

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de La Energía

Análisis de los sistemas centralizados district heating
para el suministro de energía en zonas residenciales

Autor: Jesús Ángel Pacheco Muñoz

Tutor: Miguel Torres García

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de La Energía

Análisis de los sistemas centralizados district heating para el suministro de energía en zonas residenciales

Autor:

Jesús Ángel Pacheco Muñoz

Tutor:

Miguel Torres García

Profesor titular

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2022

Proyecto Fin de Carrera: Análisis de los sistemas centralizados district heating para el suministro de energía en zonas residenciales

Autor: Jesús Ángel Pacheco Muñoz

Tutor: Miguel Torres García

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2022

El Secretario del Tribunal

A mi familia

Agradecimientos

Agradezco mucho el apoyo de madre, de mi padre y de mi hermano, que me han ayudado en los momentos en los que creía que esta parte de mi vida no se terminaba y especialmente me lo agradezco a mí mismo, por haber llegado hasta el final pensando que no podría lograrlo.

Resumen

Este trabajo trata de la recopilación de datos sobre sistemas de redes de calefacción urbana que se encuentran en desarrollo o en procesos de investigación. En primer lugar, se mencionará de forma breve la importancia que puede tener el acoplamiento sectorial en la transición energética, debido a que presenta un gran potencial de cara al futuro del sistema energético, consiguiendo la combinación de sectores y descentralizando la producción de energía. Después se procederá a introducir las redes de calefacción urbanas, su desarrollo a lo largo de su historia, su disposición de funcionamiento, el potencial de mejora y proyectos de redes que se encuentran en funcionamiento en Europa. A continuación, se realiza una recopilación de datos de diversos artículos científicos de redes de tercer, cuarta y quinta generación, en los cuales se realiza la integración de todo tipo de recursos renovables. Posteriormente, se procede a la búsqueda de datos sobre almacenamientos térmicos, debido a que se presenta como un elemento importante de cara al futuro para dar flexibilidad al sistema. Finalmente, se ha realizado la búsqueda de datos que pueden ser relevantes a la hora de realizar estudios de implantación o mejoras de redes de calefacción urbana, en los cuales se mencionan la capacidad instalada de recursos renovables, energía consumida en calefacción, generación de energía eléctrica procedente de recursos renovables, etc.

Abstract

This work deals with the collection of data on district heating network systems that are under development or in research processes. In the first place, the importance that sectoral coupling can have in the energy transition will be briefly mentioned, since it has great potential for the future of the energy system, achieving the combination of sectors and decentralizing energy production. Later, the district heating networks will be introduced, their development throughout their history, their operating disposition, the potential for improvement and network projects that are in operation in Europe. Next, a compilation of data from various scientific articles on third, fourth and fifth generation networks is carried out, in which the integration of all types of renewable resources is carried out. Subsequently, we proceed to search for data on thermal storage, because it is presented as an important element for the future to give flexibility to the system. Finally, a search has been made for data that may be relevant when carrying out studies on the implementation or improvement of urban heating networks, in which the installed capacity of renewable resources, energy consumed in heating, generation of electrical energy are mentioned. from renewable resources, etc.

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	13
Índice	15
Índice de Tablas	17
Índice de Figuras	19
1 Introducción	23
2 Importancia del sector coupling en la transición energética	27
2.1 <i>Flexibilidad del Sistema eléctrico mediante Sector Coupling</i>	27
2.2 <i>Sistemas inteligentes de gestión energética en Sector Coupling.</i>	29
2.2.1 Smart Energy Systems en el transporte	30
2.2.2 Smart Energy Systems para calefacción y refrigeración	31
2.3 <i>Análisis del Potencial del Sector Coupling</i>	33
2.3.1 Eficiencia energética en los edificios como estrategia	34
2.3.2 Autoconsumo de energía eléctrica como estrategia	35
2.3.3 Almacenamiento de energía térmica como estrategia	36
2.3.4 Electromovilidad como estrategia	37
2.3.5 Hidrógeno verde para la descarbonización como estrategia	38
3 District heating and cooling en europa	41
3.1 <i>Evolución de las redes de calefacción urbana</i>	41
3.2 <i>Disposición de las redes de calefacción y refrigeración urbana</i>	44
3.3 <i>Potencial de mejora de la generación de energía de las redes de calefacción</i>	45
3.3.1 Almacenamiento Térmico	45
3.3.2 Producción Calor, Refrigeración y electricidad	47
3.3.3 Integración con energía sostenible	48
3.3.4 Contadores inteligentes de predicción de la demanda	50
3.3.5 Integración Bomba de Calor en Redes de Calefacción Urbana	51
3.4 <i>Proyectos de Redes de Calefacción Urbana con Integración de Fuentes Renovables en Europa</i>	54
4 Integración de fuentes renovables a sistemas de calefacción urbana	61
4.1 <i>Calefacción Urbana</i>	62
4.1.1 Energía Eólica	62
4.1.2 Energía Solar	65
4.1.3 Bombas de Calor	68
4.1.4 Integración de Geotermia en District Heating	71
4.1.5 Aprovechamiento de calor residual	75
4.1.6 Biocombustible y Biomasa	78
4.2 <i>Calefacción y Refrigeración Urbana (Cuarta Generación)</i>	80
4.2.1 Optimización y mejora de las redes de calefacción y refrigeración urbanas	80
4.2.2 Integración de bombas de calor reversibles en sistemas de trigeneración para microrredes de calefacción y refrigeración urbanas de baja temperatura	82
4.2.3 Integración de energía renovable mediante cogeneración y red de calefacción y refrigeración urbana	83
4.2.4 Potencial de energía geotérmica superficial para redes urbanas con regeneración en escenarios de cambio climático	84
4.2.5 Análisis de la integración de fuentes de energía renovables en una red de calefacción y refrigeración urbana en España	84
4.2.6 Integración de bombas de calor de alta temperatura en redes de calefacción y refrigeración	

urbanas	85
4.3 Calefacción y Refrigeración Urbana de Quinta Generación	86
4.3.1 Comparativa de sistemas de calefacción de baja temperatura y ultra baja temperatura	86
4.3.2 Potencial de acoplamiento sectorial de una red de calefacción quinta generación	87
4.3.3 Comparativa del rendimiento de un sistema de cogeneración junto a fotovoltaica que se integra con varios diseños de calefacción urbana	88
4.3.4 Eficiencia de una Bomba de Calor en una red de quinta generación que utiliza una fuente de calor de aguas residuales	90
4.3.5 Análisis de la integración del excedente fotovoltaico en una red de quinta generación	91
5 Flexibilidad de las redes de calefacción y refrigeración urbana	93
5.1 <i>Sistemas de almacenamiento térmico [92]</i>	94
5.1.1 Clasificación de los sistemas de almacenamiento térmico en redes de calefacción urbana	95
5.2 <i>Revisión de sistemas de almacenamiento en calefacción urbana</i>	100
5.2.1 Sistemas de almacenamiento estacional de pozo y tanque a gran escala [95]	100
5.2.2 Influencia del almacenamiento centralizado y distribuido en redes de calefacción [94]	101
5.2.3 Almacenamiento centralizado frente a la inercia térmica de los edificios [96]	102
5.2.4 Optimización de la producción de calefacción urbana utilizando la capacidad de almacenamiento de una red de calefacción urbana [97]	103
5.2.5 Almacenamiento a corto plazo en redes de calefacción urbana [98]	104
5.2.6 Almacenamiento del excedente fotovoltaico en la red de calefacción urbana	105
6 Datos relevantes para redes de calefacción urbana	107
6.1 <i>Potencia instalada de Redes de Calefacción Urbana en Europa [99]</i>	108
6.2 <i>Número de ciudadanos servidos por Redes de Calefacción Urbana en Europa [100]</i>	109
6.3 <i>Longitud de las redes de calefacción urbana en Europa [99]</i>	111
6.4 <i>Número de viviendas beneficiadas por las redes de calefacción [101]</i>	112
6.5 <i>Energía final consumida en Calefacción y Refrigeración [102]</i>	113
6.6 <i>Energía final consumida en Calefacción y Refrigeración procedente de Fuentes Renovables [102]</i>	114
6.7 <i>Capacidad Instalada de Recursos Renovables en Europa [103]</i>	115
6.8 <i>Generación de Energía Eléctrica procedente de Recursos Renovables [104]</i>	117
6.9 <i>Generación de Energía Eléctrica procedente de cada tipo de recurso [104]</i>	119
6.10 <i>Proporción de energía de los recursos finales para calefacción por país [100]</i>	120
6.11 <i>Previsión de la capacidad instalada por tipo de recurso renovable para 2050 [105]</i>	121
6.12 <i>Previsión de las redes de calefacción urbana para 2050 [106]</i>	123
6.13 <i>Exceso de calor residual de las líneas de metros existentes [107]</i>	125
6.14 <i>Exceso de calor residual de aguas residuales tratadas [107]</i>	126
6.15 <i>Localización de recursos biomásicos [107]</i>	127
6.16 <i>Localización de Recursos Geotérmicos [107]</i>	128
6.17 <i>Sinergia de Calor en distintas regiones de Europa [107]</i>	129
7 Conclusión	130
Referencias	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generaciones de las redes de calefacción urbana.	43
Tabla 2. Resumen de los sistemas de Calefacción Urbana.	59
<i>Tabla 3. Nivel de influencia de las claves del éxito para integrar RES en las redes.</i>	60
Tabla 4. Influencia de la Fracción Solar.	66
Tabla 5. Pérdidas de calor según la disposición.	68
Tabla 6. Efecto de la fuente de calor a la bomba de calor.	68
Tabla 7. Conexiones y modos operativos de las bombas de calor.	68
Tabla 8. Resultados obtenidos por cada configuración.	71
Tabla 9. Resumen de Costes y Emisiones.	73
Tabla 10. Costes de las Medidas de Rehabilitación.	74
Tabla 11. Costes Geotermia	75
Tabla 12. Mejora de la generación de energía.	80
Tabla 13. Optimización de la red de distribución de energía.	81
Tabla 14. Optimización de la subestación de calor.	81
Tabla 15. Resumen de los datos recaudados de los casos de baja y Ultra-baja temperatura.	87
Tabla 16. Datos recaudados para cada tipo de sistema de calefacción.	90
Tabla 17. Características de cada tipo de sistema de almacenamiento.	96
Tabla 18. Ventajas e inconvenientes según el tipo de envase del almacenamiento.	97
Tabla 19. Tabla resumen de las características de los almacenamientos de corto y largo plazo.	98
Tabla 20. Resultados según la ubicación del sistema de almacenamiento.	102
Tabla 21. Almacenamiento térmico en función del diámetro de la tubería.	103
Tabla 22. Ahorro de la red de calefacción con almacenamiento en red de distribución.	104
Tabla 23. Ventajas y desventajas de sistemas de almacenamiento de depósito y almacenamiento en red.	105
Tabla 24. Capacidad Instalada por Países 2019 (MW).	108
Tabla 25. Número de Ciudadanos beneficiados por redes de calefacción urbana.	109
Tabla 26. Longitud de las redes de calefacción urbana de cada país.	111
Tabla 27. Hogares beneficiados por redes de calefacción urbana.	112
Tabla 28. Energía final consumida en el ámbito de calefacción y refrigeración.	113
Tabla 29. Energía final consumida procedente de fuentes renovables (TWh).	114
Tabla 30. Capacidad Instalada de Recursos Renovables (MW).	116
Tabla 31. Generación de Energía Eléctrica procedente de Recursos Renovables 2021 (TWh).	117
Tabla 32. Previsión de la Capacidad Instalada por Recursos Renovables.	121
Tabla 33. Análisis FODA de las redes de calefacción urbanas.	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Mapa de Europa.	24
Ilustración 2. Trayectoria de emisiones de GEI.	25
Ilustración 3. Esquema Explicativo del Sector Coupling.	28
Ilustración 4. Fotovoltaica combinado con District Heating and Cooling.	28
Ilustración 5. Diagrama de Sankey 100% Renovable proyecto CEESA.	30
Ilustración 6. Carga Bidireccional de un vehículo.	31
Ilustración 7. Exceso de calor mediante actividades industriales.	32
Ilustración 8. Demanda de calor por año. (1PJ/a=278 GWh/a).	32
Ilustración 9. Aprovechamiento del calor residual de una red de metro.	33
Ilustración 10. Consumo de Energía final por Sectores.	34
Ilustración 11. Pérdidas de calor en las viviendas.	34
Ilustración 12. Micro-Red de autoconsumo distrital.	36
Ilustración 13. Solar térmica con almacenamiento.	37
Ilustración 15. Compra de Vehículos según su propulsión 2020.	38
Ilustración 16. Compra de Vehículos según propulsión 2021	38
Ilustración 17. Redes de Gas Natural en Europa (GW).	39
Ilustración 18. Esquema de una red de Cuarta Generación.	42
Ilustración 19. Esquema de una red de Quinta Generación.	42
Ilustración 20. Evolución de las redes de calefacción urbana.	43
Ilustración 21. Red de Calefacción urbana de Turquía con campo solar térmico.	44
Ilustración 22. Red de calefacción urbana en Asturias.	45
Ilustración 23. Almacenamiento Térmico Sensible.	46
Ilustración 24. Almacenamiento Calor Latente.	46
Ilustración 25. Almacenamiento Termoquímico.	47
Ilustración 26. Sistema de Trigeneración.	48
Ilustración 27. Red de Calefacción Urbana de Lituania.	49
Ilustración 28. Red Calefacción Urbana en Mieres.	49
Ilustración 29. Planta de Calefacción urbana híbrida.	49
Ilustración 30. Red de Calefacción urbana de Hafencity.	50
Ilustración 31. Control inteligente energético.	50
Ilustración 32. Aumento número de bombas de calor instaladas año a año.	51
Ilustración 33. Bombas de Calor vendidas en 2020 por países.	51
Ilustración 34. Bomba de Calor Ubicación Local.	53
Ilustración 35. Esquema Bomba de Calor Individual.	53
Ilustración 36. Esquema Bomba de Calor Central.	54
Ilustración 37. Esquema Tarnby de calefacción urbana.	55

Ilustración 38. Explicación del interconexionado de la red.	55
Ilustración 39. Plan de Red de Calefacción y Refrigeración Urbana.	56
Ilustración 40. Red de Calefacción y Refrigeración Barcelona.	57
Ilustración 41. Red de Calefacción y Refrigeración Urbana Milán.	58
Ilustración 42. Producción de calor distrital por combustible y participación de recursos renovables[43] .	61
Ilustración 43. Porcentaje de Energía renovables en redes de calefacción urbana 2018 [44] .	62
Ilustración 44. Integración Energía Eólica a una red de calefacción urbana.	63
Ilustración 45. Integración Energía Eólica mediante cogeneración.	63
Ilustración 46. Sistema de calefacción urbana con integración eólica.	64
Ilustración 47. Esquema de la instalación.	65
Ilustración 48. Sistema de Calefacción Urbana integrando un campo solar.	66
Ilustración 49. Sistemas Solares centralizados y descentralizados.	67
Ilustración 50. Conexiones de las bombas de calor a una red de calefacción.	69
Ilustración 51. Distintos sistemas junto con sistema de almacenamiento térmico y colectores solares.	70
Ilustración 52. Casos con la integración de energía geotérmica.	72
Ilustración 53. Esquema del sistema alimentado por un campo geotérmico.	72
Ilustración 54. Situación geográfica del recurso renovable para incorporar una red.	73
Ilustración 55. Recuperación de calor residual en el lado del aire para tecnología CRAH de enfriamiento.	76
Ilustración 56. Recuperación de calor residual en el lado del agua de condensación.	76
Ilustración 57. Esquema red de calefacción urbana en Chifeng,	77
Ilustración 58. Configuraciones con y sin bomba de calor.	82
Ilustración 59. Esquema del Sistema junto con una planta de cogeneración.	83
Ilustración 60. Situación de la red de quinta generación respecto a la de tercera generación.	88
Ilustración 61. Esquema de la instalación para una única vivienda.	89
Ilustración 62. Red de distribución del sistema de calefacción de quinta generación.	91
Ilustración 63. Representación de una red de Cuarta Generación.	93
Ilustración 64. Proceso de carga y descarga del sistema de almacenamiento estacional.	100
Ilustración 65. Capacidad Instalada de sistemas de calefacción urbana MW.	108
Ilustración 66. Número de Ciudadanos beneficiados por redes de calefacción urbana.	110
Ilustración 67. Longitud total de las redes de calefacción urbana por país.	111
Ilustración 68. Número de hogares beneficiados por redes de calefacción urbana.	112
Ilustración 69. Energía final consumida por calefacción y refrigeración.	113
Ilustración 70. Consumo Final de energía procedente de fuentes renovables.	115
Ilustración 71. Capacidad Instalada por recursos renovables 2021 (MW).	116
Ilustración 72. Generación Energía Eléctrica por Recursos Renovables 2021 TWh.	118
Ilustración 73. Generación de la Energía Eléctrica por tipo de Recurso 2021.	119
Ilustración 74. Proporción de calefacción urbana aportada por cada tipo de recurso.	120
Ilustración 75. Previsión de la Capacidad Instalada por Recursos Renovables en 2050.	122

Ilustración 76. Porcentaje que deben satisfacer las redes de calefacción urbana para reducir la energía primaria y las emisiones de CO2 para un futuro descarbonizado.	123
Ilustración 77. Recursos productores de energía para las redes de calefacción urbanas de cara a 2050.	123
Ilustración 78. Suministro de Energía Primaria según el tipo de recursos para 2050.	124
Ilustración 79. Exceso de calor de las líneas de metro existentes en Europa.	125
Ilustración 80. Exceso de calor residual de aguas residuales tratadas.	126
Ilustración 81. Localización de los recursos biomásicos.	127
Ilustración 82. Localización de recursos geotérmicos en Europa.	128
Ilustración 83. Sinergia entre el exceso de calor convencional y la demanda de calor en Europa.	129

1 INTRODUCCIÓN

El futuro escenario de transición energética propuesto por la UE se debe al calentamiento global, en consecuencia del aumento de la temperatura de la tierra hasta los 2°C presentando un potencial impacto negativo en la naturaleza y en el ser humano, aumentando la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, lo que también podrá llevar a enormes costes económicos en la UE. Sin embargo, las acciones humanas pueden cambiar el curso de los acontecimientos, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y logrando el objetivo de cero emisiones de dióxido de carbono, para limitar el cambio climático.

A continuación, se mostrarán los problemas que está originando el cambio climático en Europa [1]:

- **Ártico**
 - Aumento de la temperatura por encima de la media mundial.
 - Reducción de la capa de hielo del mar ártico.
 - Reducción de capa de hielo interior de Groenlandia.
 - Reducción de la capa de suelo permanentemente congelado.
 - Riesgos del sustento de gente local.
 - Genera Oportunidades de explotación de recursos naturales y transporte por vía marítima.
- **Región Subártica**
 - Aumento de las precipitaciones intensas y caudal de ríos.
 - Reducción de nieve y hielo.
 - Los bosques crecen más rápido y lleva a plagas forestales.
 - Tormentas en invierno más dañinas.
 - Genera mayor rendimiento de cultivos.
 - Menor energía para calefacción, más uso de hidroeléctrica.
 - Más turismo en verano.
- **Zona de Montaña**
 - Aumento de la temperatura por encima de la media de Europa.
 - Menos glaciares y más pequeños.
 - Desplazamiento de plantas y animales a mayor altitud.
 - Alto riesgo de extinción de especies.
 - Energía hidroeléctrica podría verse afectada.
 - Menos turismo de esquí.
- **Zona costera y mares**
 - Aumento del nivel del mar.
 - Aumento de la temperatura en la superficie marina.
 - Acidificación del océano.
 - Migración de especies marinas hacia el norte.
 - Cambios en las comunidades de fitoplancton.
 - Más zonas marinas muertas.
 - Aumento de los riesgos y de las posibilidades para la pesca.
- **Región Atlántica**
 - Multiplicación de las lluvias intensas.
 - Aumento del caudal de los ríos.
 - Mayor riesgo de inundación.
 - Mayor riesgo de daños debido a tormentas en invierno.
 - Necesidad de energía para calefacción.

- **Región Continental**
 - Multiplicación de los fenómenos meteorológicos extremos.
 - Reducción de las precipitaciones en verano.
 - Mayor riesgo de inundaciones en los ríos.
 - Mayor riesgo de incendios forestales.
 - Pierden valor los bosques.
 - Se necesita más energía para refrigerar.
- **Región Mediterránea**
 - Multiplicación de períodos de calor extremo.
 - Reducción de precipitaciones y caudal de ríos.
 - Aumento del riesgo de sequías.
 - Aumento de pérdida de biodiversidad y el riesgo de incendios forestales.
 - Aumento de la competencia por el agua.
 - Necesidad de agua para agricultura.
 - Producir energía se vuelve más difícil.
 - Más energía para refrigerar.
 - Menos turismo en verano, pero posible en otros períodos.
 - Aumento del área donde se pueden contraer enfermedades por insectos.

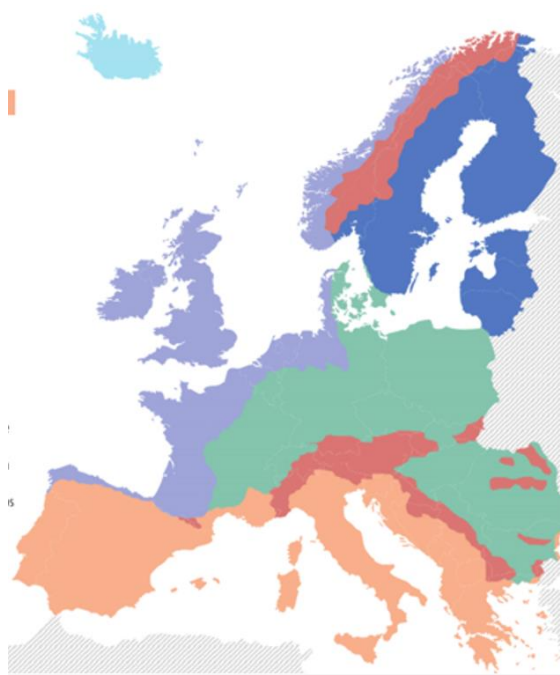


Ilustración 1. Mapa de Europa.

Para intentar aminorar los diversos problemas que presenta el cambio climático, en abril de 2021, el Consejo y Parlamento Europeo alcanzaron un acuerdo provisional sobre la Ley Europea del Clima, que pretenderá consolidar en la legislación el objetivo de reducir en un 55% las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a 1990 de aquí a 2030, que fue adoptado por los ministros de la Unión Europea en junio de 2021 [2].

El siguiente gráfico presenta una predicción sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto de invernadero proveniente de cada sector, para evitar el aumento de temperatura y catástrofes climáticas. Se pretende ir a cero emisiones de gases de efecto invernadero desde la fecha de hoy hasta la fecha final que indica el gráfico.

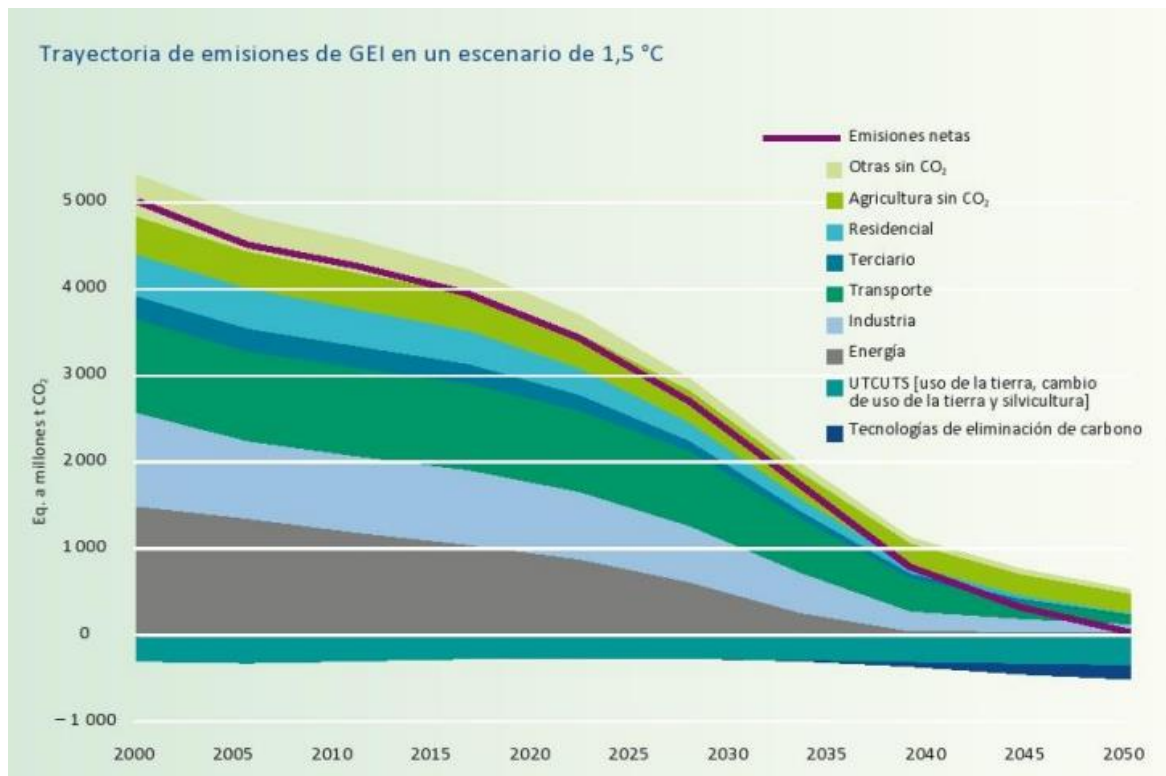


Ilustración 2. Trayectoria de emisiones de GEI.

Este objetivo climático conducirá a un cambio en la industria de la Unión Europea hacia un crecimiento económico sostenible dando uso a recursos cuidadosos y obtenidos del medio ambiente, creando oportunidades de empleo para los ciudadanos, habría una mejoría en la calidad de vida, debido a que se mejorará la tecnología y con ello el cuidado del medio ambiente, y a largo plazo habrá mayor competitividad global a largo plazo de la economía de la Unión Europea, debido a las innovaciones tecnológicas.

La perspectiva de la Unión Europea a largo plazo pretende ser neutra desde el día de hoy a 2050 buscando soluciones tecnológicas que ayuden a reducir radicalmente las emisiones. Los dirigentes de la Unión Europea reconocen además de la necesidad de instar a un marco regulatorio, asegurarse que la transición se hace de manera eficiente en términos de costes, socialmente equilibrada y equitativas, siendo la transición energética justa para todos los sectores que actúan en la sociedad [2].

Una de las soluciones que se puede llevar a cabo en un futuro no muy lejano para proceder a los objetivos de transición energética de la reducción de emisiones de CO₂, es la aplicación del Acoplamiento Sectorial, término que se ha puesto de moda no hace mucho tiempo, cuyo objetivo trata de un sistema energético descentralizado y no centralizado como se encuentra actualmente.

2 IMPORTANCIA DEL SECTOR COUPLING EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

En la Unión Europea se están presentando cambios en el sector energético haciendo que se aumenten los objetivos de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 55% para el año 2030 y entorno a un 80% o un 90% para veinte años después, por debajo de los niveles de 1990. El Acuerdo Verde de la Unión Europea ha agregado apoyos legislativos que prevén un gran apoyo económico para las energías y movibilidades verdes con el medio ambiente, cuyo efecto se traduce en conseguir descarbonizar los sectores más influyentes en la sociedad como son el transporte, la edificación y la industria, presentando el objetivo de limpiar el sistema energético [3].

El **Sector Coupling** o también llamado **Acoplamiento Sectorial** es un concepto desarrollado en Alemania que se ha puesto de moda en muchos países para lograr la transición energética de cara a 2050 [4].

La definición de este término trata de vincular de forma gradual los sectores de electricidad, gas y calor, optimizando la acción conjunta de generación de energía existentes, transporte, distribución de electricidad, gas, industria, viviendas y calefacción con el objetivo de obtener un sistema energético descarbonizado. En un primer momento se centró este concepto en hacer uso del exceso de electricidad generado a partir de fuentes de energía renovable, principalmente la energía solar fotovoltaica y eólica que son las más consolidadas.

Tras varios estudios, el alcance del Sector Coupling se ha ampliado para proporcionar la mayor flexibilidad del sistema, requiriendo un sistema de energía para mantener la estabilidad de la red que plantea la integración de mayores productores de energía renovable. Si este sistema se consiguiera apoyar mediante sistemas digitales e inteligentes, las tecnologías del Sector Coupling como vehículo eléctrico, bombas de calor y electrolizadores para producir hidrógeno, permitirían que la demanda responda mejor a los precios de la electricidad y mayor flexibilidad a la hora de suministro [5].

Este sistema integrado con las redes eléctricas, sistema de transporte y las redes de energía térmica optimizan económicamente las operaciones como un único sistema, siempre que se implementen incentivos económicos para esta integración, ya que estimularían la implementación de nuevas tecnologías.

La definición de sector coupling se concentra en tres secciones:

- **Aplicación de tecnologías que van desde los usuarios finales hasta la generación de energía usando múltiples fuentes de energía.**
- **Análisis técnico-económico basado en modelos de las opciones de sector coupling, sus costos, beneficios y la reducción de emisiones.**
- **El papel que tiene dicho sistema en la estrategia de descarbonización a varias escalas.**

(La Comisión Europea considera dicho sistema como una estrategia para construir un sistema energético altamente flexible e integrado, para lograr la descarbonización).

2.1 Flexibilidad del Sistema eléctrico mediante Sector Coupling

La energía renovable ofrece una solución de cara al futuro de la transición energética muy prometedora para llevar a cabo los desafíos relacionados con el clima y la energía, debido a que puede ofrecer sistemas energéticos que no emitan emisiones contaminantes.

Se estima que la electricidad obtenida por las energías renovables presente el 86% del consumo mundial de la electricidad para 2050, con un 64% ofrecido por fuentes solares fotovoltaicas y eólicas, esto hace que el sistema eléctrico se vuelva más flexible para ofrecer una cuota de generación muy alta a partir de fuentes renovables [4].

Conseguir el objetivo de reducción emisiones de dióxido de carbono en el escenario 1,5°C, se puede obtener acoplando de manera inteligente los usos finales con el sector eléctrico, es decir dependiendo de la flexibilidad

del sector coupling. A partir de enfoques como la electrificación y el almacenamiento de energía térmica, los sectores de uso final pueden acoplarse para proporcionar servicios como calefacción, refrigeración y transporte. Obtener esto de manera eficiente requiere el apoyo de tecnologías digitales y sistemas inteligentes de gestión de energía, herramientas de pronóstico de tiempo para la generación de energías renovables y modelos de negocios innovadores como servicio la energía.

A continuación, se muestra una figura, que estructura el Sector Coupling general de diferentes sectores para así poder mejorar la flexibilidad del sistema energético. El mayor potencial para ofrecer flexibilidad se encuentra en el lado de la demanda y en los sectores de uso final, edificios, transporte e industria. El proceso es simple, se obtiene energía de recursos renovables o plantas de potencia convencionales, esta energía es aprovechada mediante distintos procesos, electrólisis (convertir la electricidad en hidrógeno para el transporte, hogares, comercios o industrias), metanización (Reaccionar el hidrógeno con CO₂ para obtener combustibles sintético), reconversión (transformar de nuevo el propio combustible sintético a energía eléctrica o calor) o aprovechar la energía en bombas de calor (para proporcionar calor o energía a industrias, hogares y comercios). Los centros de generación de energía no se encuentran centralizados como las plantas convencionales.

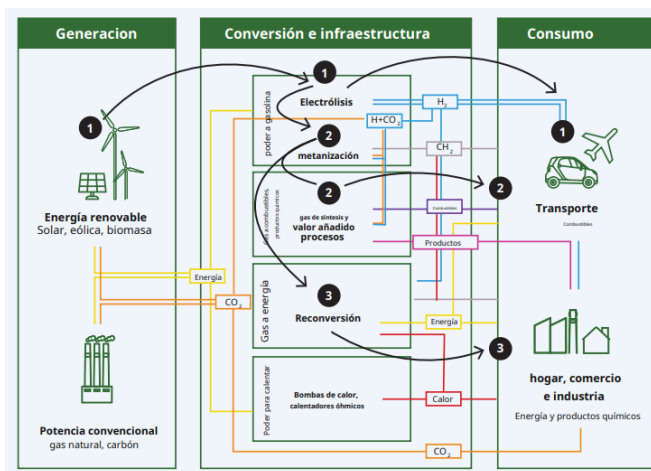


Ilustración 3. Esquema Explicativo del Sector Coupling.

Un ejemplo de flexibilidad sería aprovechar o almacenar el exceso de energía eléctrica de módulos fotovoltaicos y aprovecharlos en un sistema de calefacción y refrigeración urbana[6]. También otro ejemplo, podría ser aprovechar la energía de la batería de los vehículos eléctricos, conectados a la red de carga, en el propio hogar.

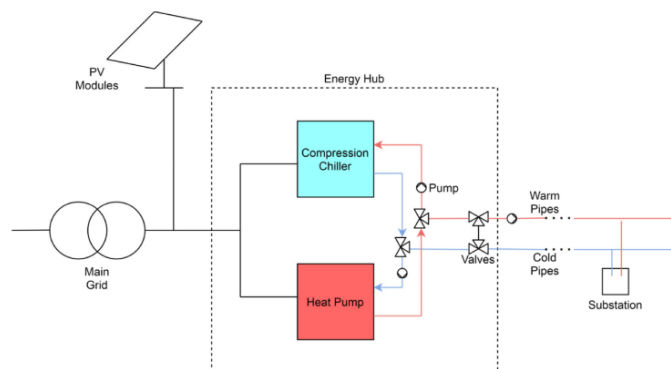


Ilustración 4. Fotovoltaica combinado con District Heating and Cooling.

2.2 Sistemas inteligentes de gestión energética en Sector Coupling.

Los sistemas de energía inteligentes se presentan como tecnologías que consisten en la combinación de las redes eléctricas, térmicas y de gas de forma inteligentes con el fin de aumentar la flexibilidad, principalmente en la etapa de conversión del sistema energético, para compensar la intermitencia de los recursos renovables y como solución para la combinación de cada sector individual, así como el sector energético en general, para compensar la falta de flexibilidad de recursos renovables como son la eólica y la solar [7].

Estos sistemas se basan en tres infraestructuras:

- **Red eléctrica inteligente:** conexión del demandante de energía eléctrica a recursos intermitentes.
- **Redes térmicas inteligentes (District Heating and Cooling):** para la conexión de los sectores de electricidad y calefacción, permite el uso de almacenamiento térmico para crear flexibilidad y también la recuperación de calor residual.
- **Redes de gas inteligentes:** conectan sectores de calefacción, electricidad y transporte, permitiendo un uso de almacenamiento de gas para la creación de flexibilidad, al igual que las redes térmicas, su almacenamiento puede ser gas o líquido.

La combinación de estas tres redes anteriores lleva a ciertas ventajas:

- El Aprovechamiento del exceso de calor industrial y la producción de electricidad para calentar edificios a través de calefacción urbana.
- El aprovechamiento de la electricidad para calefacción hace posible que se pueda almacenar calor en vez de electricidad que es más barato y eficiente.
- Las bombas de calefacción se pueden usar para refrigeración urbana.
- La electricidad para calefacción se puede utilizar para el equilibrio de red eléctrica y energía.
- La conversión de biomasa a gas y combustible líquido, mediante el vapor de Cogeneración, se puede obtener calor a baja temperatura aprovechable en redes de calefacción y refrigeración urbanas.
- El ahorro de energía en la calefacción de edificios hace posible el uso de calefacción urbana de baja temperatura, utilizando fuentes de baja temperatura a partir de calor excedentario de industria y cogeneración.

