rendimiento:

- “En el caso de generadores de calor que utilicen biomasa el rendimiento mínimo instantáneo exigido será del 80 por ciento a plena carga, salvo las estufas e insertables de combustible de leña, cuyo rendimiento mínimo será del 65 por ciento.” [16]

Según los factores de ponderación establecidos por el gobierno español [24], este rendimiento instantáneo de 80% equivaldría a un rendimiento medio estacional de aproximadamente un 60%.

Por otro lado, la Unión Europea hace una clasificación de la eficiencia de los nuevos aparatos de calefacción como la que se muestra en la Tabla 3.

Además, también existe una normativa [25] en la que se establece la correspondencia entre la clase de eficiencia energética estacional y el valor de eficiencia energética estacional para los aparatos de calefacción y que se muestra en la Tabla 4.

<b>A+++</b>	Paquetes que emplean las renovables
<b>A++</b>	Bombas de calor (renovable) Mejor caldera de biomasa (renovable)
<b>A+</b>	Cogeneración de gas
<b>A</b>	Calderas de condensación de gas
<b>B</b>	
<b>C</b>	Calderas de gas sin condensación
<b>D</b>	Resistencia eléctrica

Tabla 3: Clasificación de la eficiencia de los nuevos aparatos de calefacción [18]

Clase de eficiencia energética estacional de calefacción	Eficiencia energética estacional de calefacción $\eta_s$ en %
A+++	$\eta_s \geq 150$
A++	$125 \leq \eta_s < 150$
A+	$98 \leq \eta_s < 125$
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G	$\eta_s < 30$

Tabla 4: Equivalencia entre clase de eficiencia energética y rendimientos medios estacionales para aparatos de calefacción [25]

Por tanto, a partir de la Tabla 3 y la Tabla 4 y con la normativa acerca de las eficiencias mínimas estacionales para aparatos de calefacción de obligado cumplimiento a partir de 2015 y habiendo establecido una vida media de las tecnologías de 15 años, se puede prever la presencia o no de algunas de las tecnologías de calefacción en el año 2030 y 2050.

En la Tabla 5 se muestran las conclusiones referentes a las tecnologías de calefacción incluidas en el estudio de actualidad y prospectiva tras analizar cada uno de los puntos expuestos anteriormente.

Tecnología en el modelo	Calificación energética	Rango de $\eta_s$ según UE [25]	$\eta_s$ mínimo	Presencia en 2030
Caldera gasóleo	C	75-82%		NO
Caldera gasóleo colectiva	C	75-82%		NO
Caldera gasóleo de condensación	-	-		SI
Caldera gasóleo de condensación colectiva	-	-		SI
Caldera de GN convencional	C	75-82%	86%	NO
Caldera de GN convencional colectiva	C	75-82%		NO
Caldera de GN de baja T <sup>a</sup>	C	75-82%		NO
Caldera de GN de baja T <sup>a</sup> colectiva	C	75-82%		NO
Caldera de condensación de GN	A	90-98%		SI

Caldera de condensación de GN colectiva	A	90-98%		SI
Caldera convencional de GLP	C	75-82%		NO
Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	C	75-82%		NO
Caldera de condensación de GLP	A	90-98%		SI
Calefacción resistiva eléctrica	-	-	-	SI
Bomba de calor aerotérmica	A++	125-150%	110 - 125%	SI
Bomba de calor geotérmica	A++	125-150%	110 - 125%	SI
Bomba de calor hidrotérmica	A++	125-150%	110 - 125%	SI
Caldera de biomasa	-	-	60%	SI
Caldera de biomasa colectiva	-	-	69%	SI
CHP con motor de combustión interna de gas	A+	98-125%	100%	SI
CHP con motor Stirling	A+	98-125%	100%	SI
CHP con pilas de combustible	A+	98-125%	100%	SI

Tabla 5: Información sobre la normativa que afecta al grupo de calefacción.

## 2.6.2 Parametrización de la eficiencia

En primer lugar, siguiendo la metodología del gobierno de España [24], se presentarán los rendimientos nominales de los distintos equipos de calefacción y a través de los factores de corrección se obtendrán los rendimientos medios estacionales.

### 2.6.2.1 Rendimientos nominales

#### I. Calderas

Como se ha visto en el apartado anterior, la normativa restringe la comercialización de las calderas convencionales y de baja temperatura por no cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética y por tanto para los escenarios de 2030 y 2050 solo tendrá sentido hablar de calderas de condensación. Sí será necesario obtener los valores actuales de todos los tipos de calderas.

Los valores de rendimiento nominal y las fuentes empleadas para su cálculo se presentan en la Tabla 6:

Tecnología	Eficiencia (%)			
	MASTER	2020	2030	2050
Caldera gasóleo	65	71,8 <sup>3</sup>	77,4 <sup>3</sup>	81,2 <sup>3</sup>
Caldera gasóleo colectiva	-	66,7 <sup>2</sup>	-	-
Caldera gasóleo de condensación	-	79,3 <sup>3</sup>	85,8 <sup>3</sup>	90,5 <sup>3</sup>
Caldera gasóleo de condensación colectiva	-	73,6 <sup>2</sup>	79,7 <sup>2</sup>	84 <sup>2</sup>
Caldera de gas natural convencional	70	79 <sup>1</sup>	85 <sup>1</sup>	89 <sup>1</sup>
Caldera de gas natural convencional colectiva	-	73,7 <sup>2</sup>	79,3 <sup>2</sup>	83,1 <sup>2</sup>
Caldera de gas natural de baja T <sub>a</sub>	80	80 <sup>4</sup>	-	-
Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup> colectiva	-	74,7 <sup>2</sup>	-	-

Tecnología	MASTER	Eficiencia (%)		
		2020	2030	2050
Caldera de condensación de gas natural	90	87 <sup>1</sup>	93 <sup>1</sup>	98 <sup>1</sup>
Caldera de condensación de gas natural colectiva	-	81,2 <sup>2</sup>	86,8 <sup>2</sup>	91,5 <sup>2</sup>
Caldera convencional de GLP	70	77 <sup>1</sup>	83 <sup>1</sup>	87 <sup>1</sup>
Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	80	80 <sup>4</sup>	-	-
Caldera de condensación de GLP	90	85 <sup>1</sup>	92 <sup>1</sup>	97 <sup>1</sup>

Tabla 6: Valores de rendimiento nominal correspondientes a las calderas dentro del grupo de calefacción para la actualidad, 2030 y 2050.

1. Informe TPIDS [12]
2. La eficiencia de los equipos colectivos se calcula a partir de la eficiencia de los equipos individuales, multiplicando esta última por un factor de paso a colectivo cuya estimación se muestra en la Tabla 7.
3. El cálculo de la eficiencia se ha realizado a partir de la eficiencia del equipo “Caldera convencional de GLP”, multiplicando este valor por un factor de paso a gasóleo cuya estimación se muestra en la Tabla 8.
4. El valor se ha tomado directamente del modelo MASTER.

<b><math>\eta</math> nominal de equipo según IDAE [30]</b>			
	Individual	Colectivo	Factor de paso a colectivo
GLP	75	70	0,933
Gasóleo	70	65	0,928
Gas N	75	70	0,933

Tabla 7: Valores de los factores de paso para obtener el rendimiento de equipos colectivos a partir del rendimiento de equipos individuales

	<b><math>\eta</math> nominal equipo individual según IDAE [30]</b>	<b>Factor de paso de GLP a Gasóleo</b>
GLP	75	0,933
Gasóleo	70	

Tabla 8: Valor del factor de paso para obtener el rendimiento de equipos gasóleo a partir del rendimiento de equipos de GLP

## II. Caldera de biomasa

Los rendimientos actuales de calderas de biomasa se sitúan en torno a un 92%, según la fuente de información que se utilice. Para parametrizar la eficiencia de las calderas de biomasa, se recurre al gráfico de la evolución de eficiencia de pequeñas calderas de biomasa ( Figura 5) que aparece directamente en informes de la Unión Europea [26] o del gobierno de España [27].



Figura 5: Evolución del valor del rendimiento nominal para calderas de biomasa [26][27]

Así, se ve que la evolución del rendimiento de esta tecnología sigue una tendencia logarítmica y se pueden tomar como valores razonables en los años 2020, 2030 y 2050 los que aparecen en la Tabla 9:

Tecnología en el modelo MASTER	Eficiencia en MASTER	2020	2030	2050
Caldera de biomasa	85%	94% <sup>3</sup>	95% <sup>3</sup>	96% <sup>3</sup>
Caldera de biomasa colectiva	-	92% <sup>1</sup>	92,98% <sup>2</sup>	93,96% <sup>2</sup>

Tabla 9: Estimación del valor de rendimiento del equipo colectivo de biomasa a partir del rendimiento del equipo individual

1. Se ha calculado realizando la media de los rendimientos nominales de tres equipos colectivos de biomasa utilizados en algunas comunidades de España.[19][20]
2. Se ha calculado asumiendo un crecimiento del mismo porcentaje que el del equipo de biomasa individual
3. Se ha calculado estimando el crecimiento a partir de la tendencia de la curva en la Figura 5

### III. Bombas de calor

#### A. Aerotérmica

Según el estudio sobre bombas de calor instaladas en España llevado a cabo por el IDAE [14], actualmente casi la totalidad de las bombas de calor instaladas en el país son bombas de calor aerotérmicas.

Este informe también analiza el COP promedio de las bombas de calor instaladas para satisfacer demandas térmicas en el hogar y lo establece en 3,65 como se muestra en la Tabla 10:

COP Calor	Sectores								Total	
	Hogar		Comercio-servicios		Industria		Actividades anexas al transporte			
	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)
[1 - 2)	0	0	7.454	29.814	0	0	118	11.667	7.572	41.481
[2 - 3)	1.233.648	5.537.055	385.061	7.472.734	174.150	2.531.968	13.825	638.817	1.806.684	16.180.575
[3 - 4)	4.458.788	20.683.592	1.347.039	13.492.952	690.883	7.594.104	25.637	592.404	6.522.347	42.363.052
[4 - 5)	2.108.156	7.647.627	475.179	4.535.213	159.490	5.853.280	9.836	92.292	2.752.660	18.128.412
[5 - 6)	220.811	771.975	13.879	44.693	15.090	117.836	503	1.807	250.284	936.311
[6 - 7)	0	0	10.146	23.336	0	0	30	68	10.176	23.404
<b>Total</b>	<b>8.021.404</b>	<b>34.640.249</b>	<b>2.238.759</b>	<b>25.598.743</b>	<b>1.039.613</b>	<b>16.097.188</b>	<b>49.949</b>	<b>1.337.055</b>	<b>11.349.724</b>	<b>77.673.235</b>
COP Promedio	3,65		3,54		3,50		3,45		3,51	

Tabla 10: COP del parque de bombas de calor por sectores en España [14]

Además, el IDAE presenta los datos del COP promedio de las bombas instaladas a lo largo de diferentes años, como aparece en la Tabla 11:

COP Calor	Fecha de puesta en funcionamiento de la instalación									
	1990-1994		1995-1999		2000-2004		2005-2009		2010-2014	
	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)	Número	Potencia (kWt)
[1 - 2)	0	0	0	0	7.513	36.450	0	0	59	5.031
[2 - 3)	351.823	1.893.637	392.834	2.062.495	841.206	7.505.106	147.868	1.633.998	12.977	375.856
[3 - 4)	68.109	1.590.963	246.766	1.321.481	2.075.578	10.582.690	2.664.150	20.032.139	1.386.765	8.266.935
[4 - 5)	5.583	16.748	689	5.809	142.826	6.174.808	1.086.420	4.879.844	1.486.016	6.909.158
[5 - 6)	0	0	0	0	7	29	29.959	132.063	219.520	801.547
[6 - 7)	0	0	0	0	0	0	0	0	2.693	6.193
<b>Total</b>	<b>425.514</b>	<b>3.501.348</b>	<b>640.289</b>	<b>3.389.785</b>	<b>3.067.131</b>	<b>24.299.083</b>	<b>3.928.397</b>	<b>26.678.044</b>	<b>3.108.031</b>	<b>16.364.720</b>
COP Promedio	2,80		2,88		3,26		3,66		3,90	

Tabla 11: COP del parque de bombas de calor por año de puesta en funcionamiento en España [14]

Representando estos datos y realizando una extrapolación del COP promedio de los equipos instalados como en la Figura 6 y teniendo en cuenta que la vida media de los equipos se estima en 15 años, podemos obtener un valor aproximado del COP promedio en 2030 y 2050.

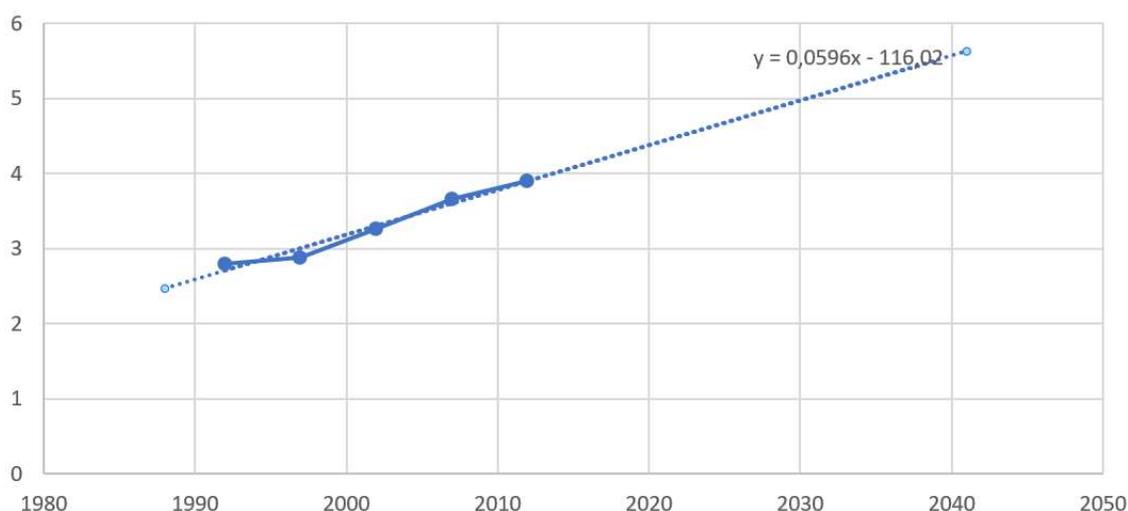


Figura 6: Línea de tendencia del valor del COP promedio de las bombas de calor instaladas en España

Así, el valor promedio de los equipos instalados en 2015 igual al valor del COP promedio de los equipos existentes en 2030 y de la misma manera, el COP promedio de los equipos instalados en 2035 será igual al valor del COP promedio de los equipos existentes en 2050.

Si bien la aplicación de una extrapolación lineal puede no ser lo más razonable para recoger la futura evolución de una tecnología tan madura como la bomba de calor, el valor que se alcanza se considera razonable. Los valores de COP alcanzados son menores que 6 para 2035, es decir, inferiores a los valores máximos de algunos equipos instalados actualmente (entre 6 y 7 en la Tabla 10) por lo que no se ha llegado a alcanzar el máximo valor de rendimiento para esta tecnología. Se considera además que el COP medio de las aplicaciones futuras será superior al actual, no tanto por una mejora tecnológica, que como se ha mencionado es una tecnología muy madura, sino por la mayor presencia de usos de baja temperatura (aplicaciones tipo suelo radiante).

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos:

	<b>Actualidad</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
COP promedio de bombas aerotérmicas	3,65	4,07	5,26

Tabla 12: Evolución del COP promedio de las bombas aerotérmicas

## B. Geotérmica

Para estudiar el valor del COP de las bombas geotérmicas, dado que no se tienen datos actuales por no estar apenas presentes en las instalaciones de los hogares españoles, se recurre al informe TPIDS [12].

En este informe el valor del COP de la bomba geotérmica es aproximadamente un 136% mayor que el valor del COP de la bomba aerotérmica en la actualidad.

Trasladando esta diferencia porcentual al valor de COP promedio de las bombas de calor aerotérmicas instaladas actualmente en el país, se obtiene un valor de COP promedio actual de 4,96 para las bombas de calor geotérmicas como se muestra en la Tabla 13:

	<b>Aerotérmica</b>	<b>Geotérmica</b>	<b>Factor de paso</b>
Valor del COP actual (según TPIDS)	2,65	3,60	1,36
Valor del COP actual	3,65	<b>4,96</b>	1,36

Tabla 13: Cálculo del valor promedio actual del COP para la bomba geotérmica

Se puede realizar el mismo procedimiento con los valores de COP de 2030 y 2050 aplicando las diferencias porcentuales que aparecen en el informe para estos años y obteniendo unos valores medios del COP de las bombas de calor geotérmicas en el futuro iguales a los que se muestran en la Tabla 14 y la Tabla 15:

	<b>Aerotérmica</b>	<b>Geotérmica</b>	<b>Factor de paso</b>
Valor del COP 2030 (según TPIDS)	3,29	4,47	1,36
Valor del COP 2030 (según extrapolación a partir de IDAE)	4,07	<b>5,53</b>	1,36

Tabla 14: Cálculo del valor promedio del COP en 2030 para la bomba de calor geotérmica

	<b>Aerotérmica</b>	<b>Geotérmica</b>	<b>Factor de paso</b>
Valor del COP 2050 (según TPIDS)	4,19	5,43	1,3
Valor del COP 2050 (según extrapolación a partir de IDAE)	5,26	<b>6,82</b>	1,3

Tabla 15: Cálculo del valor promedio del COP en 2050 para la bomba de calor geotérmica

### C. Hidrotérmica

El procedimiento seguido para obtener el valor de COP promedio en las bombas de calor hidrotérmicas en el país es el mismo que el expuesto para el caso de las bombas de calor geotérmicas. De esta manera se obtienen los valores de COP para la actualidad, 2030 y 2050 mostrados en la Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18 respectivamente:

	<b>Aerotérmica</b>	<b>Hidrotérmica</b>	<b>Factor de paso</b>
Valor del COP actual (según TPIDS)	2,65	3,30	1,24
Valor del COP actual	3,65	<b>4,55</b>	1,24

Tabla 16: Cálculo del valor promedio actual del COP para la bomba hidrotérmica

	<b>Aerotérmica</b>	<b>Hidrotérmica</b>	<b>Factor de paso</b>
Valor del COP 2030 (según TPIDS)	3,29	4,10	1,24
Valor del COP 2030 (según extrapolación a partir de IDAE)	4,07	<b>5,07</b>	1,24

Tabla 17: Cálculo del valor promedio del COP en 2030 para la bomba de calor hidrotérmica

	<b>Aerotérmica</b>	<b>Hidrotérmica</b>	<b>Factor de paso</b>
Valor del COP 2050 (según TPIDS)	4,19	4,98	1,18
Valor del COP 2050 (según extrapolación a partir de IDAE)	5,26	<b>6,25</b>	1,18

Tabla 18: Cálculo del valor promedio del COP en 2050 para la bomba de calor hidrotérmica

#### IV. Microgeneración

El rendimiento de las tres tecnologías de microgeneración se basa en el informe ECM&A[13]. En éste se presentan directamente valores de rendimiento medio estacional, por lo que no es necesario conocer su rendimiento nominal.

#### V. Calefacción resistiva eléctrica

La calefacción resistiva eléctrica tiene un rendimiento del 100% pues a través de la alimentación eléctrica directa por efecto Joule todo se transforma en calor. Este valor se mantendrá por tanto para los años 2030 y 2050.

En la Tabla 19 se resume el valor de rendimiento nominal asignado a cada una de las tecnologías del grupo de calefacción en los diferentes años:

<b>Grupo</b>	<b>Tecnología</b>	<b><math>\eta</math> 2020 (%)</b>	<b><math>\eta</math> 2030 (%)</b>	<b><math>\eta</math> 2050 (%)</b>
	Caldera gasóleo	71,8	77,4	81,2
	Caldera gasóleo colectiva	66,7	71,9	75,4
	Caldera gasóleo de condensación	79,3	85,8	90,5
	Caldera gasóleo de condensación colectiva	73,6	79,7	84,0
	Caldera de gas natural convencional	79,0	85,0	89,0
	Caldera de gas natural convencional colectiva	73,7	79,3	83,1
<b>Calefacción</b>	Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup>	80,0	-	-
	Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup> colectiva	74,7	-	-
	Caldera de condensación de gas natural	87,0	93,0	98,0
	Caldera de condensación de GN colectiva	81,2	86,8	91,5
	Caldera convencional de GLP	77,0	83,0	87,0
	Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	80,0	-	-
	Caldera de condensación de GLP	85,0	92,0	97,0

Calefacción resistiva eléctrica	100,0	100,0	100,0
Bomba de calor aerotérmica	365,0	407,0	526,0
Bomba de calor geotérmica	495,8	553,0	681,7
Bomba de calor hidrotérmica	454,5	507,2	625,2
Caldera de biomasa	94,0	95,0	96,0
Caldera de biomasa colectiva	92,0	92,98	93,96

Tabla 19: Valores de eficiencia nominal para las tecnologías del grupo de calefacción

### 2.6.2.2 Rendimientos estacionales

#### I. Calderas y caldera de biomasa

Los factores de ponderación (FP) que se establecen en el documento “Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas” [23] para sistemas de calefacción basados en calderas de combustión son los que se muestran en la Tabla 20.

Tecnología	FP
Caldera calefacción combustión estándar	0,97
Caldera calefacción combustión baja temperatura	1
Caldera calefacción combustión de condensación	1,08
Caldera calefacción combustión de biomasa	0,74

Tabla 20: Factores de ponderación para sistemas de calefacción basados en calderas de combustión

Multiplicando los rendimientos nominales establecidos para cada una de las calderas en los diferentes años, se obtienen los valores de rendimiento estacional presentados en la Tabla 21:

Tecnología	FP	Eficiencia (%)					
		$\eta_n$ actual	$\eta_{est}$ actual	$\eta_n$ 2030	$\eta_{est}$ 2030	$\eta_n$ 2050	$\eta_{est}$ 2050
Caldera gasóleo	0,97	71,9	69,7	77,5	75,1	81,2	78,7
Caldera gasóleo colectiva	0,97	66,7	64,7	71,9	69,8	75,4	73,1
Caldera gasóleo de condensación	1,08	79,3	85,6	85,9	92,7	90,5	97,7
Caldera gasóleo de condensación colectiva	1,08	73,7	79,5	79,7	86,1	84,1	90,8
Caldera de gas natural convencional	0,97	79	76,6	85,0	82,5	89,0	86,3
Caldera de GN convencional colectiva	0,97	73,7	71,5	79,3	77	83,1	80,6
Caldera de gas natural de baja Ta	1	80	80	-	-	-	-
Caldera de gas natural de baja Tª colectiva	1	74,7	74,7	-	-	-	-
Caldera de condensación de gas natural	1,08	87	94	93	100,4	98	105,8

Caldera de condensación de GN colectiva	1,08	81,2	87,7	86,8	93,7	91,5	98,8
Caldera convencional de GLP	0,97	77	74,7	83	80,5	87	84,4
Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	1	80	80	-	-	-	-
Caldera de condensación de GLP	1,08	85	91,8	92	99,4	97	104,8
Caldera de biomasa	0,74	94	69,6	95	70,3	96	71
Caldera de biomasa colectivo	0,74	92	68,1	92,9	68,8	93,9	69,5

## II. Bombas de calor

En el caso de las bombas de calor la normativa habla de prestaciones medias estacionales (en inglés Seasonal Performance Factor, SPF), valor que según el IDAE “se calculará multiplicando sus prestaciones nominales (COP) por un factor denominado factor de ponderación representativo (FP), que varía según la zona climática (A, B, C, D o E) y por un factor de corrección (FC) para las distintas tecnologías y aplicaciones de las bombas de calor accionadas eléctricamente”[15].

<i>Fuente Energética de la bomba de calor</i>	<b>Factor de Ponderación (FP)</b>				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,80	0,80	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica.	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

Tabla 22: Factores de ponderación aplicables a bombas de calor según la zona climática [15]

T <sup>a</sup> de condensación (°C)	<b>Factor de Corrección (FC)</b>					
	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

Tabla 23: Factores de corrección aplicables a bombas de calor según la zona climática [15]

Así, tomando el COP de cada una de las tres tecnologías y los valores de FP y FC de la Tabla 22 y la Tabla 23 y considerando un clima C en la península por ser predominante, tanto geográfica como poblacionalmente, y el medio entre los distintos tipos de clima, se obtienen los valores de SPF presentados en la Tabla 24:

<b>Tecnología</b>	<b>FP</b>	<b>FC</b>	<b><math>\eta_n</math> actual</b>	<b><math>\eta_{est}</math> actual</b>	<b><math>\eta_n</math> 2030</b>	<b><math>\eta_{est}</math> 2030</b>	<b><math>\eta_n</math> 2050</b>	<b><math>\eta_{est}</math> 2050</b>
Bomba de calor aerotérmica	0,68	0,89 <sup>2</sup>	365%	221%	407%	246%	526%	318%
Bomba de calor geotérmica	1,18 <sup>1</sup>	0,89 <sup>2</sup>	495%	521%	553%	581%	681%	716%
Bomba de calor hidrotérmica	0,92	0,89 <sup>2</sup>	455%	372%	507%	415%	625%	512%

Tabla 24: Rendimientos estacionales de diferentes tipos de bomba de calor

1. Se ha tomado este valor correspondiente a intercambiador vertical de circuito cerrado por estar en la media del rango de las posibles opciones.
2. Se ha considerado un valor de FC promedio a 45°C de temperatura de condensación.

### III. Microgeneración

Los valores de rendimiento medio estacional de estas tecnologías se han obtenido directamente a través del informe ECM&A y el informe Technology Data For Energy Plants [54].

#### A. CHP con motor de combustión interna de gas

La eficiencia estacional para los diferentes años se muestra en la Tabla 25:

<b>Tipo de rendimiento</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Rendimiento total	83,2%	88,1%	90,4%
Rendimiento térmico	63,3%	65,5%	67,3%
Rendimiento eléctrico	19,9%	22,6%	23,1%

Tabla 25: Rendimientos estacionales del motor de combustión interna de gas

2020: Datos obtenidos directamente a través del informe.

2030: Datos obtenidos realizando la media aritmética del rango de valores para ese año.

2050: El rendimiento total se ha obtenido como el valor más alto del rango de 2030. Para obtener los rendimientos térmicos y eléctricos se ha considerado que se distribuyen con la misma proporción con la que lo hacen para el año 2030.

### B. CHP con motor Stirling

Los valores de rendimiento total, eléctrico y térmico se encuentran en la Tabla 26:

<b>Tipo de rendimiento</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Rendimiento total	85%	89%	95.8%
Rendimiento térmico	72.3%	74.6%	80.3%
Rendimiento eléctrico	12.7%	14.5%	15.5%

Tabla 26: Rendimientos estacionales del motor Stirling

2020: Datos obtenidos realizando la media aritmética del rango de valores para ese año.

2030: Datos obtenidos realizando la media aritmética del rango de valores para ese año.

2050: El rendimiento total se ha obtenido como el valor más alto del rango de 2030. Para obtener los rendimientos térmicos y eléctricos se ha considerado que se distribuyen con la misma proporción con la que lo hacen para el año 2030.

### C. CHP con pilas de combustible

La eficiencia estacional para los diferentes años se muestra en la Tabla 27:

<b>Tipo de rendimiento</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Rendimiento total	88.1%	89.0%	92.2%
Rendimiento térmico	47.5%	47.9%	49.6%
Rendimiento eléctrico	40.7%	41.1%	42.6%

Tabla 27: Rendimientos estacionales de la microgeneración con pilas de combustible

2020: Datos obtenidos realizando la media aritmética del rango de valores para ese año.

2030: El rendimiento total se ha obtenido realizando la media aritmética de los valores para este año. Para obtener los rendimientos térmicos y eléctricos se ha considerado que se distribuyen con la misma proporción con la que lo hacen para el año 2020.

2050: El rendimiento total se ha obtenido como el valor más alto del rango de 2030. Para obtener los rendimientos térmicos y eléctricos se ha considerado que se distribuyen con la misma proporción con la que lo hacen para el año 2030.

## 2.7 Estudio del grupo de refrigeración

### 2.7.1 Requisitos de diseño ecológico

Al tratarse de bombas de calor reversibles, las tecnologías incluidas dentro del grupo de refrigeración deberán cumplir la misma normativa expuesta en el apartado del grupo de calefacción que afecte a bombas de calor. Las limitaciones que impone la normativa a

este grupo son prácticamente nulas pues se trata de equipos altamente eficientes hacia los que se pretende evolucionar.

### 2.7.2 Parametrización de la eficiencia

Al igual que en los otros grupos, se puede definir un rendimiento estacional y un rendimiento nominal de las tecnologías de refrigeración. El EER (Energy efficiency ratio) hace referencia al rendimiento nominal de los equipos, mientras que el SEER (Seasonal energy efficiency ratio) es un rendimiento estacional.

La parametrización de la eficiencia de las tecnologías del grupo de refrigeración resulta más sencilla debido a que la literatura en la que se basa este apartado hace referencia directamente al valor del SEER. Por tanto, no resulta necesario analizar los valores de rendimiento nominal.

Además, los valores de SEER de los equipos de refrigeración actuales, al igual que en el caso del SCOP en las bombas de calor son suficientemente grandes como para no tener que establecer un valor mínimo a partir de la normativa europea.

El siguiente gráfico de la AIE (Agencia Internacional de la Energía) muestra los valores de SEER de los equipos disponibles en diferentes zonas geográficas. Así, se muestra que en Europa el SEER medio del mercado de equipos de aire acondicionado tiene un valor aproximado de 5,3. Sin embargo, debido a la presencia en el continente de países con muy bajas temperaturas como lo son los países del norte de Europa y al depender la eficiencia de la bomba de calor de la temperatura exterior, este alto SEER no representa de manera precisa la realidad de nuestro país. Por este motivo, se utilizará el SEER de Australia igual a 3,5, un país más parecido climáticamente a España que la media europea.



Figura 7: SEERs de los equipos residenciales disponibles de aire acondicionado con bomba de calor en diferentes zonas geográficas

Este valor se tomará en concreto, dado que estos son en su mayoría aerotérmicos, como el valor medio de los equipos de aire acondicionado con bomba de calor aerotérmicos. El valor del SEER en los años 2030 y 2050 se puede obtener mediante el gráfico de la AIE que se muestra en la Figura 8.

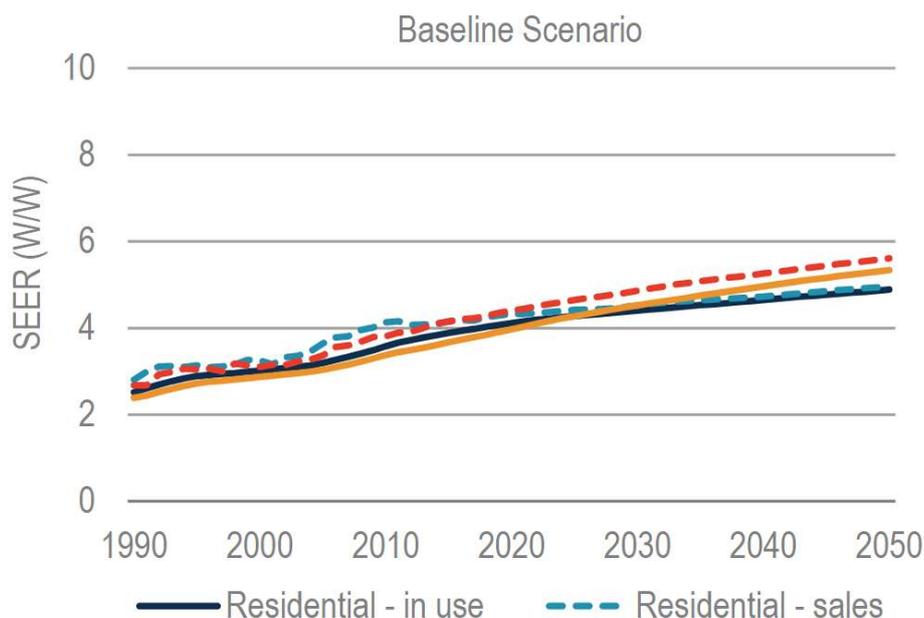


Figura 8: Evolución del SEER de los equipos de aire acondicionado con bomba de calor hasta 2050

Aquí, se puede ver la evolución prevista del valor medio del SEER de los equipos de refrigeración. Estos se exponen en la Tabla 28:

Aerotérmica	SEER medio		
	Mundial	Australia	Factor de paso
2020	4	3,5	0,875
2030	4,5	3,94	0,876
2050	5,4	4,73	0,876

Tabla 28: Valores del valor del SEER de equipos de aire acondicionado y cálculo de factor de paso de mundial a España

A partir de estos valores obtenidos de SEER para equipos aerotérmicos y de los factores de paso de la Tabla 13 a la Tabla 16 podemos obtener valores del SEER en la actualidad, 2030 y 2050 para las tecnologías geotérmica e hidrotérmica, como se muestra en la Tabla 29:

	Factor de paso 2020	SEER 2020	Factor de paso 2030	SEER 2030	Factor de paso 2050	SEER 2050
Geotérmica	1,36	4,75	1,36	5,35	1,30	6,12
Hidrotérmica	1,24	4,34	1,25	4,91	1,19	5,62

Tabla 29: Calculo del valor del SEER de equipos geotérmicos e hidrotérmicos a partir del valor de SEER de equipos aerotérmicos y factores de paso

Se puede observar que todos los valores están por debajo de los máximos disponibles actualmente por lo que no se da la posibilidad de saturación de desarrollo de la tecnología.

## 2.8 Estudio del grupo de ACS

### 2.8.1 Requisitos de diseño ecológico

En la normativa impuesta por la unión europea para el grupo de ACS, al igual que para el grupo mixto de calefacción y ACS, se establecen diferentes tipos de perfiles de carga según el tamaño de la instalación. Las instalaciones individuales pueden tener los perfiles de carga 3XS, XXS, XS, S, M, L, y XL, donde XS es la calificación mínima y XL la máxima, lo que significa el máximo caudal de agua garantizado con el mayor rendimiento y confort. Para las instalaciones centralizadas, los perfiles de carga pueden ser XXL, 3XL o 4XL.

La normativa específica de la Unión Europea [34] que regula las características necesarias que deben tener los calentadores de agua y depósitos de agua caliente establece:

- Con respecto a la eficiencia energética de calentamiento de agua:

A partir del 26 de septiembre de 2017, la eficiencia energética del caldeo de agua de los calentadores de agua no bajará de los siguientes valores:

Perfil de carga declarado	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Eficiencia energética del caldeo de agua	32 %	32 %	32 %	32 %	36 %	37 %	37 %	37 %	37 %	38 %
Además, en el caso de los calentadores de agua cuyo valor <i>smart</i> declarado sea «1»: eficiencia energética del caldeo de agua calculada para <i>smart</i> = 0, probada con el perfil de carga declarado	29 %	29 %	29 %	29 %	33 %	34 %	35 %	36 %	36 %	36 %

Tabla 30: Eficiencia mínima energética del caldeo de agua según perfil de carga declarados de 3XS a 4XL

A partir del 26 de septiembre de 2018, la eficiencia energética del caldeo de agua de los calentadores de agua no bajará de los siguientes valores:

Perfil de carga declarado	XXL	3XL	4XL
Eficiencia energética del caldeo de agua	60 %	64 %	64 %

Tabla 31: Eficiencia mínima energética del caldeo de agua según perfil de carga declarados de XXL a 4XL

Con respecto a la emisión de óxidos de nitrógeno establece:

A partir del 26 de septiembre de 2018, las emisiones de óxidos de nitrógeno de los calentadores de agua, expresadas en mg de dióxido de nitrógeno, no superarán los siguientes valores:

- Calentadores de agua convencionales que consumen combustibles gaseosos: 56 mg/kWh de insumo de combustible en términos de GCV<sup>1</sup>,
- Calentadores de agua convencionales que consumen combustibles líquidos: 120 mg/kWh de insumo de combustible en términos de GCV<sup>1</sup>,
- Calentadores de agua con bomba de calor equipados con combustión externa que consumen combustibles gaseosos y calentadores de agua solares que consumen combustibles gaseosos: 70 mg/kWh de insumo de combustible en términos de GCV<sup>1</sup>,
- Calentadores de agua con bomba de calor equipados con combustión externa que consumen combustibles líquidos y calentadores de agua solares que consumen combustibles líquidos: 120 mg/kWh de insumo de combustible en términos de GCV<sup>1</sup>,
- Calentadores de agua con bomba de calor equipados con motor de combustión interna que consumen combustibles gaseosos: 240 mg/kWh de insumo de combustible en términos de GCV<sup>1</sup>,
- Calentadores de agua con bomba de calor equipados con motor de combustión interna que consumen combustibles líquidos: 420 mg/kWh de insumo de combustible en términos de GCV<sup>1</sup>.

Para saber a qué tipo de calentadores hace referencia exactamente esta normativa, se puede recurrir a las palabras de uno de los grandes fabricantes de calentadores y el primero en diseñar un calentador estanco que cumple con la normativa: “la nueva Normativa ErP de septiembre del 2018, ley que penaliza la instalación de calentadores atmosféricos y de calentadores estancos convencionales. Será legal tanto la distribución como la instalación de los nuevos calentadores estancos a bajo NOx Junkers y de los calentadores estancos de condensación ya que cumplen dicha ley cuyo objetivo es la reducción de gases contaminantes a la atmósfera para frenar el cambio climático” [37]. Los únicos calentadores que pueden distribuirse actualmente son por tanto o de bajo NOx o de condensación y por consiguiente el resto de las tecnologías pueden descartarse [38].

---

<sup>1</sup>: «poder calorífico superior» (GCV): cantidad total de calor liberado por una cantidad unitaria de combustible cuando se quema por completo con oxígeno y se devuelven los productos de la combustión a la temperatura ambiente; esta cantidad incluye el calor de condensación del vapor de agua contenido en el combustible y del vapor de agua formado por la combustión del hidrógeno contenido en el combustible

## 2.8.2 Parametrización de la eficiencia

Los rendimientos para este grupo se han obtenido directamente a través del cálculo de la media de los rendimientos de catálogos de fabricantes de las diferentes tecnologías.

La normativa del diseño de etiquetas de los equipos [35] establece rigurosos métodos de medición de eficiencia que consideran las variaciones en la demanda y que por tanto dan lugar a valores de eficiencia estacionales, por lo que no será necesario hacer referencia a rendimientos nominales en este grupo.

### IV. Rendimientos estacionales

En la búsqueda de modelos de las diferentes tecnologías, se ha tomado en consideración que, según la encuesta continua de hogares realizada por el INE [57], el hogar medio español está formado por 2,5 personas. El perfil de carga que más se ajusta a este tamaño de hogar es el M que se define como el indicado para una familia media, de entre dos y cuatro personas. Por tanto, se han buscado modelos con este perfil de carga en la mayoría de las ocasiones. [39]

En la Tabla 32, se presentan los valores obtenidos de los catálogos comerciales de diferentes equipos. El rendimiento final de cada tecnología se ha obtenido como media de los diferentes valores.

<b>Tecnología en el modelo MASTER</b>	<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>	<b>Modelo 3</b>	<b>Media</b>
Calentador atmosférico de gas natural	75/L <sup>1</sup>	73/M <sup>7</sup>	77/M <sup>12</sup>	75
Calentador atmosférico de GLP	75/L <sup>1</sup>	73/M <sup>7</sup>	77/M <sup>12</sup>	75
Calentador estanco de bajo NOx de GN	71/M <sup>4</sup>	77/M <sup>13</sup>	71/M <sup>6</sup>	73
Calentador estanco de bajo NOx de GLP	71/M <sup>4</sup>	77/M <sup>13</sup>	71/M <sup>6</sup>	73
Calentador estanco de condensación de GN	90/XL <sup>10</sup>	92/XL <sup>10</sup>	91/XXL <sup>10</sup>	91
Calentador estanco de condensación de GLP	90/XL <sup>10</sup>	92/XL <sup>10</sup>	91/XXL <sup>10</sup>	91
Termo eléctrico	39/L <sup>3</sup>	38/M <sup>8</sup>	36/M <sup>9</sup>	37,3
Bomba de calor	136/XL <sup>5</sup>	107/M <sup>11</sup>	124/L <sup>14</sup>	122,3
Energía solar térmica				

Tabla 32: Valores de eficiencia energética de diferentes modelos de las tecnologías ACS

1. Modelo Junkers Hydro 4200 [40]
2. Modelo Saunier Duval Opaliatherm Bajo NOx [41]
3. Modelo Junkers Elacell Excellence [42]
4. Modelo Junkers Hydronext 5700S [43]
5. Modelo Junkers Supraeco W [44]
6. Modelo Bosch Therm 5600S [45]
7. Modelo Bosch Therm 4200 [46]
8. Modelo Bosch Tronic 8000T [47]
9. Modelo Ariston PRO1 R [48]
10. Modelo A.OSmith Icw, Innovo y Bfc Cyclone [49]
11. Modelo Vaillant aroSTOR VWL B 100/5 [50]
12. Modelo Vaillant MAG mini INT 11-0/1 XI B [51]
13. Modelo Vaillant MAG 125/1-5 RT(P-ES/PT) [52]
14. Modelo Vaillant aroSTOR VWL BM 200/5 [53]

El valor de eficiencia energética que toman las diferentes tecnologías en los diferentes años se establece como:

- 2020: Teniendo en cuenta que los modelos encontrados son los actualmente disponibles en el mercado, se establece como valor de la eficiencia actual el mínimo de los tres modelos de cada tecnología.
- 2030: Como valor de eficiencia energética en 2030 se tomará el resultante de calcular la media aritmética de los tres modelos.
- 2050: Como valor de eficiencia energética se tomará el máximo de los tres modelos disponibles para cada tecnología.

Así, las eficiencias medias estacionales para cada una de las tecnologías son las que aparecen en la Tabla 33:

<b>Tecnología en el modelo MASTER</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Calentador atmosférico de gas natural	73	75	77
Calentador atmosférico de GLP	73	75	77
Calentador estanco de bajo NOx de GN	71	73	77
Calentador estanco de bajo NOx de GLP	71	73	77
Calentador estanco de condensación de GN	90	91	92
Calentador estanco de condensación de GLP	90	91	92
Termo eléctrico	36	37,3	39
Bomba de calor	107	122,3	136
Energía solar térmica			

Tabla 33: Valores de rendimiento medio estacional para el grupo de ACS en los años 2020, 2030 y 2050

## 2.9 Estudio del grupo mixto

### 2.9.1 Requisitos de diseño ecológico

La Tabla 34 muestra los límites de eficiencia estacional establecidos por la normativa según el perfil de carga de cumplimiento obligado desde el 26 de septiembre de 2017 (o 2018 para el caso de instalaciones centralizadas), que son los mismos que en el caso del grupo de ACS:

Perfil de carga declarado	Instalaciones individuales							Instalaciones centralizadas		
	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Eficiencia energética de caldeo de agua	32%	32%	32%	32%	36%	37%	38%	60%	64%	64%

Tabla 34: Valores de eficiencia mínima establecidos por la normativa para los diferentes perfiles de carga

A pesar de que los valores establecidos de eficiencia mínima son menores que para el grupo de calefacción, para el grupo mixto se considerará que en el año 2030 no se emplearán las mismas tecnologías que ya se descartaron en el apartado de calefacción. Esto se considera como algo lógico ya que las ofertas de equipos se orientarán cada vez

más hacia los modelos más eficientes y los equipos que no sean de condensación desaparecerán.