Para conseguir llevar a cabo este tipo de sistemas se requieren herramientas y modelos que se centren en la interconexión de la electricidad, calefacción y refrigeración y transporte, y por ello infraestructuras conectadas por redes eléctricas, térmica y gas. También para llevar a cabo el desarrollo de dichos sistemas, debe desarrollarse herramientas de simulación y diseño de sistemas de energía inteligente, de alta resolución temporal y ser capaces de modelar a lo largo de estaciones, para tener en cuenta las variaciones estacionales y realizar un correcto uso del almacenamiento.

Mediante los sistemas inteligentes se puede llegar a alcanzar un suministro 100% renovable para todos los sectores mediante la combinación de capacidades de almacenamiento de combustibles, líquidos, gas y térmicos, junto con la electricidad.

Para llevar a cabo los sistemas inteligentes de energía (Smarts Energy Systems) en Dinamarca [8], se pretende seguir una hoja de ruta de transición energética de un proyecto llamado CEESA (Análisis del Sistema Ambiental y Energético Coherente), el cual presenta escenarios técnicos, políticas de implementación y hojas de ruta para una transición a un sistema de suministro basado completamente en energía renovables con una parte dominante de fuentes intermitentes.

Dicho proyecto se lleva a cabo mediante una serie de escenarios, basados en datos o análisis de sistemas como son el transporte y energías renovables, el futuro sobre la electricidad, el mercado y su regulación y por último una evaluación medioambiental, para finalmente desarrollar herramientas y metodologías para una generación de análisis energéticos y medioambientales coherentes, en el documento referenciado [9] se muestran diversos escenarios que muestra el proyecto CEESA, y uno de ellos es el cien por cien renovable para 2050, presentando una interconexión de redes eléctricas, calefacción y gas.

A continuación, se muestra un diagrama de Sankey realizado por el proyecto CEESA cien por cien renovable, satisfaciendo la demanda final.

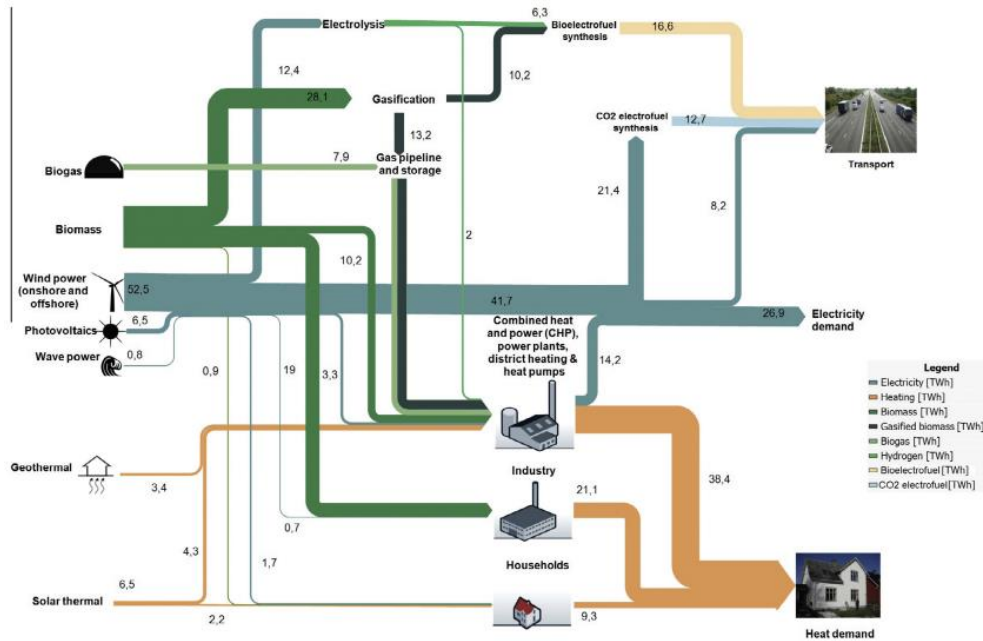


Ilustración 5. Diagrama de Sankey 100% Renovable proyecto CEESA.

2.2.1 Smart Energy Systems en el transporte

La mejora en la inteligencia de la gestión y flexibilidad de la producción energética para satisfacer las demandas de los usuarios lleva a la reducción en la generación de energía adicional si aumenta la demanda, maximizando la eficiencia de los sistemas de energía y del mercado, aprovechando fuentes renovables junto a sistemas de almacenamiento u otros sistemas. La eficacia del sistema se podrá medir mediante tiempo de respuesta, como de rápido puede reaccionar la carga a una variación de la oferta o demanda, y la capacidad máxima que puede ofrecer y su duración.

Uno de los inconvenientes de la implementación de tecnologías e innovaciones que gestionen el sistema de energía, es que se tienen que llevar cambios de diseño en infraestructuras y la regulación del mercado, ya que su operación sería distinta a la actual. Otro inconveniente, al ser tecnologías no maduras llevarán a problemas técnicos cuando se lleve a una red más inteligente.

A continuación, se presentan dos sistemas ya implementados por la marca WallBox de cargadores inteligentes de vehículos eléctricos [10]:

- **Power Boost:**

Carga inteligente que impide superar la capacidad máxima de energía del hogar, alcanzar o superar la capacidad máxima de energía no es ideal, ya que la distribuidora cobrará un extra al consumir mayor electricidad de la contratada. Este sistema ayuda a evitar esta situación distribuyendo la carga de forma dinámica entre el cargador y el resto de los dispositivos del hogar. Cuando la capacidad se encuentre cerca de su máximo, el sistema de carga reducirá de manera automática la potencia que consume el vehículo, incluso puede parar la propia carga para garantizar los límites contratados con la distribuidora.

- **Dynamic Power Sharing:**

Si la demanda es inferior a la de la capacidad máxima del hogar la potencia restante se aprovecha para la carga del vehículo, además el propio sistema de carga inteligente distribuye de manera automática y uniforme la energía a más cargadores si los hubiera. Si la demanda energética de la vivienda es igual o superior a la máxima permitida, no se destina carga a los cargadores. Los momentos de menor demanda de la vivienda cubrirán las necesidades de los vehículos eléctricos, así no habrá costes por sobrepasar la potencia máxima contratada.

Diferenciando estos dos tipos de carga inteligentes, también existe la carga bidireccional, que puede ser muy eficiente de cara al futuro:

- **Carga bidireccional:**

Es una carga de vehículo eléctrico que fluye en ambas direcciones, la carga unidireccional solo fluye hacia el vehículo, mientras que esta fluye en dos direcciones. Cuando se carga el vehículo la corriente que va desde la red es corriente alterna y se suministra al vehículo en forma de corriente continua mediante un convertidor que posee el vehículo. Si se desea utilizar esa electricidad en el hogar o devolverla a la red, el propio vehículo transforma la corriente continua en corriente alterna mediante un convertidor interno que posee el vehículo.

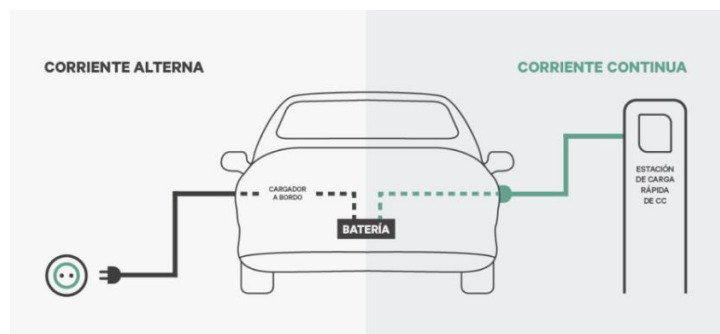


Ilustración 6. Carga Bidireccional de un vehículo.

2.2.2 Smart Energy Systems para calefacción y refrigeración

El concepto de Smart Energy Systems es primordial para la integración de los sistemas de energía 100% renovables que realizan la combinación de almacenamiento de los distintos sectores energéticos y explotar fuentes de calor, además permite la exploración de distintas opciones de almacenamiento de bajo costo, facilitando la penetración de fuentes intermitentes [11].

Los principales objetivos para conseguir una buena gestión y flexibilidad de los sistemas, es mediante la identificación de medidas de ahorro energéticos y la integración de recursos renovables en la calefacción y refrigeración, para ello se deben tomar medidas individuales o conjuntas como puede ser los sistemas de calefacción urbana. Una gran solución es la integración de la electricidad junto con la calefacción y refrigeración, mediante el uso de paneles solares térmicos y paneles fotovoltaicos, permitiendo una mayor eficiencia en la reducción del combustible y consiguiendo menores costes mediante recursos intermitentes.

Según el artículo referenciado [12], el sistema menos costoso de implementar para el suministro de calefacción que combina un ahorro de calor junto con un sistema de calefacción urbana es el uso de bombas de calor individual o de forma grupal para una zona urbana, permitiendo el uso de calor residual de una planta de cogeneración o de una planta industrial.

El aprovechamiento del calor residual junto con bombas de calor y redes de calefacción urbanas es debido a que con la gran cantidad de industrias que se encuentran en Europa y el calor residual que generan, y la generación de electricidad, es igual a la demanda total de calor en Europa [13].

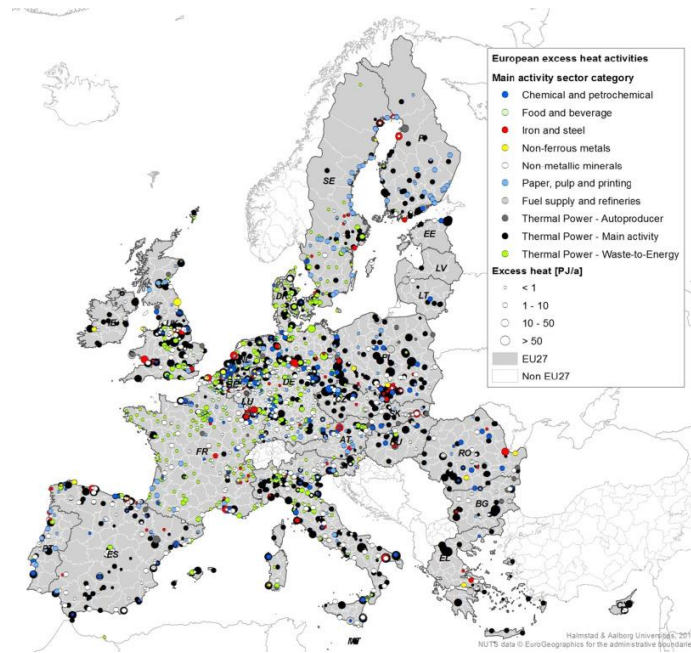


Ilustración 7. Exceso de calor mediante actividades industriales.

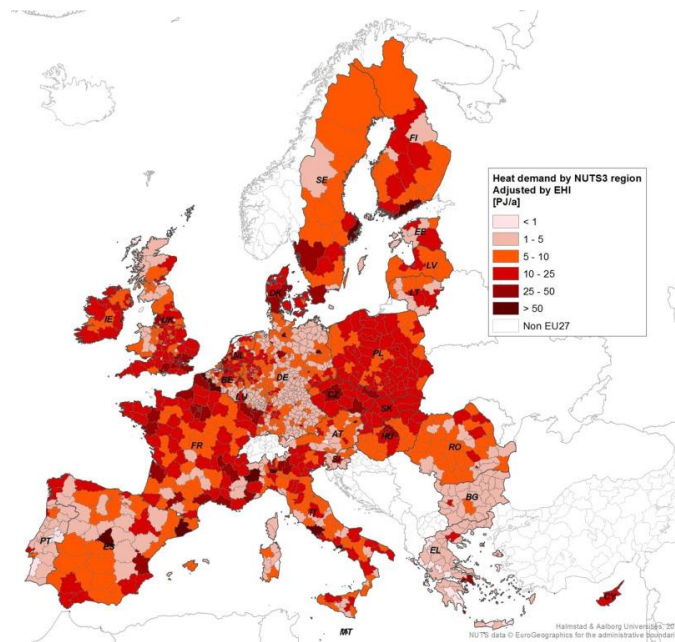


Ilustración 8. Demanda de calor por año. (1PJ/a=278 GWh/a).

Un ejemplo de la obtención del calor residual que resulta interesante y que se encuentra en proceso de desarrollo, es una red de calefacción innovadora, la cual permite obtener calor residual que produce un sistema de transporte. En este caso se produce calor residual en un metro de Bucarest, proveniente de la frenada de los trenes que se encuentran en funcionamiento y también de los propios sistemas de ventilación. Parte del calor es absorbido por las paredes y el resto permanece en los túneles, el objetivo es obtener ese calor residual mediante captura del aire caliente aprovecharlo en una bomba de calor, elevar su temperatura y así ser utilizada para alimentar la red de calefacción urbana [14].

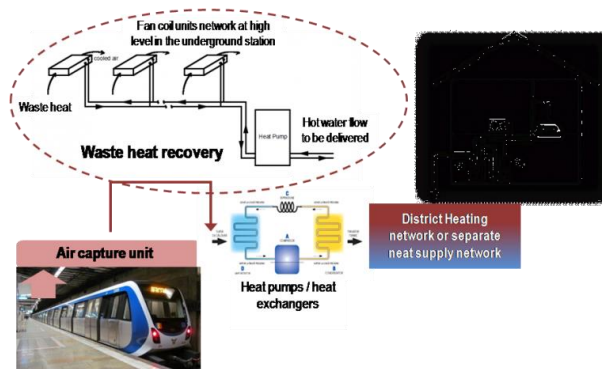


Ilustración 9. Aprovechamiento del calor residual de una red de metro.

2.3 Análisis del Potencial del Sector Coupling

El potencial a nivel de distrito se podrá obtener mediante la implementación e integración de tecnologías renovables o el reemplazo de las tecnologías convencionales de forma óptima, mediante una planificación que tome la dificultad y la interconexión del sistema energético. Una vez llevada a cabo la planificación se podrá observar el potencial del sector coupling.

La planificación se lleva a cabo mediante un barrido del distrito al que se le pretende realizar la integración de tecnologías renovables, para ello se realizan una serie de pasos [4]:

- **Estudio espacial y temporal:**

Es un aspecto importante para la modelación del sistema energético urbano, se debe tener en cuenta si es una ciudad, un distrito o una serie de viviendas, ya que el modelado es distinto, debido a la variación de las demandas, la integración de las renovables y la infraestructura energética (red).

- **Modelado de la demanda:**

Dependiendo de los datos y del lugar que se vaya a analizar, el modelado puede realizarse mediante un enfoque ingenieril mediante software (EnergyPlus) o métodos estadísticos y cálculos.

- **Medidas de eficiencia energética en los edificios:**

Realización de mejoras de eficiencia en los edificios nuevos y ya construidos, debido a que los edificios actuales son poco eficientes, ya que gran parte de la energía se pierde por la envolvente.

- **Estudios del potencial de energías renovables:**

La realización de un estudio exhaustivo sobre el aprovechamiento de recursos renovables que se encuentren en la zona es muy importante en la actualidad. Según la disponibilidad cada uno variaría según el tipo de escala, estacional, intermitente, anual o según un análisis económico como es el caso de la biomasa o residuos.

- **Cálculo de emisiones:**

Se ha de realizar el cálculo de la reducción de CO₂, para observar si cumplen con el objetivo de las instalaciones, ya que la implementación de dichas tecnologías es para llevar a cabo la transición energética y la eficiencia.

A continuación, se presentarán diversas estrategias para presentar el potencial del Sector Coupling, mejorando la eficiencia global del sistema energético.

2.3.1 Eficiencia energética en los edificios como estrategia

El potencial que presentan los edificios de cara al Sector Coupling es muy elevado, debido a que se implementan cada vez más recursos renovables como la energía solar térmica, fotovoltaica, geotermia y aerotermia, que pueden hacer muy eficiente las viviendas. Sin embargo, el principal potencial de mejora energética de las viviendas no es una herramienta tecnológica que ayude a la disminución de la demanda de calefacción, refrigeración o eléctrica, se trata de mejorar la propia vivienda mediante mejoras estructurales, para evitar grandes pérdidas de calor.

El uso de la energía en las actividades realizadas en viviendas presenta un valor del 30% del consumo total de energía final, siendo dos tercios de la calefacción, refrigeración y el resto el consumo eléctrico de la vivienda.

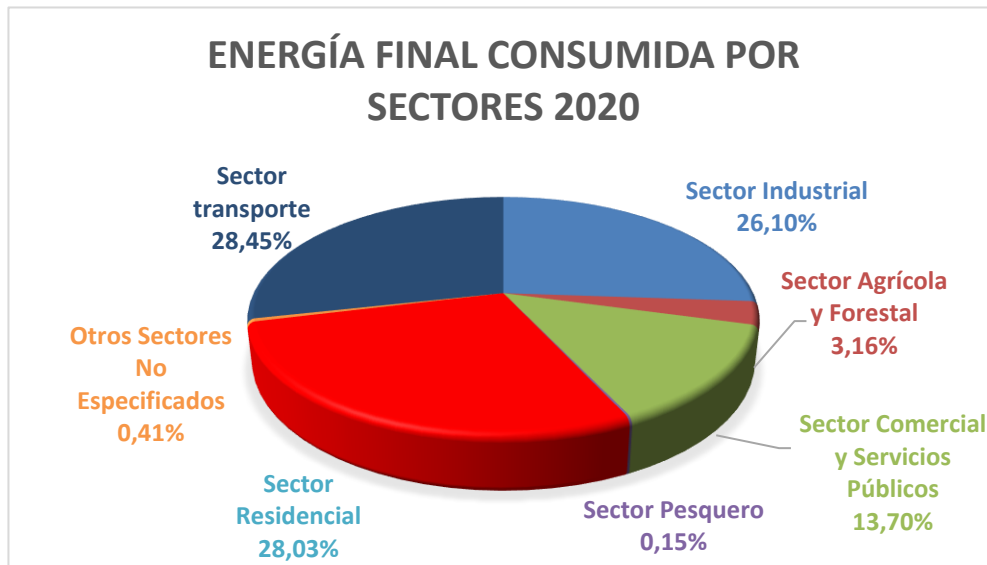


Ilustración 10. Consumo de Energía final por Sectores.

Gran parte de las pérdidas de las viviendas se deben a su envolvente, la reducción de estas pérdidas llevaría a una gran reducción de la demanda de calefacción actual mediante el uso de recursos fósiles. La implementación de fuentes renovables, para la reducción de las demandas y emisiones de CO₂, son objetivos futuros con un gran potencial, pero la mejora de la envolvente de los edificios es primordial, ya que la Agencia Internacional de Energía de Seguimiento de Edificios presenta que dos tercios de los países aún no han emitido estándares para mejorar el rendimiento de los edificios, a menos que se establezcan y se cumplan códigos de construcción estrictos. Esto último lleva, a que gran parte de las viviendas construidas y en construcción no son eficientes energéticamente, presentando un gran potencial de mejora.



Ilustración 11. Pérdidas de calor en las viviendas.

Las mejoras de eficiencia energética empiezan por:

- **La envolvente:**

Su reducción lleva a una disminución de la demanda de calefacción y refrigeración, cuya solución sería según la zona climática agregar aislamientos adecuados, con vidrios de baja emisividad y sellado de las fugas de aires.

- **Implementación de recursos renovables:**

El uso de placas fotovoltaicas para depender menor de la red eléctrica, uso de energía solar térmica para conseguir agua caliente sanitaria, aerotermia o geotermia.

- **Sistemas de inteligencia:**

Implementación de la domótica para el uso más eficiente de la energía de las viviendas, esto podría ser más complejo de implementar, debido a que los dispositivos de la vivienda deben ser tecnologías avanzadas, para que se puedan gestionar de forma inteligente.

- **Concienciar al usuario del ahorro energético:**

Este último apartado, debido a las actuales subidas de precios de los recursos energéticos finales, se conciencian más del ahorro y uso moderado de la energía.

Estas mejoras energéticas en las viviendas se incluyen en el proceso estratégico del Sector Coupling, debido a que se consigue mejorar la eficiencia global del sistema y reducir la producción de la energía final en este sector.

Dejando de lado estas mejoras anteriores, una gran implementación, que se lleva a cabo en varios países, que favorece al usuario final y también sirve para el proceso estratégico del Sector Coupling, es la implementación de las redes de calefacción y refrigeración urbana. Estas redes que serán explicadas en el apartado dos del presente trabajo, llevan a mejoras en la eficiencia de la calefacción y refrigeración, y también flexibilidad y seguridad en el suministro [4].

2.3.2 Autoconsumo de energía eléctrica como estrategia

El autoconsumo orientado a la vivienda es el proceso de autoabastecerse energéticamente mediante el uso de paneles fotovoltaicos, paneles térmicos etc, con el fin de reducir la dependencia de los recursos convencionales y que contaminan el medio ambiente, siendo algo primordial para el proceso estratégico del Sector Coupling.

El principal inconveniente del autoconsumo local o a nivel de distrito, es la intermitencia de los recursos renovables a la hora de satisfacer las demandas de los usuarios finales, por ello se deben presentar sistemas de almacenamiento para cubrir dichas demandas en ciertos periodos de tiempo, para así reducir la generación energética de la planta base [4].

Los sistemas de almacenamiento, que están en boca de todos actualmente son las baterías [12], cuyo desarrollo sigue su curso, pero presentan un almacenamiento de períodos cortos, ya que las baterías se descargan con el paso del tiempo. Estos problemas se podrían solucionar mediante la digitalización o integración de sistemas inteligentes, para un uso adecuado de la energía o incluso revertir la energía no utilizada a la red.

En la actualidad el almacenamiento a nivel de vivienda es el de energía eléctrica mediante baterías, al no ser muy eficientes se están llevando a cabo procesos en los cuales la energía excedentaria se podría almacenar mediante la tecnología PEM de electrolisis [15] convirtiéndola en hidrogeno, y se realizaría el mismo proceso a la inversa para la obtención de la energía eléctrica, estas tecnologías son conocidas como Power to X[16] .

Además de ser local el autoconsumo, se puede implementar a nivel de distrito, una micro-red con la capacidad de funcionar mediante una red virtual de sistemas inteligentes de gestión de energía, este autoconsumo de distrito podrá operar de forma independiente de una red de distribución.

En la siguiente figura se pretende enseñar un esquema de una población la cual se alimenta de electricidad por medio de energía solar combinada con una planta eléctrica, hay viviendas que presentan sus propias instalaciones de autoconsumo y en la esquina inferior derecha se muestra unos depósitos en los cuales se puede almacenar la energía excedentaria en forma de hidrógeno.

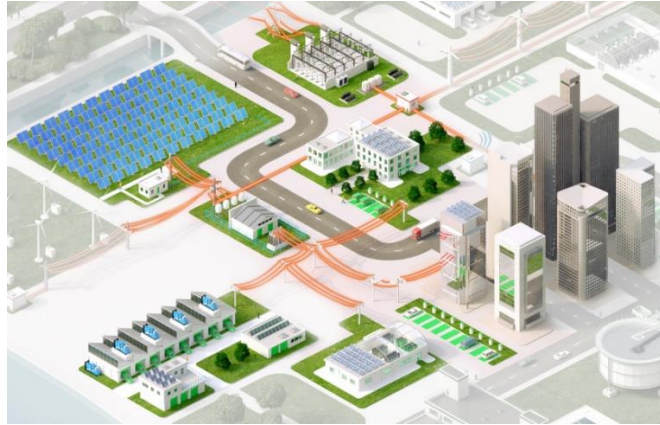


Ilustración 12. Micro-Red de autoconsumo distrital.

2.3.3 Almacenamiento de energía térmica como estrategia

La energía térmica se produce principalmente por la necesidad de satisfacer la demanda de la calefacción y refrigeración de viviendas u otros servicios de energía térmica, sector comercial e industrial. A medida que se avanza hacia un futuro con restricciones de carbono, la descarbonización de los sistemas de calefacción dominados por los combustibles fósiles, en particular en procesos industriales es el principal desafío para resolver.

Con el paso de los años se han ido desarrollando e implementando tecnologías y aplicaciones de almacenamiento de energía térmica.

La energía térmica puede ser almacenada en sistemas dependiendo del sistema, cuyos tipos son sistemas de calor sensible, sistemas de calor latente y sistemas de almacenamiento termoquímica [17]:

- **Sistemas de calor sensible:**

Trata de elevar la temperatura de un fluido caloportador para almacenar el calor en dicho fluido y liberarlo mediante la disminución de la temperatura cuando sea necesario, los materiales utilizados deben tener una alta capacidad calorífica, siendo el líquido más empleado el agua para el almacenamiento de calor a media-bajas y temperatura, debido a su alto poder calorífico. A altas temperaturas se suelen usar en aplicaciones industriales y comerciales como son las centrales termo-solares que almacena el calor en sales fundidas.

- **Sistemas de calor latente:**

El calor se utiliza para provocar el cambio de fase en el material de almacenamiento. Los materiales utilizados en este tipo de almacenamiento son los llamados materiales de cambio de fase o PCM, uno de los más comunes para el almacenamiento en frío es la solidificación del agua. Presenta una mayor densidad de energía que el almacenamiento sensible, pero tiene ciertas limitaciones a la hora de separar de fase, corrosión, estabilidad a largo plazo y sus costes son elevados.

- **Sistemas de almacenamiento termoquímico:**

El calor generado por una reacción química reversible se absorbe y se produce una reacción endotérmica cuando absorbe energía térmica y energía exotérmica durante la descarga. Los sistemas de almacenamiento termoquímico ofrecen mayor densidad energética, posibilidad de almacenamiento a temperatura ambiente, almacenamiento a largo plazo, facilidad de transporte. Presentan inconvenientes, debido a la estructura compleja, los costes y la baja capacidad de transferencia de calor, este tipo de acumulador de calor aún se encuentra en la etapa inicial de desarrollo.

En la actualidad los sistemas más utilizados y con futuro de cara al sistema Sector Coupling, son los de calor sensible para la producción de agua caliente sanitaria mediante energía renovables solar térmica [18], solar fotovoltaica combinando los excedentes para calentar un acumulador de agua o mediante geotermia.

Otro almacenamiento térmico muy conocido e implementado a nivel mundial es el almacenamiento de calor en sales fundidas mediante un campo de energía termo-solar, se obtiene el calor por medio de heliostatos que calientan un fluido caloportador y este calor se suministra a los depósitos de sales fundidas [19].

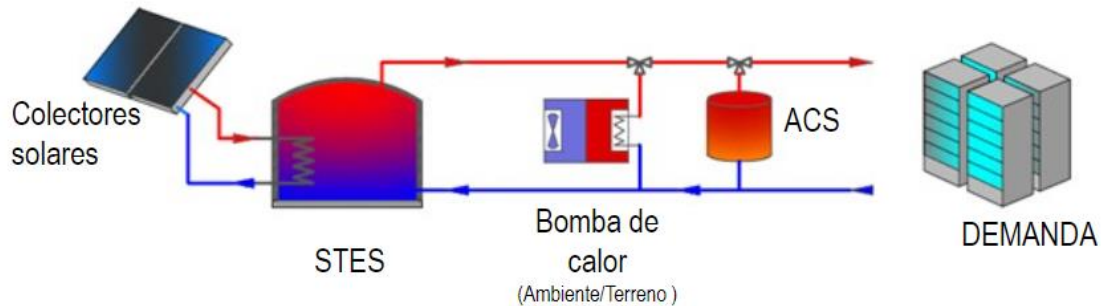


Ilustración 13. Solar térmica con almacenamiento.

2.3.4 Electromovilidad como estrategia

La sustitución de los motores de combustión interna a vehículos eléctricos da una solución futura para descarbonizar el sector del transporte urbano. Los beneficios para las ciudades están asociados a la disminución de la contaminación del aire y acústica, y supondría un apoyo a la economía local cuando la electricidad se genera a partir de sistemas de generación de energía distribuida y reducción del suministro de combustible a base de petróleo.

En la actualidad se encuentran los vehículos eléctricos, los vehículos de pila de combustible y los vehículos propulsados por gas natural. El creciente interés por estos vehículos será cuando el costo de ellos sea parecido al de los vehículos convencionales de combustión fósil, ya que los costos de mantenimiento son reducidos a los de los vehículos actuales. De cara al futuro, es probable que mejoren los costos, debido a que gran parte de la población se pasará a la modalidad eléctrica y también se reduzcan los costos de la producción de las baterías debido al gran avance tecnológico. Además, las restricciones con respecto a los vehículos de combustible fósil cada vez son mayores, incitando a la sociedad al cambio de movilidad.

El consumo de electricidad en el sector del transporte aumentaría del 1% actual al 49% durante las próximas tres décadas, como resultado de un crecimiento en los vehículos eléctricos ligeros en la flota de transporte y un incremento de camiones eléctricos pesados en circulación para 2050. Para lograr este escenario, el acoplamiento entre los dos sectores debe extenderse a la plena integración de estos sectores a través de tecnologías inteligentes y el cambio necesario en el marco regulatorio, como las instalaciones de carga inteligente [4].

En los siguientes gráficos se muestra como ha variado la circulación de vehículos nuevos en Europa del año 2020 al 2021 [20].

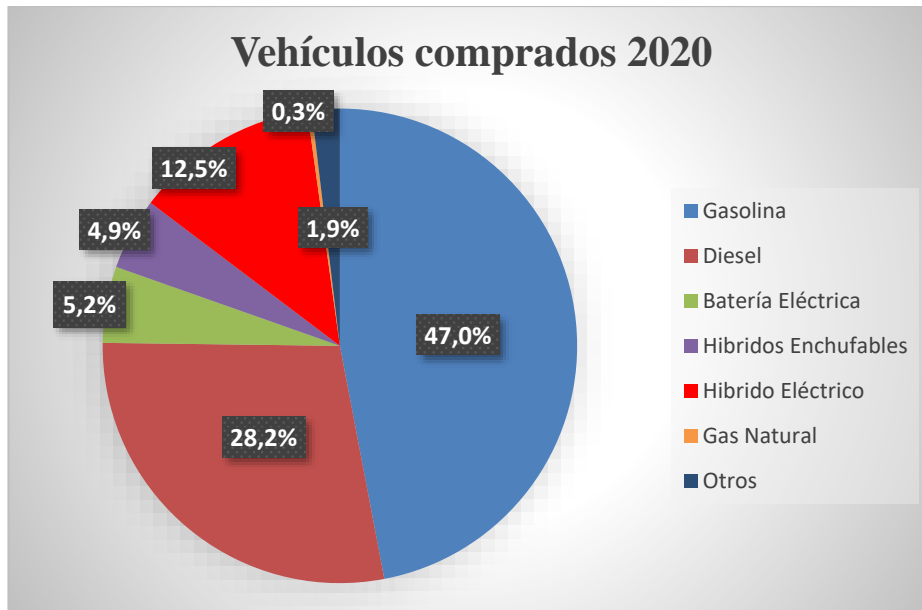


Ilustración 14. Compra de Vehículos según su propulsión 2020.

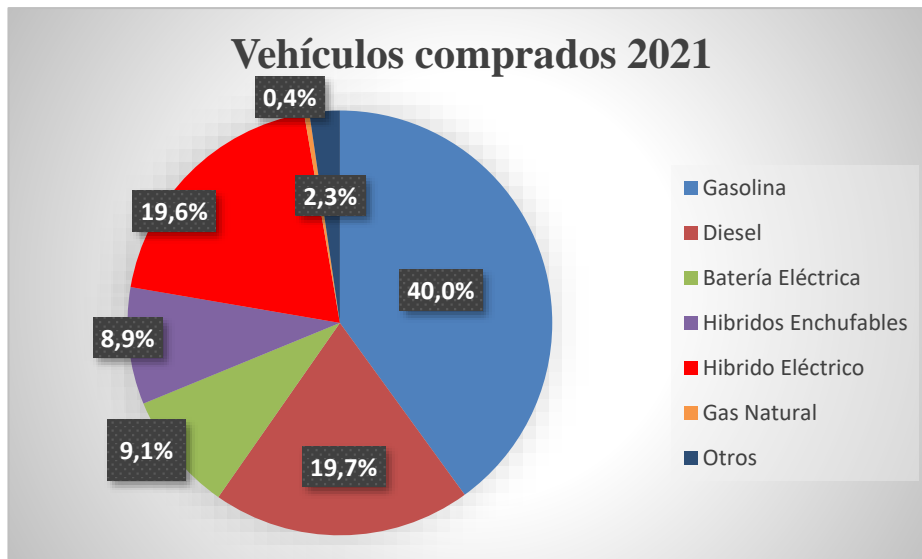


Ilustración 15. Compra de Vehículos según propulsión 2021

2.3.5 Hidrógeno verde para la descarbonización como estrategia

El hidrógeno verde tendrá un papel muy importante de cara al futuro, además de tener emisiones casi nulas, presenta un mayor grado de pureza en comparación con el hidrógeno obtenido de los combustibles fósiles. Esta ventaja lo hace ser aprovechable para el uso final en ciudades o en sectores industriales.

Actualmente la obtención del hidrógeno verde cuesta dos o tres veces más que el hidrógeno obtenido de la captura de CO₂ y de combustibles fósiles, debido a que para obtenerlo es necesario electrolizadores, son dispositivos que aprovechan la electricidad y agua, se están llevando a cabo múltiples desarrollos y se prevé que su costo se reduzca a la mitad en la próxima década a través de la innovación, mejoras de rendimiento y ampliando niveles de megavatios a gigavatios.

El hidrógeno al no ser producido en el sitio, hay que transportarlo, por ello se puede aprovechar las redes de gas natural ya construidas en Europa, se pueden adaptar para entregar el hidrógeno y al ser una fuente de almacenamiento de energía grande y de bajo costo, se puede acelerar el proceso de despliegue del uso del hidrógeno.

A continuación, se presentan las redes de transporte de gas (azul) en Europa y las redes eléctricas (naranja),

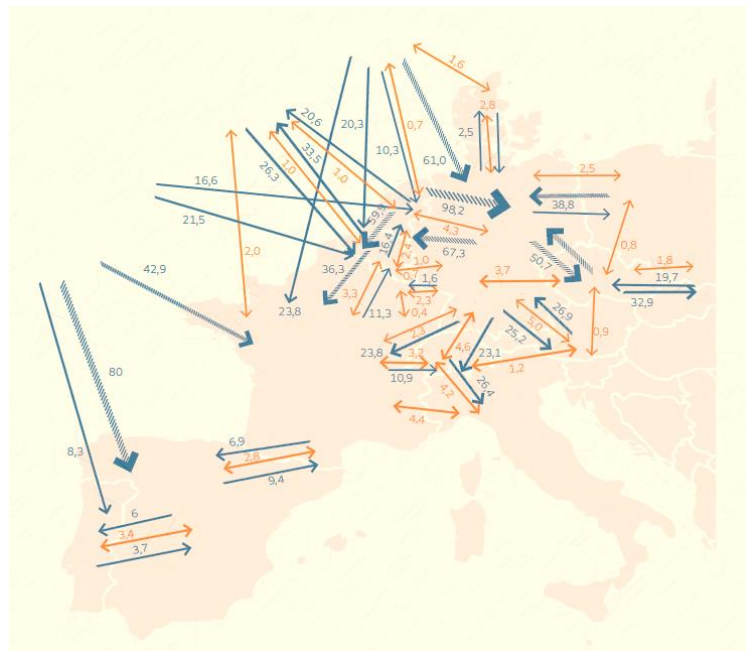


Ilustración 16. Redes de Gas Natural en Europa (GW).

Las aplicaciones que se pueden llevar a cabo mediante el uso del hidrógeno para favorecer el proceso estratégico del Sector Coupling son las siguientes [15]:

- **Transporte:**

En la actualidad, se están llevando estudios de vehículos pesados mediante el uso de hidrógeno, para el transporte marítimo, submarinos híbridos con Diesel, trenes que funcionan mediante hidrógeno. La gran parte del sector del transporte se encuentra en los usuarios de ciudades, en la actualidad existen vehículos eléctricos de pila de combustible, convirtiendo la electricidad mediante el hidrogeno en una pila de combustible, tienen una autonomía similar a los vehículos convencionales y se pueden repostar mediante hidrogeneras que cada vez hay más en el mundo. Dado que los vehículos eléctricos presentan problemas de autonomía y carga, los vehículos propulsados por hidrógeno amplían su alcance a vehículos de largas distancias, para suplir a los eléctricos.

- **Calefacción y Refrigeración:**

El hidrógeno para calefacción es una opción potencial de descarbonización en regiones y ciudades, debido a que se pueden aprovechar las redes de transporte de gas natural y convertirse 100% en hidrogeno a largo plazo, debido a que las infraestructuras están limitadas y el coste del hidrogeno es alto. Habrá que sustituir los elementos del edificio que funcionan con gas natural a electrodomésticos que funcionen con hidrogeno.

Para las redes de calefacción urbana el hidrogeno es muy beneficioso, ya que como su almacenamiento es viable, podría satisfacer la demanda de calefacción o refrigeración de forma limpia, mediante la tecnología power to gas, el hidrogeno puede volver a electricidad.

- **Almacenamiento:**

El hidrógeno se puede almacenar en grandes cantidades y se presenta como la solución más viable para suplir la variación estacional de la energía solar y eólica a gran escala a medida que el sistema energético global avanza hacia cero emisiones netas. Si bien el conjunto de opciones de flexibilidad energética, como las baterías, la gestión de la demanda y el intercambio de energía, debería ser suficiente para los sistemas de energía que son hasta un ochenta por ciento renovables, el hidrógeno es importante para hacer frente al último diez o veinte por ciento hacia una energía cien por cien renovable. El almacenamiento se puede realizar en recipientes a presión, como líquido en tanques aislados, aunque la opción más prometedora puede ser en cavernas de sal.

3 DISTRICT HEATING AND COOLING EN EUROPA

Las políticas energéticas europeas se basan en objetivos para conseguir un futuro con bajas emisiones de carbono del sector energético, los cuales son tener seguridad del suministro energético, mediante un sistema consolidado y que no dependa de fuentes intermitentes, y presentar una rentabilidad en el sistema que lleve al bienestar y confort de los ciudadanos, teniendo un nivel de vida razonable.

Para llevar a cabo los objetivos de las políticas europeas, uno de los sectores energéticos en el que se puede actuar es el sector residencial, el cual presenta un 30% del consumo total de energía final, siendo dos tercios atribuidos a la calefacción, refrigeración y el resto el consumo eléctrico de la vivienda.

La actuación sobre el sector residencial presenta un potencial de actuación mediante diversas tecnologías o técnicas, una de ellas que lleva en funcionamiento desde hace décadas son las redes de calefacción y refrigeración urbana, en las cuales se pueden integrar fuentes renovables para satisfacer la demanda de los usuarios de un conjunto de viviendas.

3.1 Evolución de las redes de calefacción urbana

Las redes de calefacción urbana han ido evolucionando a lo largo de los años con el fin de mejorar la eficiencia energética de los sistemas de calefacción hasta el punto de conseguir la integración de recursos renovables y así reducir las emisiones contaminantes.

La primera generación de las redes de calefacción urbanas transcurrió desde 1877-1930, su primera implantación fue en Nueva York en 1877, donde una red alimentada por una sola caldera que producía calor por medio del carbón suministraba calor a catorce viviendas. Se usaban redes de tuberías de vapor de alta temperatura y presión, aisladas y subterráneas con red de suministro y retorno. Se incorporaron también plantas de almacenamiento de vapor y plantas de cogeneración alimentadas por carbón o petróleo, pero su uso no fue extensivo debido a su ineficiencia por las grandes pérdidas de calor a causa de las altas temperaturas de circulación del vapor, además eran peligrosos debido a las altas presiones a las que circulaba el vapor, se corría riesgo de explosión [21].

Hasta 1970 dominaron los sistemas de segunda generación, se reemplazó el vapor por agua líquida presurizada a temperaturas superiores a 100°C, haciendo que los sistemas fueran más seguro evitando los riesgos de explosión y reduciendo las pérdidas de calor. Se utilizó una infraestructura de tuberías de agua y tanques de almacenamiento de calor a base de agua. Se empezaron a implementar intercambiadores de calor de carcasa y tubo y válvulas para realizar operaciones de seguridad del caudal de agua. También se aumentó el número de plantas de cogeneración para satisfacer la demanda de calefacción y electricidad consiguiendo una reducción de costos de producción de energía y reducción de emisiones [22].

En la actualidad se encuentra en funcionamiento la tercera generación, su principal característica es el uso de subestaciones para proporcionar un control de temperatura para el suministro a los usuarios. Se sigue usando agua en el circuito de red de calefacción consiguiendo operar con temperaturas inferiores a los 100°C, reduciendo las pérdidas de calor y costes en aislamiento de tuberías. Se sustituyeron unidades de cogeneración impulsadas por petróleo por unidades de gas, biomasa y residuos, debido a las crisis del petróleo que provocaron la parada del suministro de petróleo.

Hoy en día, se encuentra en activo junto con la tercera generación, la cuarta generación [23] que fue diseñada para reducir las emisiones contaminantes y así reducir la problemática del cambio climático, integrando fuentes renovables al sistema de calefacción y así proporcionar mayor flexibilidad al sistema eléctrico. Si se compara con las generaciones anteriores, la operación del fluido caloportador ha disminuido por debajo de los 70°C, aumentando así su eficiencia térmica reduciendo las pérdidas de calor. Esta generación se diseñó para poder integrar fuentes calor de baja temperatura, integrar fuentes renovables y ser parte de un sistema de energía inteligente, el cual se pueda combinar con redes ya integradas como son la electricidad, gas, fluidos y térmicas, [23].

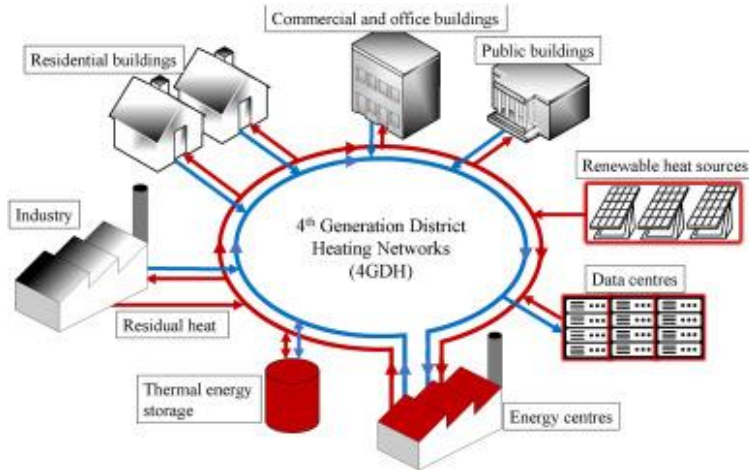


Ilustración 17. Esquema de una red de Cuarta Generación.

Por último, las redes de quinta generación presentan un gran avance tecnológico que tratan de satisfacer de forma simultánea ambas demandas de calor y frío a través de una red de distribución de temperatura ultra-baja, inferior a 45°C. Las subestaciones que se encuentran en la red se equipan con bombas de calor que elevan o reducen la temperatura requerida por los usuarios, y también mejora la integración de redes térmicas y eléctricas mediante sistemas inteligentes descentralizados [24].

En la siguiente ilustración se presenta un esquema del funcionamiento de la quinta generación, la cual a diferencia de la cuarta generación es una única red de distribución por donde circula el fluido caloportador, y a la vez que suministra el calor a los consumidores estos actúan como prosumidores para equilibrar el funcionamiento de la red.

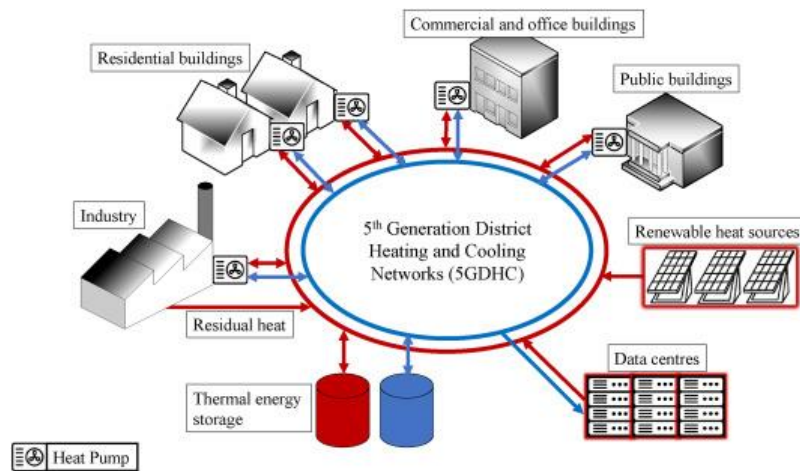


Ilustración 18. Esquema de una red de Quinta Generación.

La principal diferencia de la futura quinta generación con respecto a las tradicionales consiste en una única distribución de frío y calor que circula el fluido en una única dirección en función de la demanda, permitiendo que el consumidor aproveche el uso directo de su demanda y aprovechar el calor residual proveniente de la vivienda para igualar la demanda de otros usuarios. Esta generación presenta una gran integración mediante energía geotérmica, aprovechando las temperaturas ambientales de la superficie, sin necesidad de aumentar la temperatura antes de distribuirla a la red.

Otra diferencia son las subestaciones finales de los consumidores, ya que presentan complejidades con respecto a las anteriores generaciones, debido a que se actúa como consumidor y también como prosumidor de energía térmica, los consumidores toman la energía térmica de la red y se equilibra el funcionamiento de la red mediante calor residual o recursos renovables.

A continuación, se muestra una tabla resumen y un gráfico de las generaciones y sus variaciones con el paso de los años.

Generación	Período	Producción	Fluido	Fuentes Energéticas	Material Redes
1°	1877-1930	Calefacción	Vapor >150°C	Carbón	Acero aisladas hormigón
2°	1930-1970	Calefacción	Agua a presión >100°C	Carbón Petróleo	Acero Aisladas
3°	1970-2021	Calefacción	Agua a presión 90-60°C	Biomasa Residuos Combustibles fósiles Geotermia	Acero Preaisladas
4°	2018-2050	Calefacción	Agua 45-55°C	Recuperación fuentes residuales Fuentes Renovables Geotermia con BC	Plástico flexible Preaislada
5°	2018-2050	Calefacción Refrigeración	Agua <45°C	Recuperación de calor Energías Renovables	Plástico sin aislamiento

Tabla 1. Generaciones de las redes de calefacción urbana.

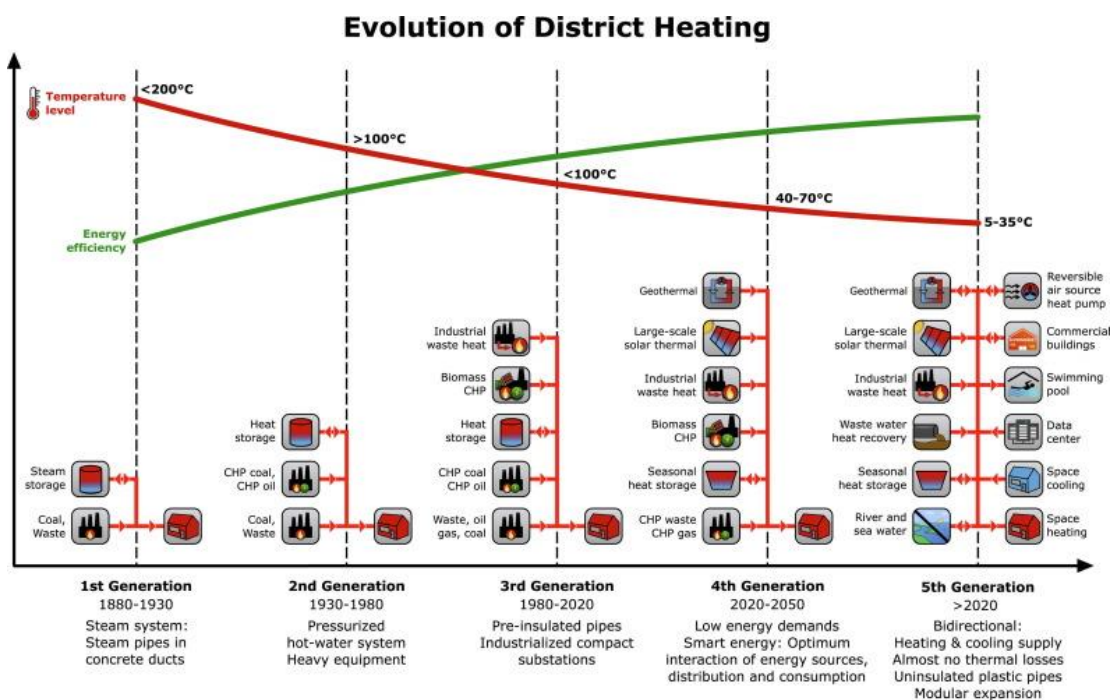


Ilustración 19. Evolución de las redes de calefacción urbana.

3.2 Disposición de las redes de calefacción y refrigeración urbana

Las redes de calefacción y refrigeración urbana son un conjunto de tuberías, con sus respectivos aislamientos, por donde circula el fluido caloportador desde una central térmica hasta los usuarios consumidores. Estos sistemas presentan el beneficio ambiental de como convertir grandes fuentes contaminantes a fuentes de bajo nivel de contaminación, con combustión eficiente y limpia, eliminando los humos de chimeneas o reduciendo la acústica de generadores individuales, a partir de la integración de fuentes de energías renovables.

La principal desventaja de estos sistemas son las grandes inversiones que se deben llevar a cabo en la construcción de la red, por ello es importante que se haga una planificación correcta y que se conecten un mayor número de usuarios para el mayor aprovechamiento del sistema [25].

En la siguiente figura se presenta un esquema de district heating, se genera calor o frío en la planta y se lleva el calor a las distintas viviendas y posteriormente vuelve de forma fría o caliente para repetir el proceso, además esta planta tiene el apoyo de un campo solar que proporciona calor al depósito de almacenamiento de calor por si hiciera falta por incremento de demanda o reducir el funcionamiento de la planta de generación de calor [26].

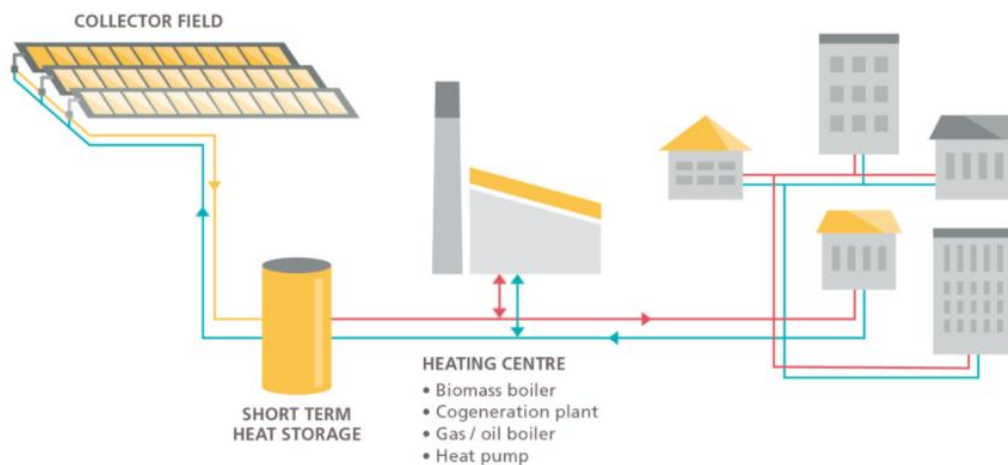


Ilustración 20. Red de Calefacción urbana de Turquía con campo solar térmico.

Los principales componentes de una red de calefacción urbana son los siguientes:

- **Central de Generación Térmica:**

Son plantas de cogeneración en gran medida, calor residual, biomasa, solar o geotermia que se sitúan una por distrito, es decir se sitúa como sistema centralizado, una planta para muchas viviendas, de este modo se podrán eliminar equipos individuales de cada vivienda. Se podrá disponer de una tecnología energéticamente más eficiente a escala y con gestión inteligente.

- **Red de Tuberías de Distribución:**

Se trata de la red por donde circula el fluido caloportador desde la central de generación de calor hasta los consumidores donde se cederá el calor enfriando o calentando el fluido. Esta red debe estar bien diseñada y aislada para minimizar las pérdidas térmicas. La propia red dispone de un circuito para retornar el fluido una vez cedido el calor, este circuito se encontrará de forma subterránea por debajo de las propias calles de la población.

- **Subestaciones:**

Lugar donde se produce la transferencia térmica de la red de distribución a los consumidores, se realiza mediante una subestación, en la que se integra un intercambiador y elementos reguladores para un correcto funcionamiento.

En la siguiente figura, se presenta un principio de funcionamiento de un sistema de calefacción urbana en Langreo, Asturias. Se procede a aprovechar el calor del agua de una mina y mediante un intercambiador y una bomba de calor alimentar a una pequeña población. En este caso la central de generación térmica engloba desde la mina hasta la bomba de calor y las subestaciones son los pequeños intercambiadores de cada vivienda [27].

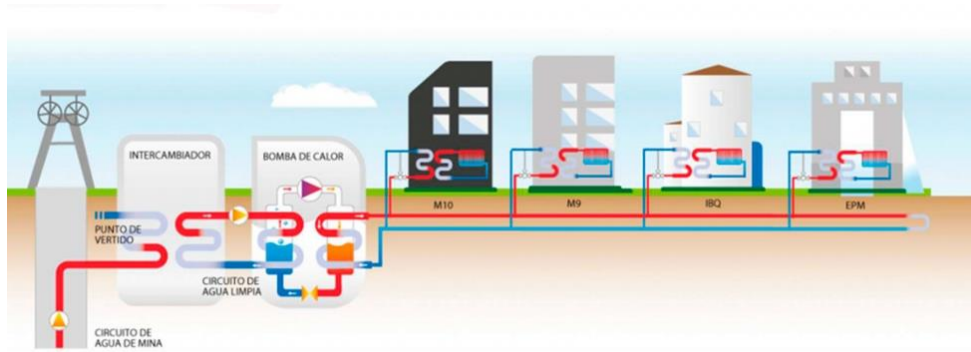


Ilustración 21. Red de calefacción urbana en Asturias.

3.3 Potencial de mejora de la generación de energía de las redes de calefacción

Actualmente la generación del calor y frío se generan desde plantas centrales que utilizan grandes unidades de generación con mayor eficiencia y métodos de control de contaminación del aire más avanzado. Uno de los inconvenientes actuales de las redes de calefacción urbana son las unidades de generación, debido a que son variables. La producción de más de energía demandada o la producción de menos de la energía demandada puede llevar a desperdicios de energía o el descontento de los usuarios.

Es fundamental la gestión óptima de las unidades de generación para que el centro de operaciones de energía proporcione suficiente energía a los usuarios de forma óptima, económica y de mínima contaminación.

El potencial de mejora de dichos sistemas de calefacción urbana se encuentra en [28]:

- **Almacenamiento térmico.**
- **Producción calor, refrigeración y electricidad de forma simultánea.**
- **Integración con energía sostenible.**
- **Contadores inteligentes de predicción de la demanda.**
- **Integración de Bombas de Calor.**

3.3.1 Almacenamiento Térmico

El almacenamiento térmico presenta dos desafíos a destacar con respecto a los recursos renovables:

- Deben centrarse en la intermitencia de los recursos renovables.
- Apoyo para el funcionamiento, debido a que individualmente es complicado soportar la carga de calor y frío de una comunidad sin apoyo de otras tecnologías.

El almacenamiento térmico es fundamental a la hora de equilibrar o aportar continuidad al suministro de energía, mediante un almacenamiento de calor o frío. El desarrollo de los TES (Thermal Energy Storage) presenta cierto potencial para ampliar el uso de distintas fuentes energéticas. Estos sistemas no solo amortiguan la variación de las fuentes renovables y garantizan el suministro, también nivelan la carga máxima del sistema de la red de calefacción urbana, debido a que la energía producida en las horas de menor actividad se puede aprovechar para las horas de máxima actividad.

Estos sistemas presentan la ventaja de disminución del tamaño de las unidades de generación, costes de operación, aumento de la eficiencia, reducir la intermitencia de energías renovables e instaurar redes térmicas inteligentes.

Existen tres tipos de TES, ya mencionados anteriormente:

- **Almacenamiento de Energía Térmica Sensible:**

Sistema en el que la energía contenida aumenta o disminuye la temperatura del fluido de almacenamiento. El agua es uno de los medios más utilizados, ya que es el más barato y un elevado calor específico [29].

Un ejemplo de TES sensible: es el almacenamiento térmico por medio de un colector solar. Recibe la irradiación del sol, que calienta un fluido en un circuito cerrado y a su vez calienta el agua del tanque de almacenamiento.

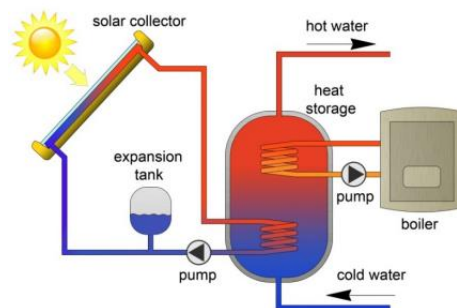


Ilustración 22. Almacenamiento Térmico Sensible.

- **Almacenamiento de Energía térmica latente.**

Estos sistemas implican el almacenamiento de energía en materiales de cambio de fase. La energía térmica se almacena y se libera cuando el material cambia de fase. La ventaja de estos sistemas es que son compactos, cuyo volumen de almacenamiento respecto al sistema sensible es menor, llevando al uso de menor material de aislamiento y su ubicación en lugares de menor espacio. El volumen de almacenamiento es dos veces menor al del agua.

Un ejemplo de TES latentes: el almacenamiento se carga con vapor de la caldera de recuperación y se descargará con agua de alimentación. Durante la descarga, el agua de alimentación fluye hacia la parte inferior del almacenamiento, se evapora y se sobrecalienta a medida que sube a través de los tubos en el almacenamiento, dejando el almacenamiento como vapor sobrecalentado. El calor se transfiere al material de almacenamiento agua o vapor, lo que lleva a la solidificación del material de almacenamiento, sales etc. Según su funcionamiento el material de almacenamiento solidificará o se volverá líquido [30].

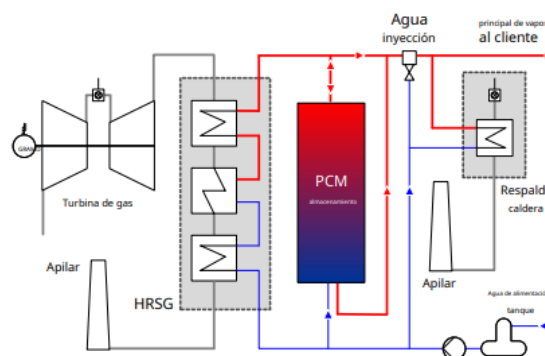


Ilustración 23. Almacenamiento Calor Latente.

- **Almacenamiento de Energía Termoquímica**

Este sistema se produce cuando se utiliza una reacción química con alta energía involucrada en la reacción para almacenar energía. Los productos de reacción deberían poder almacenarse y el calor almacenado por separado durante la reacción se debe recuperar cuando se produzca la reacción inversa. Por ello, solo se pueden usar reacciones reversibles, presentando el desafío más importante de encontrar la reacción química reversible adecuada (Carbonatación, descomposición de amoníaco y reacciones de oxidación de metales). La principal ventaja frente a los sistemas anteriores es una mejora de la eficiencia del almacenamiento con menores pérdidas térmicas, pero con un principal inconveniente, su coste [31].

Un ejemplo de este sistema es: el almacenamiento basado en amoníaco. Se basa en la separación endotérmica de NH_3 , en el reactor que absorbe la energía solar. Los productos de la reacción, N_2 y H_2 , se almacenan en un tanque, proceso de carga. La energía termoquímica almacenada en el tanque se puede usar realizando una reacción exotérmica inversa en el reactor de descarga (generador de vapor) [32].

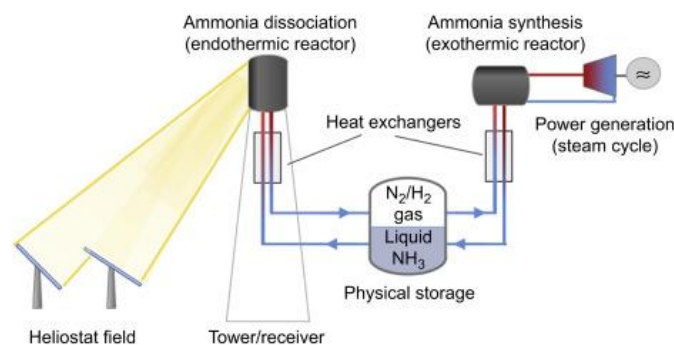


Ilustración 24. Almacenamiento Termoquímico.

3.3.2 Producción Calor, Refrigeración y electricidad

La cogeneración convencional presenta un gran potencial de cara al futuro extendida a la refrigeración. Este tipo de cogeneración se conoce como trigeneración, en la cual se puede producir refrigeración, electricidad y calor. Se ha demostrado que es una forma más ecológica de operar y rentable que la manera convencional, debido a que se puede aprovechar aún más el exceso de calor, mediante enfriadores para generar frío reduciendo la demanda de electricidad y mejorando aún más la eficiencia de la cogeneración [33].

Aunque la proporción de las energías renovables se encuentra en crecimiento, los combustibles fósiles siguen siendo dominantes, por lo que la integración de este sistema llevaría a explotar de forma óptima recursos naturales compensando la intermitencia de las energías renovables.

Las ventajas que presenta la trigeneración son las siguientes:

- **Reduce la huella de CO_2** , la combinación de calor, refrigeración y electricidad contribuyen a reducir emisiones de CO_2 .
- **No presenta contaminantes asociados**, ya que no requiere contaminantes químicos nocivos, el agua sirve como refrigerante.
- **Ahorro de energía primaria**, en comparación con la producción separada, la economía puede variar entorno del 10% al 44%.
- **Recuperación del calor residual, mediante la enfriadora de absorción.**

A continuación, se muestra una ilustración donde se encuentra un sistema típico de trigeneración, formado por una cámara de combustión, una turbina, un generador, un intercambiador de calor y un enfriador para la generación de frío.

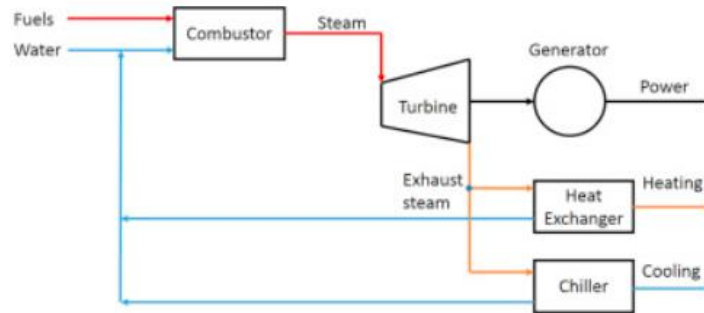


Ilustración 25. Sistema de Trigeneración.

Un ejemplo de una red de calefacción urbana que usa trigeneración, es la red de Helsinki. La empresa Helsingin Energia da calefacción urbana a más del 90% de Helsinki, con una longitud de 1.300 km de red de calefacción urbana y 50 km de red de refrigeración urbana. La tasa de eficiencia de las plantas de Cogeneración ubicadas en Helsinki se encuentra entre las mejores del mundo, más del 90% de eficiencia, en la cual se aprovecha el calor residual mediante una enfriadora de absorción, sin ser el método más eficiente, también se aprovecha calor residual mediante bombas de calor y el agua de mar, para la generación de refrigeración [34].

3.3.3 Integración con energía sostenible

Los sistemas de calefacción urbana pueden ser combinados mediante múltiples sistemas, cuyo funcionamiento puede llegar a ser potencialmente flexible, facilitando la reducción energética y de emisiones contaminantes, con el fin de producir calor y frío a un distrito.

Las energías renovables como son la biomasa, geotermia y la solar térmica pueden generar calor directamente y aplicarlo a la red de distribución, si se trata de refrigeración se usa enfriadores que transforman el calor en refrigeración, reduciendo así el consumo eléctrico, ya que el uso de la energía primaria se vuelve más eficiente.

La propia electricidad también se puede utilizar mediante calderas eléctricas y enfriadoras de compresión en las plantas de generación, para realizar la conversión de electricidad en calor o frío [28].

Los principales inconvenientes son:

- **La maduración de la integración de fuentes renovables en los sistemas frente a los combustibles fósiles.**
- **El costo es relativamente alto, debido a los costes de la instalación y la adquisición de los materiales.**

Se deben realizar técnicas para reducir los costes de inversión en infraestructura principalmente y hacer que las energías renovables sean más competitivas en el mercado energético. Actualmente la integración de unidades de generación de energías renovables y no renovables son el enfoque óptimo para producir calor y frío.

Las principales fuentes renovables que se usan actualmente en redes de calefacción urbana son [35]:

- **Biomasa:** Mediante plantas de cogeneración, cuyo combustible es biomasa, alimentan parte de la demanda de calefacción esta red. (Red Calefacción urbana Lituania, Vilnius).

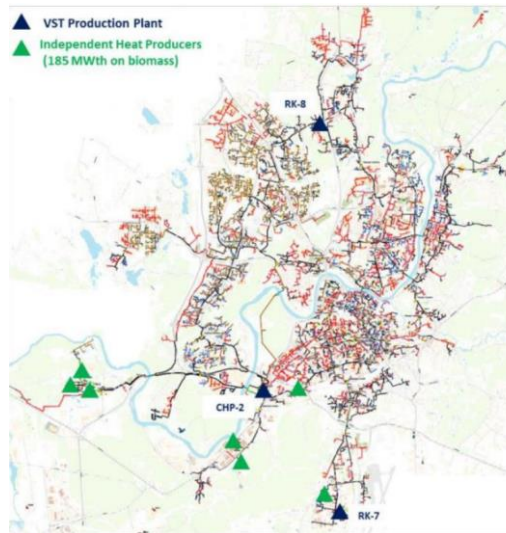


Ilustración 26. Red de Calefacción Urbana de Lituania.

- **Energía geotérmica:** Mediante el pozo de una mina se extrae el calor del agua (23°C) de ella mediante un intercambiador de calor. (Red de Calefacción urbana de Mieres, España).

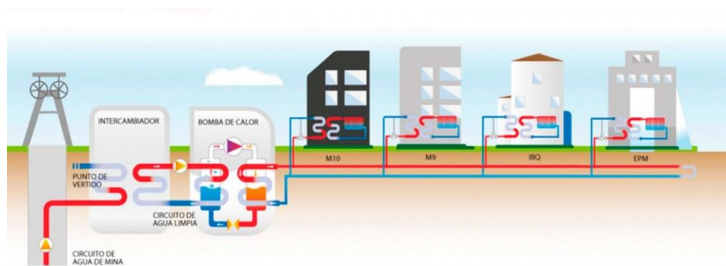


Ilustración 27. Red Calefacción Urbana en Mieres.

- **Energía solar térmica:** Mediante colectores parabólicos y planos (Planta Taars en Dinamarca), precalienta el fluido de retorno mediante los colectores planos, para elevar su temperatura mediante los colectores parabólicos [36].

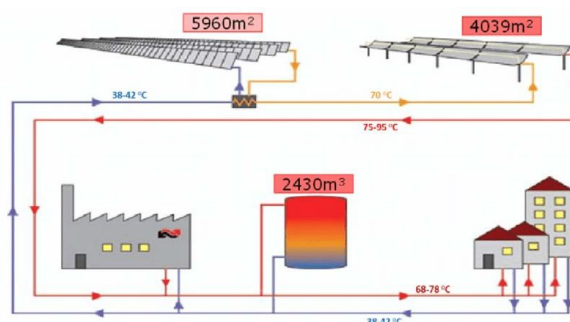


Ilustración 28. Planta de Calefacción urbana híbrida.

- **Recuperación de calor y biogás.** Mediante una industria de cobre se extrae el calor residual, y mediante una planta de cogeneración que usa biometano para satisfacer la demanda de una localidad de 6 km. (Red de Calefacción urbana Hafencity, Alemania).

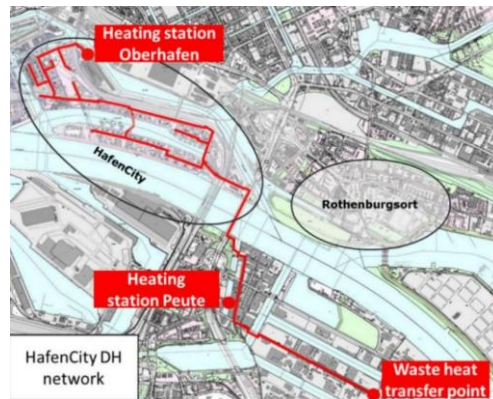


Ilustración 29. Red de Calefacción urbana de Hafencity.

3.3.4 Contadores inteligentes de predicción de la demanda

Es fundamental garantizar el suministro de la demanda de los consumidores, por tanto, se debe suministrar sin desperdicios de energía, especialmente en redes en las que se presentan múltiples plantas de generación de calor, ya que son redes más complejas.

Los contadores realizan la función de producir el calor o frío demandado para garantizar la demanda mínima requerida por los consumidores, trabajan mediante realización de previsiones meteorológicas para predecir la demanda de cada vivienda, siendo controlado en un centro de energía.

Para cumplir con un correcto control energético, entran en juego los sistemas de gestión de energía en edificios, tratando de optimizar el uso de la energía. Los medidores que se encuentran en los edificios mandan la información mediante una red virtual a los sistemas de gestión de edificios, para almacenar los datos de cada edificio y poder gestionar de manera inteligente la demanda de cada edificio.

Estos sistemas inteligentes proporcionan una red de energía más eficiente, fiable y asequible, recopilan datos de los distintos electrodomésticos de la vivienda y estos se almacenarán para generar datos históricos y así poder predecir demandas futuras de la vivienda [28].

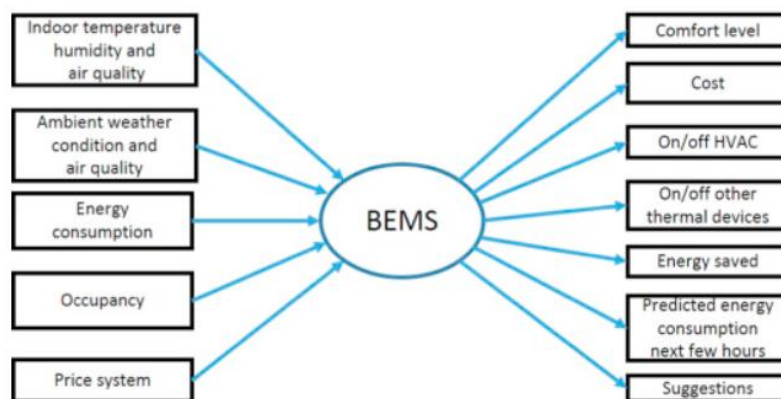


Ilustración 30. Control inteligente energético.