Por tanto, las tecnologías de grupos mixtos disponibles para 2030 y 2050 son las que se muestran en la Tabla 35:

<b>Tecnología en el modelo MASTER</b>	<b>Eficiencia mínima</b>	<b>Presencia en 2030</b>
Caldera gasóleo	37%	NO
Caldera gasóleo colectiva	64%	NO
Caldera gasóleo de condensación	37%	SI
Caldera gasóleo de condensación colectiva	64%	SI
Caldera de gas natural convencional	37%	NO
Caldera de gas natural convencional colectiva	64%	NO
Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup>	37%	NO
Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup> colectiva	64%	NO
Caldera de condensación de gas natural	37%	SI
Caldera de condensación de gas natural colectiva	64%	SI
Caldera convencional de GLP	37%	NO
Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	37%	NO
Caldera de condensación de GLP	37%	SI
Caldera de biomasa	37%	SI
Caldera de biomasa colectiva	64%	SI
Bomba de calor aerotérmica	-	SI
Bomba de calor geotérmica	-	SI
Bomba de calor hidrotérmica	-	SI

Tabla 35: Valores de eficiencia mínima establecidos por la normativa para las tecnologías de calefacción del modelo MASTER

### 2.9.2 Parametrización de la eficiencia

Como valores de rendimiento medio estacional en el grupo mixto se han tomado directamente los valores de las mismas tecnologías del grupo de calefacción. Esta decisión se ha tomado en base a la dificultad que supone obtener por separado valores de rendimiento de calefacción y de ACS.

Además, esta simplificación la llevan a cabo algunos de los softwares empleados para realizar certificaciones energéticas como por ejemplo el software CE3X, utilizado por el IDAE para realizar estudios y simulaciones energéticas [35]. La función principal de estos equipos es la de la calefacción de espacios y por tanto el rendimiento estacional obtenido mediante esta simplificación se asemejará al valor real.

Sin embargo, el valor de los factores de paso de nominal a estacional sí que varía con respecto al de las tecnologías únicamente de calefacción. Estos factores de paso establecidos por el gobierno de España [24] se muestran en la Tabla 36:

Tecnología	FP
Caldera mixta combustión estándar	0,98
Caldera mixta combustión baja temperatura	1
Caldera mixta combustión de condensación	1,06
Caldera mixta combustión de biomasa	0,76

Tabla 36: Factores de paso para sistemas mixtos basados en calderas de combustión

Los rendimientos estacionales para cada una de las tecnologías se muestran en la Tabla 37:

Tecnología	FP	Eficiencia (%)					
		$\eta_n$ actual	$\eta_{est}$ actual	$\eta_n$ 2030	$\eta_{est}$ 2030	$\eta_n$ 2050	$\eta_{est}$ 2050
Caldera gasóleo	0,98	71,9	70,5	77,5	76	81,2	79,6
Caldera gasóleo colectiva	0,98	66,7	65,4	71,9	70,5	75,4	73,9
Caldera gasóleo de condensación	1,06	79,3	84,1	85,9	91,0	90,5	96,0
Caldera gasóleo de condensación colectiva	1,06	73,7	78,1	79,7	84,5	84,1	89,1
Caldera de gas natural convencional	0,98	79,0	77,4	85,0	83,3	89,0	87,2
Caldera de GN convencional colectiva	0,98	73,7	72,2	79,3	77,7	83,1	81,4
Caldera de gas natural de baja $T_a$	1	80,0	80,0	-	-	-	-
Caldera de gas natural de baja $T^a$ colectiva	1	74,7	74,7	-	-	-	-
Caldera de condensación de gas natural	1,06	87,0	92,2	93,0	98,6	98,0	103,9
Caldera de condensación de GN colectiva	1,06	81,2	86,1	86,8	92,0	91,5	97,0
Caldera convencional de GLP	0,98	77,0	75,5	83,0	81,3	87,0	85,3
Caldera de GLP de baja $T^a$	1	80,0	80,0	-	-	-	-
Caldera de condensación de GLP	1,06	85	90,1	92,0	97,5	97,0	102,8
Caldera de biomasa	0,76	94	71,4	95,0	72,2	96,0	73,0
Caldera de biomasa colectiva	0,76	94	71,4	95,0	72,2	96,0	73,0
Bomba de calor aerotérmica (FC=0,89)	0,7	3,65	-	4,1	-	5,3	-
Bomba de calor geotérmica (FC=0,89)	1,2	4,95	-	5,5	-	6,8	-
Bomba de calor hidrotérmica (FC=0,89)	0,9	4,55	-	5,1	-	6,3	-

Tabla 37: Valores de rendimientos estacional para las tecnologías mixtas

## Capítulo 3

### Escenarios

Una vez realizado el estudio de prospectiva tecnológica a 2030 y 2050, en este trabajo se procede a definir diversos escenarios para el sector energético en estas fechas. Estos escenarios, llevados a los modelos MASTER.SO y MASTER.MC permitirán anticipar posibles impactos en pobreza energética en futuros variados.

En este trabajo se considerarán los mismos escenarios que los planteados en el informe “Escenarios para el sector energético en España 2030-2050” de Economics for Energy [55]. En dicho informe se subrayan algunas ideas fundamentales para entender el objetivo de la definición y el estudio de los diferentes escenarios que también sirven para entender el propósito de este trabajo:

- “El objetivo de este estudio no es predecir el futuro, algo por otra parte imposible, sino promover la reflexión en este ámbito a partir de un análisis riguroso, independiente y transparente, algo imprescindible en nuestra opinión para lograr el consenso necesario para la transición energética.”
- “Tampoco pretendemos dar o predeterminar soluciones, porque ese es el papel de los decisores políticos de la sociedad a la vista de la deseabilidad o no de los distintos escenarios.”
- “Tampoco deben considerarse como predicciones las estimaciones que hacemos de los valores futuros de parámetros.”

Los escenarios planteados en el estudio y que se analizan en este trabajo son los siguientes cuatro:

- Descarbonización.
- Mantenimiento de las políticas actuales.
- Avance tecnológico acelerado.
- Estancamiento secular.

Para cada uno de ellos se fijará un posible mix de tecnologías en el suministro de calefacción, ACS y refrigeración en los hogares españoles. Con respecto al resto de la demanda, se deja libertad al modelo para cubrirla, incluyendo capacidad de instalación de nuevas infraestructuras de conversión (centrales eléctricas, regasificadoras y refinerías) y de importación, exportación y producción local de energía primaria.

### 3.1 Mix de consumo térmico residencial actual

En este apartado se define un escenario de calibración que servirá como base para la definición del resto. Para ello, contando como datos de entrada con las tecnologías que están presentes en el sector térmico residencial y con la demanda real de 2019, se podrá llegar a replicar los consumos finales reales. Una vez hecho esto, será posible realizar la transición del mix residencial térmico a 2030 y 2050 para los diferentes escenarios.

En 2019 el IDAE publicó el estudio SPAHOUSEC II [22], un análisis estadístico acerca del consumo de gas natural en las viviendas con calefacción individual que presenta valores sobre la distribución del tipo de equipo térmico en las viviendas en España. Además, en 2018 el IDAE también publicó una serie de estudios y estadísticas entre los que se incluía un informe sobre los “consumos para usos y energías del sector residencial” [56] en el que se muestra la cantidad de combustible utilizado para satisfacer las demandas térmicas en los hogares.

#### 3.1.1 Grupo Calefacción y Mixto

En la Tabla 38 [22] se puede ver los valores porcentuales del tipo de sistema de calefacción instalado en los hogares españoles.

Tipo de sistemas de calefacción	Total	Zona climática					
		Atlántico-Norte		Continental		Mediterránea	
	Tipo de vivienda	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
Caldera normal	49,3	53,1	63,1	85,9	80,2	27,7	23,1
Caldera de condensación	4,0	14,3	4,0	5,9	4,0	1,0	1,9
Bomba de calor reversible	11,3	0,3	0,0	0,6	0,7	18,5	24,5
Radiador/convector eléctrico	18,1	28,1	16,2	7,4	9,0	23,4	21,8
Paneles solares	0,4	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	1,5
Suelo radiante	0,3	1,0	1,2	0,2	0,5	0,1	0,3
Otros	21,1	4,7	20,4	1,3	12,0	33,1	33,6

Tabla 38: Tipos de sistema de calefacción en los hogares (%). Base: 16.504.809 hogares con calefacción individual

Para poder diferenciar en el mix las tecnologías según el tipo de combustible empleado, en la Tabla 39 podemos ver los consumos de los diferentes tipos de combustible en el sector residencial en el año 2018[56].

Fuente energética	Consumo de energía final (ktep)
Electricidad	475
Gas	1269
Combustibles sólidos	56
GLP	393
Gasóleo	1574

Solar térmica	19
Biomasa	2466
Geotermia	5
<b>TOTAL</b>	<b>6256</b>

Tabla 39: Consumos de energía final por usos del sector residencial (ktep) en el año 2018. Calefacción

Así, en la Figura 9 se muestra el porcentaje sobre el total que representa cada uno de los combustibles en términos de consumo de energía final.

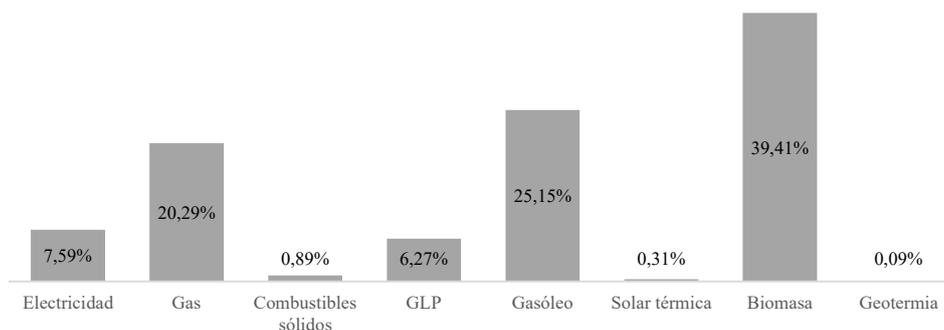


Figura 9: Consumos de energía final por usos del sector residencial (%) en el año 2018. Calefacción

Este porcentaje de energía final consumida no es equivalente al porcentaje de energía final demandada que es el que se busca obtener para poder definir un mix de calefacción. Según el rendimiento de cada una de las tecnologías el porcentaje de energía consumida será equivalente a un valor de energía final generada en forma de calor. Suponiendo una misma producción de calor promedio para cada una de las tecnologías incluidas en el modelo y con los valores de rendimiento, podemos obtener la contribución en porcentaje de cada una de ellas al mix de calefacción actual, mostrada en la Tabla 40:

Tecnología	(%) Hogares	(%) Total hogares	(%) Combustible	(%) Total combustible utilizado	$\eta$ estacional	Proporción del calor generado	% del calor generado	% Mix Final
Caldera diésel			25,15	27,60	69,70	19,24	20,28	12,09
Caldera de GN convencional			20,29	22,27	76,60	17,06	17,98	10,72
Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup>	49,30	59,61			80,00	17,81	18,78	11,20
Caldera convencional de GLP			6,27	6,88	74,70	5,14	5,42	3,23
Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>					80,00	5,50	5,80	3,46
Caldera de biomasa			39,41	43,25	69,60	30,10	31,73	18,92
<b>Total</b>			<b>91,12%</b>	<b>100%</b>		<b>94,86%</b>	<b>100%</b>	<b>59,61%</b>
Caldera diésel de condensación			25,15	48,64	85,70	41,68	46,49	2,25
Caldera de condensación de GN	4,00	4,84	20,29	39,24	93,90	36,84	41,09	1,99
Caldera de condensación de GLP			6,27	12,13	91,80	11,13	12,42	0,60
<b>Total</b>			<b>51,71 %</b>	<b>100%</b>		<b>89,66%</b>	<b>100%</b>	<b>4,84%</b>
Calefacción resistiva eléctrica	18,10	21,89						21,89
Bomba de calor aerotérmica								13,66
Bomba de calor geotérmica	11,30	13,66						-
Bomba de calor hidrotérmica								-
Motor de combustión interna	-	-						-
CHP con motor Stirling	-	-						-
CHP con pilas de combustible	-	-						-
<b>Total</b>	<b>82,70 %</b>	<b>100%</b>						<b>100%</b>

Tabla 40: Cálculo de aportación al mix final de las tecnologías del grupo calefacción

Esta distribución final de la aportación de cada tecnología al mix existente actual de calefacción en los hogares se muestra de manera gráfica en la Figura 10:

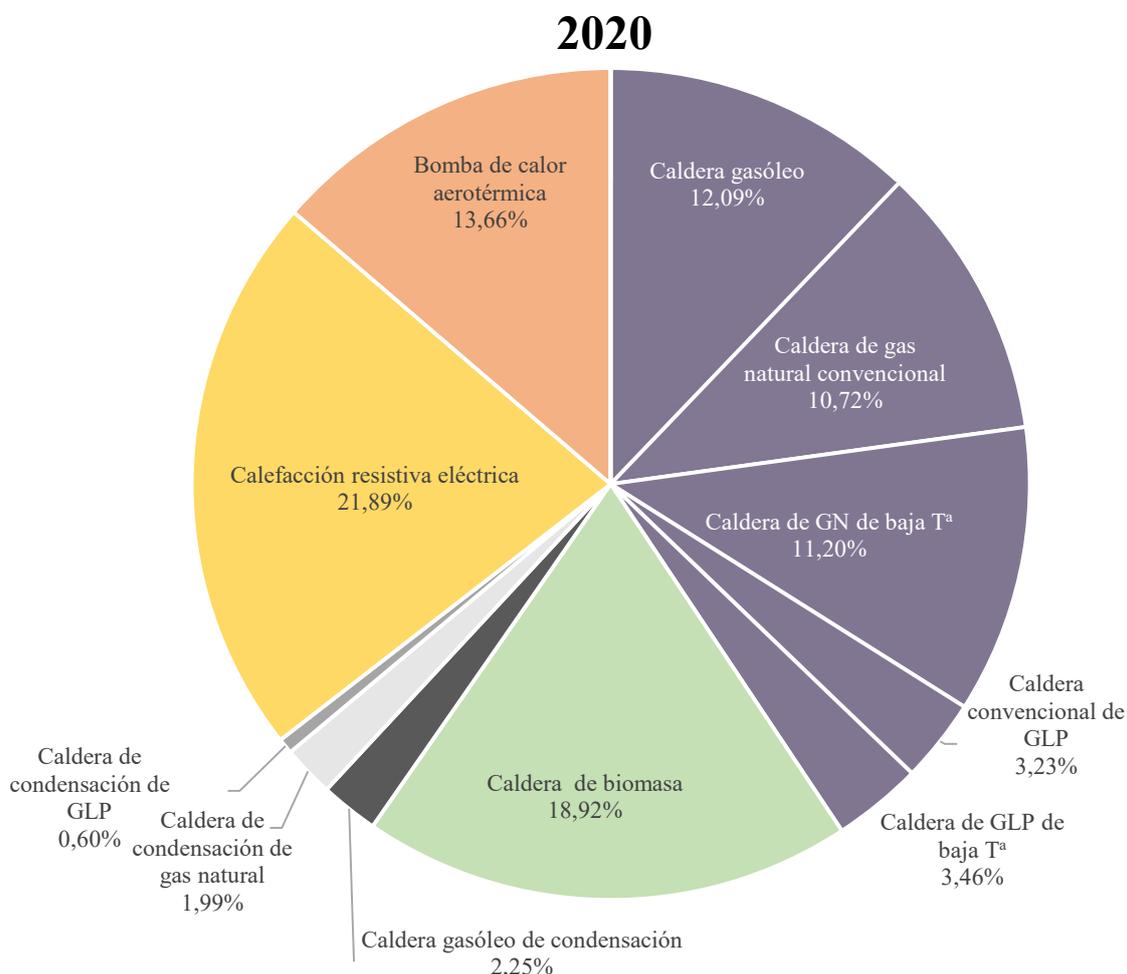


Figura 10: Representación del mix del grupo de calefacción actual en los hogares españoles

Debido a que el estudio SPAHOUSEC se refiere a calefacción individual y los consumos de 2018 son de todo el sector residencial, los valores obtenidos para este mix inicial son una aproximación.

### 3.1.2 Grupo ACS

En este caso, la tabla del informe SPAHOUSEC II no aporta información determinante acerca del mix de generación de ACS ya que considera todas las formas de producción de ACS incluyendo a las tecnologías del grupo mixto.

Para obtener la aportación de cada una de las tecnologías al mix de generación de ACS de los hogares españoles podremos basarnos por tanto únicamente en la información acerca de los combustibles utilizados para la producción de ACS que aparece en la Tabla 41[56]:

Fuente energética	Consumo de energía final (ktep)
Electricidad	482
Gas	1172
Combustibles sólidos	4
GLP	464
Gasóleo	141
Solar térmica	242
Biomasa	52
Geotermia	3
<b>TOTAL</b>	<b>2561</b>

Tabla 41: Consumos de energía final por usos del sector residencial (ktep) en el año 2018. ACS

A partir de estos valores se obtienen los porcentajes en la producción de ACS que aparecen en la Figura 11:

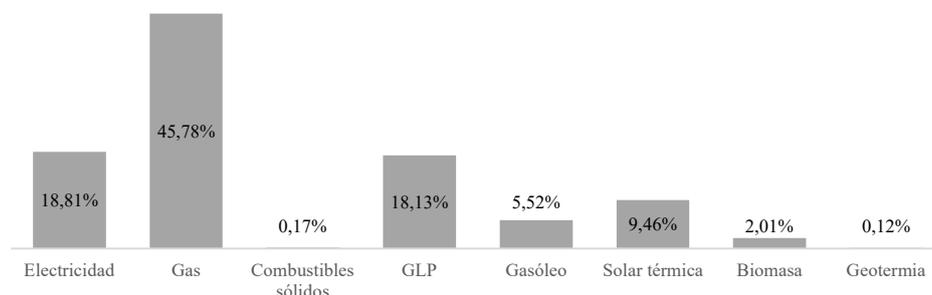


Figura 11: Consumos de energía final por usos del sector residencial (%) en el año 2018. ACS

Como no existen datos acerca de la distribución del tipo de equipo (atmosférico, estanco de condensación o estanco de bajo NOx) se ha tomado como suposición que estos se distribuyen como 70%, 10%, y 20% respectivamente, considerando el reciente desarrollo de los dos últimos lo que provoca que estén mucho menos presentes en los hogares en la actualidad. Con respecto a la bomba de calor, es muy poco habitual encontrar este tipo de equipos en la actualidad por lo que se considera que la totalidad de los equipos de ACS que funcionan mediante electricidad corresponde a los termos eléctricos. Estos valores, aplicados a las tecnologías incluidas en el trabajo dan lugar a los siguientes resultados:

Tecnología	(%) Combustible	(%) Total combustible utilizado	Distribución asumida según tipo de equipo	% Mix Final
Calentador atmosférico de gas natural			70 %	34,76
Calentador estanco de condensación de GN	45,78	49,66	10 %	4,97
Calentador estanco de bajo NOx de GN			20 %	9,93
Calentador atmosférico de GLP			70 %	13,77
Calentador estanco de bajo NOx de GLP	18,13	19,67	10 %	1,97
Calentador estanco de condensación de GLP			20 %	3,93
Termo eléctrico	18,81	20,41	100 %	20,41
Bomba de calor			0 %	0
Energía solar térmica	9,46	10,26		10,26
<b>TOTAL</b>	<b>92 %</b>	<b>100 %</b>		<b>100 %</b>

Tabla 42: Cálculo de aportación al mix final de las tecnologías del grupo ACS

Esta distribución final de la aportación de cada tecnología al mix existente actual de calefacción en los hogares se muestra de manera gráfica en la Figura 12

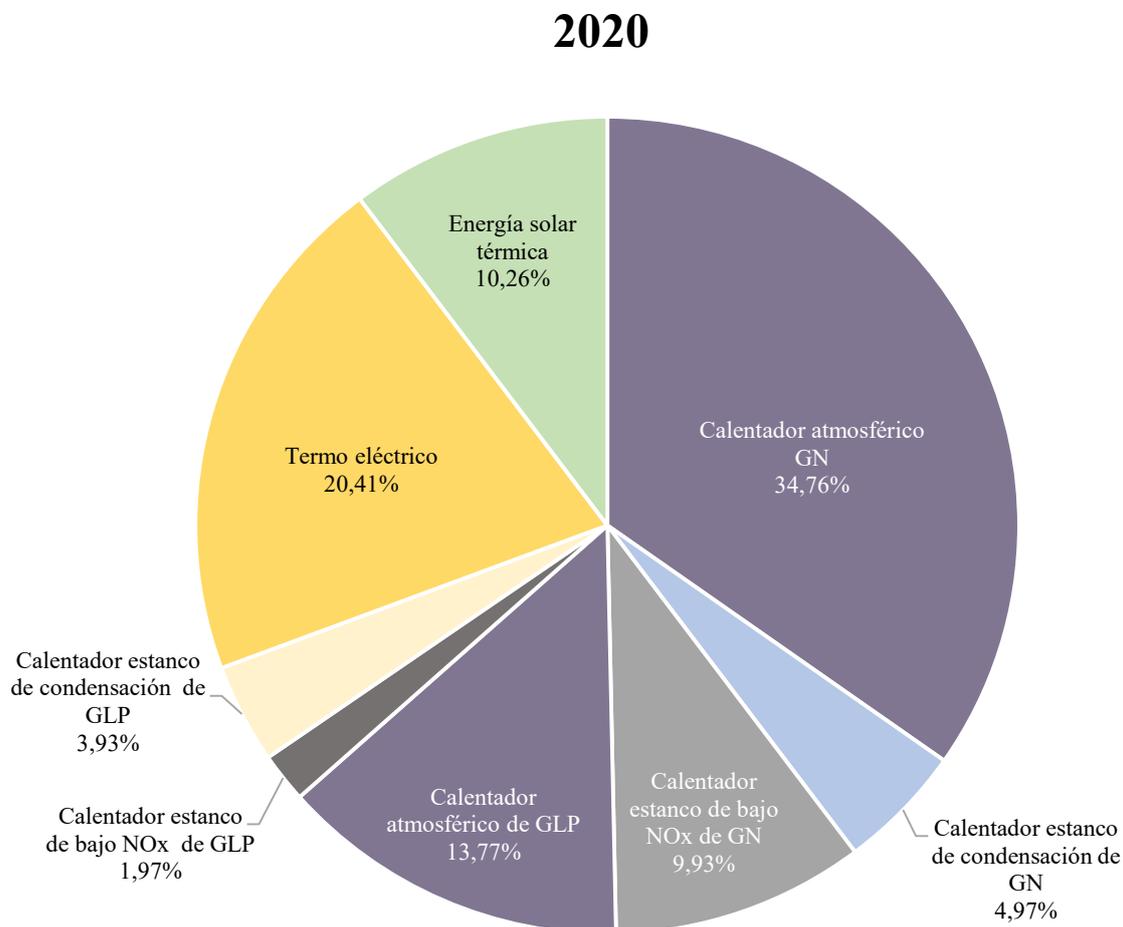


Figura 12: Representación del mix del grupo de calefacción en 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en los hogares españoles en la actualidad.

Debido a que el estudio SPAHOUSEC se refiere a calefacción individual y los consumos de 2018 son de todo el sector residencial, los valores obtenidos para este mix inicial son una aproximación.

### 3.1.3 Grupo refrigeración

En el caso del grupo de refrigeración toda la generación se produce a partir de la única tecnología disponible, la bomba de calor reversible.

## 3.2 Descarbonización

### 3.2.1 Contexto del escenario

Este escenario considera que los compromisos establecidos en el Acuerdo de París son respetados por todos los países incluyendo los más reticentes como pueden serlo Estados Unidos o Arabia Saudí. Esto provoca que la reducción de CO<sub>2</sub> y con ello el avance hacia tecnologías más eficientes sea fundamental.

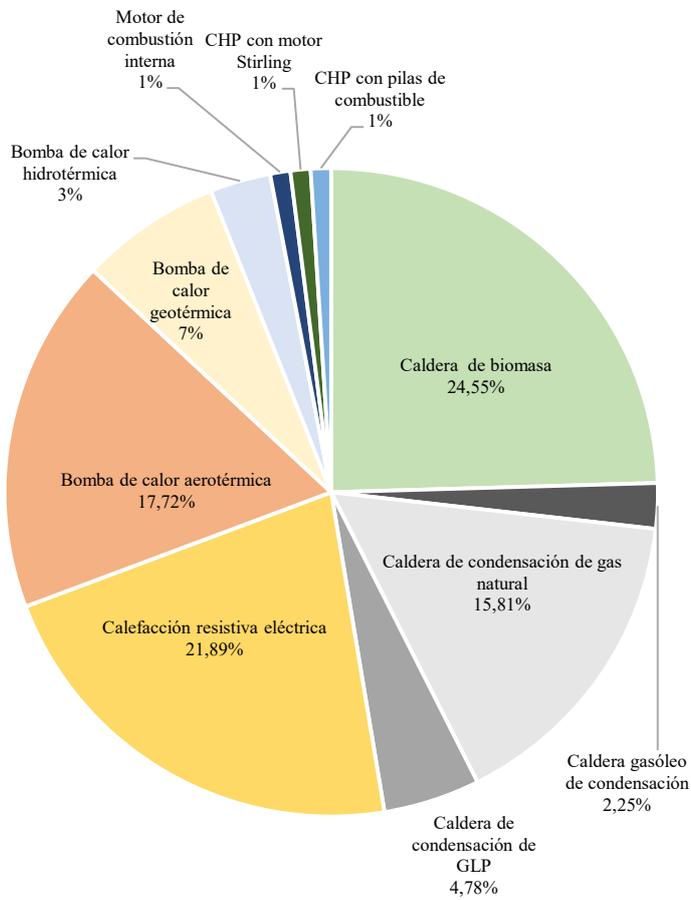
#### 3.2.1.1 Mix del grupo Calefacción y Mixto

En este escenario se consolidará en un primer momento el rápido avance hacia el uso de calderas de condensación, llegando estas a ser protagonistas en la generación térmica. En 2030 ya se prevé que en España dejen de utilizarse las calderas tradicionales y de baja temperatura. Estas calderas evolucionarán hacia calderas de biomasa, de condensación o hacia bombas de calor principalmente. En total, un 40,69% de la demanda está en 2020 cubierta por calderas convencionales. Este escenario contempla que, para 2030 gran parte de este porcentaje, un 18%, se derive hacia el uso de calderas de condensación (sin considerar la caldera de gasóleo debido que por la baja temperatura de rocío del gasóleo, solo tiene sentido usar este tipo de calderas en aplicaciones de baja temperatura) un 10% hacia las tecnologías más emergentes como lo son las bombas de calor geotérmica e hidrotérmica, un 3% repartido igualmente entre las diferentes formas de cogeneración y el 9,69% restante hacia calderas de biomasa y bombas de calor aerotérmicas de manera proporcional.

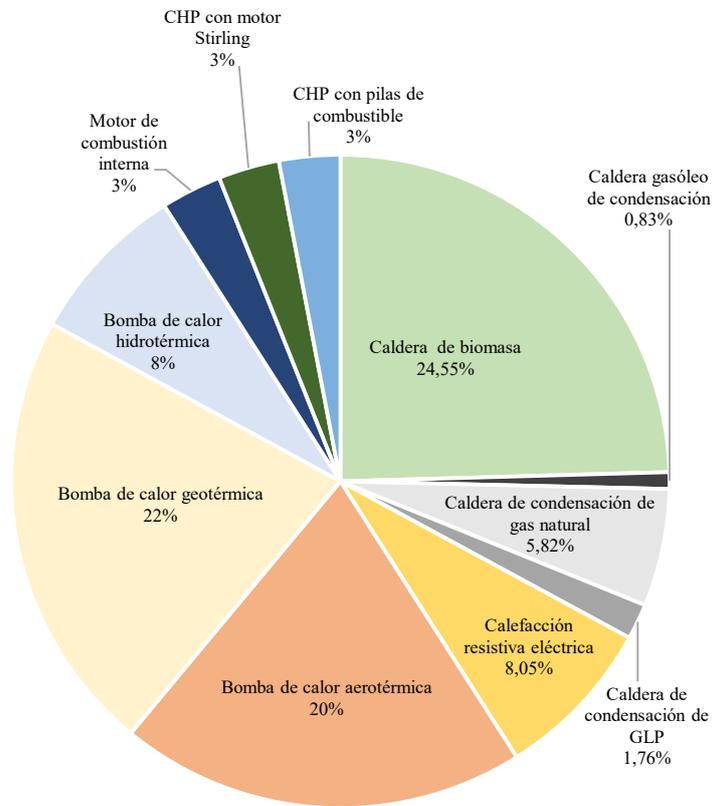
En 2050, se contempla una evolución hacia las tecnologías con mayores rendimientos y menores emisiones como consecuencia de la gran importancia de estos dos factores en un modelo descarbonizado, principalmente hacia las bombas de calor y más en concreto hacia las bombas de calor geotérmicas. Así, este escenario prevé que las bombas de calor lleguen a cubrir un 50% de la demanda de calefacción residencial a costa de una menor presencia proporcional de las demás tecnologías, sin contar la caldera de biomasa que mantendrá su presencia en 2050.

Las tecnologías más innovadoras de cogeneración llegarían a hacerse en 2050 con un 3% del mix cada una de ellas.

2030



2050



En la Figura 14 se puede ver la evolución entre los diferentes años:

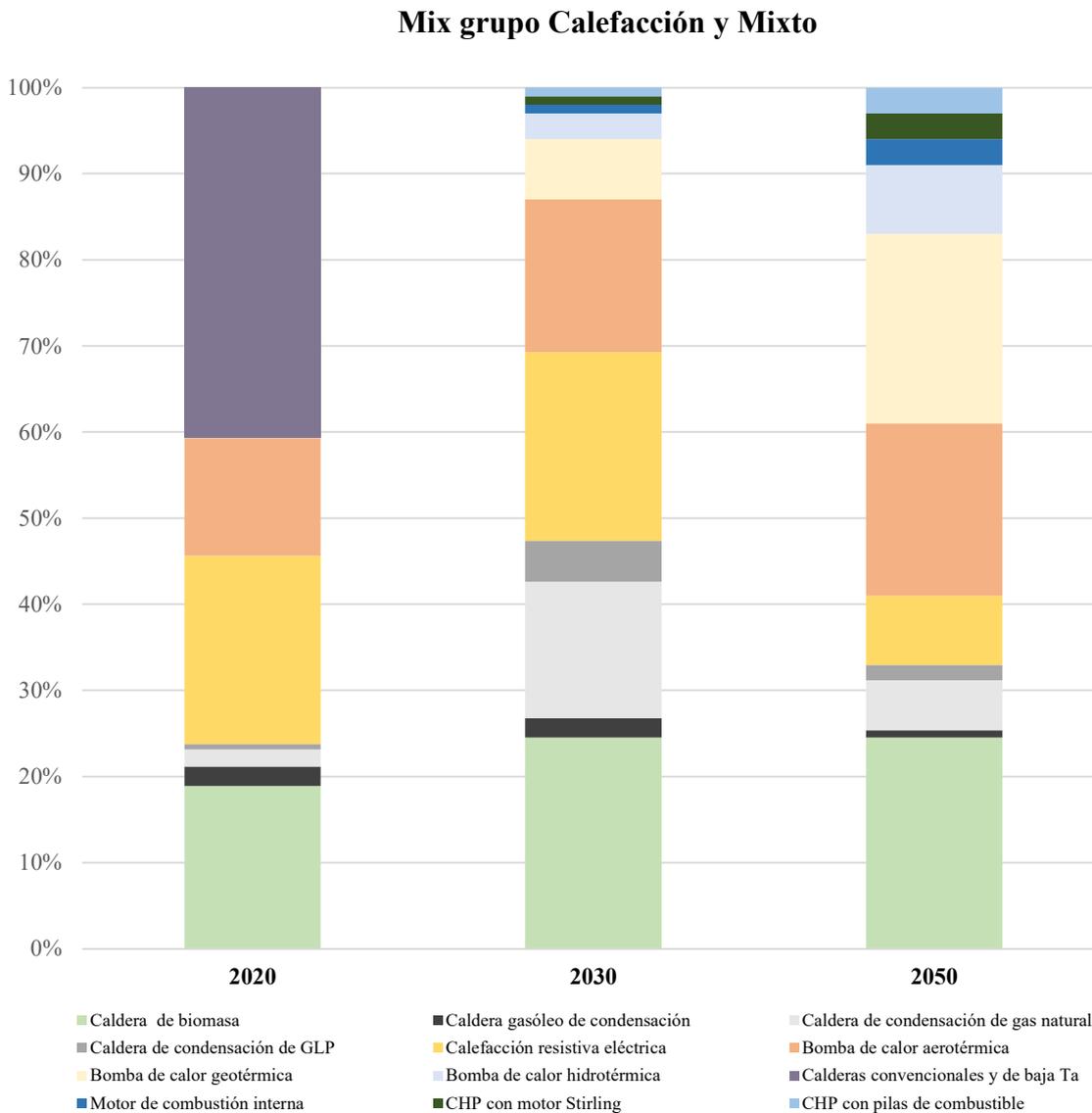


Figura 14: Evolución del mix del grupo de calefacción en el escenario de descarbonización.

### 3.2.1.2 Mix del grupo ACS

En este escenario se producirá un rápido avance hacia el uso de calentadores estancos, motivado por la necesidad de cumplimiento de la normativa vigente que se daría en un escenario descarbonizado. Por tanto, en 2030 no llegarán a utilizarse calentadores atmosféricos. El porcentaje de ACS producido por calentadores atmosféricos será nulo y esto dará lugar a un mayor uso del resto de tecnologías. En este escenario en el que las bajas emisiones son protagonistas se prevé una gran evolución hacia sistemas de generación de ACS mediante energía solar térmica, por lo que se contempla que en 2030 esta tecnología llegue a hacerse con un 10% más del mix actual. El resto del porcentaje hasta ahora suministrado por calentadores atmosféricos será generado por los calentadores estancos que presentan mayores rendimientos y por los termos eléctricos de manera proporcional. Además, la bomba de calor se introducirá en el mix en 2030 con un 5% y en 2050 llegará hasta el 10%. En 2050, la evolución se prevé fundamentalmente hacia la energía solar térmica por sus bajas emisiones y hacia bombas de calor por su mayor eficiencia, pudiendo tener lugar un mix como el indicado en la Figura 15:

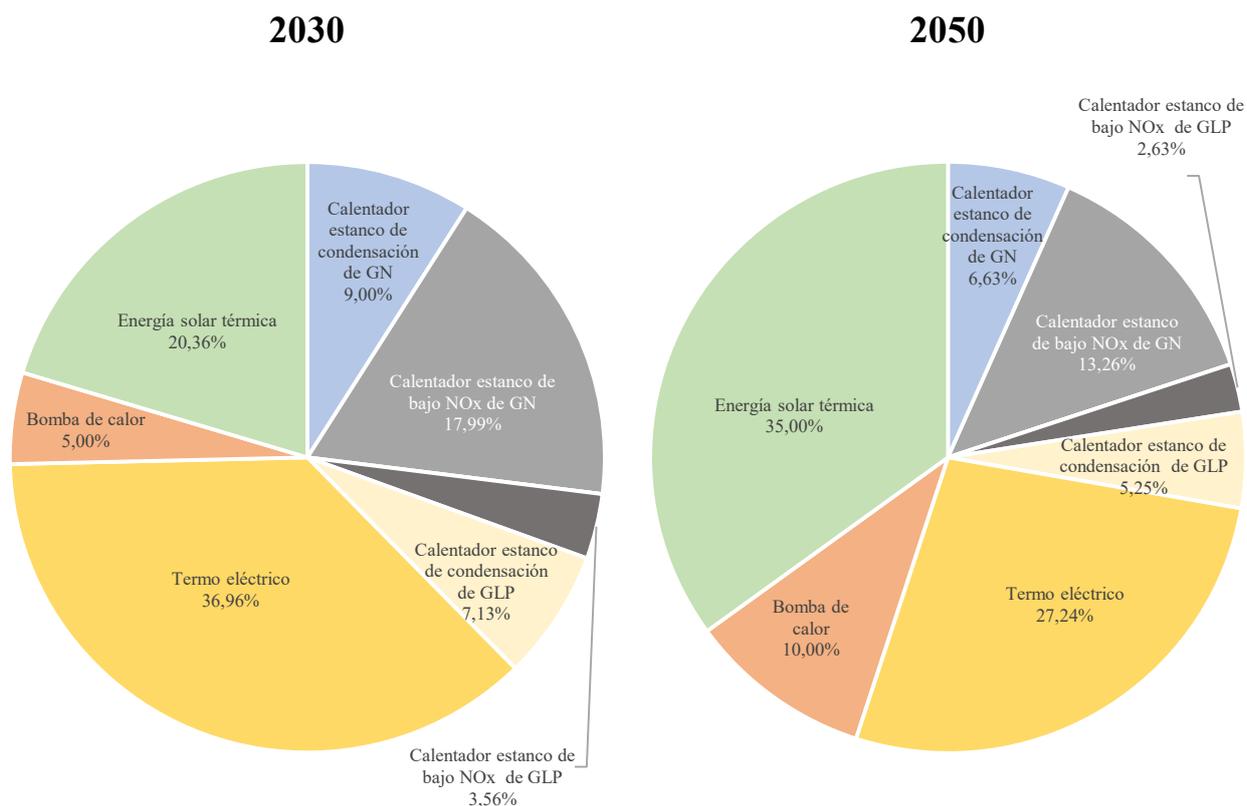


Figura 15: Representación del mix del grupo de ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de descarbonización

En la Figura 16 se puede ver la evolución entre los diferentes años

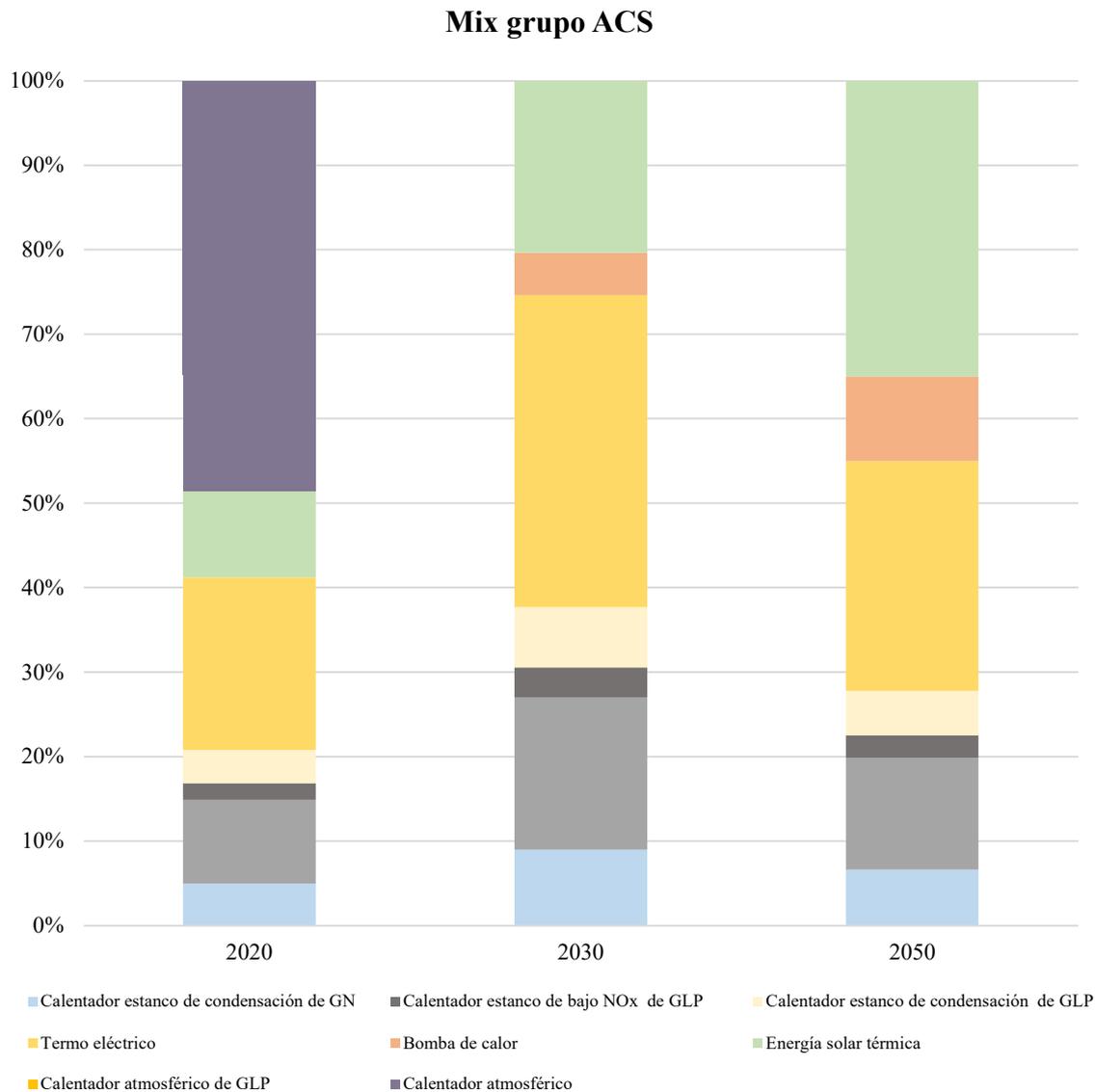


Figura 16: Evolución del mix del grupo de ACS en el escenario de descarbonización

### 3.2.1.3 Mix del grupo Refrigeración

El mix de generación del grupo de refrigeración continuará estando constituido únicamente por la tecnología de bomba de calor reversible.

### 3.3 Mantenimiento de las políticas actuales

En este escenario se asume que el panorama geopolítico internacional evoluciona de una manera aproximadamente lineal en el periodo 2030-2050.

Así, en el esfuerzo internacional de descarbonización y de reducción de emisiones se asumirá una cierta tibieza por parte de los países que se limitarán a cumplir los compromisos expresados en el Acuerdo de París, con países que abandonan la estrategia global contra el cambio climático. La presión ciudadana no es lo suficientemente fuerte como para impulsar políticas más ambiciosas y, aunque se progresa en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los esfuerzos no son coherentes con lo propuesto en el Acuerdo de París.

Por tanto, nos encontraremos ante un escenario menos ambicioso que el anterior con respecto a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y con ello habrá una menor presión por la eficiencia energética.

#### 3.3.1.1 Mix del grupo Calefacción y Mixto

En este escenario, al igual que en el de descarbonización, se cumplirá la normativa referente al uso de las calderas convencionales y de baja temperatura. Así, en 2030 estas dejarán de estar presentes en España y por tanto el resto de las tecnologías tendrán una mayor presencia en el mix de calefacción y mixto residencial. Este escenario contempla una distribución de ese porcentaje (un 40,69% del total) centrada principalmente sobre calderas de condensación tanto de gas natural como de GLP. Así, se asume que un 25% derive hacia el uso de calderas de condensación (sin considerar la caldera de gasóleo por los motivos expresados anteriormente) un 8% hacia las tecnologías bomba de calor geotérmica e hidrotérmica y el 7,69% restante hacia calderas de biomasa y bombas de calor aerotérmicas de manera proporcional.

En 2050, se contempla una evolución hacia tecnologías con mayores rendimientos, pero más lenta que en el modelo de descarbonización. Así, este escenario prevé que las bombas de calor lleguen a cubrir un 40% de la demanda de calefacción residencial a costa de una menor presencia proporcional de las demás tecnologías.

Las tecnologías más innovadoras de cogeneración llegarían a hacerse en 2050 con un 2% del mix cada una de ellas.

En la Figura 17 puede verse la distribución del mix de generación calefacción y mixto residencial en 2030 y 2050 y en la aparece la evolución del mix en los diferentes años.