3.3.5 Integración Bomba de Calor en Redes de Calefacción Urbana

En la actualidad, las bombas de calor a nivel europeo para el uso de calefacción hay un total de 14,84 millones de unidades instaladas en 21 países. En 2020, el porcentaje de bombas de calor ha aumentado en un 6%, es decir 1.6 millones de bombas con respecto al año 2019. Los tres principales mercados en Europa son Francia (394.000), Italia (233.000) y Alemania (140.000), presentado un 48% del total de ventas. Se prevé que el 40% de todos los edificios residenciales y el 65% de todos los edificios comerciales, de la Unión Europea, se calentarán con bombas de calor para 2030 [37].

A continuación, se muestra dos gráficas, la ilustración representa la evolución de unidades instaladas año a años y la ilustración presenta el número de unidades vendidas en el año 2020 por cada país.

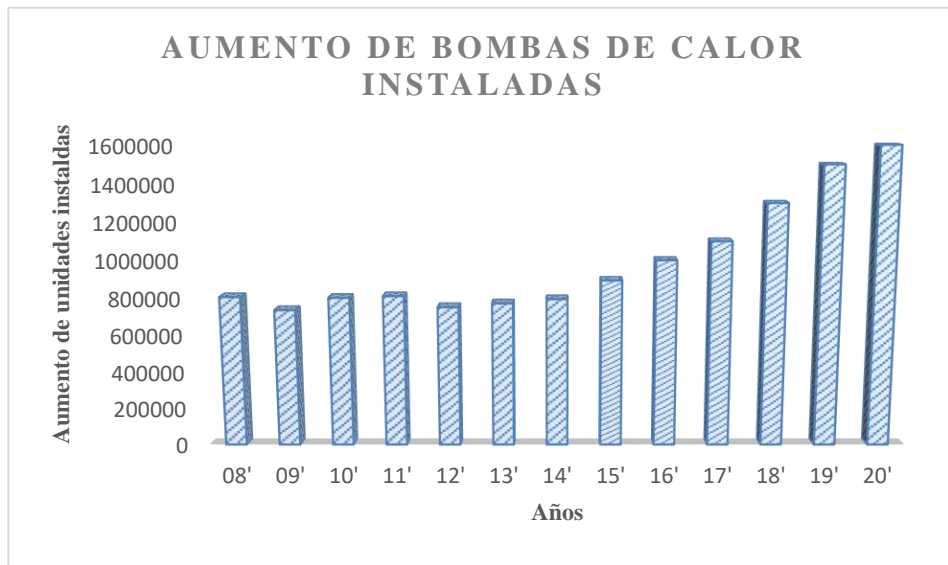


Ilustración 31. Aumento número de bombas de calor instaladas año a año.

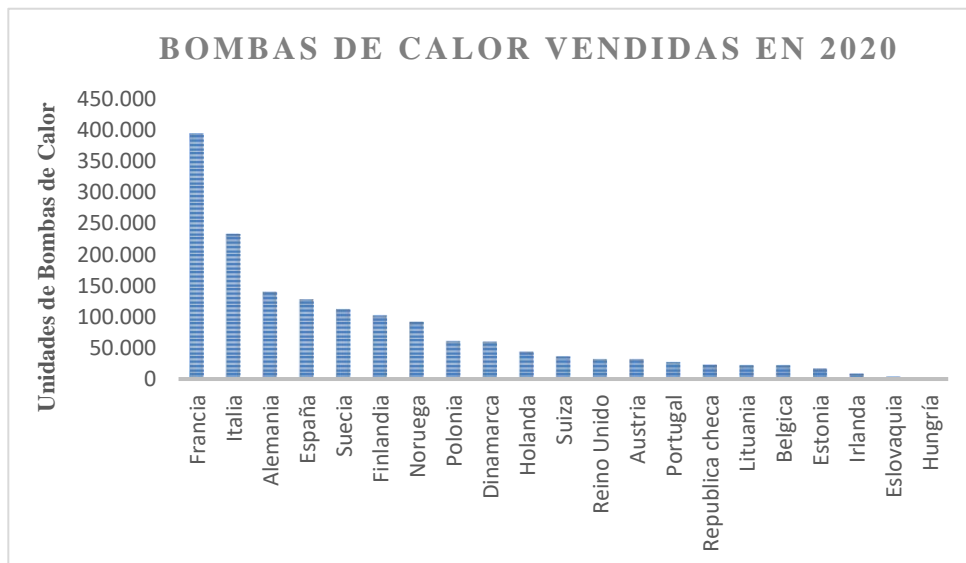


Ilustración 32. Bombas de Calor vendidas en 2020 por países.

La combinación de las redes de calefacción urbana junto a las bombas de calor presenta un gran potencial de cara a los futuros sistemas energéticos, pudiendo cubrir alrededor de un 25% de la energía de las redes de calefacción urbana proveniente de bombas de calor, y reduciendo en el sector de calefacción más del 70% de las emisiones de CO₂ con respecto a la actualidad.

Las bombas de calor pueden proporcionar calor con una alta eficiencia, y crear una unión entre el sector de calefacción y el sector eléctrico, mediante el uso de fuentes de energía renovables intermitentes, y también conseguir integrarse en un sistema de energía inteligente para operar de manera flexible y segura.

La integración de las bombas de calor a gran escala es importante debido a:

- Las bombas de calor combinadas con sistemas de almacenamiento presentan el potencial de convertirse en una tecnología clave, para conseguir que en el futuro las redes de calefacción urbana equilibren la red eléctrica, cuando varíe por la intermitencia de las fuentes renovables.
- Las bombas de calor permiten aprovechar el exceso de calor de las bajas temperaturas y así reducir las pérdidas de calor de la red.
- Las bombas de calor pueden presentar un aumento de la flexibilidad de las redes de calefacción urbana, ya que al utilizar múltiples fuentes de calor da mayor flexibilidad al sistema de energía.
- Las bombas de calor presentan un papel importante para la integración de energías renovables y la reducción gradual de los combustibles fósiles.

Los principales inconvenientes de esta tecnología son:

- La limitación de la red eléctrica, debido a la complejidad de una electrificación intensiva del sector de calefacción.
- Altos costes de inversión.
- Incertidumbre política y falta de aclaraciones sobre la descarbonización del sector.

Las bombas de calor dependiendo de su requerimiento y su rendimiento, presentarán distintos tipos de configuraciones, por ello la integración a la red de calefacción urbana se clasifican según:

- **Ubicación:** Central, local e individual.
- **Conexión:** única, paralela y en serie.
- **Modo de Operación:** Fuente de calor única, multi-fuente de calor en paralelo y en serie, bombas multietapas y de alta y baja temperatura de retorno.

A continuación, se mostrarán tres configuraciones en redes de calefacción urbana según su ubicación [38]:

○ **Bomba de Calor Local:**

La bomba se coloca de forma local, suministra el calor a calefacción espacial, agua caliente sanitaria y calor a procesos. La bomba de calor se encuentra colocada en la red de distribución mediante válvulas, debido a que, si hubiera que cortar el funcionamiento de la bomba de calor se pudiera seguir suministrando calor, pero a distinta temperatura. La temperatura de suministro es la misma para todos los procesos.

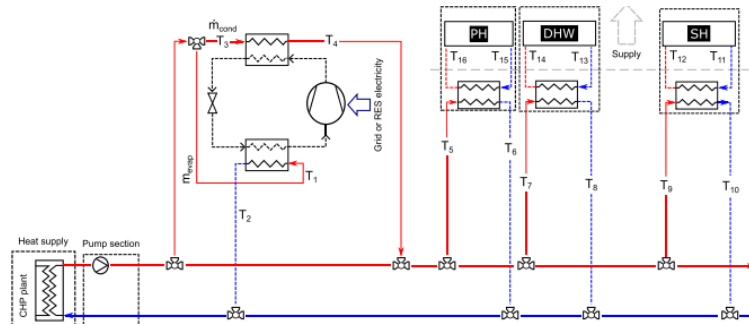


Ilustración 33. Bomba de Calor Ubicación Local.

○ **Bomba de Calor Individual:**

La conexión de la bomba de calor es directa al suministro de calor de procesos y el agua caliente sanitaria, y es independiente de la calefacción espacial de los edificios, ya que opera a distinta temperatura. Este tipo de sistemas se presenta como descentralizado, cerca del consumidor y para poder reemplazar subestaciones de conexión.

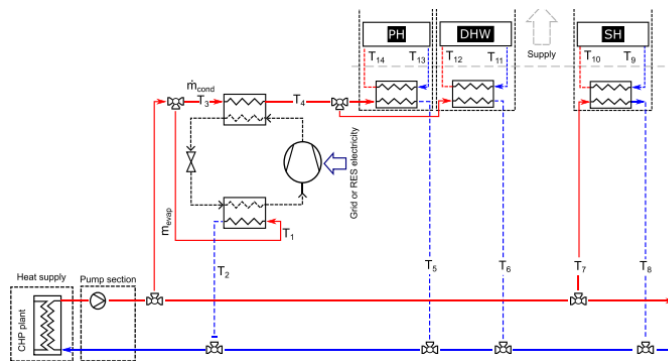


Ilustración 34. Esquema Bomba de Calor Individual.

○ **Bomba de Calor Central:**

La bomba de calor se coloca en la planta eléctrica, y cede el calor a la red de distribución por medio de un intercambiador. Se cede el mismo fluido caloportador a procesos, agua caliente sanitaria y calefacción espacial. Se trata de un sistema centralizado, y al encontrarse más lejos de los demandantes y conexión por medio de un intercambiador puede presentar mayores pérdidas de calor con respecto a los casos anteriores.

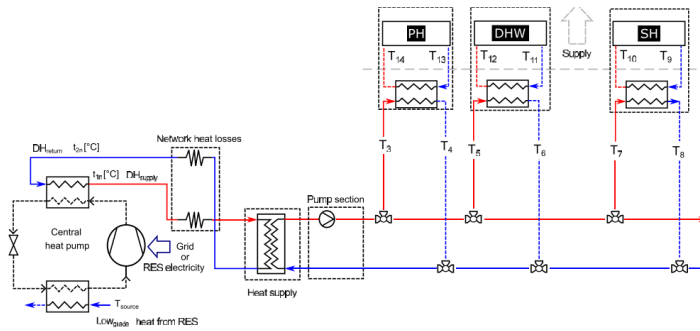


Ilustración 35. Esquema Bomba de Calor Central.

La localización de la bomba de calor es fundamental, debido a que según las necesidades que se requieran o la ubicación de la red de calefacción urbana puede presentar mayor explotación de los recursos renovables de la zona de colocación de la bomba de calor y puede llevar a una mejor gestión del sistema de calefacción urbana con respecto a un sistema sin ella.

3.4 Proyectos de Redes de Calefacción Urbana con Integración de Fuentes Renovables en Europa

Se ha realizado una búsqueda de varios proyectos de redes de calefacción urbana que se encuentran operativos en países comprometidos con la transición energética de cara a la reducción de emisiones contaminantes y en la integración de fuentes renovables para la producción de calor y frío.

Los sistemas que se van a presentar son de países cuyo objetivo es ser neutral en emisiones de CO₂ de cara a 2050, y han establecido objetivos legales para conseguir reducir las emisiones de gases de efectos invernaderos [35].

- **Dinamarca:**

El sistema que se presenta se encuentra en el municipio de Tarnby, formado por 43.000 habitantes formando parte del área urbana de la Gran Copenhague. Este sistema se encuentra dentro del sistema de calefacción urbana más grande del área de Copenhague.

Este proyecto entró en funcionamiento en 2020, en el cual se conectan 11 edificios altamente eficientes, presentándose como el sistema de calefacción y refrigeración urbana más inteligente del mundo, siendo un ejemplo de integración del acoplamiento sectorial, entre la calefacción, refrigeración y sectores de electricidad (Mediante electricidad renovable de una demanda flexible y almacenamiento térmico de electricidad) y agua (EDAR) [39].

Las tecnologías usadas son muy maduras, pero su combinación es una gran innovación, destacándose:

- Calefacción y refrigeración combinadas con refrigeración de fuentes subterráneas (acuíferos), permitiendo que la bomba de calor genere calor en invierno enfriando el agua subterránea, permitiendo posteriormente la refrigeración gratuita del agua subterránea en verano.
- La unión del sistema con una planta de depuración de aguas residuales (EDAR), aprovechando el calor residual de la energía ambiente durante los meses de invierno cuando el calor que genera la bomba de calor es más económico que el de la red. El agua tratada se extrae a la salida al mar a una temperatura de 14°C y su energía se recupera mediante intercambiadores, que se acoplan a las bombas de calor para producir calefacción y refrigeración.
- Los sistemas de almacenamiento térmico (Almacenamiento de agua enfriada y acuíferos) contribuyen a dar más flexibilidad al sistema, aprovechando los excedentes y evitar inversiones excesivas en la red eléctrica.

- Integración dentro del sistema al sistema de calefacción urbana de la Gran Copenhague, donde el calor de las bombas de calor de Tarnby se puede optimizar en combinación con unidades de producción de calor y grandes instalaciones de almacenamiento de calor de esta red más grande que es impulsada por cogeneración, mediante biomasa.
- Los clientes están equipados con medidores inteligentes individuales, para tener datos sobre las demandas en tiempo real.

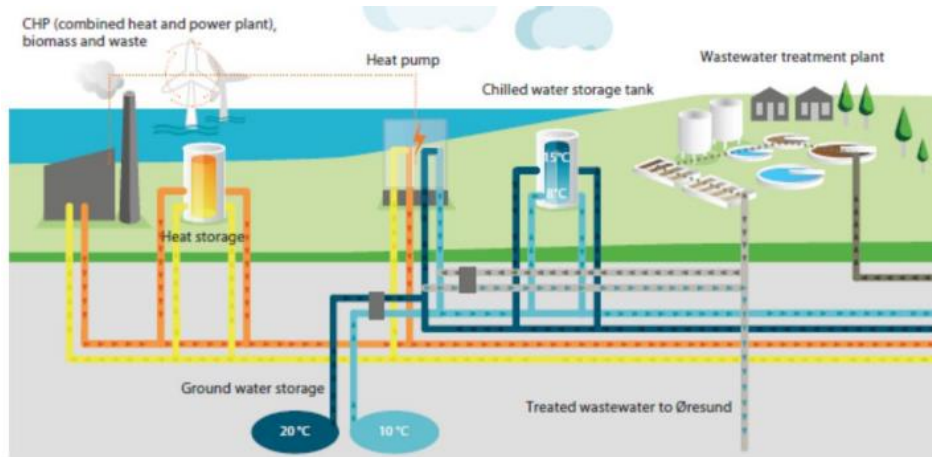


Ilustración 36. Esquema Tarnby de calefacción urbana.

• **Francia:**

El sistema que se presenta es un nuevo distrito de París-Saclay y representa 1.800.000 m² que será construido entre 2015 y 2030. Se presenta como un modelo energético sostenible, debido a que suministrará calefacción y refrigeración a un campus universitario, utilizando edificios nuevos altamente eficientes, recursos locales renovables y bajos en carbono, y la implementación de una gestión inteligente de la energía [40].

El sistema estará compuesto por varias redes interconectadas:

- Una red geotérmica que conecta dos perforaciones, agua desde el acuífero de Albién y el recurso geotérmico hasta una instalación centralizada.
- Una red de media temperatura que va desde la instalación centralizada, para alimentar a las subestaciones semicentralizadas, donde se encuentran las bombas de calor.
- A estas subestaciones semicentralizadas van varias redes de distribución de agua fría y caliente que alimentan a subestaciones descentralizadas.

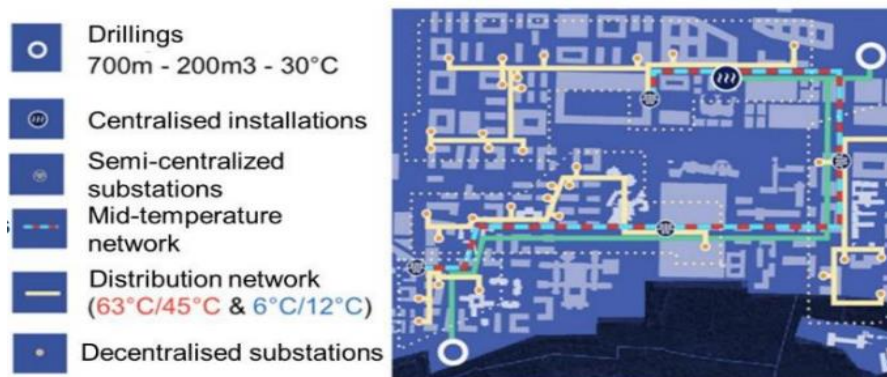


Ilustración 37. Explicación del interconexión de la red.

Este proyecto tiene como objetivo de que la fracción de recursos renovables que actúen sobre el sistema sea superior al 50%, por ello se pretende integrar:

- Energía fotovoltaica para proporcionar electricidad renovable a las bombas de calor, cubriendo el 30% de la superficie de los techos mediante paneles fotovoltaicos.
- Producción de biogás a partir de una unidad de metanización local para aumentar la fracción renovable del gas consumido en una instalación de Corbeville.
- Planta de cogeneración de biomasa que se encuentra en las nuevas instalaciones del hospital de Corbeville con almacenamiento y una caldera de recuperación.
- El calor residual de las instalaciones de investigación (centro de datos y acelerador de partículas) y de la red de aguas residuales.

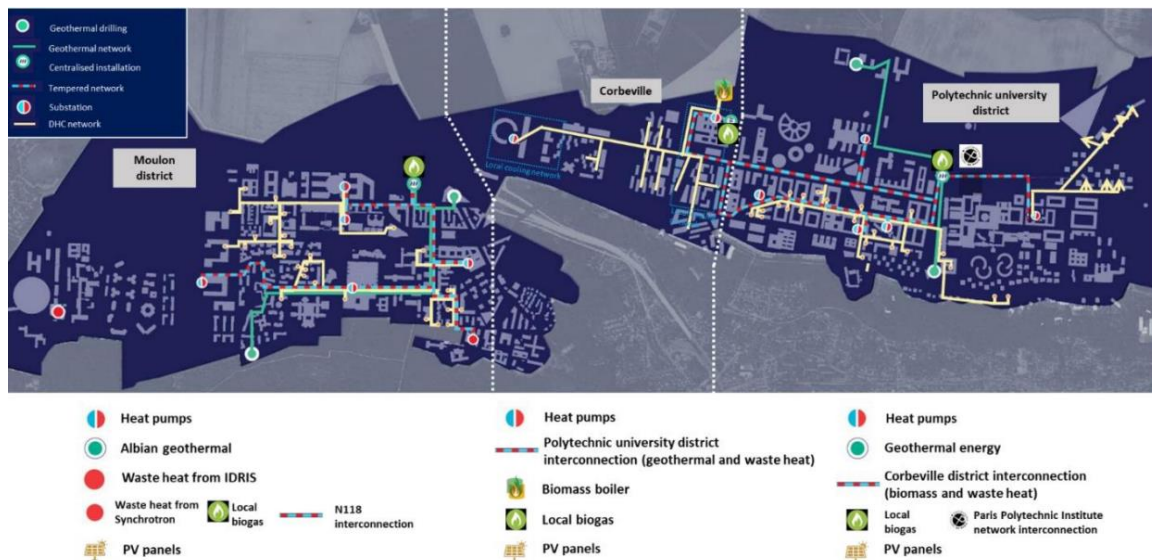


Ilustración 38. Plan de Red de Calefacción y Refrigeración Urbana.

- **España:**

El sistema de calefacción y refrigeración urbana presenta un recorrido de 20,2 km, y está alimentado en un 97% por energía residual, electricidad renovable y energía ambiental del mar, con un suministro de respaldo de calderas de gas. La empresa municipal de gestión de residuos, TERSA, suministra vapor a la red mediante su unidad de cogeneración.

El sistema está formado por dos plantas de producción:

- **Planta Forum:**
 - Utiliza el vapor de la empresa TERSA, mediante cuatro intercambiadores (Vapor/agua).
 - Una caldera de gas de respaldo.
 - Dos bombas de calor de absorción y un tanque almacenamiento agua fría.
 - Cuatro enfriadores eléctricos.
 - Estación de captación de agua de mar e intercambiadores de agua de mar/ agua de refrigeración.

- **Planta Tánger:**
 - Dos calderas de gas.
 - Tres enfriadores de compresión.
 - Sistema de almacenamiento de hielo.

En el año 2019, el 91% del calor entregado se produjo por medio del vapor de la planta de tratamiento de residuos de TERSA, y el resto por medio de calderas de gas natural. Con respecto a la refrigeración, se produjo un 6% del frío a través de del vapor de TERSA por medio de bombas de calor de absorción, mientras que el 94% se produjo por medio de electricidad verde comprada a través de enfriadoras de compresión.

El exceso de calor importado de la planta de tratamiento de residuos de TERSA, es la energía prioritaria para producir calor, así como frío cuando sea posible [41].



Ilustración 39. Red de Calefacción y Refrigeración Barcelona.

- **Italia:**

Los mercados italianos de calefacción y refrigeración están dominados por soluciones individuales. El sistema de calefacción y refrigeración urbana se sitúa en Milán, y es denominado como “Calefacción de Distrito Eficiente”. Presenta una amplia combinación de tecnologías entre las cuales las energías renovables y energías residuales juegan un papel importante.

En 2018, el calor de la red se produjo:

- El 68% por medio de calor residual y fuentes renovables.
- El 5% por una planta de cogeneración.
- El 27% por calderas de gas natural por las demandas picos.

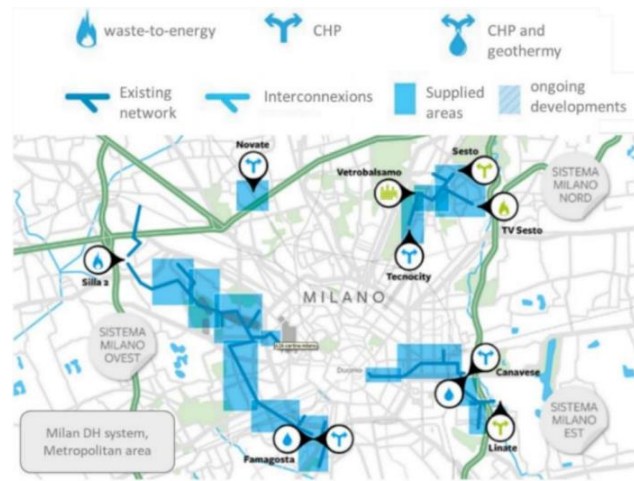


Ilustración 40. Red de Calefacción y Refrigeración Urbana Milán.

Se presentan tres redes en distintas áreas que no están conectadas Oeste de Milán, Milán Este y Milán Norte.

- **Oeste de Milán:** Es abastecido por electricidad y calor mediante la planta “Silla” y de respaldo presenta calderas de gas.
- **Milán Este:** Es abastecida por una planta de geotermia, formada por bombas de calor, motores de cogeneración de alta eficiencia propulsados por gas natural, calderas de gas natural, calderas eléctricas y una planta de cogeneración de gas natural.
- **Milán Norte:** Es abastecida por el exceso de calor de las centrales eléctricas, exceso de calor de una planta de residuos, de una fábrica de vidrio y calor adicional de una planta de cogeneración.

La red da prioridad a las fuentes de calor de la siguiente forma:

- Recuperación de calor de la incineración de una planta de residuos.
- Descarga del calor residual generado en las centrales eléctricas.
- Recuperación de calor a baja temperatura a través de bombas de calor, mediante geotermia, aguas residuales de plantas de tratamientos, etc.
- Generación de calor por medio de una planta de cogeneración.
- Caldera de gas para el suministro en demandas picos.
- El grupo A2A también opera un sistema de enfriamiento en Milán Norte, donde suministra refrigeración a la Universidad de Bicocca, al teatro Arcimboldi y a clientes privados, se apoya mediante un enfriador eléctrico y torres de refrigeración [42].

A continuación, se presenta una tabla resumen con los cuatro sistemas mencionados anteriormente, en los que se muestra su ubicación, su capacidad instalada, recursos renovables utilizados y el tipo de calor residual que se usa:

País	Caso	Capacidad Instalada	Recursos renovables	Calor residual
Dinamarca	Tarnby DHC	DH: 60 MW DC: 6,5 MW	Electricidad renovable. Almacenamiento Térmico. Biomasa.	Aguas residuales.
Francia	París-Saclay DHC	DH: 37 MW DC: 10 MW	Energía Geotérmica.	Centro de Datos. Laboratorios. Acelerador de partículas.
España	Barcelona DHC	DH: 79 MW DC: 113 MW	Electricidad renovable. Almacenamiento Térmico. Energía Ambiente (Mar).	Vapor de Cogeneración a calor.
Italia	Milán DHC	DH: 901 MW DC: 7,5 MW	Energía Geotérmica.	Calor Industrial. Vapor de Cogeneración a Calor.

Tabla 2. Resumen de los sistemas de Calefacción Urbana.

Las claves del éxito para conseguir una integración eficiente de fuentes de energías renovables y residuales en los sistemas de calefacción urbana mencionados anteriormente, han sido las siguientes:

- **Políticas nacionales (Marco regulatorio de apoyo a las redes):** La política energética y un entorno regulatorio proporcionan las bases y los incentivos adecuados para la integración de las renovables y recursos residuales.
- **Apoyo financiero directo e indirecto:** Cuando los precios del mercado no reflejan beneficios socioeconómicos de los sistemas de calefacción urbana, es posible que se necesite apoyo financiero. (Subsidios directos: inversiones nacionales o de la UE y Subsidios indirectos: incentivos fiscales, incluidos en impuestos ambientales).
- **Cooperación local del grupo de usuarios:** Los usuarios finales, el operador de la red y otras personas deben cooperar de manera eficiente para lograr un buen servicio, sostenible y rentable.
- **La planificación energética como parte integral de la planificación urbana:** Las autoridades locales deben promover la red de calefacción urbana eficiente como parte de una estrategia climática y de suministro de energía e integran la planificación de calor en sus proyectos de desarrollo urbano.
- **Infraestructura energética en edificios:** Regulación de la edificación y la planificación urbana se desarrollan de una manera que fomente la integración de las redes en edificios nuevos y renovados.
- **Compatibilidad y competitividad de fuentes locales renovables y calor residual:** Estudio del potencial de las diferentes fuentes locales de energías renovables y residuales y se evalúa adecuadamente su respectiva compatibilidad técnica con la red de calefacción urbana.
- **Integración Sectorial:** Se desarrollan uniones con otras redes, infraestructuras urbanas e industrias locales.
- **Refrigeración Urbana:** La refrigeración urbana proporciona una ventaja competitiva y operativa, y permite su integración en los sistemas energéticos urbanos a largo plazo.
- **Adaptabilidad y optimización continua:** Las estrategias flexibles permiten una mejor integración de la diversas fuentes de energía renovables y residuales disponibles y una mejor integración de edificios.
- **Soluciones Power to Heat:** Utilizar la electricidad renovable por medio de calderas eléctricas y grandes bombas calor acopladas con almacenamiento térmico.

A continuación, se presentará una tabla con los sistemas anteriores y la influencia de cada clave a la hora de ser desarrollado el proyecto y llevado a cabo (3: *Fuerte Influencia*, 2 *influencia significativa*, 1 *influencia moderada* y – *baja influencia*):

País	Políticas nacionales	Apoyo financiero	Cooperación local del grupo de usuarios	Planificación energética como parte de la planificación urbana:	Adaptabilidad y optimización continua
Dinamarca	3	3	3	1	2
Francia	2	3	2	3	3
España	-	-	2	1	2
Italia	-	-	2	3	2
País	Infraestructura energética en edificios	Compatibilidad y competitividad de fuentes locales renovables y calor residual	Integración Sectorial	Refrigeración Urbana	Soluciones Power to Heat
Dinamarca	2	3	3	3	2
Francia	3	3	1	3	1
España	3	3	3	3	1
Italia	2	3	3	1	1

Tabla 3. Nivel de influencia de las claves del éxito para integrar RES en las redes.

4 INTEGRACIÓN DE FUENTES RENOVABLES A SISTEMAS DE CALEFACCIÓN URBANA

El uso de los combustibles fósiles se encuentra cada vez más en riesgo, debido a que no garantizan la seguridad energética por razones geopolíticas, llevando su uso a resultados ambientales cambiantes, como el cambio climático o la producción masiva de emisiones contaminantes en el ambiente. Por ello, es importante la integración de fuentes de energías renovables. En el sector de generación eléctrica, se presentan energías renovables como la hidroeléctrica, la fotovoltaica y la energía eólica, presentando un papel importante. Sin embargo, en el sector de calefacción las fuentes de energía renovables están menos establecidas con respecto a otros sectores como el eléctrico.

La calefacción y refrigeración de espacios junto con el agua caliente sanitaria son responsables aproximadamente de la mitad del consumo mundial de energía en los edificios, por ello es de vital importancia la búsqueda de soluciones de recursos renovables para el sector térmico. En la actualidad, la mayoría de los sistemas de calefacción urbana siguen utilizando combustibles fósiles, debido a que los sistemas que presentan uso de recursos renovables son escasos, salvo en países escandinavos como Noruega, Dinamarca y Suecia, que presentan sistemas de calefacción urbana junto con energía solar o incluso con el aprovechamiento del recurso renovable que es la geotermia., el resto de los países usan gas natural y carbón, como se presentará en el siguiente gráfico. En un informe de la Agencia Internacional de Energía, presenta las contribuciones de fuentes de energía renovable en el sector de calefacción urbana a nivel mundial, durante el período de 2015 a 2020 se aumentó de 3.825 TWh a 4.400 TWh, correspondiendo a un aumento del 1% en la participación de recursos renovables. Se prevé que la proporción de energías renovables aumente del 8 al 14% para 2050.

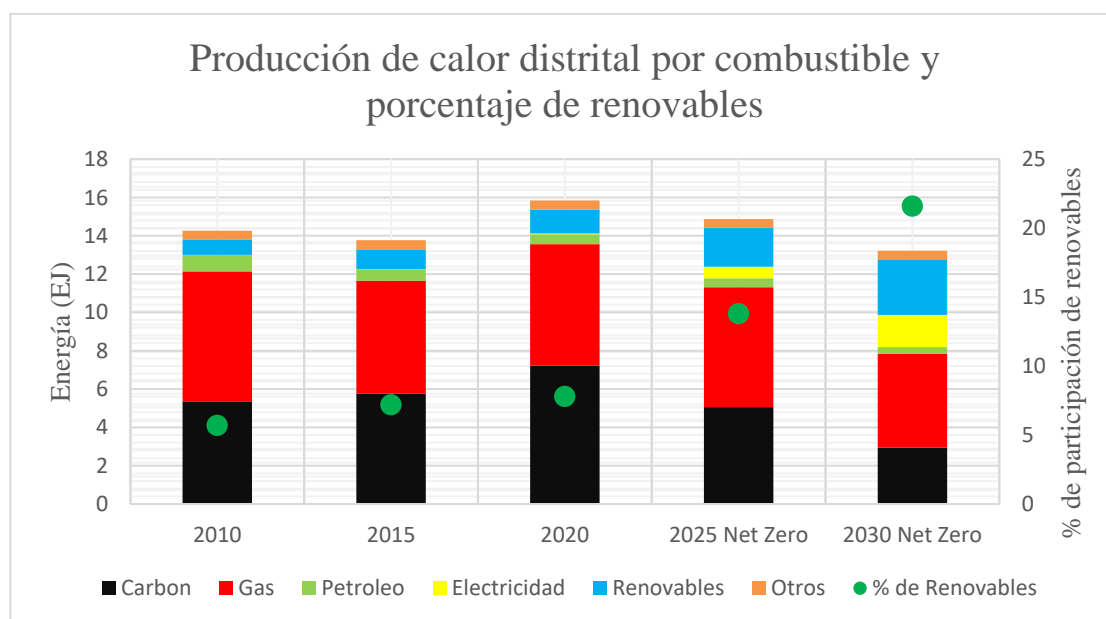


Ilustración 41. Producción de calor distrital por combustible y participación de recursos renovables[43].

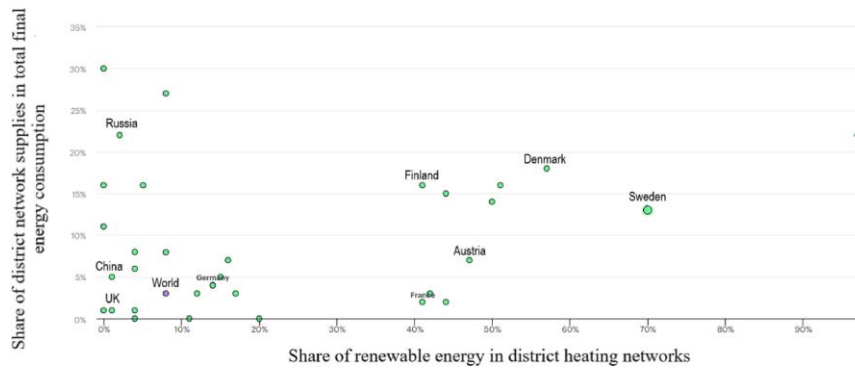


Ilustración 42. Porcentaje de Energía renovables en redes de calefacción urbana 2018 [44].

Este apartado se centrará en la búsqueda de distintas fuentes de energía renovables para su integración en redes de calefacción urbana, se presentarán tecnologías integradas o que pueden ser integradas como la eólica, bombas de calor, energía geotérmica, energía solar, aprovechamiento de calor residual, biomasa y biocombustible en redes de calefacción urbana, y también se presentarán datos o estudios sobre redes de calefacción urbana de cuarta generación y de quinta generación.

4.1 Calefacción Urbana

Aquí se va a tratar de recopilar datos de diversos artículos científicos, en los cuales se observará como afecta las integraciones de fuentes renovables en redes de calefacción urbanas de tercera generación, por ello se van a dividir en subapartados en los que se menciona el recurso renovable y dentro de ese subapartado, se encontrarán diversos artículos relacionados con dicho recurso, así se harán con el resto de los recursos renovables. Se han encontrado artículos científicos de:

- Energía Eólica.
- Energía Solar.
- Bomba de Calor.
- Energía Geotérmica.
- Aprovechamiento de Calor Residual.
- Biocombustible y Biomasa.

4.1.1 Energía Eólica

4.1.1.1 Enfoque de la integración de la Energía Eólica a través de las redes de calefacción

Debido a la falta de documentos de investigación de la Energía Eólica combinada con redes de calefacción urbanas, se ha revisado el presente artículo, debido a que presenta un estudio en la ciudad de Kozani, Grecia, de cómo se puede implementar el excedente de energía eólica a los sistemas de conversión de electricidad, que pueden ser bombas de calor, calderas eléctricas y enfriadora, en calor cuando hay una mayor demanda en la red de calefacción que no se puede satisfacer mediante las calderas de combustible fósil.

El esquema de la instalación es el siguiente, está formado por una planta eólica conectada a la caldera eléctrica junto con la red eléctrica. La caldera eléctrica está conectada a la red de calefacción urbana para satisfacer la demanda pico y las calderas de combustible fósil que suministran la demanda base. El sistema de calefacción urbana está diseñado para atender la demanda térmica estacional que varía entre 90°C y 120°C.