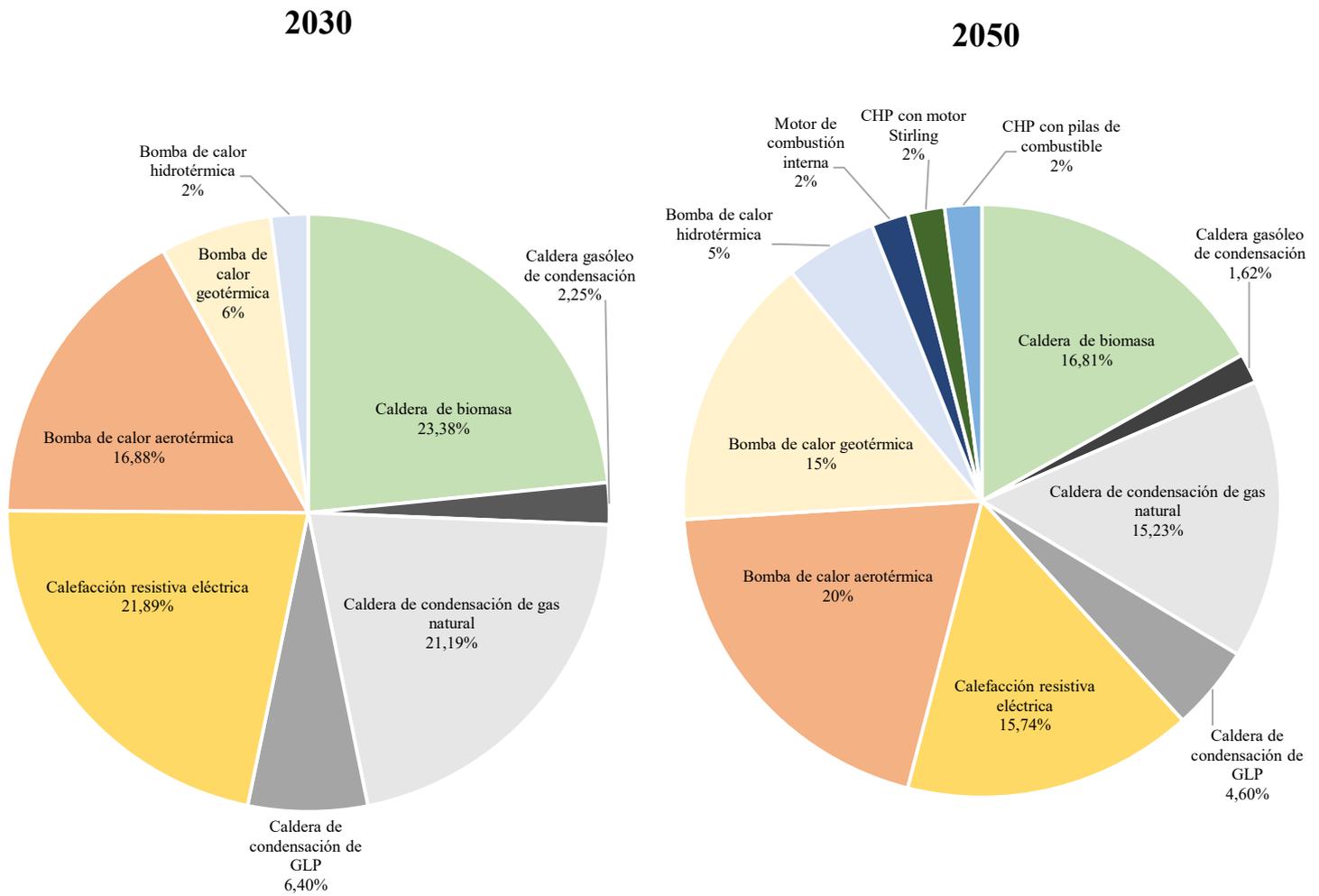


Figura 17: Representación del mix del grupo de Calefacción y Mixto en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de mantenimiento de políticas actuales

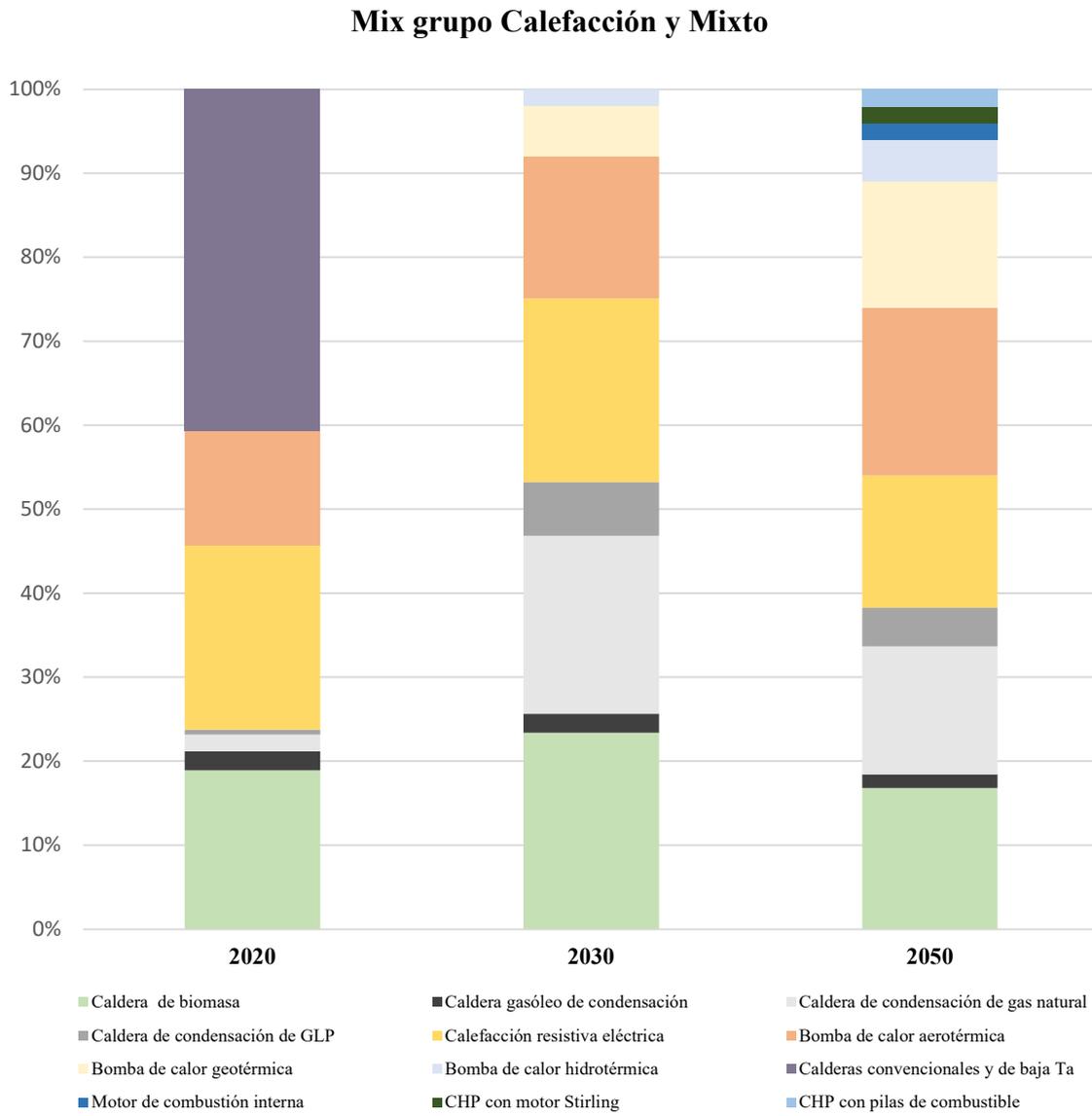


Figura 18: Evolución del mix del grupo Calefacción y Mixto en el escenario de mantenimiento de políticas actuales

### 3.3.1.2 Mix del grupo ACS

De igual manera que en el caso anterior, la necesidad de cumplir con la normativa actual provoca la desaparición de los calentadores atmosféricos en 2030. Esto provocaría una necesidad de aumento de la presencia del resto de tecnologías. Este escenario prevé que este reparto se llevaría a cabo buscando mejoras de eficiencia y reducción de emisiones de una manera menos exigente que en el escenario de descarbonización. Así, se establece que un 5% de ACS producido hasta ahora por calentadores atmosféricos comience a suministrarse a través de energía solar térmica. El resto comenzará a suministrarse por las tecnologías disponibles restantes de manera proporcional. La bomba de calor geotérmica solamente llegara a suministrar un 2% del ACS en 2030. En 2050 la evolución presume un aumento de presencia de energía solar térmica hasta el 25% y de bomba de calor hasta el 5%.

En la Figura 19 puede verse el mix resultante para los años 2030 y 2050 en el suministro de ACS.

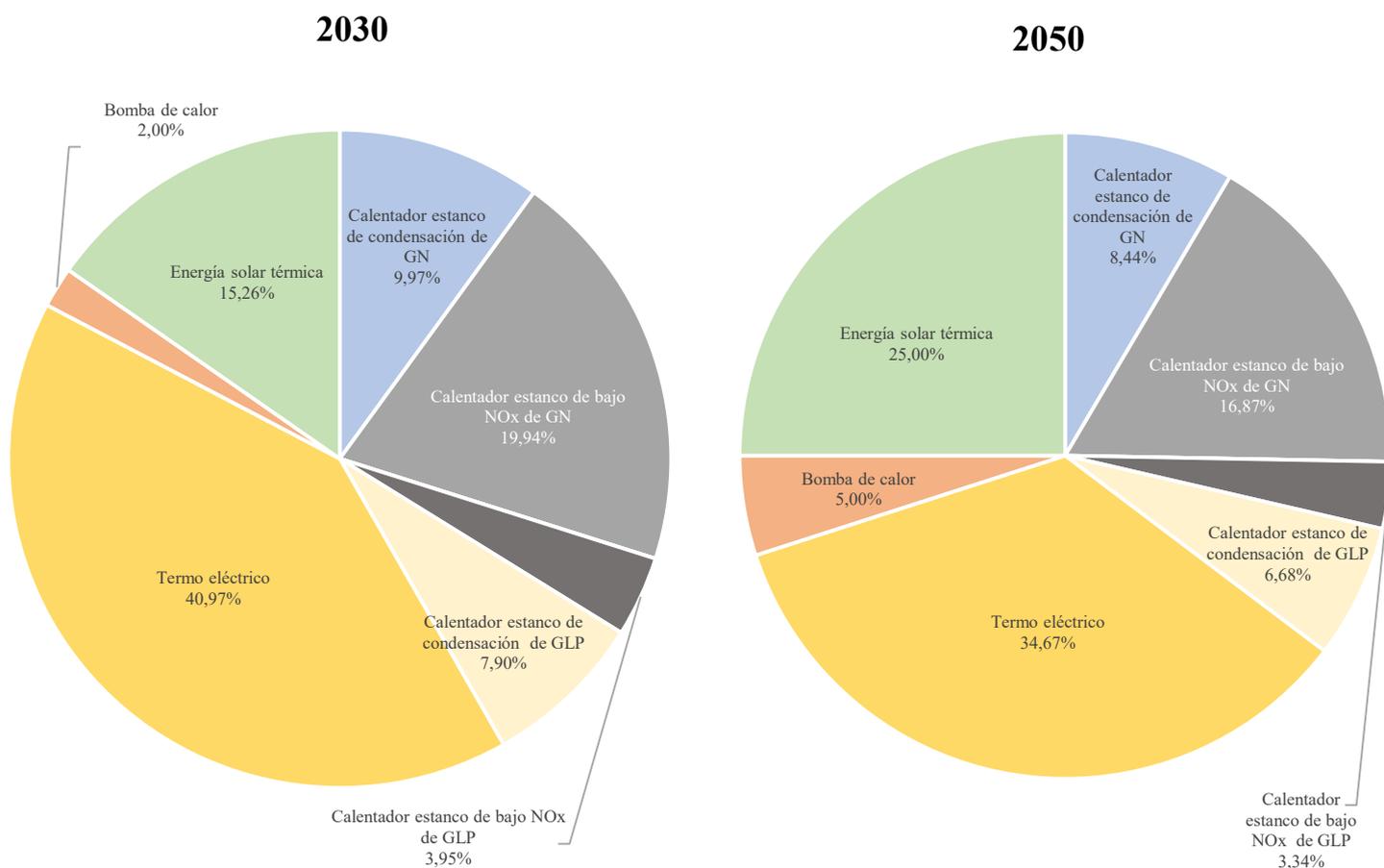


Figura 19: Representación del mix del grupo de ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de mantenimiento de políticas actuales

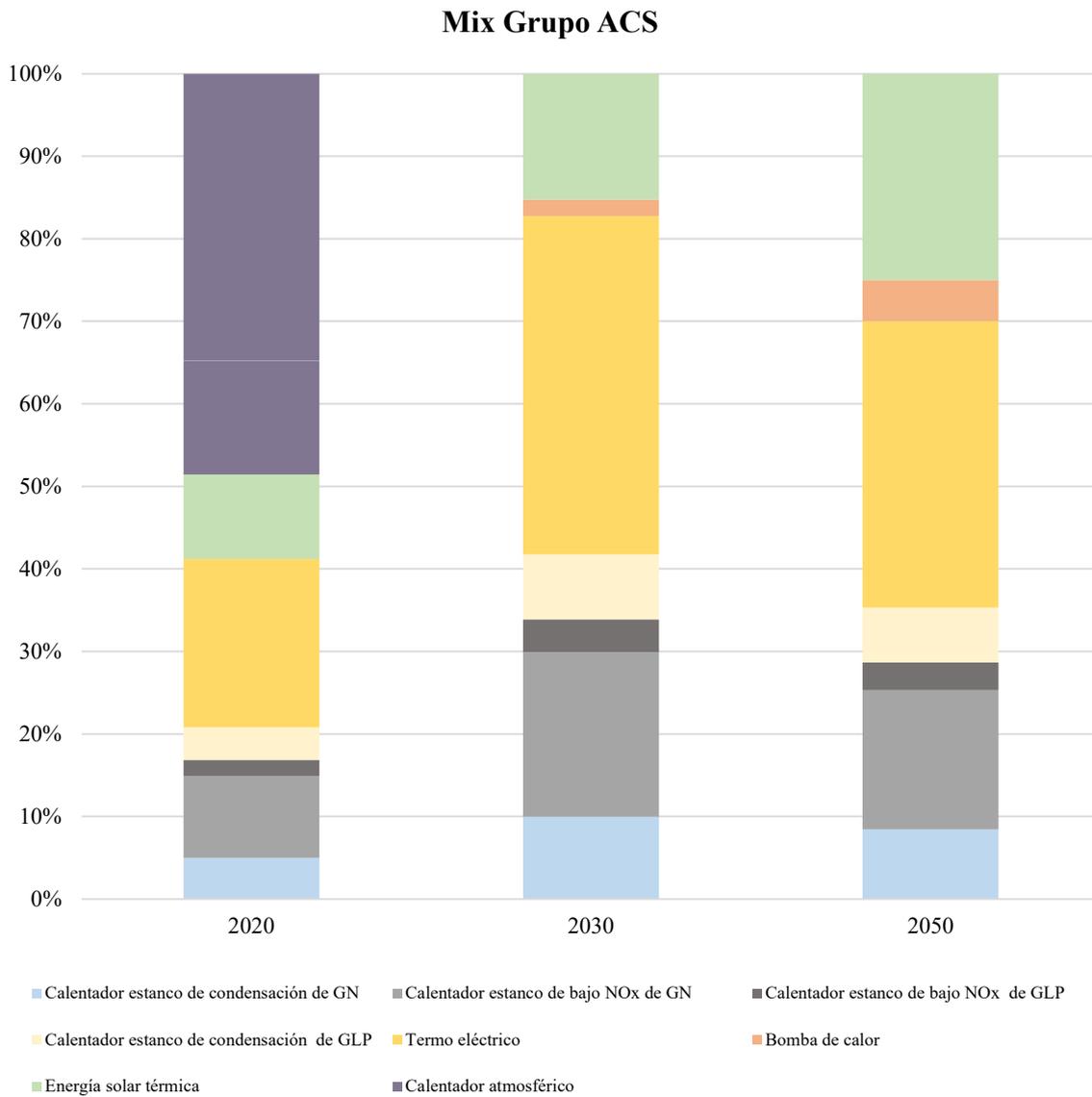


Figura 20: Evolución del mix del grupo de ACS en el escenario de mantenimiento de políticas actuales

## 3.4 Avance tecnológico acelerado

### 3.4.1 Contexto del escenario

En este escenario se considera un gran desarrollo tecnológico hacia los equipos renovables. Se producirá un avance similar al que se da en el escenario de descarbonización, pero siendo la innovación el principal factor considerado en la evolución del mix térmico en los hogares. Se producirán por tanto fuertes inversiones en tecnologías emergentes que harán que el mix alcanzado en los años 2030 y 2050 sea aún más avanzado tecnológicamente que en el escenario de descarbonización.

#### 3.4.1.1 Mix del grupo Calefacción y Mixto

En este escenario se producirá también la desaparición de calderas tradicionales y de baja temperatura para el año 2030. Sin embargo, las calderas de condensación no llegarán a tener un protagonismo tan importante como en el escenario de descarbonización. Se producirá una evolución principalmente hacia las tecnologías más emergentes, en concreto hacia bombas de calor geotérmica e hidrotérmica. Así este escenario contempla que el 40,69% de la demanda que actualmente está cubierta por calderas convencionales derive en un 20% hacia bombas de calor geotérmica e hidrotérmica, un 7% hacia calderas de condensación (sin incluir la caldera de gasóleo), un 6% repartido igualmente entre las diferentes formas de cogeneración el 7,69% restante hacia calderas de biomasa y bombas de calor aerotérmicas de manera proporcional.

En 2050 se contempla que esta evolución hacia tecnologías con mayores rendimientos y menores emisiones, es decir, las tecnologías más avanzadas, sea aún más grande. Por tanto, se seguirá produciendo ese avance hacia bombas de calor que ya se dio en 2030. Así, en este escenario las bombas de calor llegarían a cubrir un 65% de la demanda de calefacción residencial dando esto lugar a una presencia del resto de tecnologías.

En la Figura 21 puede verse la distribución del mix de generación Calefacción y Mixto residencial en 2030 y 2050 y en la Figura 22 aparece la evolución del mix en los diferentes años.

Las tecnologías más innovadoras de cogeneración llegarían a hacerse en 2050 con un 5% del mix cada una de ellas.

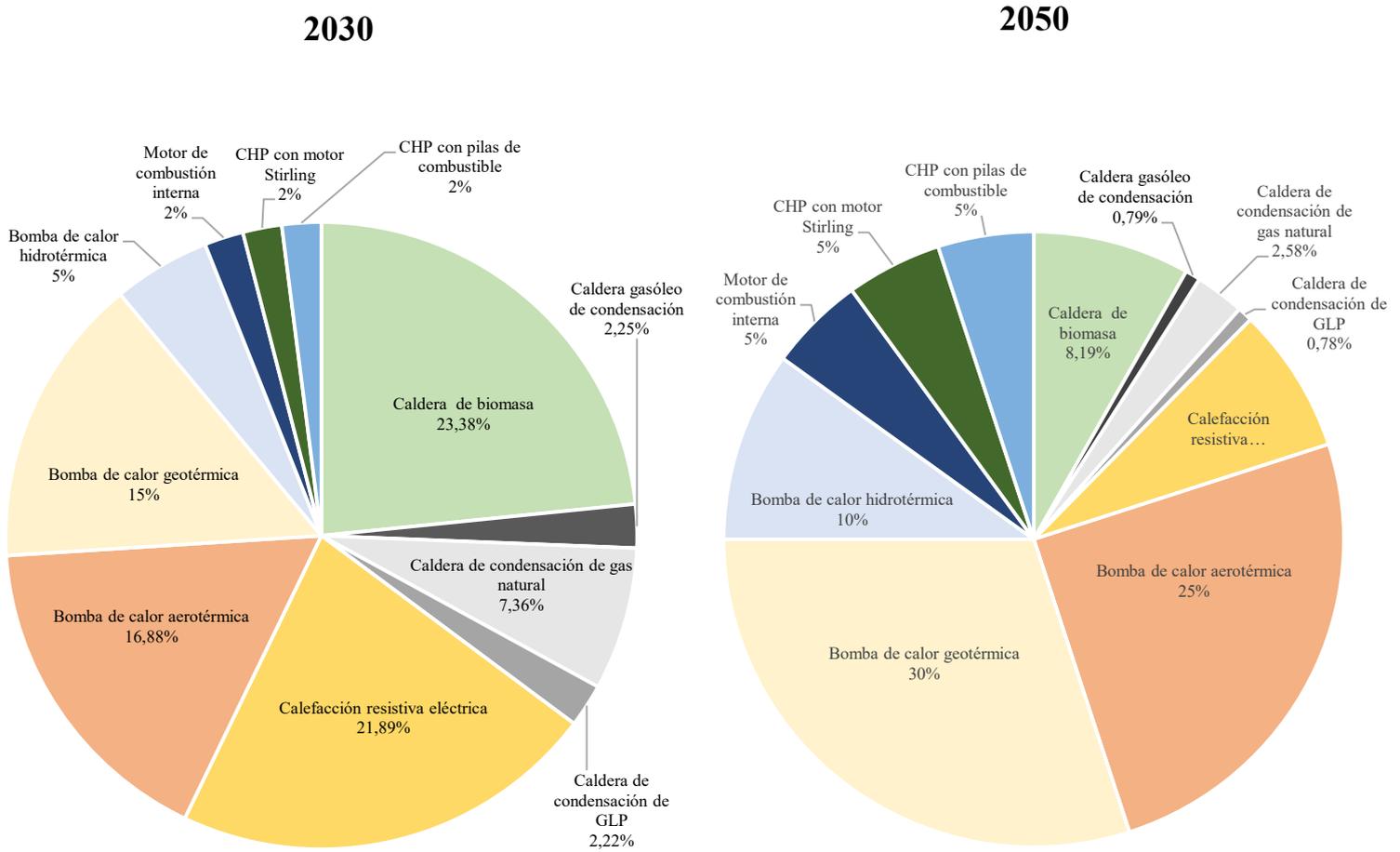


Figura 21: Representación del mix del grupo Calefacción y Mixto en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de avance tecnológico acelerado

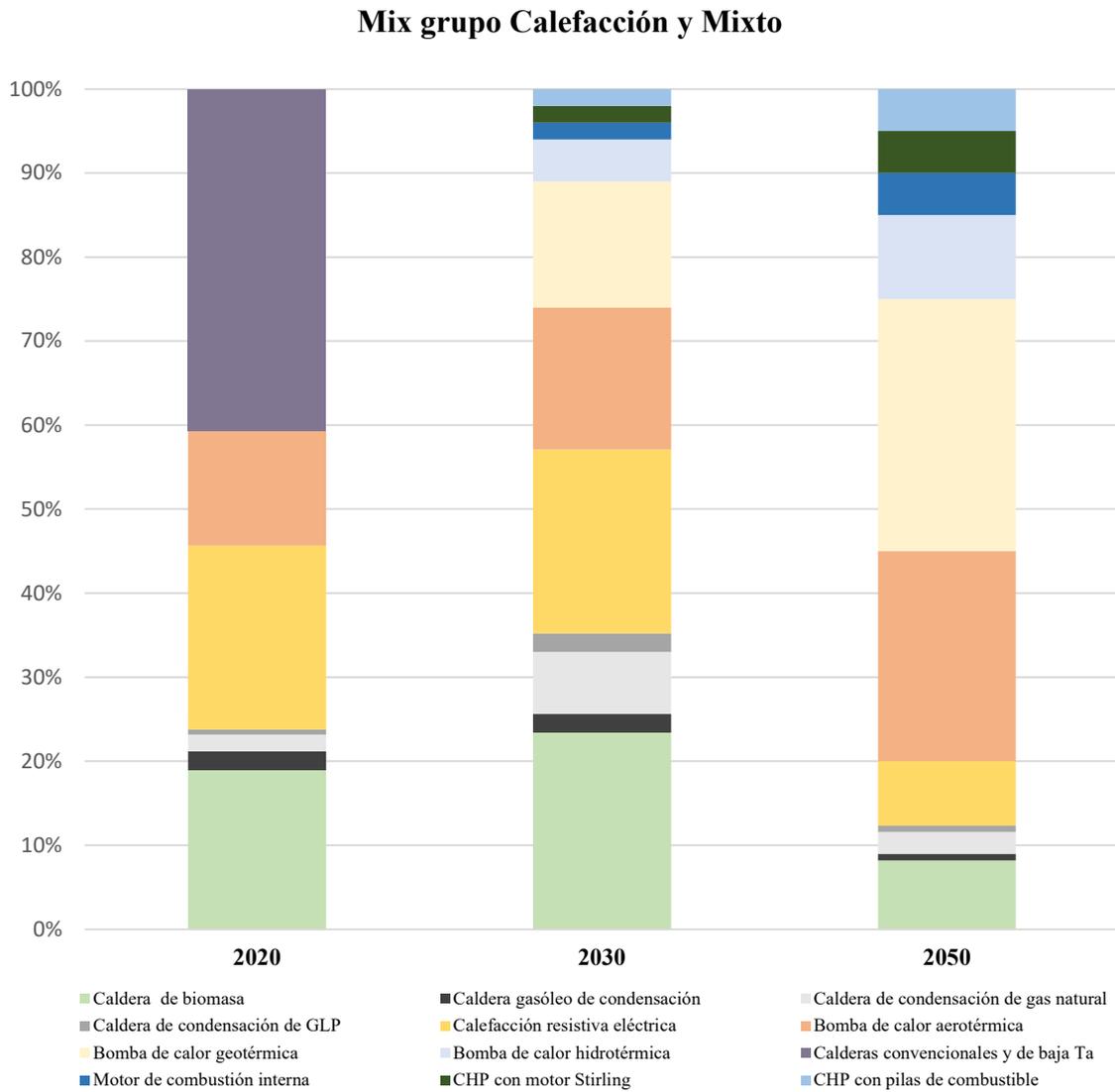


Figura 22: Evolución del mix del grupo de calefacción en el escenario de avance tecnológico acelerado

### 3.4.1.2 Mix del grupo ACS

Dentro de este escenario se considera la desaparición de calentadores atmosféricos de manera que se cumpla la normativa establecida actual. Esto dará lugar a un mayor empleo del resto de tecnologías, Entre ellas, este escenario plantea un mayor protagonismo de las más emergentes con mejores rendimientos o menores emisiones como lo son la energía solar térmica, además de los calentadores estancos y los termos eléctricos.

Así, en 2030, este escenario plantea que la generación de ACS mediante energía solar térmica llegue a suministrar un 25% de la demanda. El resto del porcentaje hasta ahora suministrado por calentadores atmosféricos será generado por calentadores estancos que presentan mayores rendimientos y por los termos eléctricos de manera proporcional. Además, la bomba de calor se introducirá en el mix en 2030 con un 10% y en 2050 llegará hasta el 15%. En 2050, la evolución se prevé fundamentalmente hacia la energía solar térmica por sus bajas emisiones y hacia bombas de calor por su mayor eficiencia, pudiendo tener lugar un mix como el indicado en la Figura 23:

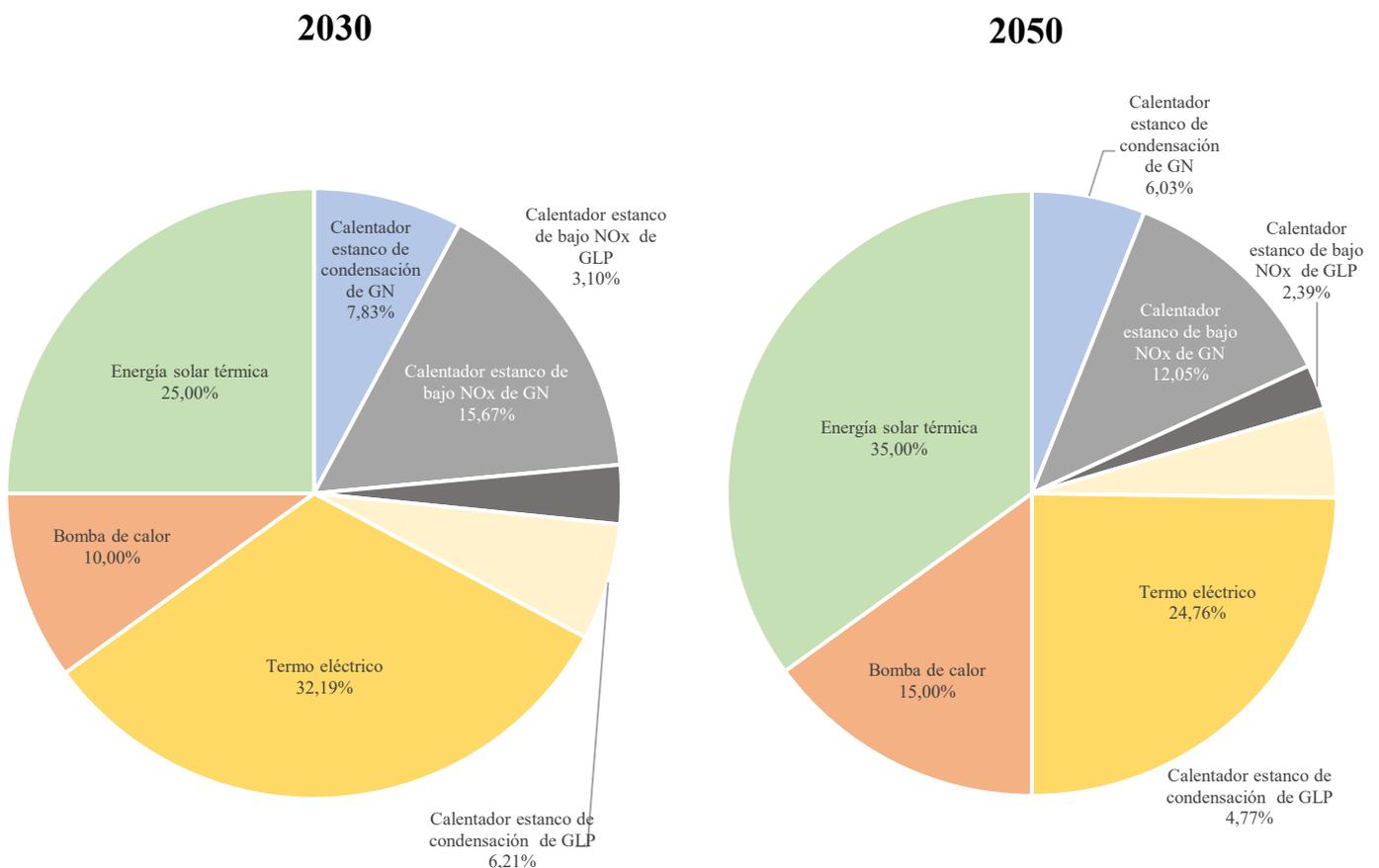


Figura 23: Representación del mix del grupo de ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de avance tecnológico acelerado

En la Figura 24 puede ver la evolución entre los diferentes años:

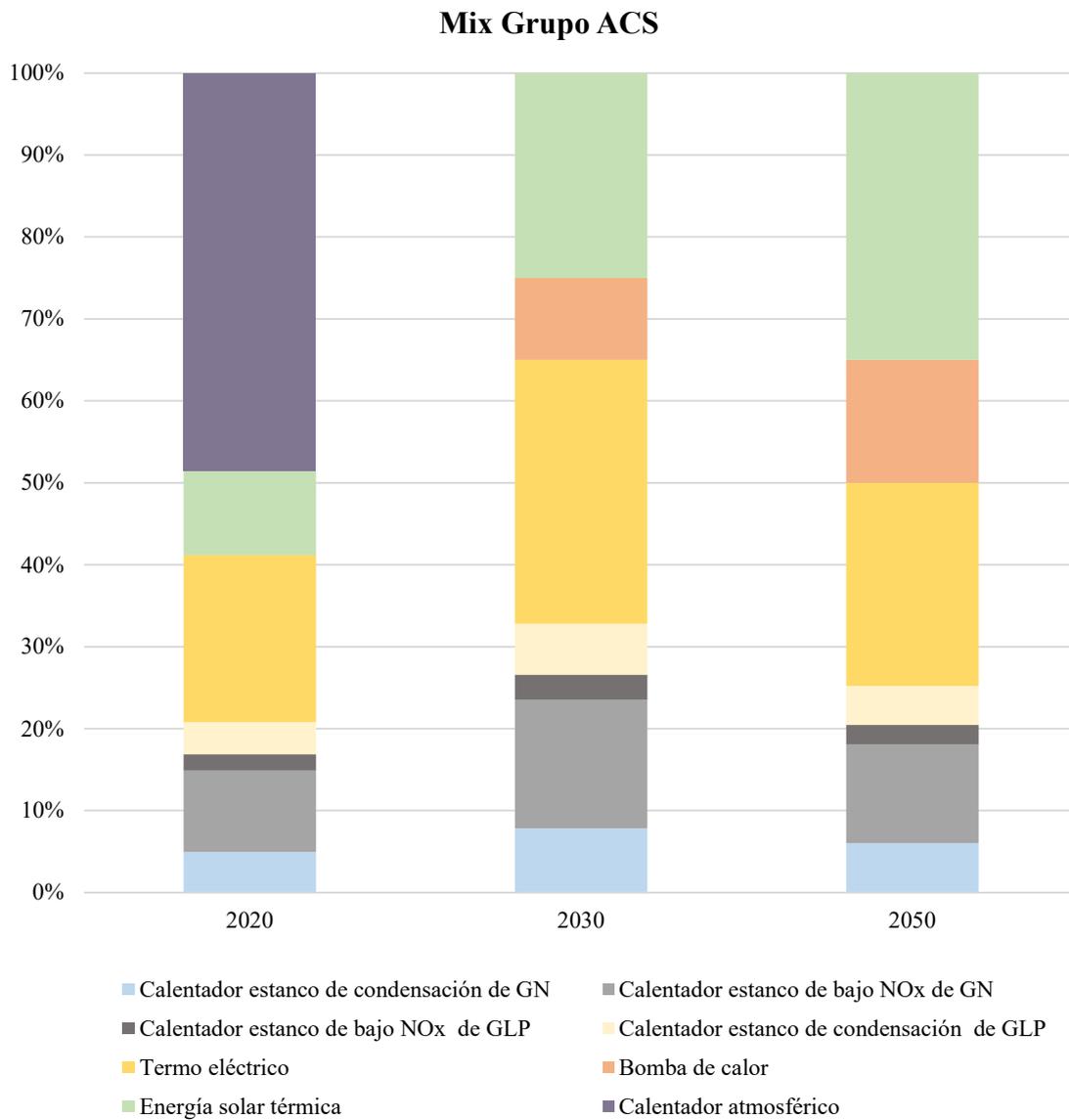


Figura 24: Evolución del mix del grupo de ACS en el escenario de avance tecnológico acelerado

## 3.5 Estancamiento secular

En este escenario se produce un estancamiento y falta de innovación que provoca que las tecnologías energéticas no experimenten un desarrollo significativo. La fuerte dependencia de combustibles fósiles seguirá siendo una realidad en 2050 y la evolución hacia tecnologías limpias y eficientes será más lenta que en cualquiera de los otros escenarios.

### 3.5.1.1 Mix del grupo Calefacción y Mixto

En este escenario, a pesar de ser el menos ambicioso de todos, se producirá lo que en este trabajo se asume como una realidad, la desaparición de calderas convencionales y de baja temperatura conforme a lo dispuesto en la normativa europea. Sin embargo, la demanda suministrada actualmente por esta tecnología no avanzará en tan gran medida hacia tecnologías sin emisiones o con mayores eficiencias. En 2030 se prevé, que este porcentaje (40,69% del total) comience a producirse principalmente por calderas de condensación (sin considerar la caldera de gasóleo), absorbiendo esta tecnología un 30% de la demanda producida hoy en día por las calderas convencionales y de baja temperatura. El 10,69% restante se comenzará a producir por calderas de biomasa y bombas de calor aerotérmicas proporcionalmente sin llegar el resto de las bombas de calor a obtener un aporte representativo en la generación de calefacción en los hogares españoles.

La evolución hacia tecnologías con mayores rendimientos en el periodo 2030-2050 será muy lenta en este escenario y se conseguirá para el año 2050 una representación mínima de tecnologías emergentes con mayores rendimientos como bombas de calor geotérmica e hidrotérmica. Se plantea únicamente una disminución del aporte de calderas de condensación del 10% que se distribuiría proporcionalmente entre el resto de las tecnologías contando con una presencia de las bombas de calor geotérmica e hidrotérmica mínima de 3% y 1% respectivamente.

Las tecnologías más innovadoras de cogeneración no llegarían a implantarse en España en ninguno de los años de estudio.

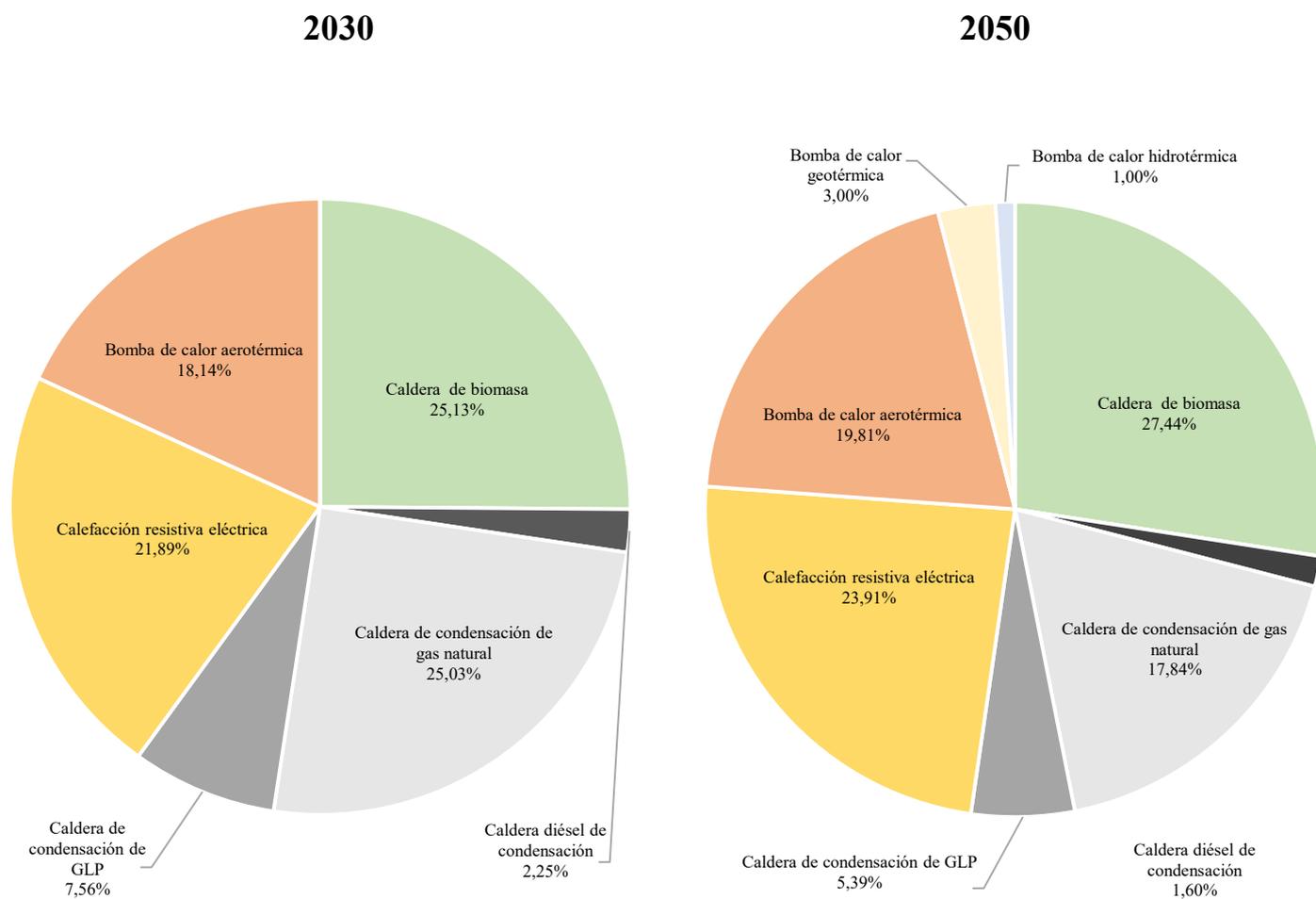


Figura 25: Representación del mix del grupo de Calefacción y Mixto en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de estancamiento secular

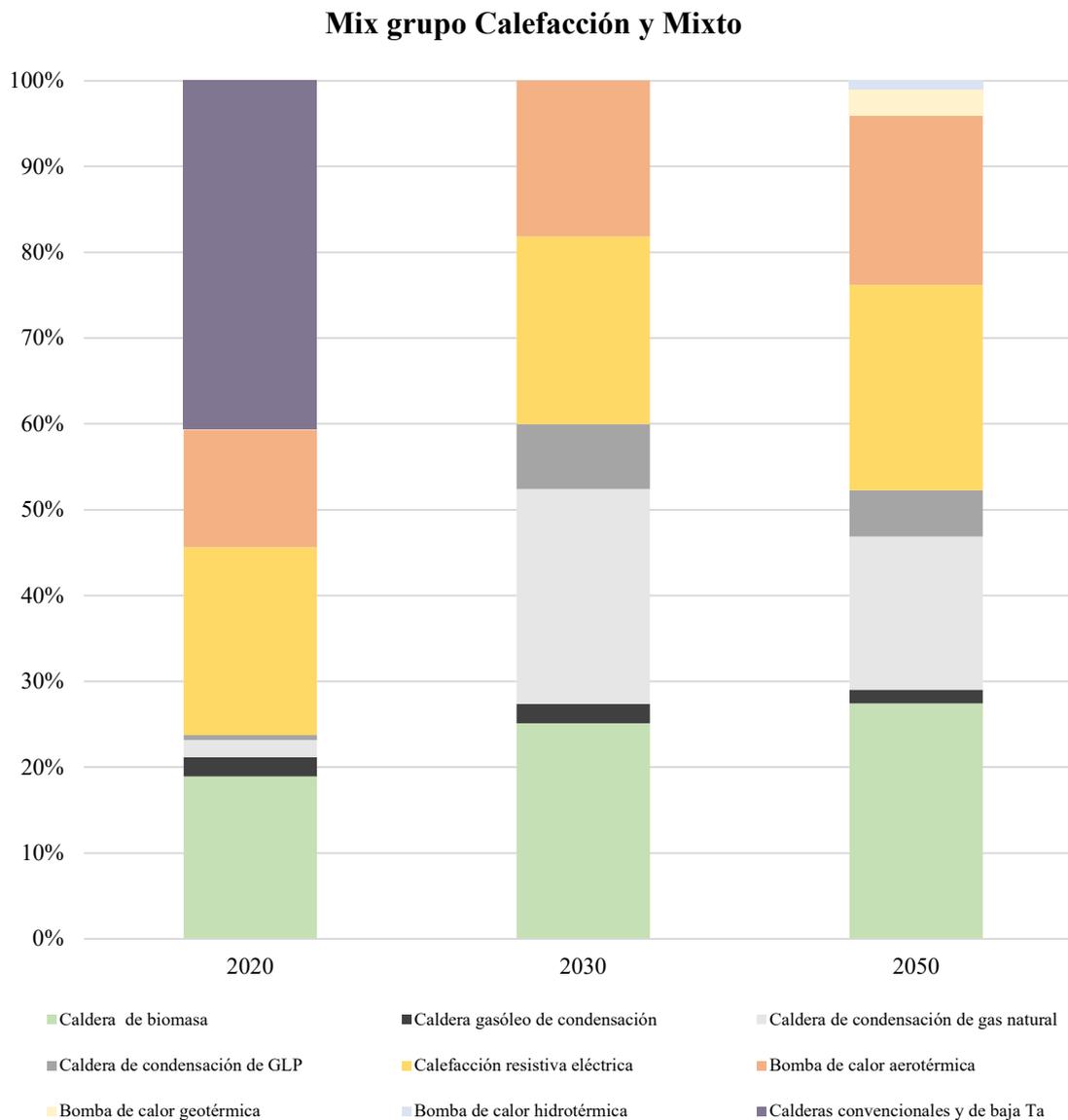


Figura 26: Evolución del mix del grupo Calefacción y Mixto en el escenario de estancamiento secular

### 3.5.1.2 Mix del grupo ACS

Igualmente, se plantea la desaparición de calentadores atmosféricos en 2030 de manera que se cumpla lo establecido en la normativa europea a pesar de la poca ambición de alcanzar tecnologías con bajas emisiones y grandes eficiencias en este escenario. El porcentaje de la demanda suministrada hasta ahora por calentadores atmosféricos será producido en 2030 por las tecnologías disponibles de manera proporcional, estableciéndose para la energía solar térmica previamente un aumento de menos de un 2% para que llegue a suministrar en 2030 un 13%. La bomba de calor geotérmica seguirá sin estar presente en el año 2030.