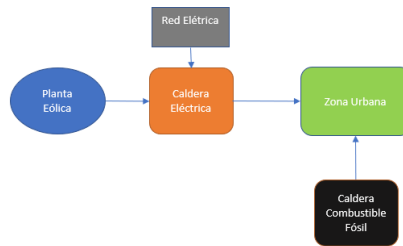


Ilustración 43. Integración Energía Eólica a una red de calefacción urbana.

Los resultados obtenidos del presente sistema revelaron [45]:

- No solo se pueden aumentar las ganancias del propietario del parque eólico, sino que también la TIR del proyecto en un 0,36%, presentando una pequeña rentabilidad.
- Se descubrió que, para la ciudad de Helsinki, la producción de energía eólica podría aumentar entre un 40% y un 200% implementando la opción de conversión de la electricidad a calor para el uso de excedente en la red de calefacción urbana.
- Teóricamente aportaría una energía anual de 1.508 MWh, llegando a la conclusión de que la contribución estaba lejos de este valor, en torno a 154,3 a 701,5 MWh.
- Solo cuando se necesita la energía para hacer funcionar la caldera a carga máxima se puede utilizar el excedente de energía eólica para las demandas picos.

4.1.1.2 Integración de Energía Eólica utilizando inercia térmica de la red de calefacción

El uso de la inercia térmica de una red de calefacción urbana, mediante el almacenamiento térmico de la propia red, se considera eficaz a la hora de obtener un ahorro de energía y así conseguir una mayor flexibilidad operativa al sistema de cogeneración, el cual se encarga de suministrar el calor y la electricidad. En este sistema se integra una planta eólica que actúa en los momentos de su mayor producción, mientras que la planta de cogeneración trata de generar calor a una mayor temperatura para almacenarlo en la red. En el momento de baja producción de energía eólica se aprovecha el calor almacenado en la red, con menor funcionamiento de la planta de cogeneración y consiguiendo ahorros económicos. Este sistema trata de satisfacer la demanda de calor y electricidad al mínimo costo.

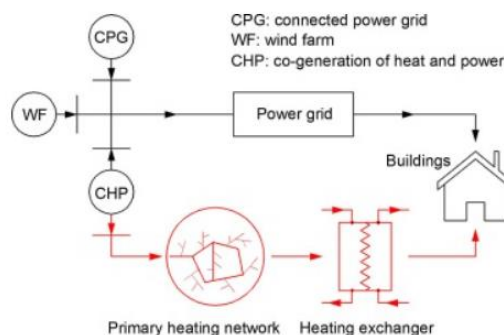


Ilustración 44. Integración Energía Eólica mediante cogeneración.

Los resultados más relevantes que se han obtenido son los siguientes [46].:

- En China, la cogeneración se usa entorno a un 62% en el ámbito de la calefacción urbana, y la capacidad de energía eólica contribuyó en 2016 un 34,7% de la capacidad a nivel mundial.

- La fuente de energía eólica se ve restringida por la dependencia de las plantas de cogeneración.
- En la provincia de Jilin, más del 70% de la producción de calor es por medio de la cogeneración, y por ello pueden ser lugares idóneos para la integración de energía eólica, ya que la Administración Nacional de Energía China, presentó que la energía eólica excedentaria fue un 17,1% en 2016.

4.1.1.3 Operación de redes de calefacción urbana con una alta proporción de energía eólica

La integración de plantas eólicas a una red de calefacción urbana es dificultosa, debido a que varía continuamente su generación y es complicada de predecir, afectando a la estabilidad del sistema eléctrico. El sistema que se presenta en este subapartado trata de un modelo de una red de calefacción urbana que está formada por una planta de cogeneración, calderas de combustible fósil de respaldo, apoyo de calderas eléctricas, bombas de calor y acumuladores de agua caliente.

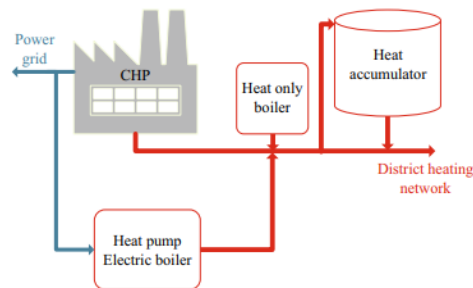


Ilustración 45. Sistema de calefacción urbana con integración eólica.

En este caso la integración de la energía eólica es de la misma forma que en el apartado anterior, cuanto mayor sea la producción de energía eólica, se aprovechará más los excedentes para la red de calefacción urbana, mediante la participación de la caldera eléctrica y la bomba de calor, reduciendo así la producción de la planta de cogeneración. Cuando el excedente de energía eólica se agote, actuará en mayor medida la planta de cogeneración.

Las conclusiones obtenidas sobre esta integración son las siguientes [47]:

- La integración de fuentes de energías renovables en el sistema eléctrico, presentan problemas de estabilidad y equilibrio del sistema eléctrico, por ello las unidades deben programarse con antelación para proporcionar reservas en el caso de desajustes entre producción y consumo.
- Las unidades que pueden brindar equilibrio y se caracterizan por tiempos rápidos de respuestas son las turbinas hidráulicas de gas y sistemas de cogeneración.
- Cuanto mayor sea la integración de energía eólica, menor es el uso del sistema de cogeneración, ayudándose de dispositivos externos, mencionados anteriormente, para períodos de corto tiempo (un año).
- La influencia del sistema de almacenamiento de agua influye muy poco en las reducciones de costes, debido a que es un período corto de tiempo, en un período largo si podría influir.

4.1.2 Energía Solar

4.1.2.1 Integración óptima de la energía solar en una red de calefacción urbana

Las calefacciones urbanas eficientes se denominan como sistemas urbanos de calefacción que se caracterizan por utilizar al menos un 50% de energía renovable, un 50% de calor residual, un 75% de calor de una planta de cogeneración o de diversas combinaciones entre las anteriores mencionadas, por ello en la actualidad la explotación de energías renovables se encuentra en aumento, pero no solo en forma eléctrica, sino también en forma de energía térmica, presentando un potencial muy importante de cara al futuro en las redes de calefacción urbana [48].

El almacenamiento de energía térmica suele ser necesario a la hora de explotar fuentes renovables, por ello se debe desarrollar métodos de optimización del uso de las fuentes renovables intermitentes para obtener de forma óptima el tamaño de la fuente renovable, convencional y definir la capacidad de almacenamiento.

El sistema presentado trata de un procedimiento de búsqueda de perfiles óptimos de producción de cogeneración y de la caldera convencional para minimizar los costes de ambos sistemas. El sistema está formado por un campo de colectores solares, un sistema de almacenamiento térmico, una caldera que satisface la demanda pico, una planta de cogeneración y la red de calefacción urbana.

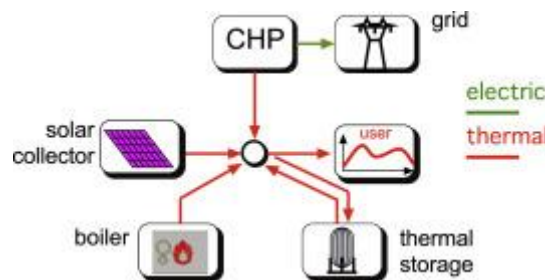


Ilustración 46. Esquema de la instalación.

Las conclusiones que se obtienen de dicho sistema son las siguientes [49]:

- La planta de cogeneración aumenta la eficiencia del combustible primario, emitiendo menores gases de efecto invernadero con respecto a la generación por separado.
- Debido a la madurez de la cogeneración, gran parte de la integración de las fuentes renovables se debe a esta instalación.
- La principal solución para mejorar la estabilidad del sistema son los sistemas de almacenamiento de energía, ya que no solo presentan el potencial de minimizar costes, sino que también pueden dar estabilidad al sistema almacenando la energía térmica y suministrándola cuando sea necesario.
- El principal inconveniente de la integración de las fuentes renovables es la gestión del suministro en la red de calefacción urbana, por ello es necesario una herramienta para simular y optimizar estas fuentes para aprovechar al máximo su generación y así evitar utilizar las tecnologías de combustibles fósiles, reduciendo costes y evitando emisiones contaminantes.

4.1.2.2 Integración de sistemas solares térmicos en sistemas de calefacción urbana existentes.

La integración de sistemas solares térmicos en redes de calefacción urbana es cada vez más común en algunos países (Dinamarca y Suecia), cuya idea es reducir por completo la baja demanda de calor en los meses de verano. Diversos estudios demuestran que una fracción solar alta en la calefacción solar es factible introduciendo un almacenamiento estacional a gran escala[50], en algunos casos se utiliza almacenamiento estacional para proporcionar una fracción solar superior al 50% de la demanda total del sistema.

En las plantas nuevas construidas en Alemania[51] se muestran cada vez más sistemas de colectores de tubo vacío en comparación con sistemas de colectores de placa plana que son dominantes en Dinamarca [52].

El análisis del sistema se realiza en una red de calefacción urbana existente en Alemania, cuyos objetivos son:

- Generar una temperatura de suministro mínima fija en una subred conectada.
- Suministrar en verano la demanda de calor necesaria a la subred, mediante el almacenamiento térmico y el campo solar. Se tomará como referencia el mes de Julio de menor demanda térmica.
- Reducción de energía primaria y emisiones de CO₂.

El sistema estará formado por una gran planta de cogeneración, la principal suministradora de calor se tomó de respaldo un gran almacenamiento térmico, situado entre la subred y el sistema principal, y la conexión de un campo solar térmico.

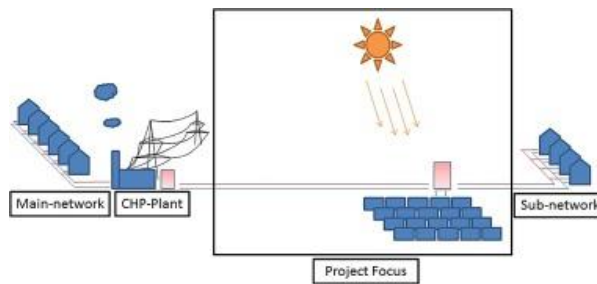


Ilustración 47. Sistema de Calefacción Urbana integrando un campo solar.

Los resultados obtenidos del estudio realizado son los siguientes [53]:

- Se debe realizar un estudio exhausto de la selección del área de los colectores, ya que un exceso de área puede llevar a una elevada fracción solar, superando la demanda necesaria y llevando esto a pérdidas.

Fracción Solar	Área Colector (m ²)	Volumen de Almacenamiento (m ³)	Volumen Almacenamiento Específico (l/m ²)	Ahorro de CO ₂ (t/a)	Demanda Térmica Julio (MWh)	Producción Campo Solar Térmica Julio (MWh)
5%	6.507	50	7,3	480	1.450	433
10%	13.029	403	30,3	961	1.450	964
14%	18.319	728	39,5	1.348	1.450	1.498
15%	19.536	802	40,5	1.424	1.450	1.535
20%	26.044	1.220	46,2	1.725	1.450	1.877

Tabla 4. Influencia de la Fracción Solar.

- El almacenamiento térmico no se necesita recargar de forma diaria todos los días, porque no está ni cerca de vaciarse en el intervalo de 24 h de recalentamiento y descarga. Dependiendo del día necesitará una recarga, pero gran parte de los días no es necesario su recarga.

- Una elección óptima del sistema durante la temporada de verano lleva a que la subred actúe de forma independiente de la red principal, mediante un área de colectores solares lo más pequeña posible para satisfacer la demanda de forma adecuada.
- Un aumento de la fracción solar al 20% reducirá la necesidad de suministro de energía adicional de la red principal, pero también aumentarán las pérdidas, ya que no se descarga el almacenamiento la mayor parte del tiempo, y el área de los colectores aumentará llevando a un gran impacto económico.
- La posibilidad de abastecer una subred durante determinados periodos del año mediante calor solar permite aumentar la eficiencia de la planta de cogeneración de la red principal.
- La demanda total de calor de la subred durante largos periodos de verano será abastecida por medio del calor solar y almacenamiento térmico, mientras que las demás épocas del año proporcionarán el calor adicional la red principal.

4.1.2.3 Comparación de la integración distribuida y centralizada desde el punto de vista económico en una red de calefacción urbana

Los objetivos ambiciosos de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero establecidos por la Unión Europea, presentan un reto importante para los países a la hora de integrar los recursos renovables en los distintos sectores de la civilización. La calefacción urbana es una solución eficiente para suministrar el calor mediante la integración de recursos renovables y cumplir los objetivos europeos.

La integración de energía solar en las redes de calefacción urbana se está implementando en múltiples países, ya que es una tecnología madura y puede presentar cierto potencial para el suministro de la demanda de calefacción [54]. La visión de este tipo de recurso puede llevar a la pregunta de si es más rentable la instalación de colectores solares centralizados o distribuidos en una red de calefacción urbana existente. En Dinamarca se han instalado campos de colectores solares de gran escala en Dronninglund, abasteciendo casi el 50% de la demanda de calor de la zona [55].

El sistema que se trata en el estudio está formado por una planta de cogeneración, una caldera auxiliar, un depósito de almacenamiento térmico y colectores solares centralizados o distribuidos.

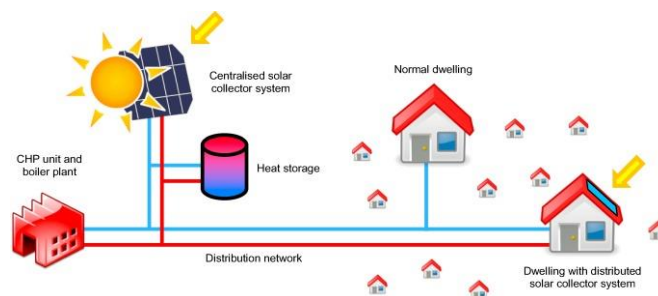


Ilustración 48. Sistemas Solares centralizados y descentralizados.

Los resultados obtenidos del presente estudio son los siguientes [56]:

- Los sistemas distribuidos como los centralizados son técnicamente factibles y generan ahorros de costos, pero no lo suficiente como para alcanzar la viabilidad económica por sí solos.
- Los sistemas centralizados dentro del rango más bajo de los costos de inversión dan como resultado tiempos de recuperación de 10 a 11 años, los sistemas distribuidos el tiempo de recuperación superan los 20 años (Con respecto al caso base sin sistemas solares, solo a base de gas natural).
- Con la misma inversión, los sistemas centralizados producen de tres a cinco veces más la producción de los sistemas distribuidos.

- Las pérdidas de calor con baja temperatura y centralizados presentan las menores pérdidas de calor, con respecto de los distribuidos, y con ello una mejora de la eficiencia de los sistemas centralizados.

Caso	Temperatura Normal 115-80°C (Centralizado)	Temperatura Normal 115-80°C (Distribuido)	Baja Temperatura 65°C (Centralizado)	Baja Temperatura 65°C (Distribuido)
DH Pérdidas de Calor	234 MWh	234,3 MWh	200 MWh	210 MWh
Porcentaje	15,6%	15,8%	13,6%	14,0%

Tabla 5. Pérdidas de calor según la disposición.

4.1.3 Bombas de Calor

4.1.3.1 Bomba de Calor en la calefacción urbana europea

El futuro para las bombas de calor en el ámbito de calefacción urbana se presenta con un gran potencial para mejorar la eficiencia de los sistemas y cumplir con los objetivos climáticos y energéticos de reducir las emisiones contaminantes y reducir el consumo de energía primaria para 2030 y 2050.

Para el uso de las bombas de calor se debe tener en cuenta:

- La fuente de calor.**

Fuentes de Calor	Acción
Geotermia, desechos industriales y agua de mar	Capacidad térmica estable durante todo el año
Aire, lagos, agua de río y agua de mar	Reduce la capacidad de la bomba de calor en invierno
Calefacción urbana	Su capacidad térmica aumenta durante la temporada de calefacción con la temperatura operativa de la red

Tabla 6. Efecto de la fuente de calor a la bomba de calor.

- La conexión y modos operativos.**

Conexión	Acción
Fuente de calor única	Fuente de calor central para suministrar todo el requisito de la calefacción de la red.
Fuente de calor múltiple	Sirve para suministrar el calor en paralelo o en serie. Pueden existir dos modos de funcionamiento (Simple y Múltiple) con posibilidades de conexión central, local e individual.

Tabla 7. Conexiones y modos operativos de las bombas de calor.

A continuación, se muestra un esquema de las distintas conexiones de las bombas de calor, en las que se encuentra la conexión central, conexión local, conexión individual directamente conectada y conexión individual indirectamente conectada:

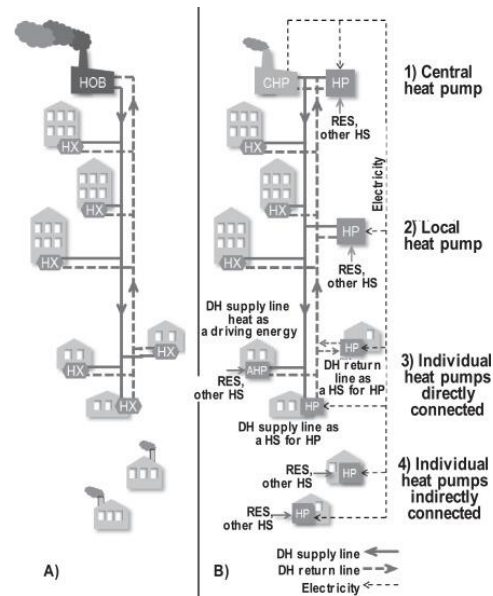


Ilustración 49. Conexiones de las bombas de calor a una red de calefacción.

Las bombas de calor presentan un papel fundamental para el futuro del sistema energético, ya que tienen el potencial de aportar un aumento de la eficiencia y la flexibilidad, para la descarbonización del sector de calefacción. Además, es capaz de unir el sector de energía eléctrica con el sector de calefacción y refrigeración, consiguiendo una eficiencia energética general mejorada.

La revisión de este artículo presenta que no hay una solución universal para la integración de la bomba de calor en las redes de calefacción urbana, dependerá de los escenarios de ubicación, conexión, modos operativos de la bomba y sus emisiones. Cada país debe analizar individualmente su integración al sistema, teniendo en cuenta las características técnicas y consideraciones de emisiones [57].

4.1.3.2 Integración de Bombas de calor a redes de calefacción urbana

La combinación de redes de calefacción urbana junto con el almacenamiento de energía térmica estacional y área de colectores solares es una tecnología que presenta potencial de proporcionar calefacción con una alta participación de fuentes renovables. Tras diversos estudios, rara vez se obtenían los rendimientos esperados de los sistemas, debido a la construcción no adecuadas de las viviendas, la construcción inadecuada de los colectores, rara vez se alcanzaban temperaturas de retorno de 30°C-40°C y el aislamiento térmico de los sistemas de almacenamientos enterrados a menudo provocan grandes pérdidas. Para conseguir una mejora del rendimiento de las redes de calefacción urbana con almacenamiento térmico estacional, se pueden integrar bombas de calor, aunque no siempre su integración conduce a mejoras, desde una perspectiva energética aumenta la eficiencia de otros componentes de la propia red.

Las ventajas que proporciona la bomba de calor al sistema son:

- El sistema de almacenamiento térmico puede descargar a temperaturas más bajas, disminuyendo las pérdidas de calor.
- Los colectores al suministrar a menor temperatura logran mayores rendimientos solares.
- El sistema es menos sensible a la fluctuación de la temperatura de retorno.

Diversos estudios llevan a que la integración de la bomba de calor no siempre conduce a mejoras energéticas, pero si aumenta la eficiencia de otros componentes de la red.

El sistema que se presenta en este estudio se presentan cuatro variantes:

- Un campo solar, un sistema de almacenamiento térmico estacional y una bomba de calor.
- Un campo solar, un sistema de almacenamiento térmico estacional, una bomba de calor y una caldera de gas
- Un campo solar, un sistema de almacenamiento térmico y una caldera de gas.
- Un campo solar, un sistema de almacenamiento térmico, una bomba de calor y un motor de gas que alimenta a la bomba de calor.

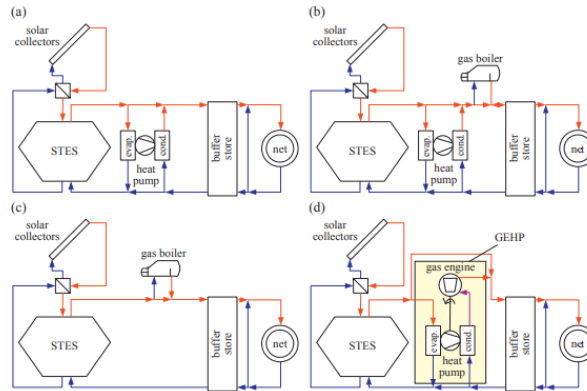


Ilustración 50. Distintos sistemas junto con sistema de almacenamiento térmico y colectores solares.

Los resultados del estudio han sido los siguientes [58]:

- Los conceptos que se han estudiado revelan que la integración de la bomba de calor mejora energéticamente los componentes.
- El SPF de la bomba de calor del último caso (2,2), es mucho más bajo debido a que la relación de utilización mecánica es mucho menor la del motor de combustión en comparación con un motor eléctrico.
- El sistema de referencia presenta mayor eficiencia del campo solar gracias a la alta eficiencia energética de la bomba de calor que es accionada eléctricamente.
- A pesar de que el rendimiento del campo solar es menor en el penúltimo caso, el sistema alcanza mayores ahorros de energía primaria y menor emisión de CO₂.
- La sustitución de electricidad por gas natural para alimentar la bomba de calor, pueden lograr un mayor rendimiento de energía primaria.

A continuación, se muestra una tabla con los resultados obtenidos de las distintas configuraciones:

	Sistema Referencia	Caldera de gas de apoyo	Solo caldera de gas	Motor de Gas y bomba de calor
Rendimiento de Almacenamiento (%)	92	91,4	60,3	90,2
Rendimiento solar específico de los colectores (kWh/m ² *a)	369	358	272	345
Rendimiento colector (%)	29,5	28,7	22,6	27,7
Bomba de Calor (SPF)	4,6	4,9	-	2,2
Energía primaria ahorrada (%)	65,7	65	55,5	69,9
CO2 evitado (%)	63,8	63,5	55,5	69,9

Tabla 8. Resultados obtenidos por cada configuración.

4.1.4 Integración de Geotermia en District Heating

4.1.4.1 Análisis económico y ambiental de la integración geotérmica en calefacción urbana

Los sistemas de calefacción urbana asistidos por energías renovables juegan un papel fundamental en la sostenibilidad del planeta. En cuanto a la energía geotérmica como fuente renovable, puede tener el potencial de una variante adecuada para estas instalaciones [59], ya que recientemente se ha prestado un aumento en su atención debido a su bajo impacto ambiental, bajos costos de operación y simplicidad de las tecnologías requeridas. La mayoría de los sistemas que integraron fuente de calor geotérmica en Europa se encuentran en Francia e Islandia a la cabeza [60]. En España, en 2016 el número total de instalaciones de calefacción urbana fue de 306, 59 más que en 2015 y solo dos plantas de calefacción urbana usan la energía geotérmica, representando 0,51 MW de la capacidad instalada [61]. Cataluña se presenta como la primera comunidad con 19 nuevas instalaciones de calefacción urbana, representando el 35,8% de la capacidad total instalada en España, le sigue Madrid con un 25,9%. Un dato para destacar es que el 74% de la calefacción urbana española utiliza fuentes de energía renovables.

La energía geotérmica como fuente renovable puede proporcionar un suministro de energía base, tanto para la demanda eléctrica como para la demanda de calefacción. El estudio revisado analiza los términos ambientales y económicos de las opciones de un sistema de calefacción urbana con geotermia, con geotermia y apoyo de una caldera de gas para cada edificio y, por último, una caldera de gas para todos los edificios, situados en León, España (Superficie a calentar 21.413,36 m² y un total de 643 ocupantes).

Nota: Todos los casos suministrarán la demanda base con el campo geotérmico y la demanda pico con las calderas de apoyo.

Casos	Fuentes de Suministro
1	Exclusivamente por un campo geotérmico vertical de circuito cerrado con una perforación moderada.
2	Campo geotérmico como el anterior y una instalación de gas natural existente en los edificios, reduciendo la longitud de perforación, así como la potencia de la bomba de calor del campo geotérmico.
3	Campo geotérmico como el anterior y una planta generadora por una sola caldera de gas natural. La mayor eficiencia de la caldera de gas natural en comparación al caso 2, contribuye a disminuir los costos operativos globales.

Ilustración 51. Casos con la integración de energía geotérmica.

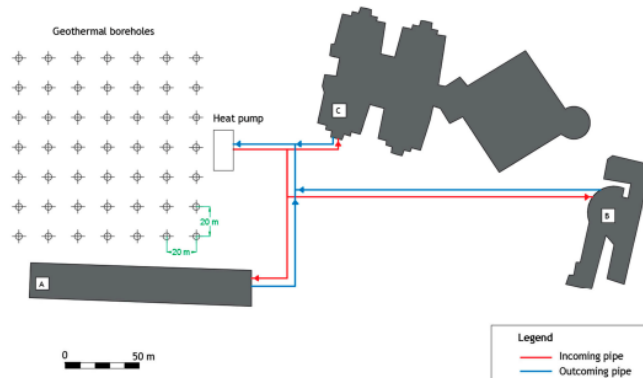


Ilustración 52. Esquema del sistema alimentado por un campo geotérmico.

Los resultados obtenidos del estudio son los siguientes [62]:

- El caso 1, es una solución ideal desde el punto de vista económico como ambiental, aunque requiere la mayor inversión inicial, los costes operativos son menores que en el sistema actual (Planta de combustible fósil).
- La inversión del caso uno se amortizaría antes de los 8 años, los casos 2 y 3 se amortizarían en el octavo año. Sin embargo, los ahorros totales son muchos más favorables en el caso 1, en un período de 30 años.
- Las emisiones de CO₂ asociadas al escenario final del año 30 de los sistemas, favorece como cabe esperar al caso uno en mayor medida que los otros dos casos, le sigue el caso tres y posteriormente el caso dos. En comparación con el sistema base, les separa una cantidad superior a 10.000 toneladas en los 30 años.
- La inversión inicial de este tipo de plantas geotérmicas siempre se amortiza en los primeros años de operación.

A continuación, se muestra la inversión inicial, los costes operativos y las emisiones de CO₂ emitidas de cada caso en la siguiente tabla:

Casos	Inversión inicial	Costes Operativos	Emisiones de CO2
1	731.455,97 €	32.498,84 €/Año	73.140,41 kg/Año
2	539.160,37 €	58.947 €/Año	210.374,59 kg/Año
3	565.246,57 €	55.799,04 €/Año	196.503,52 kg/Año

Tabla 9. Resumen de Costes y Emisiones.

4.1.4.2 Aplicación de la energía geotérmica mediante agrupación espacial en sistemas de calefacción urbana

La alta densidad de demanda de calor en las ciudades hace que el despliegue de los sistemas de calefacción urbana sea más competitivo, debido a que conduce a longitudes de redes más bajas, menores pérdidas de calor térmico y menores costes de inversión [63]. A nivel mundial, la energía geotérmica representó el 0,1% del suministro de energía en 2008 y se prevé que cubra el 3,5% de la producción mundial de electricidad y el 3,9% de la energía final de calor para 2050 [64]. Los acuíferos ubicados debajo de las ciudades pueden ofrecer condiciones térmicas interesantes para el suministro de calor a los edificios, por ello en ciudades como Londres y Berlín usan Sistemas de Información Geográficas para analizar y visualizar la distribución de la demanda de calor en las ciudades para investigar la expansión de los sistemas existentes, identificando las fuentes y sumideros de calor existentes, mediante mapas de calor [65].

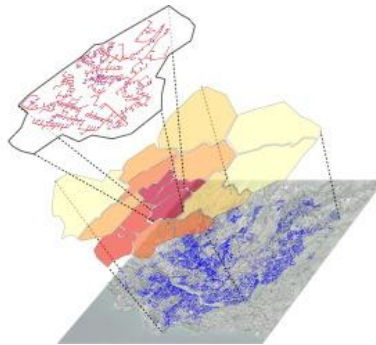


Ilustración 53. Situación geográfica del recurso renovable para incorporar una red.

El sistema del presente artículo trata de realizar un estudio del área de los edificios a cubrir por la red de calefacción y la búsqueda de fuentes renovables naturales mediante áreas de calor para utilizar la energía geotérmica. El proceso de búsqueda trata de escoger un área geográfica de alta densidad, dividirla en subsectores estadísticos, obtener la longitud de red en función del número de edificios, determinar el área cubierta por edificios y evaluar el coste de la red para una planificación energética territorial.

La metodología empleada en el estudio permite su aplicación a otros recursos y casos de estudio, toda la metodología es fácilmente reproducible para otras ciudades y con otros recursos. Según los datos georreferenciados (uso de coordenadas de mapas para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas [66]) de edificios, recursos energéticos y redes viales, se permite la identificación de sitios prometedores para el despliegue de los sistemas [67].

4.1.4.3 Comparativa económica de calefacción urbana geotérmica y la rehabilitación energética de edificios residenciales

Gran parte de la demanda térmica de los edificios residenciales se debe a la calefacción de espacios y al calentamiento de agua sanitaria alimentados por combustibles fósiles. Las reducciones energéticas de estos edificios se pueden lograr mejorando la envolvente, instalando sistemas de energía eficiente, mejorando el comportamiento de los usuarios y de forma alternativa usar fuentes renovables para satisfacer las demandas energéticas[68]. La actualización de edificios existentes presenta un ahorro potencial mundial de casi 42 TWh por año, evitando el coste de la energía de construcción de edificios nuevos, resultando una reducción en el impacto ambiental del ciclo de vida del 48%.

Las medidas de rehabilitación normalmente incluyen:

- El aumento de aislamiento térmico de los edificios.
- Reducción de la infiltración de aire.
- Introducción de calderas más eficientes.
- Ventanas más estancas.
- Acristalamientos de baja emisividad.
- Ventilación mecánica con recuperación de calor.

Los sistemas geotérmicos se utilizan para calentar edificios y agua caliente sanitaria mediante el calor que transfiere el suelo. Los sistemas de 100 m de profundidad sirven para el aumento de rendimiento de bombas de calor que calientan edificios y agua caliente sanitaria, pero los sistemas que se encuentran a profundidades de hasta 4.000 m bombean el agua caliente directamente. Sin embargo, los sistemas directos (4.000m) sufren incertidumbres sobre la capacidad de los embalses y un coste inicial alto de inversión que pueden llevarse a cabo si la mayoría de los edificios se encuentran conectado a la red de calefacción.

El caso de estudio se realiza en un barrio residencial en Groningen, Holanda, se proporcionará calor a 10.000 viviendas y edificios de los barrios cercanos, siendo su objetivo la rehabilitación de los edificios o la instalación de una red de calefacción urbana geotérmica (incluye bomba de calor, cuyos costes anuales del consumo eléctrico son inevitables), acabando con la necesidad del gas.

Los costes totales que se obtienen durante un período de 40 años con respecto a la calefacción convencional de gas (390 Millones €), son los siguientes:

Medidas de Rehabilitación		Edificio	Casa Adosada
Primeros 20 Años	Costes iniciales	8.250 €	10.650 €
	Gastos de funcionamiento	1.700 €	3.000 €
Últimos 40 años	Reinversión	6.000 €	7.500 €
	Gastos de funcionamiento	2.000 €	3.700 €
	Costes Totales	17.950 €	24.850 €
Coste Total Con Cambio de conducta de los usuarios		176 millones €	
Coste Total Sin cambio de Conducta de los usuarios		202 millones €	

Tabla 10. Costes de las Medidas de Rehabilitación.

Geotermia		
Costes iniciales	11.900 €	40 años
Gastos de funcionamiento	7.700 €	
Costes totales	19.600 €	
Coste total	196 millones €	

Tabla 11. Costes Geotermia

Los resultados que se obtienen de este estudio son los siguientes [68]:

- Muestran que ambos enfoques son viables económicamente, dando costes totales más bajos para los usuarios, así como grandes reducciones en el impacto ambiental de la calefacción.
- La aplicación de las medidas de rehabilitación da como resultado una reducción del 86% del consumo anual de gas para calefacción con un tiempo de amortización de la inversión de 15 años.
- El enfoque de la renovación tiene menores costes y riesgos financieros, mientras que la red geotérmica tiene menor impacto medioambiental.
- La inversión de la red geotérmica es menos flexible y más arriesgada debido a su coste inicial y al porcentaje de conexiones de los usuarios al sistema.
- La conducta de los usuarios a nivel energético conlleva un ahorro económico importante y puede reducir el impacto medioambiental.

4.1.5 Aprovechamiento de calor residual

4.1.5.1 Integración de energías renovables en centro de datos y recuperación de calor residual para redes de calefacción urbana

En la actualidad debido a las necesidades de procesamiento de datos, almacenamiento de datos y telecomunicaciones digitales, ha llevado a un aumento en la industria de los centros de datos. Estos centros son edificios, espacios dentro de edificios o un grupo de edificios formados por equipos de información, los cuales operan constantemente sin para, consumiendo gran cantidad de energía y desprendiendo grandes cantidades de calor residual, se estima que el 68% de ese calor puede ser recuperado. Sin embargo, el grado de calor residual de los centros de datos suele ser bajo, siendo un obstáculo importante para aplicaciones de gran escala. Los centros de datos consumen alrededor del 3% del suministro mundial de electricidad y representa alrededor del 4% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero [69]. Se prevé que el crecimiento anual de los centros de trabajo será del 12% al 14%, siendo una quinta parte del consume de la electricidad mundial para 2050 [70].

El sistema que se presenta en el siguiente estudio se trata de una sala en la cual se encuentran todos los dispositivos del centro de datos que generan calor residual. El calor puede ser recuperado mediante un intercambiador que lo cede a una bomba de calor y este último a una red de calefacción urbana.

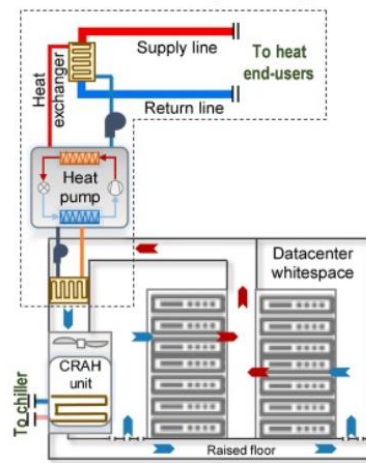


Ilustración 54. Recuperación de calor residual en el lado del aire para tecnología CRAH de enfriamiento.

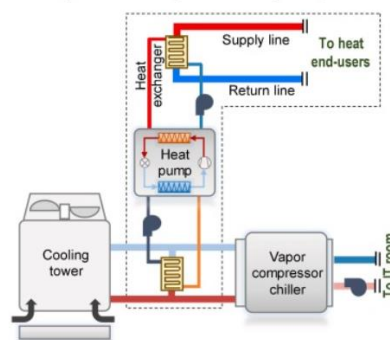


Ilustración 55. Recuperación de calor residual en el lado del agua de condensación.

Los resultados que se han obtenido del siguiente estudio son los siguientes [71]:

- El rendimiento económico de la recuperación y reutilización del calor residual se ve afectado por las ubicaciones del calor residual recuperado, las temperaturas del calor y las conexiones con las instalaciones de reutilización del calor.
- En general, las soluciones de recuperación de calor residual combinado con los equipos de refrigeración tendrán mejores rendimientos económicos.
- Una mayor temperatura de calor residual lleva a más ahorros de costes.
- Una conexión simple de una bomba de calor lleva a periodos de amortización más cortos, pero no presentan buenos resultados medioambientales.
- Existe la posibilidad de conectar la habitación junto con un enfriador de compresión de vapor, recuperándose mayor calor residual a mayor temperatura, mostrando un ahorro del 25% potencial en CO2 con respecto al caso expuesto en la ilustración anterior.
- Los centros de datos dependen en gran medida de las regiones climáticas y su ubicación, debido a su alto consumo eléctrico, es ideal la integración de fuentes renovables para alimentarlos (Eólica, energía solar, etc.).