En 2050 llegaría a obtener una presencia del 2% mientras que la energía solar térmica lo haría con un 15%.

En la Figura 27 puede verse el mix resultante para los años 2030 y 2050 en el suministro de ACS.

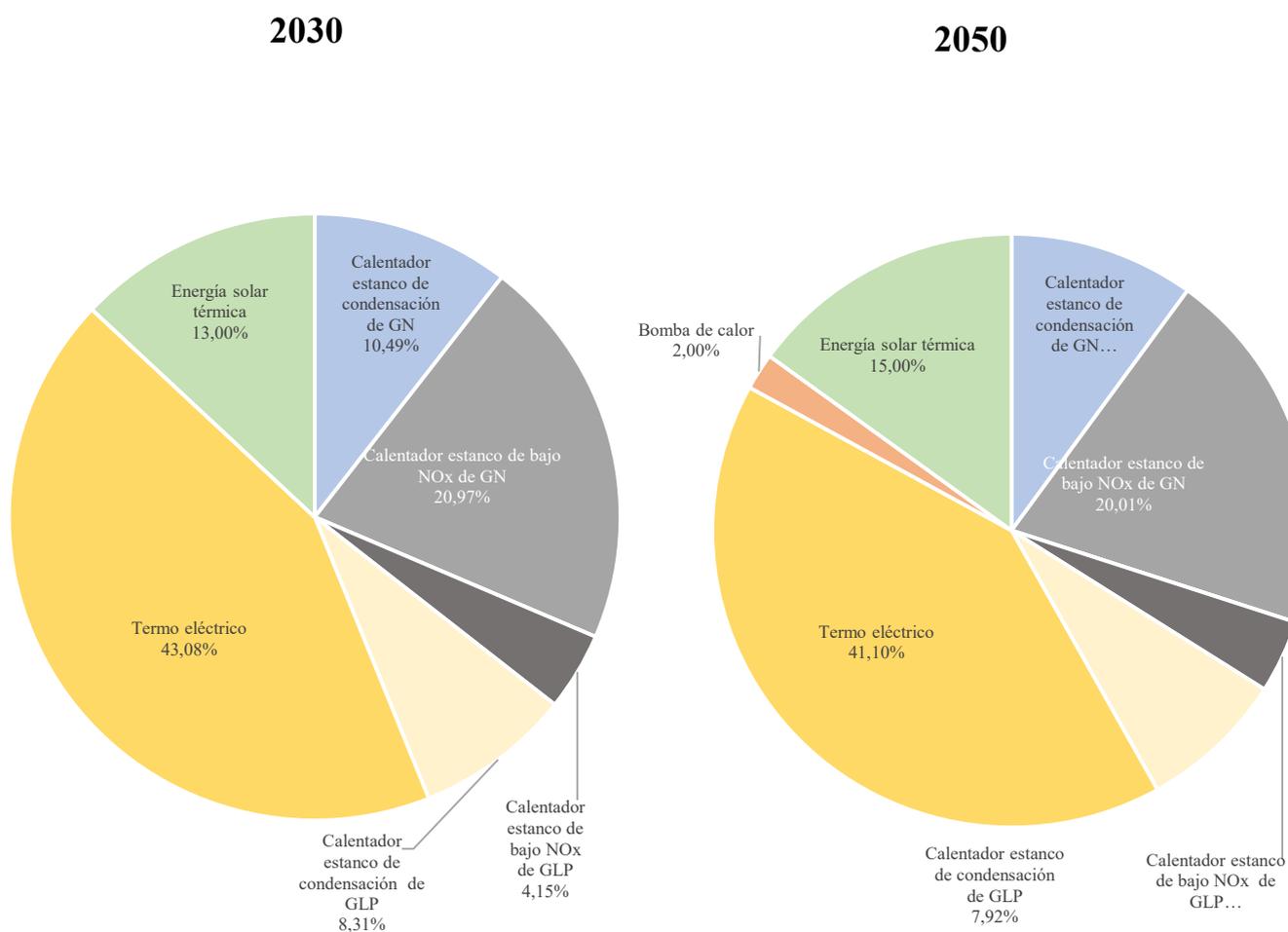


Figura 27: Representación del mix del grupo ACS en 2030 y 2050 en los hogares españoles en el escenario de estancamiento secular

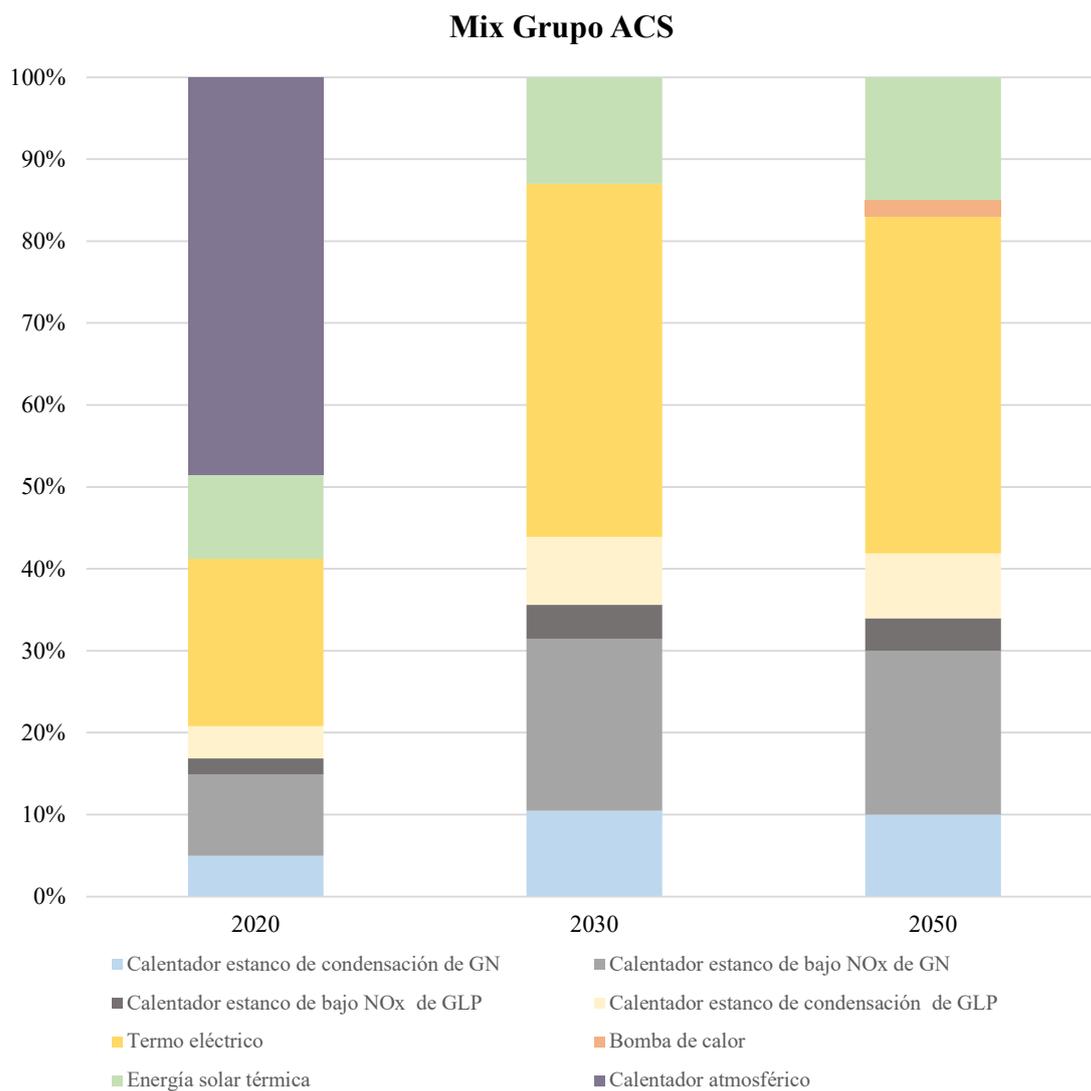


Figura 28: Evolución del mix del grupo ACS en el escenario de estancamiento secular

## Capítulo 4

### Conclusiones

En este capítulo se muestran las conclusiones de este documento de manera que sirva como un resumen que pueda utilizarse para llevar a cabo el futuro trabajo de implementación y análisis de resultados de los distintos escenarios:

Así, se incluyen los siguientes apartados:

- Listado de tecnologías actualizadas con valores de rendimientos estacionales y nominales.
- Valores porcentuales del aporte de las tecnologías incluidas en el mix de suministro térmico residencial para los años 2020, 2030 y 2050.

A lo largo de los diferentes apartados se ha podido comprobar el determinante papel que juegan las decisiones políticas en la evolución del sector energético. En multitud de ocasiones se ha hecho referencia a las normativas tanto europeas como españolas que son las que finalmente condicionan los rendimientos mínimos que puedan tener las tecnologías en un futuro. Los escenarios de 2030 y 2050 estarán por tanto condicionados en gran medida por esta normativa y por las normativas que vendrán con vistas a regular este sector de cara a 2050. Esto nos hace tener una idea de la importancia de las políticas a largo plazo sobre el sector energético, que determinarán el rumbo que tomará la innovación y el desarrollo de las tecnologías térmicas.

Ante la situación actual de crisis pandémica a nivel mundial el futuro es aún más incierto tanto en lo referente al sector económico como al energético. Es por ello por lo que estas medidas políticas caracterizadas por su visión a largo no pueden ser estáticas, si no que deben estar en continua evaluación y revisión.

Además, a partir de la revisión de la normativa y del establecimiento de diferentes escenarios que se ha hecho a lo largo de este trabajo, se pueden resumir las siguientes conclusiones:

- Las calderas convencionales y de baja temperatura dejarán de estar presentes en el mix de generación térmica residencial en los próximos 10 años como consecuencia de las normativas desarrolladas a nivel europeo. Esta situación dará lugar a un aumento de la presencia del resto de tecnologías en todos los escenarios que se quieran llegar a analizar.

- Los equipos de cogeneración empezarán a tener mayor protagonismo llegando a ser una parte representativa del mix de generación de calefacción residencial en los próximos años.
- Las bombas de calor, por su alta eficiencia, jugarán un papel fundamental en el futuro del sector térmico residencial. Esta tecnología presenta unos valores de rendimiento muy superiores a los del resto de equipos disponibles. Se presentan, por tanto, como un vector clave en el futuro del sector y se prevé un mayor protagonismo en los próximos años. En este estudio se ha contado únicamente con la bomba de calor accionada eléctricamente pero también podría llegar a jugar un papel importante la accionada mediante gas.
- Los calentadores atmosféricos, debido a la normativa actual, dejarán de estar presentes en el mix de generación de ACS residencial en 2030. Al igual que con las calderas convencionales en el grupo de calefacción, se producirá una evolución del mix del grupo ACS hacia el resto de las tecnologías.

#### **4.1 Listado de tecnologías actualizadas y valores de eficiencias**

En las siguientes páginas se muestra de manera resumida el listado de tecnologías finales a incluir en un futuro en el modelo MASTER.SO y los valores de rendimientos tanto nominales como estacionales que toma cada una de ellas en los diferentes años de estudio.

Grupo	N.º	Tecnología en el modelo MASTER	Actualización	$\eta_n$ MASTER	FP	FC	$\eta_n$ 2020	$\eta_{est}$ actual	$\eta_n$ 2030	$\eta_{est}$ 2030	$\eta_n$ 2050	$\eta_{est}$ 2050
Calefacción	1	Caldera gasóleo	Ídem	65	0,97	-	71,8	69,7	77,4	75,1	81,2	78,7
	2	-	Caldera gasóleo colectiva	-	0,97	-	66,7	64,7	71,9	69,8	75,4	73,1
	3	-	Caldera gasóleo de condensación	-	1,08	-	79,3	85,6	85,8	92,7	90,5	97,7
	4	-	Caldera gasóleo de condensación colectiva	-	1,08	-	73,6	79,5	79,7	86,1	84	90,8
	5	Caldera de GN convencional	Ídem	70	0,97	-	79	76,6	85	82,5	89	86,3
	6	-	Caldera de GN convencional colectiva	-	0,97	-	73,7	71,5	79,3	77	83,1	80,6
	7	Caldera de GN de baja Ta	Ídem	80	1	-	80	80	-	-	-	-
	8	-	Caldera de GN de baja Ta colectiva	-	1	-	74,7	74,7	-	-	-	-
	9	Caldera de condensación de GN	Ídem	90	1,08	-	87,0	94,0	93	100,4	98	105,8
	10	-	Caldera de condensación de GN colectiva	-	1,08	-	81,2	87,7	86,8	93,7	91,5	98,8
	11	Caldera convencional de GLP	Ídem	70	0,97	-	77	74,7	83	80,5	87	84,4
	12	Caldera de GLP de baja Ta	Ídem	80	1	-	80	80	-	-	-	-
	13	Caldera de condensación de GLP	Ídem	90	1,08	-	85	91,8	92	99,4	97	104,8
	14	Calefacción resistiva eléctrica	Ídem	100	-	-	100	100	100	100	100	100
	15		Bomba de calor aerotérmica	-	0,68	0,89	365	220,9	407	246,3	526	318,3
	16	Bomba de calor con COP3 Bomba de calor con COP6	Bomba de calor geotérmica	-	1,18	0,89	495,8	520,7	553	580,7	681,7	715,9
	17		Bomba de calor hidrotérmica	-	0,92	0,89	454,5	372,2	507,2	415,3	625,2	511,9
	18	Caldera de biomasa	Ídem	85	0,74	-	94	69,6	95	70,3	96	71
	19	-	Caldera de biomasa colectiva	-	0,74	-	92	68,1	92,98	68,8	93,96	69,5

Grupo	N.º	Tecnología en el modelo MASTER	Actualización	$\eta_n$ MASTER	FP	FC	$\eta_n$ 2020	$\eta_{est}$ actual	$\eta_n$ 2030	$\eta_{est}$ 2030	$\eta_n$ 2050	$\eta_{est}$ 2050
	20		Motor de combustión interna de gas	-	-	-	-	83,2	-	88,1	-	90,4
	21	Microgeneración	CHP con motor Stirling	-	-	-	-	85	-	89	-	95,8
	22		CHP con pilas de combustible	-	-	-	-	88,1	-	89	-	92,2
Refrigeración	1		Bomba de calor aerotérmica	-	-	-	-	350	-	393,8	-	472,5
	2	Bomba de calor con COP2 Bomba de calor con COP6	Bomba de calor geotérmica	-	-	-	-	475,5	-	535	-	612,3
	3		Bomba de calor hidrotérmica	-	-	-	-	435,8	-	490,7	-	561,6
ACS	1	-	Calentador atmosférico de gas natural	-	-	-	-	73	-	75	-	77
	2	-	Calentador atmosférico de GLP (butano-propano)	-	-	-	-	73	-	75	-	77
	3	-	Calentador estanco de bajo NOx de gas natural	-	-	-	-	71	-	73	-	77
	4	-	Calentador estanco de bajo NOx de GLP (butano-propano)	-	-	-	-	71	-	73	-	77
	5	-	Calentador estanco de condensación de gas natural	-	-	-	-	90	-	91	-	92
	6	-	Calentador estanco de condensación de GLP (butano-propano)	-	-	-	-	90	-	91	-	92
	7	Termo eléctrico	Termo eléctrico	-	-	-	-	36	-	37,3	-	39
	8	-	Bomba de calor	-	-	-	-	107	-	122,3	-	136
	9	Energía solar térmica	Energía solar térmica	70	-	-	-	70	-	70	-	70
Mixto (calefacción y ACS)	1	-	Caldera gasóleo	-	0,98	-	71,9	70,5	77,5	76	81,2	79,6
	2	-	Caldera gasóleo colectiva	-	0,98	-	66,7	65,4	71,9	70,5	75,4	73,9
	3	-	Caldera gasóleo de condensación	-	1,06	-	79,3	84,1	85,9	91,1	90,5	95,9
	4	-	Caldera gasóleo de condensación colectiva	-	1,06	-	73,7	78,1	79,7	84,5	84,1	89,1

Grupo	N.º	Tecnología en el modelo MASTER	Actualización	$\eta_n$ MASTER	FP	FC	$\eta_n$ 2020	$\eta_{est}$ actual	$\eta_n$ 2030	$\eta_{est}$ 2030	$\eta_n$ 2050	$\eta_{est}$ 2050
	5	-	Caldera de gas natural convencional	-	0,98	-	79	77,4	85	83,3	89	87,2
	6	-	Caldera de GN convencional colectiva	-	0,98	-	73,7	72,2	79,3	77,7	83,1	81,4
	7	-	Caldera de gas natural de baja Ta	-	1	-	80	80	-	-	-	-
	8	-	Caldera de gas natural de baja Ta colectiva	-	1	-	74,7	74,7	-	-	-	-
	9	-	Caldera de condensación de gas natural	-	1,06	-	87	92,2	93	98,6	98	103,9
	10	-	Caldera de condensación de GN colectiva	-	1,06	-	81,2	86,1	86,8	92	91,5	97
	11	-	Caldera convencional de GLP	-	0,98	-	77	75,5	83	81,3	87	85,3
	12	-	Caldera de GLP de baja Ta	-	1	-	80	80	-	-	-	-
	13	-	Caldera de condensación de GLP	-	1,06	-	85	90,1	92	97,5	97	102,8
	14	-	Caldera de biomasa	-	0,76	-	94	71,4	95	72,2	96	73
	15	-	Caldera de biomasa colectiva	-	0,76	-	94	71,4	95	72,2	96	73
	16	-	Bomba de calor aerotérmica	-	0,7	0,89	365	220,9	407	246,3	526	318,3
	17	-	Bomba de calor geotérmica	-	1,2	0,89	495	520,3	552	580,2	681	715,8
	18	-	Bomba de calor hidrotérmica	-	0,9	0,89	455	372,6	507	415,1	625	511,8

Tabla 43: Listado de tecnologías actualizadas y valores de eficiencias

## 4.2 Mix térmico en los diferentes escenarios

Los valores del mix de los diferentes grupos en los diferentes escenarios y que se utilizarán como input en el modelo MASTER.SO son los que se muestran a continuación:

CALEFACCIÓN Y MIXTO	Descarbonización			Mantenimiento políticas actuales			Avance tecnológico acelerado			Estancamiento secular		
	Tecnología	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030
Caldera gasóleo	12,09	-	-	12,09	-	-	12,09	-	-	12,09	-	-
Caldera de gas natural convencional	10,72	-	-	10,72	-	-	10,72	-	-	10,72	-	-
Caldera de gas natural de baja T <sup>a</sup>	11,2	-	-	11,20	-	-	11,2	-	-	11,2	-	-
Caldera convencional de GLP	3,23	-	-	3,23	-	-	3,23	-	-	3,23	-	-
Caldera de GLP de baja T <sup>a</sup>	3,46	-	-	3,46	-	-	3,46	-	-	3,46	-	-
Caldera de biomasa	18,92	24,55	24,55	18,92	23,38	16,81	18,92	23,38	8,19	18,92	25	27
Caldera gasóleo de condensación	2,25	2,25	0,83	2,25	2,25	1,62	2,25	2,25	0,79	2,25	2	2
Caldera de condensación de GN	1,99	15,81	5,82	1,99	21,19	15,23	1,99	7,36	2,58	1,99	25	18
Caldera de condensación de GLP	0,6	4,78	1,76	0,6	6,40	4,60	0,6	2,22	0,78	0,6	8	5
Calefacción resistiva eléctrica	21,89	21,89	8,05	21,89	21,89	15,74	21,89	21,89	7,67	22	21,89	23,91
Bomba de calor aerotérmica	13,66	17,72	20	13,66	16,88	20	13,66	16,88	25	14	18,14	19,81
Bomba de calor geotérmica	-	7	22	-	6	15	-	15	30	-	-	3
Bomba de calor hidrotérmica	-	3	8	-	2	5	-	5	10	-	-	1
Motor de combustión interna	-	1	3	-	-	2	-	2	5	-	-	-
CHP con motor Stirling	-	1	3	-	-	2	-	2	5	-	-	-
CHP con pilas de combustible	-	1	3	-	-	2	-	2	5	-	-	-

Tabla 44: Valores del% de participación de cada tecnología al mix térmico del grupo Calefacción y Mixto para los diferentes escenarios

ACS	Descarbonización			Mantenimiento políticas actuales			Avance tecnológico acelerado			Estancamiento secular		
	Tecnología	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030
Calentador atmosférico	34,76	-	-	34,76	-	-	34,76	-	-	34,76	-	-
Calentar estanco de condensación de GN	4,97	9	6,63	4,97	9,97	8,44	4,97	7,83	6,03	4,97	10,49	10
Calentador estanco de bajo NOx de GN	9,93	17,99	13,26	9,93	19,94	16,87	9,93	15,67	12,05	9,93	20,97	20,01
Calentador atmosférico de GLP	13,77	-	-	13,77	-	-	13,77	-	-	13,77	-	-