4.1.5.2 Aprovechamiento del calor residual industrial para calefacción urbana

En las industrias se produce grandes cantidades de calor residual de baja calidad, principalmente a través de la evaporación del agua durante el proceso industrial. Los estudios muestran que entre el 20% y el 50% de la energía se pierde en forma de calor residual en fábricas de metales y minerales no metálicos en EEUU. En Turquía encontraron que el 51% [72] del calor total del proceso de una planta de cemento se desperdicia. En el Reino Unido se estimó que alrededor del 10% de la carga de calor residual es técnicamente recuperable.

El aprovechamiento de este calor en redes de calefacción llevaría a:

- Una gran reducción del consumo de combustible fósil.
- Mejora de la eficiencia energética térmica de las fábricas industriales.
- Es más rentable que el modo de calefacción tradicional.
- Reduce las emisiones contaminantes.

La mayoría de los estudios, que son pocos, integraron bombas de calor eléctricas para la recuperación de calor, cuya distribución se encuentran entre 30°C y 100°C. Para poder aprovechar el calor residual en las industrias debe presentar una temperatura igual o superior a los 200°C.

El estudio realizado se encuentra en una construcción en Chifeng, esta población se enfrenta a la situación de que la capacidad de calefacción urbana no puede satisfacer la demanda, debido al aumento de la población. A 3,5 km se encuentra una planta de fundición de cobre y una planta de cemento que descargan gran cantidad de calor residual.

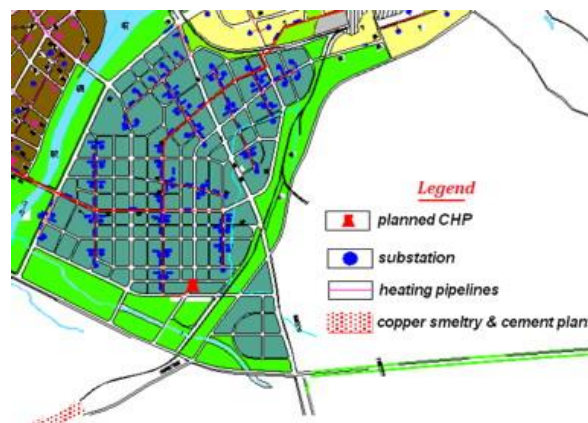


Ilustración 56. Esquema red de calefacción urbana en Chifeng,

Los beneficios obtenidos del aprovechamiento del calor residual fueron los siguientes [73]:

- La eficiencia energética de la planta de cemento aumento del 62,9% al 74,3% y la de cobre aumento del 30,1% al 74,7% en temporadas de calefacción.
- Se consiguieron reducir 168.644 tCO₂ y de restos de contaminantes.
- La empresa de la red de calefacción urbana encontró más rentable este formato más que el tradicional.
- Se recomienda una distancia de 5 km a 10 km para un pueblo pequeño y de 20 km a 30 km para una ciudad grande a mediana escala.
- Es ineficiente en los costes cuando las empresas se encuentran lejos de las residencias debido a la gran construcción de tuberías y pérdidas de calor.

4.1.6 Biocombustible y Biomasa

4.1.6.1 Integración de biocombustible en sistemas de calefacción urbana

Para optimizar el uso de los biocombustibles en el sector del transporte de manera rentable, puede ser de gran interés la introducción del calor residual de la producción del biocombustible, en los sistemas de calefacción urbana. El principal inconveniente de las plantas de producción de biocombustibles son sus costes, por ello a la hora de instalar una planta de producción de biocombustible, se debe tener en cuenta la capacidad de poder vender el calor residual a un sistema de calefacción urbana o la venta fija del biocombustible, por lo que es ideal que las instalaciones estén próximas a las redes de calefacción urbana. La venta del calor residual disminuye los costes de producción del metanol en un 12%, y también repercute en los costes de producción de la calefacción urbana, ya que se le está integrando calor residual.

La introducción de una planta de producción de etanol con la combinación de la coproducción de crudo para la producción de calor y electricidad muestra una disminución del 28% al 52% en los costes de producción del biocombustible, dependiendo del funcionamiento de la red de calefacción urbana, ya que les interesa un funcionamiento de 8.000 horas o más para ceder el máximo calor residual.

La producción de etanol y biogás en una planta de este tipo son rentables incluso en el peor de los casos, ya que cuando el funcionamiento de la red de calefacción es de 5.000 horas o inferior, presentan una reducción de costes de producción entre el 16% y un 28% [74].

4.1.6.2 Potencial de los sistemas de calefacción urbana de biomasa en zonas rurales

Los sistemas de calefacción urbana ofrecen gran flexibilidad en términos de tecnologías de generación de calor e integración de recursos renovables. En Italia, los sistemas de calefacción urbana que satisfacen a los usuarios finales representan un 2,5% y de ellos menos de la mitad son alimentados por biomasa. Entre las fuentes renovables disponibles, hasta ahora solo la biomasa se ha utilizado ampliamente para fines de calefacción, 12% en Europa, mientras que la energía solar, geotermia y bombas de calor siguen siendo marginales en muchos países.

Actualmente las redes de calefacción urbana en Europa cubren un 10% del mercado de calefacción con aproximadamente 6.000 sistemas diferentes. El artículo que se ha revisado con datos de 2019, Italia está formada por 82 sistemas de calefacción urbana alimentados por biomasa, siendo en general sistemas pequeños ubicados en áreas montañosas, ya que mejora el uso sostenible de los recursos disponibles localmente.

Los principales contras de la biomasa para estos sistemas se relacionan con la inestabilidad económica y normativa (variación del precio del combustible y la barrera medio ambiental por los agentes contaminantes originados por la combustión), y las pérdidas de calor y disipación en la generación de calor, son los principales factores de mejorar la eficiencia de estos sistemas.

Los resultados alcanzados para la mejora de los sistemas de biomasa para la calefacción urbana son [75]:

- Disposición de dispositivos de almacenamiento térmico para la gestión de la inestabilidad, bajo rendimiento de la planta de cogeneración cuando trabaje a carga parcial y el retardo de la combustión de la biomasa. La eficiencia térmica de la planta puede mejorar en un 20%.
- El dimensionamiento de las unidades de cogeneración debe ser ideal para satisfacer la carga térmica base de los usuarios en lugar de los picos, con el fin de garantizar condiciones de carga completa durante el mayor número de horas posible a lo largo del año.
- La aplicación de biomasa en los sistemas de calefacción de urbana en el contexto urbano es un tema delicado, debido a la disponibilidad del combustible, su precio y su costo de transporte, por ello si se disponen cuencas de biomasa locales, los sistemas pequeños y medianos presentan una interesante oportunidad.

4.1.6.3 Efecto ambientales y energéticos de la calefacción urbana con biomasa en Italia

Las redes de calefacción urbana se distribuyen principalmente por el norte satisfaciendo alrededor del 5% y 6% de la demanda total de calor. En la actualidad, las plantas que alimentan a las redes de calefacción urbana son plantas de calderas de biomasa, se encuentran en zonas montañosas y cubren potencias térmicas desde menores a 1 MW hasta 20 MW, pero siendo la gran mayoría de tamaño pequeño, ya que se aprovechan los recursos disponibles localmente, debido a que un tercio del territorio italiano está cubierto por bosques.

Las características y dimensiones de la planta de biomasa para las redes de calefacción urbana dependen:

- La disponibilidad de biomasa.
- Condiciones climáticas.
- Disponibilidad de los usuarios.
- Marco normativo regulatorio vigente.

La principal motivación para el desarrollo de un sistema de calefacción urbana con biomasa es la seguridad del suministro y la sustitución del petróleo por combustibles locales, más baratos y menos contaminantes.

Las ventajas principales detectadas en el artículo revisado, mediante la operación de 65 plantas de biomasa para calefacciones urbanas, están relacionadas con:

- Explotación de una fuente renovable con efectos positivos en términos de protección ambiental.
- Reducción de emisiones contaminantes y por ello favoreciendo a la nulidad del cambio climático.
- Ahorro de recursos fósiles.
- Los beneficios económicos locales son superiores a la alta inversión de la realización de redes de calefacción.

Las desventajas encontradas son las siguientes:

- Se detecta inestabilidad en la economía y en la normativa, debido a la falta de su regulación.
- Varía el precio de combustible y reducción de mecanismos de apoyo, cuando se agota el suministro.
- Las nuevas políticas no presentan marcos regulatorios.

Este tipo de sistemas pueden ser aceptados en sistemas pequeños, ya que tras la combustión hay que tener en cuenta los contaminantes que se emiten al aire, se deben hacer esfuerzos para el control de emisiones de NOx [76].

4.2 Calefacción y Refrigeración Urbana (Cuarta Generación)

4.2.1 Optimización y mejora de las redes de calefacción y refrigeración urbanas

Como se ha mencionado en diversos apartados, los edificios representan un 40% de la energía total utilizada y contribuyen aproximadamente a un 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa, por ello este tipo de sistemas están atrayendo grandes intereses por su bajo potencial en emisiones de CO₂, su reducción en el consumo de combustibles fósiles y en las pérdidas de calor en toda la red. Sin embargo, la mayoría de los sistemas implantados no operan al nivel de rendimiento esperado, ya que presentan ineficiencias a la hora de generar calor debido a las unidades, una mala calidad de entrega a la red, actualmente las pérdidas de calor de estas redes oscilan entre 7,6% y 27,8% y sus costes de inversión y despliegues son elevados.

En los últimos años se ha presentado un elevado número de estudios de optimización basados en calefacción y refrigeración urbanas, pero faltan investigaciones de optimización y mejora de los sistemas, con vistas de implementar redes inteligentes, almacenamiento de energía y mayor participación de las energías renovables.

A continuación, se muestra un listado con las mejoras y optimizaciones que se pueden realizar a las redes de calefacción y refrigeración urbanas para mejorar las ineficiencias a la hora de generar y entregar calor.:

Mejora de la generación de energía	
Integración con energía sostenible	<ul style="list-style-type: none"> • Forma efectiva de reducir emisiones de GEI. • Aumenta seguridad energética, sin necesidad de importar energía primaria de otros países. • Integración de renovables y no renovables es el enfoque óptimo para la producción de calor y frío.
Calefacción, electricidad y refrigeración combinadas. (Trigeneración)	<ul style="list-style-type: none"> • Es más ecológica y rentable, debido al usar aún más el exceso de calor. • El calor residual para la refrigeración puede reducir la demanda de electricidad y mejorar aún más la eficiencia de la cogeneración tradicional. • Vincular el calor y electricidad puede llevar a nivel de distrito a eliminar el 81-90% del CO₂ y aumentar la eficiencia energética en un 53-55%.
Contadores inteligentes de predicción de demanda de calor para controlar la generación de calor.	<ul style="list-style-type: none"> • Garantizar la producción de energía demandada por los usuarios es fundamental para no causar desperdicios por sobregeneración. • La sobregeneración lleva a una menor eficiencia de las unidades de generación. • Los contadores logran el objetivo de suministrar calor y frío con menos combustibles, menos emisiones y mayor eficiencia.
Almacenamiento de energía térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Sirven para dar flexibilidad al sistema, aproximadamente 1,4 millones de GWh se podrían ahorrar y reducir 400 millones de toneladas de GEI en Europa.

Tabla 12. Mejora de la generación de energía.

Optimización de la red de distribución de energía	
Diseño de Tuberías	<ul style="list-style-type: none"> • La red ramificada es simple y poco fiable. • Las redes en bucle aumentan la fiabilidad del sistema. (Mayor inversión) • La red de bucle ramificado es una combinación de las dos anteriores. • La selección de la red afecta directamente al costo y pérdidas de calor, representa el 60% de la inversión inicial. • Para calefacción las pérdidas de calor se encuentran entre 10-30%. • Para refrigeración pérdidas de calor superan el 10%.
Profundidad y conductividad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Las pérdidas de calor se atribuyen a la conductividad térmica del aislamiento y del suelo. • Una conductividad térmica mayor da lugar a más pérdidas de calor. • La profundidad debe ser entorno 0,6 y 1,2 m, donde la temperatura es estable.
Aislamiento	<ul style="list-style-type: none"> • El aislamiento híbrido (utiliza panel de aislamiento al vacío) con mayor rendimiento de material, se encuentra más cerca del centro del cilindro (tubería), es fundamental para el control de la pérdida de calor. Puede reducir las pérdidas de calor entre un 15% y un 20% frente al poliuretano (más utilizado).
Tubo doble	<ul style="list-style-type: none"> • Un soporte con la tubería de suministro y retorno presenta mayor aislamiento que una ola tubería, reduciendo hasta un 3,2 % la pérdida de calor total.
Control de las bombas	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede ahorrar hasta un 70% de la potencia de la bomba mediante el uso de bombas distribuidas de velocidad variable.

Tabla 13. Optimización de la red de distribución de energía.

Optimización de la subestación de calor	
Aumento del rendimiento del intercambiador	<ul style="list-style-type: none"> • Absorbe mayor energía. • Si se le añade un tanque de almacenamiento de agua, permite tuberías más pequeñas, menores costes y menores pérdidas de calor.
Instalación de Bypass	<ul style="list-style-type: none"> • Se les puede suministrar calor rápidamente, instalándolo entre tuberías de impulsión y retorno. • Permite el paso de una pequeña cantidad de agua caliente a una temperatura 35-45°C, para calentar el intercambiador y reducir tiempo de espera.

Tabla 14. Optimización de la subestación de calor.

Para terminar, es ideal concienciar al usuario, ya que un uso adecuado de la energía lleva a menores consumos y con ello a reducción de las fuentes de generación. La mejora de edificios puede llevar a un ahorro de hasta un 68% de la carga de calefacción de un edificio, y con la integración de nuevos edificios de bajo consumo se pueden recuperar entre el 80% y el 90% de las pérdidas por ventilación [77].

4.2.2 Integración de bombas de calor reversibles en sistemas de trigeneración para microrredes de calefacción y refrigeración urbanas de baja temperatura

Las redes de calefacción y refrigeración urbanas junto con sistemas de trigeneración y fuentes de energías renovables son muy reconocidas como una solución energética eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Las redes de cuarta generación se caracterizan por la distribución de agua a baja temperatura, se reducen las pérdidas de calor de la red, y se pueden integrar bombas de calor reversibles accionadas eléctricamente, capaces de proporcionar calefacción y refrigeración.

En este artículo se ha considerado el estudio de la integración de bombas de calor eléctricas reversibles en un sistema de trigeneración, como unidades de respaldo para reemplazar las calderas tradicionales, para suministrar la demanda térmica de una población de Pisa, Italia.

A continuación, se muestra el sistema base con una caldera de gas natural y una enfriadora eléctrica, mientras que en el caso de estudio se incluye una bomba de calor reversible como única unidad de respaldo para la demanda térmica.

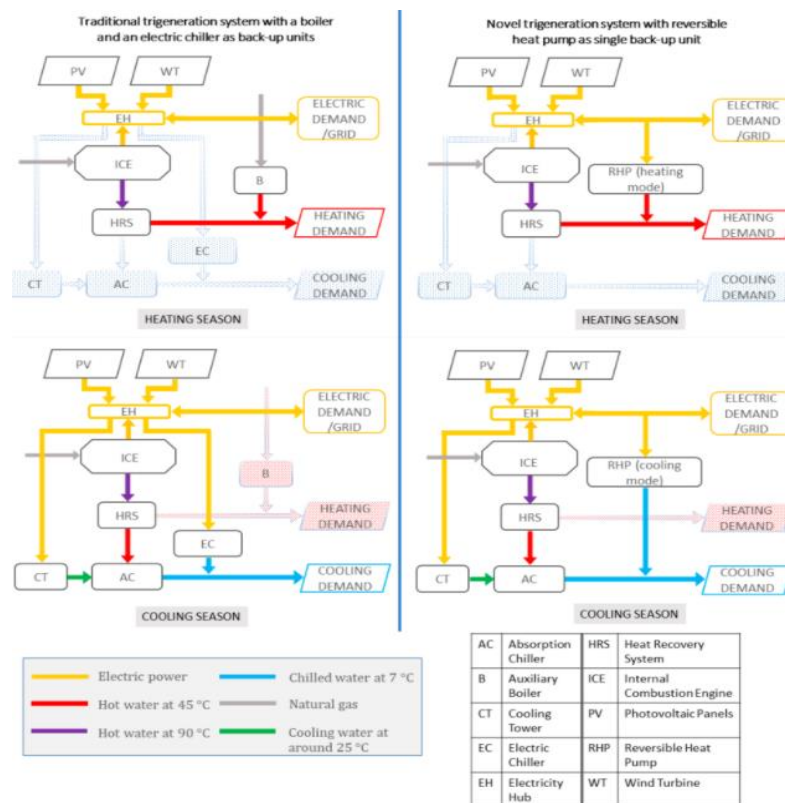


Ilustración 57. Configuraciones con y sin bomba de calor.

Los resultados obtenidos del siguiente estudio son los siguientes [78]:

- Se ha comparado con un sistema híbrido de referencia con unidades de respaldo convencionales, y se logró un mejor ahorro económico de un 7% en el coste anual equivalente.
- La integración de la bomba de calor hace que se instale un 23% más de la capacidad de renovables.
- Las emisiones anuales de CO₂ se redujeron en un 11% en comparación con el caso base.
- En general, es una solución viable económicamente, aumenta la proporción de energías renovables, reduce el uso de combustibles fósiles y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

4.2.3 Integración de energía renovable mediante cogeneración y red de calefacción y refrigeración urbana

Las redes de calefacción y refrigeración urbanas son sistemas que presentan potenciales reducciones de la utilización de recursos fósiles y emisiones contaminantes, para poder cumplir con los objetivos de cara al 2050. Como se ha observado en la mayoría de los apartados anteriores, gran parte de las redes mencionadas van unidas de una planta de generación de energía, tratándose en gran parte de una planta de cogeneración. Esta unión entre cogeneración y redes de calefacción y refrigeración urbanas han sido reconocidas a nivel científico como herramientas eficaces capaz de llevar el suministro hacia una visión sostenible de cara al futuro, incluyendo una mayor seguridad de suministro de energía mediante diversas fuentes, mejora de la flexibilidad y reducción de pérdidas de calor de transmisión de la red.

Las plantas de cogeneración pueden depender de diferentes fuentes de energía, alcanzando una eficiencia de la planta entre el 75% y 80% frente a los sistemas de energía tradicionales de una eficiencia del 35% o 37%. Las barreras pueden impedir la combinación de cogeneración y redes de calefacción urbanas por los precios de combustibles, las tarifas eléctricas y los incentivos proporcionados por parte de la política por el fomento de recursos que hace cambiar la visión actual de la producción de la energía.

El sistema que se trata en este artículo viene a ser una planta de cogeneración con apoyo de una caldera para las demandas picos, genera calor a la red de calefacción y frío mediante una enfriadora.

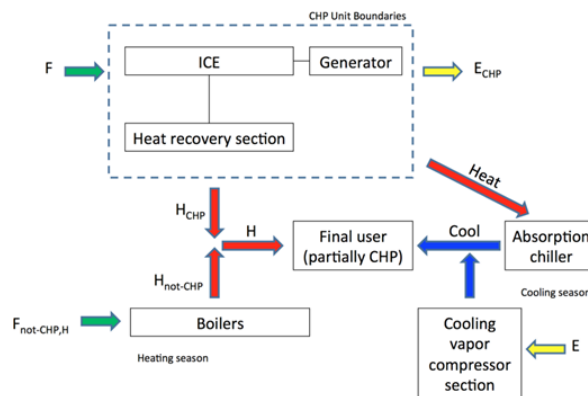


Ilustración 58. Esquema del Sistema junto con una planta de cogeneración.

Este artículo no proporciona grandes datos, pero se llevó el estudio energético y económico de una planta de cogeneración junto con la red en un centro de investigación en Italia. Los resultados obtenidos de la red frente al sistema convencional de producción por separado de electricidad y calor, supuso una reducción del 15% de emisiones de CO₂ al año (140 tCO₂eq/año). Se añadió una planta de colectores solares de vacío para mejorar la eficiencia de la planta de cogeneración, supuso un incremento de beneficios netos para el sistema de un 3,72%, y además de una reducción de 17 tCO₂ eq/año [79].

4.2.4 Potencial de energía geotérmica superficial para redes urbanas con regeneración en escenarios de cambio climático

La energía geotérmica superficial presenta un potencial prometedor de bajas emisiones de carbono para satisfacer las demandas de calefacción y refrigeración de los edificios. El sistema geotérmico superficial más utilizado en muchos países europeos son las bombas de calor verticales de fuente terrestre, intercambian calor con el suelo a través de uno o varios intercambiadores de calor de pozo instalados a profundidades de hasta 400 m. La regeneración estacional, se define como la reinyección de calor al suelo durante las épocas de verano, que sirve para aumentar el potencial geotérmico. La mayoría de los artículos que se pueden encontrar relacionados con energía geotérmica superficial, son de diseño, mapeo de instalaciones potenciales a edificios cercanos, combinación junto con otros recursos renovables o potencial de energía geotérmica, pero pocos artículos se refieren a las limitaciones técnicas de los sistemas geotérmicos.

El estudio que realiza este artículo se presenta en Vaud y Ginebra, Suiza, el país con la densidad más alta del mundo de uso directo de energía geotérmica por superficie terrestre. El sistema presentará el potencial técnico y útil de la energía geotérmica superficial junto con bombas de calor verticales de fuente terrestre.

Los resultados que se han obtenido en el estudio del oeste de Suiza sugieren [80]:

- La regeneración estacional permite densidades de extracción de calor máximas anuales por encima de 300 kWh/m².
- La regeneración estacional permite densidades de inyección de calor superiores a 330 kWh/m², especialmente en centros de grandes áreas urbanas.
- La integración de bombas de calor verticales de fuente terrestre dentro de la red de calefacción y refrigeración urbana aumenta la fracción de la demanda térmica del edificio a través del suministro de energía geotérmica hasta en un 30% para ambos modos de demanda.
- El impacto de la regeneración estacional de las bombas de calor verticales de fuente terrestre, están sujeta a suposiciones y limitaciones relacionadas con datos y el enfoque del modelado. En este artículo se han realizado diversas suposiciones. Por ejemplo: Todos los edificios y sistemas conectados a la red, mapeo del potencial geotérmico a las demandas de energía se realizó mediante balances de calor, etc.
- Los sistemas de bombas de calor verticales de fuente terrestre sugieren que el potencial geotérmico útil puede cubrir hasta el 63% de la demanda de refrigeración del sector de servicios y el 55% de la demanda de calor para 2050, para sistemas individuales.
- Si se utilizan los sistemas conectados a una red de calefacción y refrigeración urbana, puede cubrir hasta el 87% de la demanda de refrigeración del sector de servicios y el 85% de la demanda de calor para 2050.

4.2.5 Análisis de la integración de fuentes de energía renovables en una red de calefacción y refrigeración urbana en España

A pesar de la gran cantidad de artículos y estudios disponibles sobre este tema, faltan estudios de viabilidad completa en zonas climáticas como la mediterránea en España, debido a que existe una falta de marcos regulatorios para las redes, además a esto se le añade la falta de inversionistas, por la falta de razones sociales y culturales, ya que los usuarios consumidores prefieren sistemas domésticos individuales en comparación a los colectivos, porque desconocen su funcionamiento [81].

El artículo revisado presenta la evaluación técnica, ambiental y económica de la integración de fuentes de energía renovables a una red de calefacción y refrigeración de un Parque Tecnológico cerca de Barcelona, España. Actualmente, una planta de cogeneración que funciona con combustibles fósiles satisface la demanda de calefacción, refrigeración y electricidad del parque. Sin embargo, se espera que aumente la demanda en los próximos años. Realizaron el modelado del crecimiento de la demanda hasta 2030 por medio de datos de la planta del año 2014, mediante el software EnergyPro. También se usó para obtener el suministro de energía en tres periodos de 15 años, presentando diferentes combinaciones de recursos renovables, desde 2016 hasta 2030.

Los resultados obtenidos del estudio mostraron que [82]:

- Las calderas de biomasa combinadas con enfriadores de absorción y apoyadas con refrigeración solar térmica son las tecnologías más competitivas en comparación con las bombas de calor geotérmicas.
- Las calderas de biomasa junto con enfriadores de absorción y apoyadas con refrigeración solar, presentan un menor consumo de energía primaria en 2030 (624,380 MWh/año), con respecto a las bombas de calor (665,367 MWh/año).
- Las calderas de biomasa junto con enfriadores de absorción y apoyadas con refrigeración solar, presentan menores emisiones de CO₂ (107,753 Tn/año) en 2030, con respecto a las bombas de calor (111,166 Tn/año).
- Además, esta tecnología presenta mayor tasa de rentabilidad (222 MME) y menor inversión inicial, con respecto a las bombas de calor (178 MME).
- La implementación de bombas de calor geotérmicas para la producción simultánea de refrigeración y calefacción no es factible para edificios de oficinas y centros de datos ubicados en un clima mediterráneo, donde la refrigeración es la principal demanda de energía y no la calefacción.

4.2.6 Integración de bombas de calor de alta temperatura en redes de calefacción y refrigeración urbanas

En la actualidad, los sistemas que se encuentran operativos en Noruega son redes de calefacción urbana de alta temperatura, y se enfrentan a muchos desafíos, como la disminución de la demanda de calor por el aumento de la eficiencia energética de los edificios y altas temperaturas de retorno que disminuyen la posibilidad de la integración de fuentes renovables. Los sistemas de baja temperatura consiguen operar a temperaturas de suministro de 45°C a 55°C, y son capaces de utilizar el calor residual y recursos renovables con menores pérdidas de distribución. En general, en Noruega las pérdidas de calor de las redes de calefacción urbana se encuentran entre un 8% y 15%, la gran ventaja de los sistemas de baja temperatura es la baja diferencia de temperatura entre tuberías y la temperatura del suelo, reduciendo estas pérdidas y presentando una reducción del uso de la energía hasta un 75%, usando sistemas de almacenamiento e intercambiadores de alto rendimiento, en comparación con los sistemas tradicionales de alta temperatura.

En el artículo revisado, se planeó la transición de un sistema existente de calefacción urbana de alta temperatura a uno de baja temperatura, disminuyendo la temperatura del agua del suministro sin el cambio de tamaño de las tuberías, y dimensionando la red en base a los requerimientos de la nueva red.

Los resultados mostraron que [83]:

- Con la reducción de temperatura de 80°C a 55°C, la caída de presión se duplicó de 100 Pa/m a 200 Pa/m, provocando un aumento de la potencia y energía de bombeo.
- La red de baja temperatura favoreció a la reducción de las pérdidas de calor hasta en un 25%.
- Un aumento de la temperatura de consigna interior de los edificios (de 21°C a 25°C), hace que el sistema de baja temperatura sea más sensible, aumentando el caudal másico en un 11%, con respecto de un 7% del existente.
- El aumento de la temperatura de consigna lleva a un aumento de la energía de bombeo del 15%, con respecto al existente que es un 7,5%.

4.3 Calefacción y Refrigeración Urbana de Quinta Generación

4.3.1 Comparativa de sistemas de calefacción de baja temperatura y ultra baja temperatura

La calefacción urbana presenta el riesgo de perder competitividad cuanto menor es la densidad de demanda de calor de la zona en la que se instala el sistema. Por ello las redes de distribución deben ser altamente eficientes para garantizar la viabilidad económica y satisfacer la demanda de los usuarios. En este artículo se pretende buscar las ventajas de un sistema de baja temperatura frente a uno de ultra baja temperatura.

El sistema se localiza en una zona de viviendas en Kassel, Alemania, consta de 131 edificios en un terreno de 115.000 m². El área está compuesta por casa unifamiliares, resultando de una baja densidad de edificación y con ello una densidad de demanda de calor muy baja, por lo que la red debe ser alta eficiente siendo la temperatura de distribución adecuada para mantener las pérdidas de distribución lo más bajas posibles. Se examinarán las dos redes más avanzadas de cara a la transición energética, la principal diferencia económica dependerá de la temperatura entre el suministro y el retorno.

La red de calefacción urbana será la misma para los siguientes casos, una bomba de calor geotérmica de carga base y un calentador eléctrico para cargas pico, un almacenamiento de energía térmica de pozo, un depósito de almacenamiento de energía térmica y colectores solares térmicos para la regeneración del suelo.

Los casos que se han estudiado en el artículo son los siguientes:

1. Sistema de baja temperatura opera todo el año, se le añade acumuladores de ACS para uso individual.
2. Sistema de ultra-baja temperatura opera todo el año, se le añade bombas de calor aire-agua para ACS con acumuladores de agua caliente para viviendas individuales.
3. Sistema de ultra-baja temperatura solo opera en invierno, se le añade bombas de calor aire-agua para ACS con acumuladores de agua caliente para viviendas individuales.

Los resultados obtenidos se basan en el impacto de las temperaturas de diseño en la viabilidad de una red térmica para nuevos desarrollos de edificios en Alemania [84]:

- La energía térmica aportada por los generadores de calor varía según el requerimiento de los sistemas.
- Los costes totales varían principalmente por los costes variables, debido a las pérdidas de calor.
- Los costes totales son similares, pero los sistemas de ultra baja temperatura presentan una mejora de la eficiencia de la distribución de calor mediante bombas descentralizadas, y ninguna desventaja frente a los de baja temperatura.
- Se pensó que la integración de energía térmica puede reducir aún más los costes variables.
- El consumo de electricidad no tiene un impacto significativo en la eficiencia del sistema.
- La reducción de la temperatura de diseño reduce las pérdidas de calor y el apagado de la red durante el período de baja carga reduce aún más las pérdidas.

	Baja Temperatura DH	Ultra-Baja temperatura DH	Ultra-Baja temperatura DH
	Invierno: 70°C/40°C	Invierno: 40°C/25°C	Invierno: 40°C/25°C
	Verano: 70°C/40°C	Verano: 40°C/25°C	Verano: -
Suministro de calor	100% ACS + 100% Calefacción	54% ACS + 100% Calefacción	24% ACS + 100% Calefacción
Energía térmica centralizada	1808,00 MWh/a	1679,00 MWh/a	1539,00 MWh/a
Perdidas de calor	411,00 MWh/a	206,00 MWh/a	188,68 MWh/a
Porcentaje pérdida de calor	23%	12%	12%
Caudal volumétrico de red	30 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h
Energía auxiliar bombas red	4,30 MWh/a	8,70 MWh/a	8,70 MWh/a
Porcentaje energía auxiliar	0,24%	0,52%	0,57%
SPF Bomba de calor (33-40°C/65°C-70°C)	2,80	4,40	4,40
Coste capital anual	111 k€/a	113 k€/a	113 k€/a
Costes totales de distribución	154 k€/a	140 k€/a	136 k€/a
Costes específicos de distribución	85,18 €/MWh	83,38 €/MWh	88,37 €/MWh
Costes totales del Sistema	444 k€/a	415 k€/a	419 k€/a

Tabla 15. Resumen de los datos recaudados de los casos de baja y Ultra-baja temperatura.

4.3.2 Potencial de acoplamiento sectorial de una red de calefacción quinta generación

La evolución de las redes de calefacción y refrigeración urbanas lleva a unos sistemas de energéticos inteligentes, presentando grandes potenciales para un suministro de energía térmica sostenible y flexible de calefacción y refrigeración urbana. La gran densidad de demanda de calor y la disposición de fuentes de calor residual muestran un gran potencial para poder integrar energías renovables para reducir las temperaturas del sistema y también poder integrar distintos sectores energéticos. El uso de bombas de calor de tamaño industrial abre oportunidades para el acoplamiento del sector eléctrico a calor.

El principal obstáculo de las redes de quinta generación es el coste elevado de la inversión inicial, las subestaciones de transferencia de calor, bombas de calor y los sistemas de almacenamiento térmico son costosos. Otro inconveniente de las redes de quinta generación es que las empresas o inversores que desean participar en dichos proyectos solicitan ofertas de precio fijo de venta de energía térmica, debido a la complejidad de la red y a su poca maduración es inviable sin conocer la estructura final del área de desarrollo, no se puede realizar ninguna oferta de precio minorista de energía térmica fija.

El sistema que se presenta en el artículo revisado se encuentra en una zona residencial en Zurich, Suiza. Trata de suministrar la demanda de 5.500 usuarios (2.200 viviendas), mediante una red de suministro de quinta generación combinada con una red de tercera generación existente. Este sistema se encuentra rodeado de fuentes de calor residual grandes y pequeñas, como centros de datos o pistas de patinaje de hielo. Debido a que es una de las primeras redes de quinta generación y hay poca experiencia, se encuentra equipada por tecnologías de medición y monitoreo por Anex Ingenieure AG.

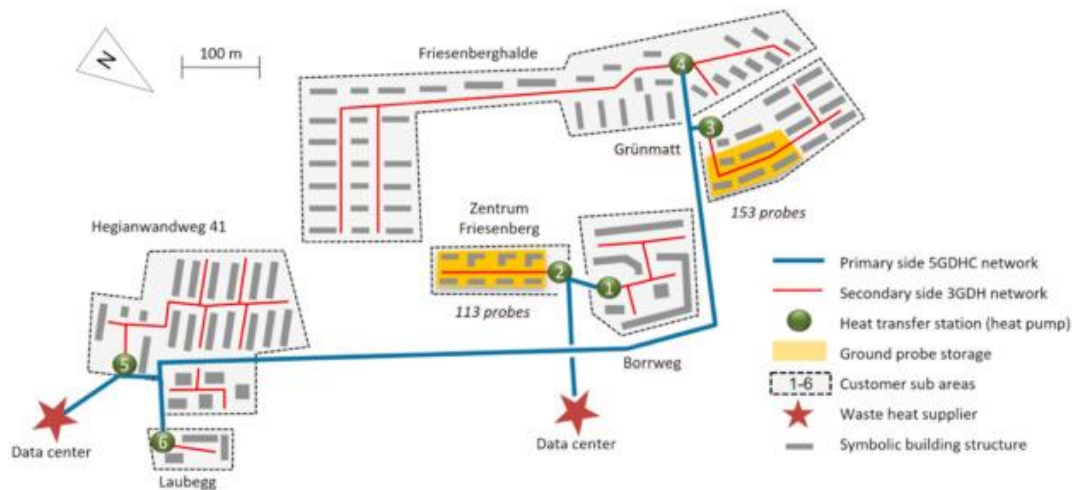


Ilustración 59. Situación de la red de quinta generación respecto a la de tercera generación.

Los resultados obtenidos del presente artículo son [85].:

- Realización del monitoreo y simulación del sistema, pero usando los datos de subestaciones de la red ya existente, ya que los edificios individuales no están modernizados, siendo los resultados satisfactorios en lo que viene a ser la demanda de calor de los usuarios.
- Se realizó un estudio de si era compatible la unión del sector eléctrico al sector de calefacción mediante las bombas de calor o sistemas de almacenamientos térmicos, dando como resultado satisfactorio las configuraciones que puedan contener mayores densidades térmicas, es decir la unión de ambos sectores es más satisfactoria en edificios o zonas urbanas donde hay grandes demandas de calor.
- Un adecuado control inteligente desde el punto de vista de calefacción de los edificios llevaría a un ahorro en los costes eléctricos del funcionamiento de las bombas de calor.