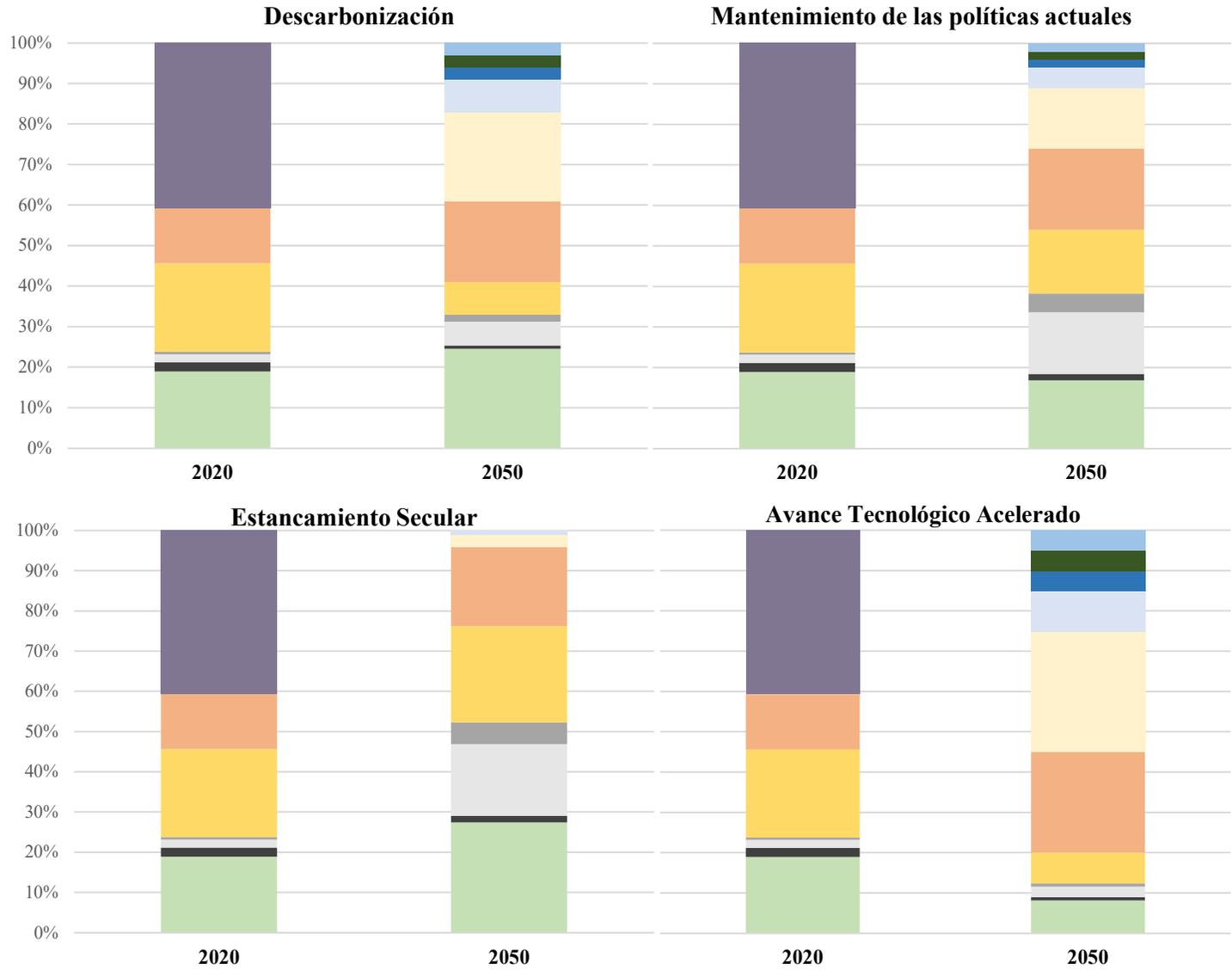
ACS	Descarbonización			Mantenimiento políticas actuales			Avance tecnológico acelerado			Estancamiento secular		
Calentador estanco de bajo NOx de GLP	1,97	3,56	2,63	1,97	3,95	3,34	1,97	3,10	2,39	1,97	4,15	3,96
Calentador estanco de condensación de GLP	3,93	7,13	5,25	3,93	7,9	6,68	3,93	6,21	4,77	3,93	8,31	7,92
Termo eléctrico	20,41	36,96	27,24	20,41	40,97	34,67	20,41	32,19	24,76	20,41	43,08	41,10
Bomba de calor	-	5	10	-	2	5	-	10	15	-	-	2
Energía solar térmica	10,26	20,36	35	10,26	15,26	25	10,26	25	35	10,26	13	15

Tabla 45: Valores del % de participación de cada tecnología al mix térmico del grupo de ACS para los diferentes escenarios

En las siguientes páginas se muestran gráficamente las evoluciones entre los años 2020 y 2050.

**Calefacción y mixto (ACS Y Calefacción)**

- Calderas convencionales y de baja Ta
- Bomba de calor hidrotérmica
- Bomba de calor geotérmica
- Bomba de calor aerotérmica
- Calefacción resistiva eléctrica
- Caldera de condensación de GLP
- Caldera de condensación de gas natural
- Caldera gasóleo de condensación
- Caldera de biomasa



ACS

■ Calentador atmosférico de GN

■ Energía solar térmica

■ Bomba de calor

■ Termo eléctrico

■ Calentador estanco de condensación de GLP

■ Calentador estanco de bajo NOx de GLP

■ Calentador estanco de bajo NOx de GN

■ Calentador estanco de condensación de GN





## Capítulo 5

# Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas

La estrecha relación entre este trabajo y la pobreza energética se hace ya evidente en la definición de la motivación en el apartado 1.3. El fin de este documento es servir como base para una futura actualización del modelo MASTER que permita realizar un enfoque sobre las consecuencias directas sobre la población vulnerable a la pobreza energética de diferentes escenarios posibles.

Dentro de la propia definición de los ODS se explica que “El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible”. Esta pobreza a la que se hace referencia engloba a la pobreza energética sobre la que trata este trabajo.

Dada la naturaleza transversal de la pobreza energética, aparece reflejada en diferentes ODS. Además, conceptos como sostenibilidad, eficiencia e innovación aparecen constantemente tanto en este trabajo como en los ODS. Los ODS que tienen relación con este trabajo y las metas de cada uno de ellos se exponen a continuación:



### Objetivo 1. Fin de la pobreza:

- “1.2: Para 2030, reducir al menos a la mitad la proporción de hombres, mujeres y niños y niñas de todas las edades que viven en la pobreza en todas sus dimensiones con arreglo a las definiciones nacionales.”

Entre estas dimensiones de pobreza a las que se hace referencia se incluye la de pobreza energética, sobre la que trata este trabajo.

- “1.4: Para 2030, garantizar que todos los hombres y mujeres, en particular los pobres y los más vulnerables, tengan los mismos derechos a los recursos

económicos, así como acceso a los servicios básicos, la propiedad y el control de las tierras y otros bienes, la herencia, los recursos naturales, las nuevas tecnologías y los servicios económicos, incluida la microfinanciación.”

Entre el acceso a los servicios básicos se puede incluir por ejemplo el acceso a la electricidad y suministro térmico, lo que se conoce como asequibilidad (affordability), del que no disponen las personas que sufren de la pobreza energética.

- “1.5: Para 2030, fomentar la resiliencia de los pobres y las personas que se encuentran en situaciones vulnerables y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos relacionados con el clima y a otros desastres económicos, sociales y ambientales.”

Reducir la exposición a fenómenos extremos relacionados con el clima como olas de calor o frío pasa directamente por satisfacer las demandas térmicas tanto de calefacción como de refrigeración.



### Objetivo 3. Salud y bienestar:

- “3.4: Para 2030, reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles mediante la prevención y el tratamiento y promover la salud mental y el bienestar.”

Para alcanzar esta meta hay que considerar el riesgo que supone para la salud no disponer de un sistema de calefacción o refrigeración adecuado. Según la OMS, cada año, más de 4 millones de personas mueren prematuramente por enfermedades atribuibles a la contaminación del aire de los hogares como consecuencia del uso de combustibles sólidos para cocinar.



### Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante:

Todas las metas que aparecen dentro de la definición de este objetivo están directamente relacionadas con este trabajo. A lo largo de los diferentes apartados se ha ido hablando constantemente de formas de suministro térmicas renovables y de la importancia del papel que juega la eficiencia energética tanto en la actualidad como en el futuro. Las metas de este objetivo son las que siguen:

- “7.1: De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.”
- “7.2: De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas”

- “7.3: De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.”
- “7.a: De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.”
- “7.b: De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.”



### **Objetivo 8. Trabajo decente y crecimiento económico:**

En este objetivo la OMS hace referencia a consumo eficiente de los recursos mundiales, algo estrechamente relacionado con la eficiencia energética y con las tecnologías renovables. También se hace mención a la innovación y la modernización tecnológica, algo necesario para alcanzar el desarrollo de las tecnologías incluidas en el estudio de prospectiva realizado en este trabajo. Por último, no será posible alcanzar un entorno de trabajo seguro sin contar con seguridad en lo referente a suministro térmico en los lugares de trabajo. La situación de pandemia mundial actual viene provocando una revolución en este sentido, convirtiendo los hogares en el lugar de trabajo habitual de gran parte de la población. Las metas relacionadas con este trabajo son las siguientes:

- “8.2: Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra.”
- “8.3: Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros.”
- “8.4: Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de

Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados.”

- “8.8: Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes y las personas con empleos precarios.”



### **Objetivo 9. Industria, innovación e infraestructura:**

En las metas propuestas dentro de este objetivo se vuelve a hacer referencia a la innovación. Además, se habla de desarrollo de infraestructuras fiables, algo necesario para satisfacer demandas térmicas en hogares. Este trabajo tiene relación con las siguientes metas:

- “9.1: Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.”
- “9.4: De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.”
- “9.5: Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo.”
- “9.b: Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.”



### **Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles:**

Las metas que constituyen la definición de este objetivo y que tienen relación con este trabajo hacen referencia a la posibilidad de acceder a servicios básicos adecuados, como es el servicio térmico, reducir el impacto ambiental negativo, algo que está estrechamente

ligado a la reducción de emisiones del sector térmico residencial y aumentar el número de ciudades que implementan políticas para mitigar el cambio climático y promover la inclusión, algo que engloba a esa necesidad de regulación del sector térmico residencial por parte de organismos públicos para alcanzar un escenario óptimo de la que habla este trabajo.

- “11.1: De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.”
- “11.6: De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.”
- “11.b: De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.”



## **Objetivo 12. Producción y consumo responsables:**

En las metas de este objetivo se hace referencia a los combustibles fósiles y la necesidad de, como se está haciendo en el sector residencial de suministro térmico, dejar de depender de ellos. Además, también se habla de que las empresas adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo, que está directamente relacionado con la normativa de diseño de etiqueta energética de las tecnologías, como hemos visto en anteriores apartados. También se hace referencia a la sostenibilidad, que pasa por el avance hacia tecnologías eficientes y renovables. Las metas que relacionan este objetivo con el propósito de este trabajo son las siguientes:

- “12.2: De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.”
- “12.6: Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.”

- “12.8: De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza.”
- “12.c: Racionalizar los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles que fomentan el consumo antieconómico eliminando las distorsiones del mercado, de acuerdo con las circunstancias nacionales, incluso mediante la reestructuración de los sistemas tributarios y la eliminación gradual de los subsidios perjudiciales, cuando existan, para reflejar su impacto ambiental, teniendo plenamente en cuenta las necesidades y condiciones específicas de los países en desarrollo y minimizando los posibles efectos adversos en su desarrollo, de manera que se proteja a los pobres y a las comunidades afectadas.”



### **Objetivo 13. Acción por el clima:**

Este objetivo se centra en la lucha contra el cambio climático. Para hacer frente a este, es necesario contar con tecnologías térmicas eficientes y renovables. Las metas relacionadas con este trabajo son las que se exponen a continuación:

- “13.1: Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países”
- “13.2: Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.”
- “13.3: Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.”
- “13.a: Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible.”
- “13.b: Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.”



## **Objetivo 17. Alianzas para lograr los objetivos:**

Este objetivo hace referencia a una de las conclusiones clave de este trabajo: la importancia tanto del sector público como del sector privado en la lucha contra la pobreza energética. Así, mediante una regulación llevada a cabo por los organismos públicos y una innovación que vendrá principalmente de la mano del sector privado, se podrá conseguir alcanzar condiciones óptimas que permitan reducir al mínimo la pobreza energética. Además, dentro de este objetivo se incluye la siguiente meta que habla de desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales, algo que tendrá impacto en el mix de tecnologías que cubren la demanda térmica residencial, introduciendo en este nuevas formas de producción de calor, frío y ACS:

- “17.7: Promover el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales y su transferencia, divulgación y difusión a los países en desarrollo en condiciones favorables, incluso en condiciones concesionarias y preferenciales, según lo convenido de mutuo acuerdo.”



## Capítulo 6

### Bibliografía

- [1] Ministerio para la transición ecológica, Gobierno de España. “Estrategia nacional contra la pobreza energética 2019-2024”
- [2] Asociación de ciencias ambientales. “Pobreza energética en España 2018. Hacia un sistema de indicadores y una estrategia de actuación estatales”
- [3] Ministerio para la Transición Ecológica, Gobierno de España. “Actualización de indicadores de la estrategia nacional contra la pobreza energética. Medida 2”
- [4] Cruz Roja Española. “Boletín sobre la vulnerabilidad social número 17 diciembre de 2018: La vulnerabilidad asociada al ámbito de la vivienda y pobreza energética en la población atendida por Cruz Roja.”
- [5] Naciones Unidas. “Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019”
- [6] EU Energy Poverty Observatory website  
*<https://www.energypoverty.eu/indicators-data>*
- [7] López-Peña, Á., Linares, P., & Pérez Arriaga, I. (2013) Instituto de Investigación Tecnológica. “MASTER.SO: a Model for the Analysis of Sustainable Energy Roadmaps. Static Optimisation version.”
- [8] Romero Mora, J.C., (2018) “Measuring Energy Sustainability: A new operational framework based on weak and strong indicators”
- [9] PWC, European Commission. (2014) “Ecodesign Preparatory Study on Steam Boilers”.
- [10] Hugo Clavin, M. (2017) “Medición continua de poder calorífico en gas natural”
- [11] Diario oficial de la Unión Europea “Reglamento (UE) No 813/2013 de la comisión de 2 de agosto de 2013 por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del

- Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados”
- [12] De Vita, I. Kielichowska, P. Mandatowa (2018) “Technology pathways in decarbonisation scenarios”
- [13] European commission directorate-general for energy (2016) “Mapping and analyses of the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables)”
- [14] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2014) “Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España.”
- [15] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2014) “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios”
- [16] Ministerio de la Presidencia, Gobierno de España (2013) “Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.”
- [17] Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío (2019) “Censo de Redes de Calor y Frío 2019”
- [18] Comisión Europea (2016) “Estrategia de la UE relativa a la calefacción y la refrigeración”
- [19] <http://www.interempresas.net/Energia/Articulos/108912-Diez-instalaciones-HCIB-KWB-en-comunidades-de-vecinos.html>
- [20] <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/informe/calentadores/tipos-de-calentadores>
- [21] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Eurostat European Commission “Consumos del Sector Residencial en España. Resumen de Información Básica”
- [22] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2019) “SPAHOUSEC II: Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual”
- [23] REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios “Prestaciones medias

---

estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas.”

- [24] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico “Procedimiento simplificado para certificación de eficiencia energética de edificios de vivienda”
- [25] Diario oficial de la Unión Europea “Reglamento Delegado (UE) n ° 811/2013 de la Comisión, de 18 de febrero de 2013, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de aparatos de calefacción, calefactores combinados, equipos combinados de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y equipos combinados de calefactor combinado, control de temperatura y dispositivo solar”
- [26] CrossBorder Bioenergy “Working Group 2 on Small scale heating systems Handbook”
- [27] E. Carrasco, Juan., Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas “Mejoras en la reducción de emisiones atmosféricas del uso de biomasa industrial y doméstica.”
- [28] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2012) “Guía técnica. Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado”
- [29] <https://blog.junkers.es/diferencias-entre-calentadores-de-tiro-natural-forzado-y-estancos/>
- [30] Ministerio de Fomento, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011) “Escala de calificación energética. Edificios existentes”
- [31] Ficha técnica Saltoki KWB PowerFire  
<https://www.calderaskwb.com/wp-content/uploads/2017/11/Ficha-Tecnica-Caldera-PowerFire.pdf>
- [32] Ficha técnica Calefacción con astillas de madera y pelets KWB Multifire 15-100 kW  
<https://www.ingenerdelsur.com/public/file-2-tpmultifire.pdf>
- [33] [https://www.naturgy.es/empresas/blog/tipos\\_de\\_calentadores\\_y\\_sus\\_principales\\_caracteristicas](https://www.naturgy.es/empresas/blog/tipos_de_calentadores_y_sus_principales_caracteristicas)
- [34] Diario oficial de la Unión Europea “REGLAMENTO (UE) no 814/2013 DE LA COMISIÓN, de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente”

- [35] Diario oficial de la Unión Europea “REGLAMENTO DELEGADO (UE) No 812/2013 DE LA COMISIÓN de 18 de febrero de 2013 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar”
- [36] Banco de imágenes Shutterstock  
<https://www.shutterstock.com/es/image-vector/alpha-stirling-engine-1161618232>
- [37] Ficha Técnica Calentador Junkers Hydronext 5700 S WTD 12-4 AME estanco a Bajo NOX Gas Natural evac. 12m  
[https://gruporp.es/comprar/calentador-junkers-hydronext-5700-s-wtd12-4-ame-estanco-bajo-nox-gas-natural-evacuacion-12m.html?id\\_product\\_attribute=0](https://gruporp.es/comprar/calentador-junkers-hydronext-5700-s-wtd12-4-ame-estanco-bajo-nox-gas-natural-evacuacion-12m.html?id_product_attribute=0)
- [38] Boletín Marzo 2018 Saneamientos Dimasa “Cambio en normativa 2018 Calentadores instantáneos a gas”
- [39] <https://celtmas.wordpress.com/2017/02/15/como-saber-la-cantidad-de-agua-caliente-que-produce-una-caldera-3xs-2xs-xs-s-m-l-xl/>
- [40] Ficha Técnica Junkers Hydro 4200 Calentadores atmosféricos de bajo NOx.  
[https://www.junkers.es/usuario\\_final/productos/catalogo\\_usuario/producto\\_3201](https://www.junkers.es/usuario_final/productos/catalogo_usuario/producto_3201)
- [41] Catálogo Saunier Duval Opaliatherm  
<https://www.saunierduval.es/downloads/opaliatherm-bajo-nox-1/opaliatherm-bajo-nox-catalogo-comercial-1475443.pdf>
- [42] Ficha Técnica Junkers Elacell Excellence  
[https://www.junkers.es/usuario\\_final/productos/categoria\\_productos\\_1344](https://www.junkers.es/usuario_final/productos/categoria_productos_1344)
- [43] Ficha Técnica Junkers Hydronext 5700S  
[https://www.junkers.es/usuario\\_final/productos/catalogo\\_usuario/producto\\_39682](https://www.junkers.es/usuario_final/productos/catalogo_usuario/producto_39682)
- [44] Ficha Técnica Junkers Supraeco SWO / SWI  
[https://www.junkers.es/usuario\\_final/productos/catalogo\\_usuario/producto\\_19904](https://www.junkers.es/usuario_final/productos/catalogo_usuario/producto_19904)
- [45] Ficha Técnica Bosch Therm 5600S  
<https://www.bosch-thermotechnology.com/es/es/ocs/residencial/therm-5600-s-762508-p/>
- [46] Ficha Técnica Bosch Therm 4200  
[https://www.bosch-thermotechnology.com/ocsmedia/optimized/full/o399580v288\\_6720887536.pdf](https://www.bosch-thermotechnology.com/ocsmedia/optimized/full/o399580v288_6720887536.pdf)

- 
- [47] Ficha Técnica Bosch Tronic 8000T  
[https://www.bosch-thermotechnology.com/ocsmedia/optimized/full/o273642v288\\_6720836229.pdf](https://www.bosch-thermotechnology.com/ocsmedia/optimized/full/o273642v288_6720836229.pdf)
- [48] Ficha Técnica Ariston PRO1 R  
[https://www.ariston.com/cms/s3Downloader/?sku=pro1\\_r&locale=es-es&file=4.4.Ficha%20ErP\\_termo\\_PRO1\\_R\\_100\\_H.pdf](https://www.ariston.com/cms/s3Downloader/?sku=pro1_r&locale=es-es&file=4.4.Ficha%20ErP_termo_PRO1_R_100_H.pdf)
- [49] AO Smith “Product Catalogue. Hot Water Solutions for Every Situation”  
<https://pdf.archiexpo.es/pdf-en/ao-smith/product-catalogue/148748-321573.html#open>
- [50] Ficha Técnica Vaillant aroSTOR VWL B 100/5  
<https://www.vaillant.es/downloads/productos/arostor-1/arostor-100l-y-150l-manual-de-instalacion-1454026.pdf>
- [51] Ficha Técnica Vaillant MAG mini INT 11-0/1 XI B  
<https://www.vaillant.es/downloads/nuevos/atmomagmini-i-g-200703-921076-03-mi-mu-255566.pdf>
- [52] Ficha Técnica Vaillant MAG 125/1-5 RT(P-ES/PT)  
<https://www.vaillant.es/downloads/productos/turbomag-plus-bajo-nox-1/turbomag-plus-bajo-nox-manual-de-instalacin-1424472.pdf>
- [53] Ficha Técnica Vaillant aroSTOR VWL BM 200/5  
<https://www.vaillant.es/downloads/productos/arostor-1/arostor-200l-y-270l-manual-de-instalacion-1454022.pdf>
- [54] Danish Energy Agency, Energinet.dk (2012) “Individual Heating Plants and Energy Transport. Technology data for energy plants”
- [55] Linares, P., Declerq, D. “Escenarios para el sector energético en España 2030 – 2050” Economics for energy e Instituto de Investigación Tecnológica
- [56] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía “Consumo para usos y energías del sector residencial (2010-2018)”
- [57] Instituto Nacional de Estadística (2019) “Encuesta Continua de Hogares (ECH)”