4.3.3 Comparativa del rendimiento de un sistema de cogeneración junto a fotovoltaica que se integra con varios diseños de calefacción urbana

Los sistemas fotovoltaicos-térmicos son económicamente competitivos en comparación con otros sistemas solares, debido a que no solo reducen el costo de la energía solar, sino que también aumentan la cantidad de energía generada por área. La generación de calor y electricidad simultáneamente en un solo dispositivo y con una alta eficiencia ha hecho que los paneles sean populares para los edificios residenciales y comerciales. En un estudio realizado integrando un sistema fotovoltaico-térmico en edificios para clima mediterráneo, revelaron que da como resultado menor demanda de calefacción del edificio, reduciendo un 24,2% [86] en un día de invierno y su rendimiento eléctrico mejora en un ángulo de incidencia óptimo en el verano.

En el artículo revisado se pretende integrar paneles fotovoltaicos térmicos sin necesidad de baterías ni bombas de calor, para reducir costes del sistema y adaptar a los usuarios a sistemas más económicos para el edificio, además que no solo producirá parte de la demanda de calor y electricidad en los hogares, sino que el exceso será suministrado para reducir la factura energética del edificio.

La instalación se realiza en la ciudad de Esbjerg, ubicada en Dinamarca, trata de un edificio formado por paneles fotovoltaicos-térmicos conectados a un tanque de almacenamiento térmico. El panel transforma la radiación solar en electricidad y aprovecha el calor residual de los módulos fotovoltaicos para las aplicaciones térmicas, produciendo calor y electricidad de forma simultánea. La tarea principal satisfacer en tiempo real la demanda de energía eléctrica, si la hubiera, sino es consumida por las bobinas eléctricas del tanque de almacenamiento para calentar el agua., si el tanque estuviera lleno el excedente se trasladaría a la red. Del mismo modo, el agua caliente de salida de las placas fotovoltaicas térmicas se almacena en el acumulador de calor para abastecer el ACS de los usuarios, de lo contrario cuando no hay demanda, el agua caliente se vende a la red local de

calefacción urbana. Si este sistema no satisface la demanda entraría en juego la red eléctrica y la red de calefacción urbana. El sistema se ha llevado a cabo mediante una casa de 100 m² en Dinamarca.

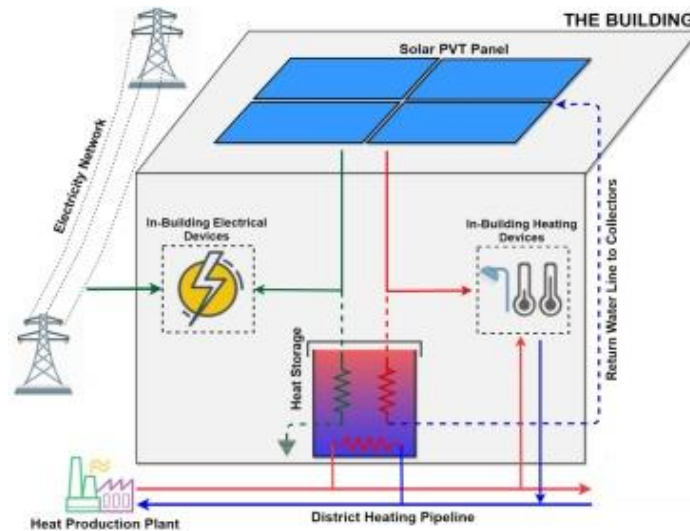


Ilustración 60. Esquema de la instalación para una única vivienda.

Se llevará a cabo en tres sistemas de calefacción urbana:

- Sistema de calefacción urbana existente con una temperatura de suministro: 80°C.
- Sistema de baja temperatura de calefacción urbana con una temperatura de suministro de 55°C.
- Sistema de Ultra-baja temperatura de calefacción urbana con una temperatura de suministro de 40°C.

Los resultados obtenidos a lo largo de un año han sido los siguientes [87]:

- Conforme aumenta la temperatura de suministro aumenta la temperatura de la celda de los paneles y reduce su eficiencia eléctrica generando menos electricidad.
- Debido a una mayor eficiencia térmica, el primer caso genera mayor energía térmica.
- El sistema inteligente que se propone suministra toda la energía térmica consumida (ACS), por lo que lo restante o se vende o se utiliza como calefacción.
- Debido al descenso de temperatura de la red de calefacción urbana provoca un aumento del volumen de agua caliente de mayor a menor por orden de casos, necesitando mayor electricidad para el bombeo.
- La electricidad y la energía térmica vendida en el caso uno es 10,5% más de eficiencia que el caso dos y un 21% más eficiente que el caso tres.
- Es inviable que el sistema integrado suministre en los días de frío la demanda de calefacción de espacios, por lo que se recurre a la red de calefacción (Cogeneración) y a la eléctrica.

A continuación, se muestra una tabla con ciertos catos energéticos de los tres casos mencionados:

	Ultra baja Temperatura	Baja Temperatura	Tercera Generación
Electricidad Producida PVT (kWh)	3647,4	2279,6	911,8
Energía eléctrica consumida por edificio (kWh)	3392,7	3392,7	3392,7
Energía eléctrica comprada (kWh)	2083	2255,45	2629,2
Energía eléctrica vendida (kWh)	1937,5	945,3	131,4
Energía térmica generada (kWh)	9118,5	8571,3	8024,3
Energía térmica consumida (kWh)	2874,4	2874,4	2874,4
Energía térmica vendida (kWh)	7033,4	6306,1	5970,6
Energía térmica comprada (kWh)	385,7	408,8	802,4
Rendimiento Total (%)	70	59,5	49

Tabla 16. Datos recaudados para cada tipo de sistema de calefacción.

4.3.4 Eficiencia de una Bomba de Calor en una red de quinta generación que utiliza una fuente de calor de aguas residuales

Las redes de calefacción urbanas de ultra-baja temperatura funcionan a temperaturas inferiores 45°C. Las bombas de calor utilizan la red de calefacción como fuente y poder suministrar a los usuarios consumidores la calefacción y el agua caliente sanitaria según sus necesidades. Hasta ahora, faltan datos relevantes sobre la eficiencia del funcionamiento de las bombas de calor en redes de ultra baja temperatura y como el salto de temperatura de la red afecta al rendimiento. Para 2050 se ha estudiado que el potencial de la cuota de calefacción urbana será el 50% de toda la demanda de calor, y aproximadamente el 25-30% será de bombas de calor eléctricas a gran escala.

En el presente artículo, los fabricantes individuales proporcionan cifras de rendimiento para temperaturas de la fuente de calor de 20°C, pero faltan investigaciones fiables, ya que las fuentes de calor típicas utilizadas solo alcanzan unos 10°C. Se utilizaron bombas de calor descentralizadas, es decir, en las subestaciones de los usuarios. Se tuvo en cuenta la operación del compresor de serie (pistón simple) de la propia bomba de calor, ya que su temperatura de retorno en la fuente es un máximo de 8°C, por lo que el estudio realizado se llevó a cabo con otro compresor (pistones rotativos) y con una temperatura de suministro de 20°C podría llevar a una temperatura de retorno posible de la bomba entre 3°C y 17°C.

Los resultados de calefacción obtenidos en el banco de pruebas dan una eficiencia de COP igual a 5 con una temperatura mínima de 3°C, conforme se aumenta la temperatura hasta 17°C, el COP se duplica a 10 significado que se usa la mitad de energía eléctrica para calentar. Para el agua caliente sanitaria el COP obtenido es 2,6 para una temperatura de salida de 3°C y para una temperatura máxima de 17°C su COP es de 3,7, esto es debido a que los usuarios necesitan temperaturas más altas para el agua caliente. Realmente para calefacción se puede llegar a eficiencias altas si los dispositivos usados como es el compresor o la bomba de calor son adecuados [88].

4.3.5 Análisis de la integración del excedente fotovoltaico en una red de quinta generación

La gestión de la generación de las fuentes renovables presenta un gran desafío, y los sistemas de almacenamiento, el acoplamiento de sectores y el control predictivo de la demanda y de la generación, son claves para su resolución. Los sistemas de quinta generación se consideran una de las tecnologías más prometedoras para satisfacer la descarbonización del sector de la energía térmica. La inclusión de estos sistemas facilita la integración de fuentes renovables de baja temperatura, que en la actualidad pueden ser desaprovechadas, y las pérdidas de distribución de calor se reducen, debido a que la temperatura con respecto al suelo es menor. Además de lo mencionado anteriormente, los sistemas calefacción y refrigeración urbana se pueden usar como sistemas de almacenamiento térmico favoreciendo a la integración en el sistema de energía inteligente.

El sistema que se estudia en este artículo se encuentra en un pueblo del sur de España, que abastece a 14 edificios. El sistema formado por una planta de generación de energía, en la cual se encuentra una bomba de calor de aerotermia para cubrir la demanda de calefacción y la de refrigeración mediante una enfriadora de compresión. En los edificios se consideran módulos fotovoltaicos distribuidos, cubriendo un 10% de la superficie disponible, y un almacenamiento de energía térmica en la red. La energía primaria utilizada en la red será la electricidad.

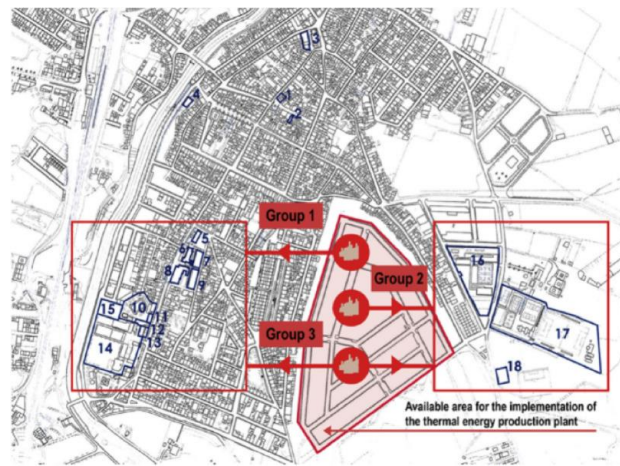


Ilustración 61. Red de distribución del sistema de calefacción de quinta generación.

Los resultados obtenidos en el siguiente artículo son los obtenidos comparados sin la integración de exceso de generación fotovoltaica y sin almacenamiento [89]:

- Con la estrategia de almacenamiento, se almacenan 105 MWh de energía térmica y 211 MWh de energía térmica fría, procedentes de excedentes eléctricos, siendo un 41,2% la utilización del exceso fotovoltaico anual total.
- Se produce un aumento de las pérdidas térmicas de distribución del 6,86% debido a mayores diferencias de temperaturas entre condiciones del agua y el suelo.
- En los días de mayor irradiación, la cantidad de energía almacenada es mayor y se reduce el consumo eléctrico de la red principal, alrededor de un 30,2%.
- El hecho de que la red se utilice como sistema de almacenamiento lleva a un 2,1% de ahorro anual del consumo eléctrico.
- El uso de redes de alta temperatura con esta configuración no tiene ningún sentido, debido a las altas pérdidas de calor, y tampoco es útil cuando la demanda del usuario es demasiado baja, ya que no se aprovecha la energía almacenada y se desperdiciaría lo almacenado.

5 FLEXIBILIDAD DE LAS REDES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN URBANA

En la actualidad, la utilización de los recursos fósiles cada vez genera más problemas, debido a que su obtención es más limitada, su uso lleva a producción de emisiones contaminantes afectando al planeta y, además, los países con un bajo abastecimiento local de recursos fósiles dependen cada vez más de la importación de otros países, poniendo en riesgo el suministro, ya que no siempre será posible garantizar el suministro por motivos geopolíticos. Por tanto, este tema exige que haya cambios en la dependencia de los recursos fósiles del sistema energético.

En años anteriores, las investigaciones y las políticas se centraron en el sistema eléctrico para la resolución de los problemas con los recursos fósiles, sustituyendo la generación de energía eléctrica de combustible fósil a generación por medio de fuentes renovables. Esta sustitución presenta dos inconvenientes muy importantes:

- La creciente participación de las fuentes de emergencia renovable, proporcionan inestabilidades a la red eléctrica, debido a su intermitencia. Esto quiere decir, al no poder controlarse su generación ni predecirse de forma adecuada, hace que el equilibrio entre la generación y la demanda de energía de los usuarios sea difícil de mantener en equilibrio, llevando a problemas de abastecimiento de energía.
- Un enfoque único en el sistema eléctrico es deficiente, debido a que los edificios son responsables del 40% del uso total de la energía, ocupando gran parte la calefacción y el agua caliente sanitaria. Gran parte de la calefacción todavía se genera a partir de fuentes de energía primaria, sin influir el sistema eléctrico.

El Heat Roadmap Europe [90], son estrategias de calefacción y refrigeración bajas en carbono para Europa, considera que las redes térmicas de calefacción y refrigeración urbanas serán esenciales en el futuro para el aumento de la eficiencia del sistema energético. Una de las ventajas que presentan estas redes es la capacidad de crear flexibilidad mediante el uso de almacenamiento de energía térmica. Además, las redes actuales serán sustituidas por redes de cuarta y quinta generación, siendo más inteligentes, explotando la flexibilidad e integrarlas en sistemas de energía inteligentes.

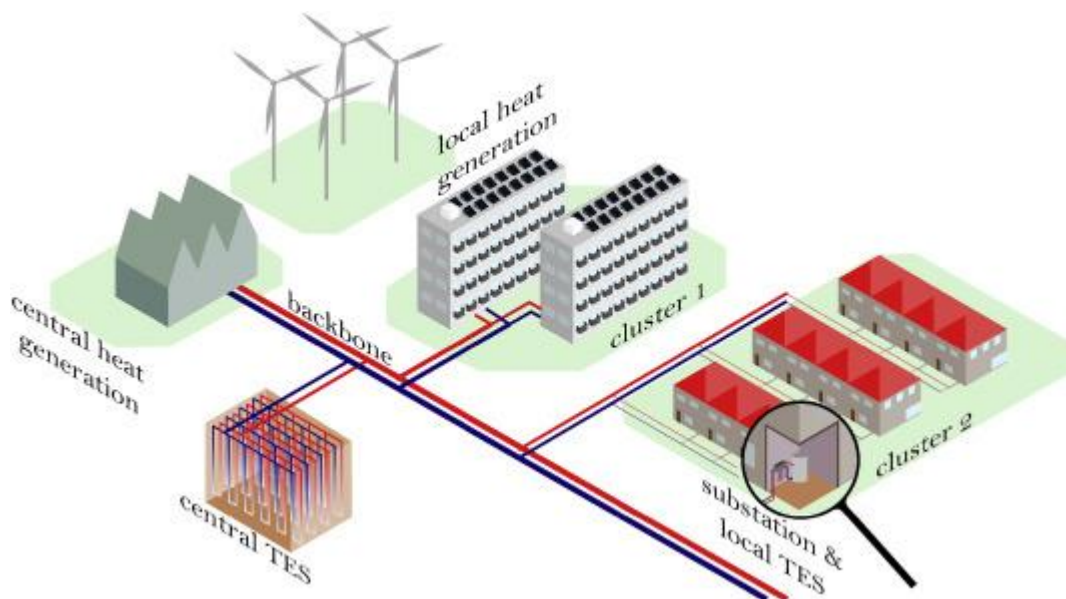


Ilustración 62. Representación de una red de Cuarta Generación.

La flexibilidad será potencialmente importante en las redes, una definición adecuada sería que el sistema de calefacción y refrigeración presente inercia de forma que se pueda respetar o equilibrar en todo momento el balance energético, por ello se deberá acelerar o retrasar la inyección o extracción de energía hacia o desde un sistema. Se puede dar flexibilidad a un sistema por medio de:

- Fluido caloportador.
- Dispositivos de almacenamiento térmico.
- Inercia térmica de los edificios demandantes.

El fluido caloportador y la inercia térmica de los edificios demandantes no pueden almacenar calor o frío durante largos períodos de tiempo, por lo general su uso es simplemente para el equilibrio en el mismo día. Mientras que los sistemas de almacenamiento térmicos son más grandes y pueden usarse para largo o corto plazo, según el tipo de sistema [91].

En este apartado, se procede a enumerar los distintos tipos de almacenamiento térmico que pueden integrarse en las redes de calefacción y refrigeración urbana, y posteriormente se mostrarán datos de diversos artículos sobre la influencia de distintos tipos de almacenamiento térmico en redes de calefacción y refrigeración urbana.

5.1 Sistemas de almacenamiento térmico [92]

Las redes de calefacción y refrigeración urbanas presentan dos brechas principales entre la demanda y el suministro de energía térmica. La primera es la diferencia horaria entre la generación y el consumo de energía térmica, las razones pueden ser por características intermitentes o características dinámicas. La segunda se refiere a la distancia entre las plantas de generación y los lugares donde se consume la energía. Cuando hay desfase entre la producción y el consumo, se corre el riesgo de que se desperdicie la energía.

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica se incluyen en las redes de calefacción y refrigeración urbana con el objetivo de gestionar de forma inteligente el desfase entre la demanda y la generación.

El funcionamiento de los sistemas de almacenamiento térmico presenta el mismo funcionamiento en la mayoría de las aplicaciones en las que se integra estos sistemas, cuyo objetivo es el almacenamiento de energía en un período de tiempo determinado, que posteriormente sea utilizada para cualquier tipo de necesidad.

Se espera que los sistemas de almacenamiento térmico proporcionen ahorros energéticos anuales en el sector industrial y de la construcción de hasta un 7,8% en la Unión Europea. En cuanto a emisiones contaminantes, se visualiza que se pueden reducir las emisiones de CO₂ entorno al 5,5% de las emisiones actuales.

La combinación de redes de calefacción urbanas y los sistemas de almacenamiento térmico, se representan como una tecnología robusta y convencional, por lo que se muestran las características más ventajosas de esta combinación:

- Se presenta como una tecnología robusta y convencional que aumenta la eficiencia al aumentar la flexibilidad de la red.
- Al implementar esta tecnología, lleva a la integración de recursos renovables.
- Presentan el potencial de conectar mayor número de edificios a una red de calefacción urbana, llevando a reducciones de costes y de emisiones. Permite aumentar el número de usuarios sin modificar el diseño de la red.
- La instalación de estos dispositivos permite un menor tamaño de tubería en la red de distribución.
- La reducción de costes en los sistemas de bombeo, ya que al reducir los caudales máxicos se reduce la energía de bombeo. (Presenta el 1% del consumo en una red de calefacción urbana).
- Ahorro para los usuarios, ya que presentan mayor flexibilidad en la demanda de calor, ahorrando dinero desplazando el consumo en horas valles.
- Menor uso de calderas y enfriadores, ya que el calor almacenado permite hacer cambios rápidos de demanda.
- Las instalaciones no requieren un gran mantenimiento anual en comparación con solo generadores de calor y sin sistemas de almacenamiento.

- Una conexión de esta combinación junto con plantas de cogeneración permite una mejor gestión, haciendo posible desplazar la producción de electricidad a las horas en el que el precio unitario de la electricidad es más alto.

Todo sistema o dispositivo que presenta fortalezas va acompañado de varios inconvenientes, los principales son:

- El coste de inversión de la instalación no es despreciable, estos costes varían dependiendo del tipo de sistema de almacenamiento térmico.
- Se debe tener un emplazamiento para la instalación, debido a que, si el almacenamiento se presenta a largo plazo, el espacio que se requiere es elevado.
- Las pérdidas térmicas que se producen durante las fases del proceso de almacenamiento son un inconveniente. Las mayores pérdidas se presentan en almacenamientos de largo plazo.
- La planificación de la conexión con el sistema puede presentar un gran desafío, ya que su integración a redes térmicas ya existentes puede ser complejo.
- La falta de leyes de apoyo a estos sistemas pueden ser un problema en las etapas de diseño y aprobación.

5.1.1 Clasificación de los sistemas de almacenamiento térmico en redes de calefacción urbana

Los sistemas de almacenamiento presentan múltiples configuraciones que se pueden llevar a cabo en la instalación en redes de calefacción urbana, por ello se muestra un listado que los diferencia:

- **Según el tipo de almacenamiento:**
 - Sensible.
 - Latente.
 - Químico.
- **Según el periodo del almacenamiento:**
 - Corto plazo.
 - Largo plazo.
- **Según la ubicación de almacenamiento:**
 - Distribuida.
 - Localizada.
- **Sistemas de almacenamiento de energía térmica, transportado en camiones.**
- **Sistemas de almacenamiento mediante inercia térmica:**
 - Inercia térmica de los edificios.
 - Inercia térmica de la red de distribución.

A continuación, se procede a explicar las características más importantes de cada configuración de los sistemas de almacenamiento térmico. La gran mayoría de los sistemas de almacenamiento según su duración, ubicación, almacenamiento transportado en camiones y almacenamiento mediante inercia térmica, son de tipo de calor latente, por ello se explicarán solo para este tipo, ya que apenas hay información sobre dispositivos latente y químico, aunque se mencionará su funcionamiento y como se encuentran en la actualidad.

5.1.1.1 Tipo de almacenamiento

Los almacenamientos que se presentan en la actualidad como la tecnología más madura son los sistemas de almacenamiento de calor sensible. En este apartado, se centrará en explicar las ventajas del almacenamiento de calor sensible, ya que los sistemas de almacenamiento de calor latente hay pocas redes de calefacción y refrigeración urbanas, debido a sus costes y se encuentran en procesos de investigación y desarrollo. Los sistemas de almacenamiento de calor químico presentan actividad de investigación centrándose principalmente en nuevos materiales y sustancias (Prototipos: NaOH/H₂O, MgCl₂/H₂O.) que cumplan con los requisitos de viabilidad (presentan un potencial teórico hasta el 85% de reducción de energía primaria en redes de calefacción), ya que los costes que se presentan en la actualidad son elevados.

- **Sistemas de almacenamiento térmico de calor sensible:**

Se presentan como se ha mencionado anteriormente como los sistemas más utilizados en la actualidad, ya que es una tecnología madura y robusta que presenta un coste bajo de instalación, alta fiabilidad y facilidad de instalación.

La selección del material del almacenamiento se realiza en función de las propiedades físicas del fluido, la disponibilidad y el precio. La energía térmica se puede almacenar en depósitos de agua, fosos, pozos y acuíferos, para la elección del tipo de almacenamiento se debe realizar un estudio previo a la hora de la integración del sistema de almacenamiento en las redes de calefacción. Los medios de almacenamiento de calor son: agua, grava, tierra y rocas.

El medio de almacenamiento de calor más utilizado es el agua debido a:

- Bajo coste y simplicidad de la tecnología de almacenamiento, ya que no se requieren intercambiadores de calor, debido a que el agua es tanto el medio de almacenamiento como el fluido de transferencia de calor.
- Las propiedades térmicas que presentan este fluido son favorables, el calor específico es elevado, elevada densidad y conductividad térmica.
- A menudo el agua que circula por las tuberías de la propia red de calefacción urbana se almacena directamente en el sistema de almacenamiento.

Sin embargo, este tipo de sistemas requieren una capa de aislamiento para la reducción de las pérdidas térmicas, debido a que se requieren rangos de temperaturas elevadas para almacenar gran cantidad de energía en un volumen determinado, además se requieren sistemas de presurización dependiendo de la temperatura de operación para evitar posibles fenómenos de evaporación.

A continuación, se muestra una table con las características de los distintos tipos de almacenamiento. Aunque se haya mencionado muy poco sobre los sistemas de almacenamiento de calor latente y químico también se incluyen en la table, aunque sean datos teóricos.

	Calor Sensible				Calor Latente	Calor Químico
Tipo	Depósito Agua	Foso	Pozo	Acuífero	-	-
Envase	Tanque más aislamiento	Tanque	-	-	Tanque más aislamiento	Tanque
Medio Almacenamiento	Agua	Agua y Grava	Tierra	Rocas	Material de cambio de fase	Sustancias Reactivas
Fluido de transferencia de calor	Agua	Agua	Agua	Agua subterránea	Agua	Agua
Intercambiador de Calor	No	Sí	No	No	Sí	Sí
Densidad Almacenamiento kWh/m ³	50	30-50	15-30	30-40	40-150	60-130
Costes €/m ³	30-500	30-500	50-150	40-100	50-500	2-5000
Solicitudes de conexión a red térmica	Terreno Estable	Terreno Estable	Características específicas del suelo	Características específicas del terreno con bajo flujo másico de agua subterráneas	Temperatura de fusión adecuada	Temperatura de reacción adecuada

Tabla 17. Características de cada tipo de sistema de almacenamiento.

En la tabla se puede observar como los sistemas que se encuentran en investigación (Latente y Químico), presentan mayores densidades de almacenamiento por metro cúbico, pero sus costes por metro cúbico siguen siendo elevados, debido a que son tecnologías en proceso de investigación y desarrollos experimentales, salvo casos aislados en los que se pueden estar llevando a cabo.

A continuación, se muestra una tabla con las ventajas e inconvenientes de los distintos envases de almacenamiento para los sistemas de almacenamiento de calor sensible:

	Ventajas	Inconvenientes
Depósito de Agua	Alta capacidad térmica	Tamaño limitado
	Libertad de diseño	demanda de energía primaria
	Estratificación térmica	Alto coste de construcción
	Mantenimiento	-
Foso	Coste razonable (Grava-agua)	Complejo y costoso en caso de agua
	media-alta capacidad de calor	Libertad de diseño limitada
	Dimensiones casi ilimitadas	Dificulta en manteamiento
Pozo	Costes de construcción bajos	Baja capacidad térmica
	Fácil extensión	Limitado por la localización
	-	Dificultad en mantenimiento
	-	Sin aislamiento térmico en el lateral y la parte inferior posible
Acuífero	Bajo coste de construcción	Limitado por la localización
	Media capacidad térmica	No es posible aislamiento, altas pérdidas de calor

Tabla 18. Ventajas e inconvenientes según el tipo de envase del almacenamiento.

5.1.1.2 Periodo de almacenamiento de sistemas de calor sensible

Como se ha mencionado en el apartado anterior el periodo de los sistemas de almacenamiento térmico se centrarán en los de tipo de calor sensible, ya que los otros dos tipos se encuentran en procesos de investigación al ser tecnologías poco maduras. La selección del tipo de almacenamiento térmico puede ser de periodo de corto plazo y de largo plazo, se instalan en función de la aplicación y las necesidades que se requieren del sistema.

- **El almacenamiento a corto plazo:** en general se usa en sistemas de calefacción urbana para hacer frente a las grandes variaciones de carga que se producen durante el día. Sirven para el equilibrio entre la demanda de energía y la generación de energía. Los estudios muestran que la mayoría de los sistemas en redes de calefacción instalados son del tipo de corto periodo ([93]). Los más utilizados son de los tipos:
 - **Presurizados:**
 - Se suelen usar en combinación con redes de alta temperatura (hasta 100°C). Una de las ventajas de estos sistemas es que están conectados directamente a la red, el almacenamiento y la tubería operan al mismo nivel de presión, operando como un recipiente presurizado.
 - **Atmosférico:**
 - Se usan principalmente en red de baja temperatura donde la diferencia de temperatura no supere los 30-40°C. Se conectan indirectamente a la red, debido a la diferencia de presión con respecto a la tubería, utilizándose bombas y válvulas para asegurar la correcta diferencia de presión.

- **Los almacenamientos a largo plazo:** se utilizan principalmente para almacenar calor o frío en gran cantidad y ponerlo a disposición cuando la demanda sea grande. Se suelen combinar con plantas solares para almacenar calor en verano, cuando la gran radiación solar coincide con una pequeña demanda, para tenerlo a disposición en invierno. Otras aplicaciones interesantes se centran en el almacenamiento semanal de calor procedente de plantas de biomasa y almacenamiento estacional de calor residual. Se pueden clasificar en:
 - **Uso directo:**
 - Suelen almacenamientos de alta temperatura o sistemas de almacenamiento térmico conectados a red de calefacción de baja temperatura, siendo la temperatura de almacenamiento la misma que la de la línea de suministro. El fluido caloportador de la red se puede usar como medio de almacenamiento directamente.
 - **Uso indirecto:**
 - Suelen usarse para almacenamientos de baja temperatura (27-80°C). El uso directo puede ser difícil, por ello se usan bombas de calor que permiten aumentar la temperatura del acumulador de calor para ponerlo a disposición de la red. Esta es la disposición que se usa normalmente cuando el periodo es de largo plazo.

A continuación, se muestra una tabla a modo resumen del almacenamiento de corto y largo plazo:

	Corto Plazo	Largo Plazo
Ventajas	Almacenar energía cuando haya excedente de energía o baja demanda para suministrar durante las demandas picos.	Almacenar energía disponible en ciertos periodos para suministrar en otros periodos distintos.
Capacidad de Almacenamiento	10-50 MWh	50 - 1000 MWh
Precios	30-50 €/m ³	50-500 €/m ³
Pérdidas térmicas	Alrededor del 5%	Alrededor del 30%
Combinaciones	Cogeneración (Para aprovecharla variación del precio de electricidad)	Con fuente solar (Para almacenar en verano)

Tabla 19. Tabla resumen de las características de los almacenamientos de corto y largo plazo.

5.1.1.3 Ubicación de almacenamiento de sistemas de calor sensible [94]

Los tipos de ubicaciones que se pueden encontrar son centralizados y distribuidos:

- **Centralizado:**
 - Ubicación central
 - Los más utilizados
 - Gran volumen de almacenamiento.
 - Menores pérdidas de calor.
 - Mayor tamaño lleva a menores costes específicos (€/m^3).
 - Cerca de la fuente de generación.
 - Suministro de gran calor en las demandas picos.
 - Son ideales para almacenamiento de baja temperatura.
 - Ideales para suministro estacional.
- **Descentralizado:**
 - Almacenamientos en subestaciones o en edificios.
 - No es necesario el transporte desde la fuente de generación.
 - Es más costoso para el mismo tamaño de almacenamiento total.
 - Dificultad a la hora de ubicarlo en los edificios.
 - Se transporta menos calor al edificio durante demandas picos desde fuente generación.
 - Almacenamiento de alta temperatura.
 - Menos costosos, se dedican a estrategias de demandas picos.
 - Ideales para suministro a corto plazo.

5.1.1.4 Transporte de energía térmica en camiones como almacenamiento

Estos sistemas de almacenamiento se encuentran ubicados en camiones que se encuentran en movimiento. Estos sistemas pueden ser especialmente adecuados en caso de demanda de suministro en lugares remotos o cuando hay un exceso de calor disponible lejos de la demanda. Pueden ser relevantes a la hora de producirse fallos en la red como fugas o en las bombas. Están siendo investigados cada vez más, ya que para seleccionar de manera óptima la estrategia de operación, se debe realizar una evaluación de los viajes por días y el tiempo de recuperación y rentabilidad económica que se aproxima entre dos y cinco años.

5.1.1.5 Aprovechamiento de la inercia térmica como sistema de almacenamiento

Su pueden encontrar dos tipos de almacenamiento en los que se puede aprovechar la inercia térmica son:

- **Inercia térmica de edificios:**
 - La energía térmica que se proporciona a los usuarios demandantes para satisfacer las condiciones deseadas de la vivienda, transfiriendo la energía por medio de radiadores u otros sistemas. Tras el paso del tiempo, la energía térmica además de satisfacer a los usuarios se almacena en la masa estructural del edificio. Una vez que se disminuye el suministro térmico, la energía almacenada se descarga ayudando al sistema de calefacción a mantener la temperatura ambiente dentro del rango de confort, disminuyendo la energía térmica proporcionada por la red de distribución.
- **Inercia térmica de tuberías:**
 - El almacenamiento de energía térmica en las redes de calefacción urbana trata de almacenar calor en las tuberías de suministro del fluido caloportador para así poder reducir las demandas picos de los usuarios. La planta de generación suministra el fluido caloportador a una mayor temperatura para almacenar el calor mediante la longitud de la tubería, volumen y diámetro, para cuando haya mayores demandas y mayor generación de energía renovable se reduzca la producción de la planta generadora.

5.2 Revisión de sistemas de almacenamiento en calefacción urbana

Se ha realizado un barrido sobre artículos relacionados con la integración de sistemas de almacenamiento en redes de calefacción urbana, para obtener datos relevantes a la hora de realizar investigaciones o proyectos en los que se quieran incluir almacenamiento térmico.

5.2.1 Sistemas de almacenamiento estacional de pozo y tanque a gran escala [95]

El almacenamiento de energía térmica es una tecnología prometedora que puede dar flexibilidad a los sistemas debido a la intermitencia que presentan las fuentes renovables, en este caso la energía solar. Se almacena el exceso de la energía generada a partir de la energía solar y se pone a disposición de la demanda en la cantidad requerida, cuando y donde se requiera, ofreciendo respuesta al desfase entre la oferta y la demanda de energía. Sin embargo, para la selección de los sistemas de almacenamiento térmico se guía según:

- Condiciones operativas.
- Período de almacenamiento.
- La viabilidad económica.

Hoy en día la rentabilidad y su disposición en el comercio son las principales barreras de estas tecnologías, principalmente por los materiales, construcción, estabilidad, condiciones hidrogeológicas del suelo, etc.

Los sistemas estacionales son conocidos por sus largos periodos de almacenamiento, almacena la energía solar en verano para descargarla en invierno. La importancia de estos sistemas es que mejora los aspectos de generación, transmisión y demanda de los sistemas de calefacción urbana, debido a que es capaz de equilibrar estacionalmente el suministro y la demanda de calor proporcionada.

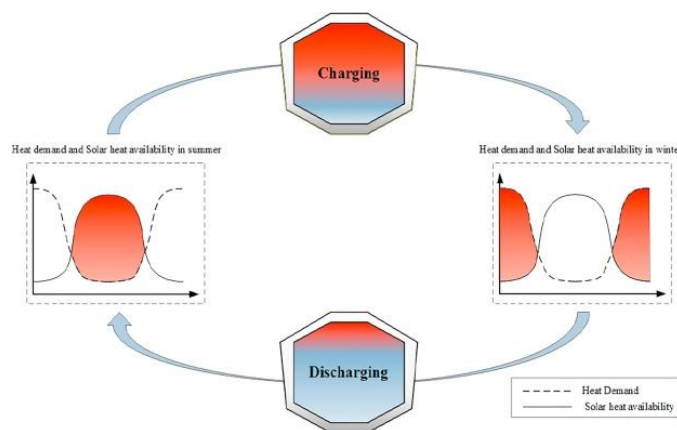


Ilustración 63. Proceso de carga y descarga del sistema de almacenamiento estacional.

En el presente artículo se estudian los tipos de almacenamiento: acuífero, pozo, foso y depósito de agua. Los sistemas de almacenamiento enterrados (Depósitos de agua y Foso) son los tipos más prometedores, debido a su alta temperatura de operación y su alta potencia de carga y descarga. Las principales diferencias con el resto de almacenamiento son las siguientes:

- Los sistemas de tipo acuíferos y pozos son las opciones más rentables en comparación con los almacenamientos de depósitos de agua y foso. Sin embargo, las condiciones hidrogeológicas impiden la expansión de estos sistemas.
- Los sistemas de tipo acuíferos y pozos se emplean para temperaturas y caudales de carga y descarga relativamente más bajos, por lo que son ideales para sistemas de baja temperatura. Los sistemas de almacenamiento de depósito de agua y foso, operan a mayores temperaturas.

- Los sistemas de depósitos de agua y foso se caracterizan por una diferencia de temperatura operativa de 30°C y caudales elevados, presentando una potencia de carga y descarga elevada.
- Los sistemas de depósitos de agua y foso se pueden construir en cualquier sitio. Sin embargo, la construcción de sistemas enterrados requiere un gran coste de construcción debido al aislamiento requerido.
- La selección entre los sistemas de foso y depósitos de agua con frecuencia es un desafío para considerar debido a las diferencias técnicas y costes, se debe realizar un estudio óptimo de construcción y profundidad. Si se prefiere:
 - Almacenamiento en foso el coste de construcción es menor.
 - Si la profundidad de construcción es menor, los depósitos agua son técnicamente preferibles, aunque los mayores costes.
- Todavía no se ha conseguido un enfoque en el que se puedan combinar un sistema con otro a diferentes condiciones operativas.

5.2.2 Influencia del almacenamiento centralizado y distribuido en redes de calefacción [94]

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica presentan un futuro potencialmente favorable, debido a que se está consolidando en diversas aplicaciones, y se presenta como eficiente y rentable para absorber las variaciones de calor impuestas por las fuentes de energía renovables. Un tanque de almacenamiento centralizado cerca de la fuente de generación es la configuración más común en los sistemas de calefacción urbana en la actualidad cuando el sistema es estacional. Mientras que, para un almacenamiento en edificio, el más adecuado es el almacenamiento distribuido, ya que su almacenamiento es diario, ofreciendo costes más económicos y favorables por las altas variaciones diarias de los perfiles de demanda térmica.

El estudio de los almacenamientos se realiza en una ciudad belga llamada Kortrijk. Las ubicaciones de los almacenamientos empleados para 2.400 edificios son:

- **Centralizados:** Un gran volumen de almacenamiento cercano a todos los usuarios. Dado que el almacenamiento se encuentra cerca de la fuente de generación energía, los tamaños de las tuberías no se pueden modificar, esto se debe a que el calor se transporta desde la misma ubicación que la fuente de generación.
- **A nivel de subestación:** los almacenamientos se distribuyen en distintas subestaciones para satisfacer las demandas los picos de demanda. Como el almacenamiento se encuentra ubicado en la subestación, cuando hay picos en la demanda de red, no es necesario transportar la energía desde la fuente de generación hasta la subestación, por lo que se pueden disminuir el tamaño de tuberías, siendo la distribución los mismos sin reducción.
- **A nivel de edificio:** almacenamientos colocados en cada edificio, se usa en el propio edificio directamente. El tamaño de la tubería de la red de transporte como la de distribución se diseñan con diámetros más pequeños, ya que se necesita transportar menos calor al edificio, debido a que se usa el calor del almacenamiento en el sitio.

Los resultados que se obtienen son los óptimos conforme al tipo de almacenamiento, para conseguir una reducción máxima de costos de red.

Almacenamiento	Número de Tanques	Duración de almacenamiento	Tamaño de almacenamiento	Reducción máxima de costes de red
Centralizado	1	varios días (2 días)	2000 m ³	3.87 %
Nivel de subestación (tamaño de subestación de 8 MW)	7	diario (1 día)	1000 m ³	5.06 %
Nivel de subestación (tamaño de subestación de 4 MW)	10	diario (1 día)	1000 m ³	4.64 %
Nivel de subestación (tamaño de subestación de 2 MW)	18	diario (1 día)	1000 m ³	4.63 %
Nivel de edificio	2328	diario (1 día)	1000 m ³	6.57 %

Tabla 20. Resultados según la ubicación del sistema de almacenamiento.

Los resultados demuestran que la mayor reducción de costes, para una duración de almacenamiento igual, es a nivel de edificio, ya que es el más económico para tamaños de almacenamientos pequeños, debido a que cuando se producen variaciones de cargas altas son más eficientes. Conforme se aumenta el número de división de subestaciones cae la reducción máxima de costes de red, demostrando que hay un punto óptimo para distribuir el almacenamiento.

El almacenamiento centralizado ofrece una mejor reducción de costos cuando la variación diaria del perfil de demanda es pequeña. Sin embargo, el almacenamiento a nivel de subestación ofrece una mejor reducción de costos cuando se presentan variaciones de perfiles de demanda altos, esto se debe principalmente a que se presentan mayores potencias de red llevando a tamaños y costos de tuberías de red más grandes. En almacenamiento centralizados el tamaño de las tuberías hacia los usuarios es elevado en comparación con los almacenamientos distribuidos, ya que hay que transmitir mayor flujo de calor.

5.2.3 Almacenamiento centralizado frente a la inercia térmica de los edificios [96]

La revisión del este artículo presenta los beneficios de aplicar el almacenamiento de energía térmica en los sistemas de calefacción urbana para disminuir las variaciones de la carga de calor, comparando el almacenamiento mediante un depósito de agua caliente y la inercia térmica de los edificios.

Los almacenamientos centralizados como se menciona en apartado anteriores son sistemas maduros. En cambio, hay poca información sobre sistemas de redes de calefacción urbana en los que se mencione la inercia térmica como almacenamiento. Estos sistemas se basan en el sobrecalentamiento o subcalentamiento temporal de los edificios para poder suavizar las variaciones de la carga de calor en la red de calefacción urbana. La demanda de calor transmitida a los usuarios, parte es absorbida por la masa estructural del edificio, y debido a la disminución temporal del suministro de energía térmica, la energía almacenada se descarga y ayuda al sistema de calefacción a mantener la temperatura en unas condiciones de confort. La descarga de calor se verá afectada según las condiciones y características del edificio, por lo que es necesario una envolvente adecuada del edificio y una gestión inteligente de la transferencia de calor.

La red de la que se han obtenido los resultados se encuentra en Göteborg, Suecia. Presenta una longitud de 10.56 km, a través de la cual suministra calor a 17.860 subestaciones, conectadas al 90% de todas las viviendas multifamiliares y 9.000 viviendas unifamiliares de la ciudad.

Los resultados obtenidos del siguiente estudio son:

- El sistema de depósito de agua caliente presenta una capacidad superior al doble del sistema de inercia térmica del edificio.
- El depósito de agua caliente se usa para un almacenamiento desde dos días hasta dos semanas, mientras

que el otro sistema se usa a corto plazo, para cubrir las demandas picos.

- Ambos sistemas presentan la misma eficiencia a corto plazo, debido a que las pérdidas de calor son menores en el sistema de depósito de agua caliente gracias a la gran relación superficie-volumen.
- Ambos suavizan las variaciones de carga diarias, reduciendo la generación de la planta en un 20% el depósito de agua y un 19% la inercia térmica.
- A medio plazo las variaciones de carga se consiguen disminuir en un 17% para el depósito de agua y en un 10% para la inercia térmica.
- Desde la perspectiva económica el sistema de depósito de agua caliente presenta el doble de ahorro que proporciona el sistema de inercia térmica con respecto a costes totales anuales. Sin embargo, al ser el coste de inversión 10 veces menor el del sistema de inercia térmica, puede ser más factible económicamente este sistema.

5.2.4 Optimización de la producción de calefacción urbana utilizando la capacidad de almacenamiento de una red de calefacción urbana [97]

Las estaciones del año provocan grandes variaciones en la demanda de calefacción de los usuarios, y en el calor que se produce para la distribución en las redes de calefacción urbana. La red de calefacción puede utilizarse como un sistema de almacenamiento de energía térmica, para la reducción de los picos de demanda.

En el caso que se presenta, es un sistema de calefacción urbana junto con dos calderas de producción de energía térmica, usando como combustible madera, para el suministro de la carga base. Se tiene dispositivos de apoyo con energía de reserva de combustible fósil para las demandas picos, pero se optimizó el uso de la producción de la carga de la red mediante el ajuste del agua de suministro. El salto de temperatura del agua de suministro es de 15K para generar un potencial de ahorro y la reducción de CO₂.

El funcionamiento de la red como almacenamiento de calor, trata de elevar la temperatura del agua de suministro por encima de lo que normalmente se requiere. La cantidad de calor almacenado dependerá del volumen de la red y el aumento de la temperatura de impulsión. El calor será almacenado en la línea de suministro y no en la de retorno. Para un salto de temperatura de 15 K, variando el diámetro nominal de la tubería, la longitud y el volumen, se obtiene el almacenamiento de calor.

Diámetro nominal	Longitud [m]	Volumen [m ³]	Almacenamiento de calor [MWh]
DN25	260	0.17	0.00
DN32	660	0.72	0.01
DN40	1820	2.66	0.04
DN50	1730	4.04	0.07
DN65	1050	4.08	0.07
DN80	520	2.78	0.05
DN100	2560	23.06	0.39
DN125	1590	21.92	0.37
DN150	2950	59.54	1.00
DN200	6400	221.88	3.74
DN250	2400	130.38	2.20

Tabla 21. Almacenamiento térmico en función del diámetro de la tubería.

Para el caso de Finlandia que presenta el artículo, el uso del almacenamiento de la red de calefacción urbana llevaría a los siguientes ahorros económicos:

Año	Producción total de DH	Producción de DH con potencia de reserva	Potencial de ahorro de energía de reserva	Potencial de ahorro de los costes de combustible
	[MWh/año]	[MWh/año]	[MWh/año]	[€/año]
2018	39 501.80	1526.31	120.70	5983.10
2019	36 169.50	336.31	53.82	2780.88
2020	34 590.80	10.41	10.41	494.37

Tabla 22. Ahorro de la red de calefacción con almacenamiento en red de distribución.

Los valores anteriores representan el ahorro económico y de energía de reserva utilizada en un año para distintos periodos meteorológicos. Al ser una red pequeña los ahorros no son muy altos, pero como se observa en la tabla anterior si se aumenta el tamaño de la red, puede llevar a mayores ahorros económicos y mayores reducciones de CO₂. (En este caso en tres años se reduce 40 tCO₂).

5.2.5 Almacenamiento a corto plazo en redes de calefacción urbana [98]

Las redes de calefacción urbana presentan un historial de métodos que tienen el potencial de dar flexibilidad y las múltiples fuentes que pueden flexibilidad, planta de cogeneración, bomba de calor y almacenamiento térmica. Para conseguir solventar la incertidumbre y la variación en la generación de las fuentes renovables, el uso de los sistemas de almacenamiento presenta cierto potencial, siendo los sistemas de calor sensible entre 50 y 100 veces más baratos que los almacenamientos eléctricos.

Los sistemas de almacenamiento de corto plazo, periodo de una hora hasta pocos días, pueden ser depósitos de almacenamiento, inercia térmica de los edificios y el almacenamiento en la tubería de la red de distribución. Los sistemas de corto plazo principalmente se usan para dar flexibilidad al sistema a la hora de producción y reducción de las demandas pico.

Esta revisión realizada en Suecia y Dinamarca, donde prevalecen las redes de calefacción urbana con plantas de cogeneración y depósitos de almacenamiento para cubrir los periodos de demanda máxima, trata de una comparativa sobre los depósitos de almacenamiento y almacenamiento en red a corto plazo., se mostrará una tabla de ventajas y desventajas sobre el almacenamiento a corto plazo de tanques de almacenamientos frente a almacenamiento en red:

Tipo	Ventajas	Desventajas
Depósito de Almacenamiento	Tecnología consolidada en redes de calefacción urbana.	Mayor costo de inversión
	Proporciona hasta 10 veces más almacenamiento que el sistema de red.	No todos los sistemas existentes de calefacción urbana se pueden permitir la integración de depósitos
	Se puede extender el almacenamiento a semanal.	
	Inversiones mínimas en infraestructura.	Tasa de recuperación de 10 años.
Almacenamiento en Red	Cierta cantidad de almacenamiento en red está disponible en todos los sistemas de calefacción urbana	El aumento de la temperatura de retorno disminuye la eficiencia y un aumento de temperatura lleva a un estrés de tuberías.
		Las redes más pequeñas presentan menor almacenamiento.
		Se debe implementar equipo de control del usuario final, para el control del flujo másico.
		La capacidad de almacenamiento disminuye con el flujo másico.

Tabla 23. Ventajas y desventajas de sistemas de almacenamiento de depósito y almacenamiento en red.

Debido al creciente interés en estas áreas y los resultados de investigaciones obtenidos, existe un gran potencial para la explotación de estos tipos de almacenamientos.

Se ha demostrado en Suecia, donde es abundante la calefacción urbana, que la mayoría de los sistemas presentan almacenamiento térmico sensible de depósito, estimando que un 64% o 27 GWh de este almacenamiento esté disponible para dar flexibilidad a las variaciones diarias en Kiviluoma y Meibom. En general en Suecia, los sistemas de depósito ascienden a más de 42 GWh frente a una demanda de 156 GWh, cubriendo el 62% con los depósitos de almacenamiento.

Con respecto a la red de almacenamiento, debido a la gran parte de los sistemas de redes son pequeñas, los ahorros son muy pequeños y proporcionan 10 veces menos de almacenamiento que los depósitos, además faltan varias áreas de investigación para el cálculo más preciso de la flexibilidad que proporcionan. Siguen sin presentarse con claridad suficiente los impactos en los componentes físicos, variaciones de temperatura permitidas y las limitaciones de capacidad. Es necesario el estudio de métodos estandarizados para el análisis en almacenamiento en la red de distribución.

5.2.6 Almacenamiento del excedente fotovoltaico en la red de calefacción urbana

Los sistemas de calefacción urbana se pueden aprovechar las redes de distribución para el almacenamiento de energía térmica, por ello hay diversos artículos en los que se centran en la investigación del almacenamiento en las redes de calefacción. La flexibilidad requiere que el sistema tenga inercia para mantener el balance energético. El uso de la red con el fin de almacenar energía requiere inversiones mínimas en infraestructura física, y la capacidad de almacenar energía se encuentra disponible en la mayoría de las redes existentes, gracias al control de los componentes físicos, al tamaño de la red, al control del flujo másico y a la cantidad de almacenamiento que se necesite.

Este artículo se ha mencionado en el apartado 4.3.5, debido a que se han encontrado pocos artículos en los que se mencione la energía fotovoltaica integrada en una red de calefacción urbana. En este apartado se menciona, ya que se lleva a cabo un sistema de ultra-baja temperatura en el cual se integra la energía excedentaria producida en las placas fotovoltaicas a unas bombas de calor y enfriadoras, que son alimentadas por electricidad, teniendo como objetivo demostrar si es interesante almacenar energía utilizando redes de quinta generación.

Los resultados obtenidos se presentan según las características del sistema y los datos climáticos del Sur de España, produciendo un mayor almacenamiento de frío en red que de calor.

- La red a lo largo del año almacena un 67% de energía térmica fría y un 33% de energía térmica caliente.
- El sistema de almacenamiento de red lleva un 6,86% de pérdidas térmicas debido a los gradientes térmicos entre el fluido y el suelo.
- Cuanto mayor es la irradiación diaria, la cantidad de energía almacenada es mayor, debido a la producción de mayor cantidad de excedente, reduciendo el consumo de la red principal.
- Se integra la energía renovable en las horas centrales del día cuando mayor irradiación hay, reduciendo costos del uso de la red eléctrica y reduciendo el consumo eléctrico hasta un 30,2%.
- El almacenamiento de energía en la red lleva a un ahorro anual muy bajo 2,1%, debido a la baja inercia del sistema.

6 DATOS RELEVANTES PARA REDES DE CALEFACCIÓN URBANA

Para completar este trabajo, se ha realizado una búsqueda exhaustiva de datos que pueden ser relevantes a la hora de poder desarrollar o investigar redes de calefacción urbana. Todos los datos recopilados que se muestran a continuación son de Europa y han sido recogido en tablas y gráficos. Los datos recogidos que se han recogido son lo más actualizados posibles:

- Potencia Instalada de Redes de Calefacción Urbanas en Europa.
- Número de ciudadanos servidos por las Redes de Calefacción Urbanas en Europa.
- Número de hogares alimentados por redes de calefacción urbana.
- Kilómetros de longitud de las Redes de Calefacción Urbanas en Europa.
- Energía final consumida en Calefacción y Refrigeración.
- Consumo final de energía en Calefacción y Refrigeración procedente de fuentes renovables.
- Capacidad Instalada por Recursos Renovables.
- Generación de Energía Eléctrica procedente de Recursos Renovables.
- Generación Energía Eléctrica por tipo de recurso para cada país europeo.
- Proporción de energía de los recursos finales para calefacción y refrigeración por país.
- Previsión de la capacidad instalada de recursos renovables para 2050.
- Previsión para 2050 de las redes de calefacción urbana.

Además de todos los datos anteriores recogidos, se mostrarán mapas de Europas en los cuales se muestran los lugares en los que hay:

- Exceso de Calor de los Metros existentes.
- Exceso de Calor de Aguas Residuales.
- Relación entre el Exceso de calor y la Demanda de Calor.
- Recursos de Biomasa.
- Recursos Geotérmicos.

Finalmente se procederá a mostrar apartado por apartado cada gráfico y su tabla respectiva de datos, en el orden se ha mostrado en el listado anterior.

6.1 Potencia instalada de Redes de Calefacción Urbana en Europa [99]

En este apartado se recogen los datos de la capacidad instalada de las redes de calefacción urbana por países en Europa. Estos datos han sido recopilados de la página *“Euroheat & Power”* y son del año 2019.

Países	Capacidad Instalada MW (2019)	Países	Capacidad Instalada MW (2019)
Austria	11.200	Noruega	3.400
Croacia	2.221	Holanda	9.800
Bosnia	0	Polonia	54.912
Republica Checa	0	Portugal	34
Dinamarca	0	Rumania	9.962
Finlandia	23.390	Eslovaquia	15.000
Francia	24.707	Eslovenia	1.739
Alemania	49.475	España	1.273
Hungría	8.549	Serbia	5.821
Islandia	0	Suecia	3.600
Irlanda	348	Suiza	2.792
Italia	8.727	Bulgaria	6.162
Letonia	2.254,20	Estonia	5.406
Lituania	8.645	Macedonia	636

Tabla 24. Capacidad Instalada por Países 2019 (MW).

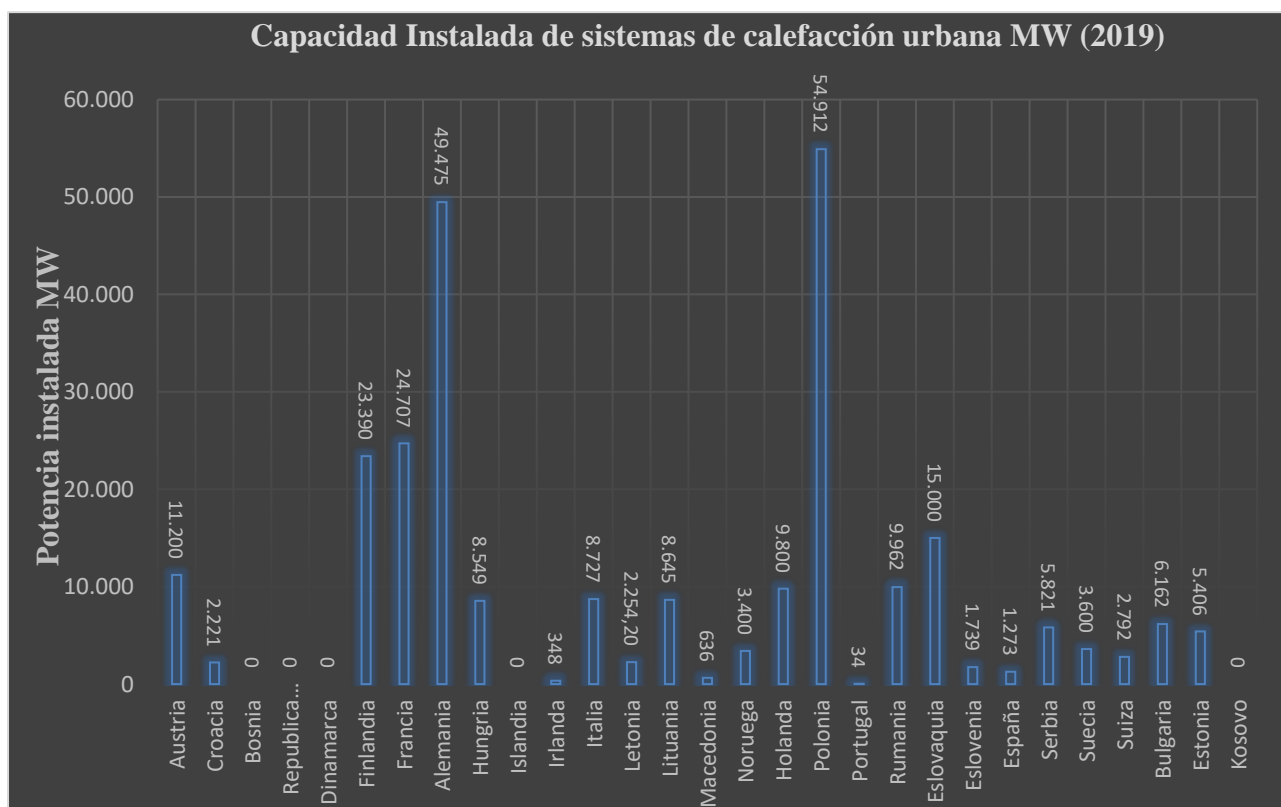


Ilustración 64. Capacidad Instalada de sistemas de calefacción urbana MW.

En los datos obtenidos, se puede observar como Alemania es uno de los países con mayor capacidad instalada junto con Polonia. Cabe destacar que países como Bosnia, Republica Checa y Dinamarca no había datos sobre ellos. Otro dato que está incompleto es el de Suecia, ya que la capacidad instalada que proporcionan es la de redes de calefacción urbana junto con una planta de cogeneración.

6.2 Número de ciudadanos servidos por Redes de Calefacción Urbana en Europa [100]

En este apartado se obtiene el recuento del número de ciudadanos servidos por redes de calefacción urbana por cada país. Estos datos han sido recopilados de la página “*Euroheat & Power*” y son del año 2017.

Países	Número de Ciudadanos Servidos por red de calefacción urbana	Países	Número de Ciudadanos Servidos por red de calefacción urbana
Austria	2.245.679	Noruega	211.000
Croacia	435.870	Holanda	0
Bosnia	0	Polonia	16.500
Republica Checa	4.100.000	Portugal	7.500
Dinamarca	3.647.000	Rumania	0
Finlandia	28.391	Eslovaquia	1.800.000
Francia	5.424.000	Eslovenia	0
Alemania	12.338.611	España	117.550
Hungría	1.710.436	Serbia	2.354
Islandia	1.200	Suecia	0
Macedonia	48.085	Suiza	0
Italia	3.879.556	Bulgaria	1.246.860
Letonia	577.409	Estonia	0
Lituania	0	Kosovo	394.222

Tabla 25. Número de Ciudadanos beneficiados por redes de calefacción urbana.

Verificando los datos anteriores, se observa como Republica Checa y Dinamarca donde no había datos sobre la capacidad instalada, en este caso si hay habitantes que se benefician de las redes de calefacción urbana existentes en dichos países. Alemania junto con Francia y República Checa son los que proporcionan calefacción a más ciudadanos.

A continuación, se muestra un gráfico con los datos anteriores.

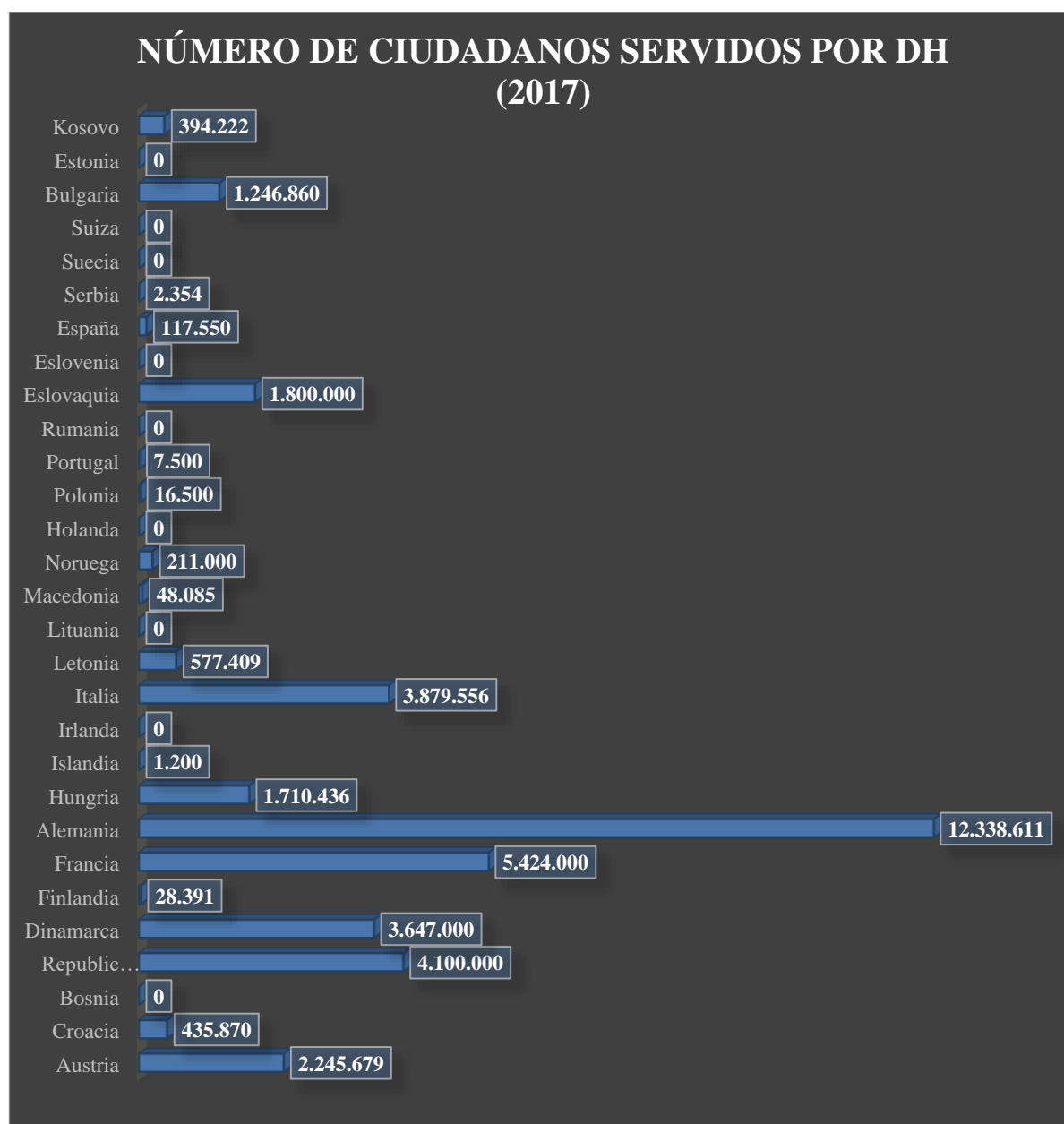


Ilustración 65. Número de Ciudadanos beneficiados por redes de calefacción urbana.

6.3 Longitud de las redes de calefacción urbana en Europa [99]

En este apartado se obtiene la longitud total de todas las redes de calefacción urbana de cada país europeo. Estos datos han sido recopilados de la página “Euroheat & Power” y son del año 2019.

Países	Longitud de las redes (km)	Países	Longitud de las redes (km)
Austria	5.488	Noruega	1.905
Croacia	436	Holanda	4.000
Bosnia	450	Polonia	21.085
Republica Checa	7.517	Portugal	24
Dinamarca	30.800	Rumania	8.974
Finlandia	0	Eslovaquia	2.803
Francia	5.397	Eslovenia	893
Alemania	21.610	España	594
Hungría	1.960	Serbia	0
Islandia	0	Suecia	23.667
Irlanda	0	Suiza	1.468
Italia	4.377	Bulgaria	308
Letonia	1.700	Estonia	0
Lituania	2.592	Macedonia	194

Tabla 26. Longitud de las redes de calefacción urbana de cada país.

Al igual que en las tablas anteriores, los datos que marcan como valor cero son los que no se encuentran datos, debido a que hay datos de capacidad instalada y ciudadanos beneficiados por las redes.

Se observa como Dinamarca presenta las redes con mayor longitud, seguido de Suecia y Alemania.

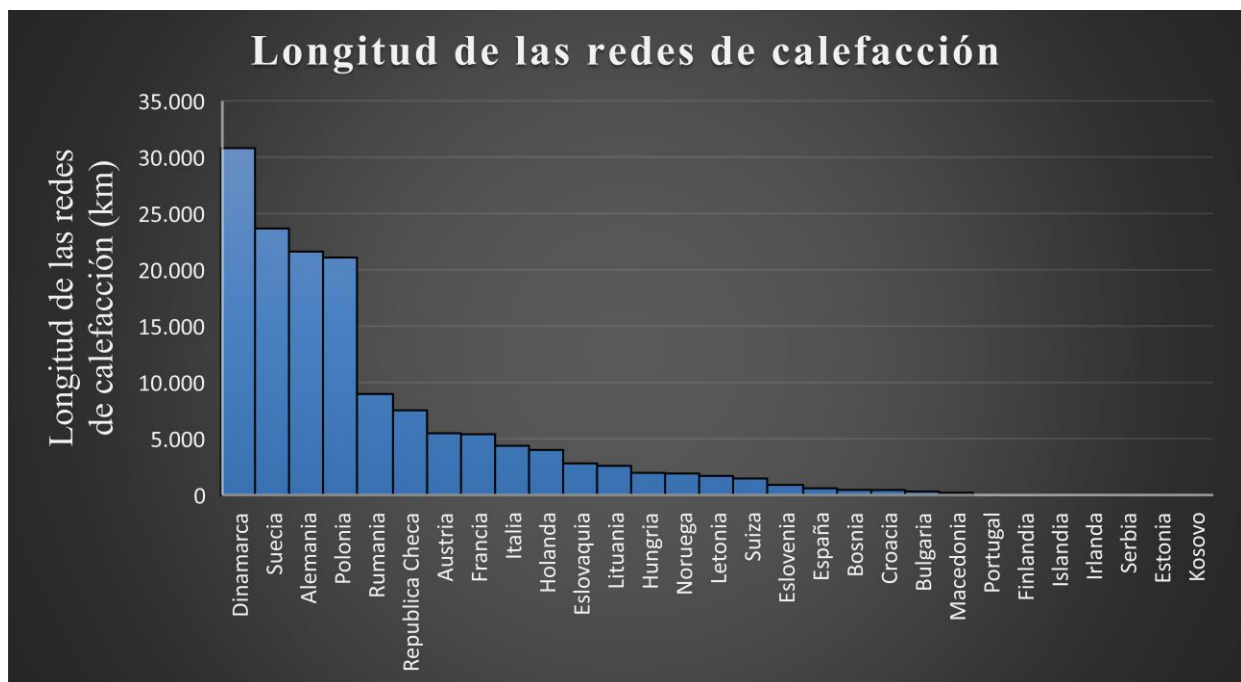


Ilustración 66. Longitud total de las redes de calefacción urbana por país.

6.4 Número de viviendas beneficiadas por las redes de calefacción [101]

Los datos que se muestran a continuación son los hogares de cada país que se benefician de las redes de calefacción urbana. Se puede observar que aparecen más países con respecto al apartado anterior, debido a que las fuentes son distintas. Los datos han sido obtenidos de la página *“Heat Road Map Europe”* y son del 2015.

Países	Hogares beneficiados por redes de calefacción urbana	Países	Hogares beneficiados por redes de calefacción urbana
Austria	1.000	Letonia	318
Bélgica	67	Lituania	628
Bulgaria	377	Luxemburgo	0
Croacia	75	Malta	0
Chipre	0	Holanda	1.315
República Checa	1.640	Polonia	5.287
Dinamarca	1.229	Portugal	39
Estonia	190	Rumanía	798
Finlandia	1.174	Eslovaquia	597
Francia	2.001	Eslovenia	119
Alemania	8.373	España	0
Grecia	557	Suecia	2.737
Hungría	557	Italia	1.683

Tabla 27. Hogares beneficiados por redes de calefacción urbana.

Se puede observar que son datos antiguos, debido a que en España indican que hay cero hogares beneficiados por las redes, y se puede verificar según apartados anteriores de este trabajo, que hay redes actualmente en Barcelona que se encuentran en funcionamiento.

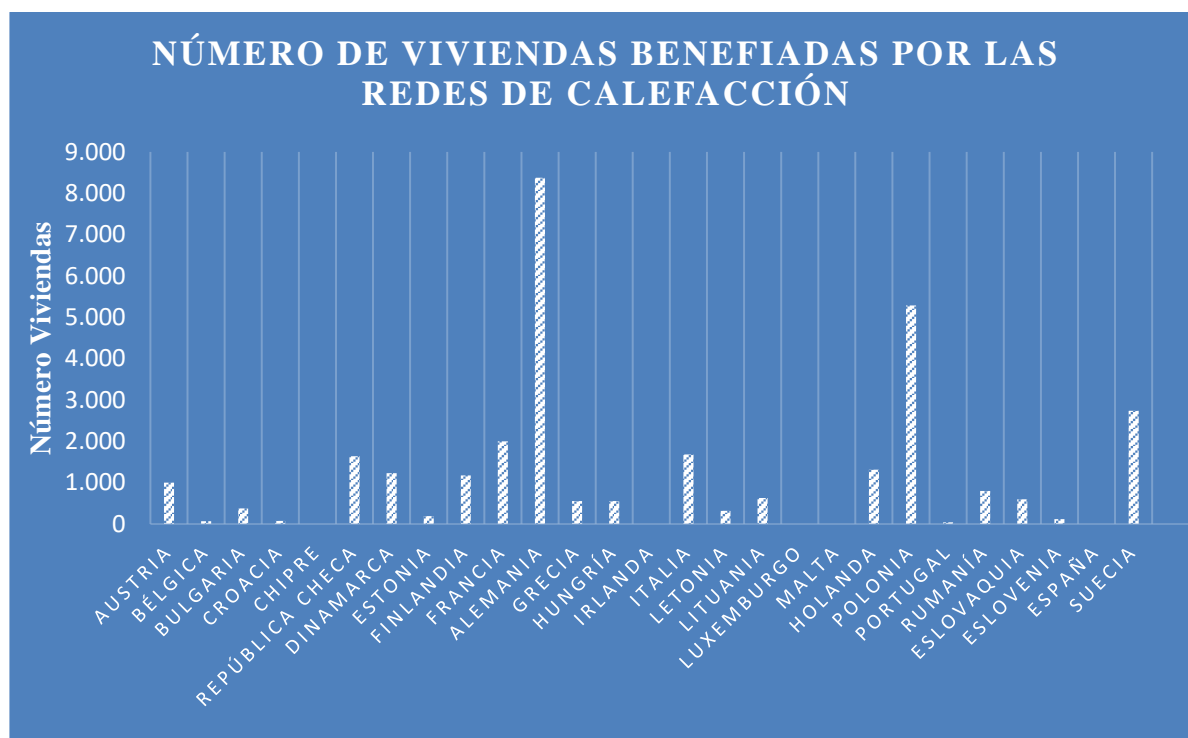


Ilustración 67. Número de hogares beneficiados por redes de calefacción urbana.

6.5 Energía final consumida en Calefacción y Refrigeración [102]

Se ha realizado la búsqueda sobre datos de la energía final consumida en el ámbito de calefacción y refrigeración en Europa, no se refiere a energía final de las redes de calefacción, si no en consumo global. Los datos son los más actuales posibles y se han escogido tres años para tener una comparativa con respecto a años anteriores. La siguiente tabla y gráficos se han construido a partir de los datos recopilados de la página “Eurostat”. Las unidades presentadas en la siguiente tabla y gráfico son en TWh.

Países	2018	2019	2020	Países	2018	2019	2020	Países	2018	2019	2020
Bélgica	217,8	212,5	205,2	Chipre	5,7	6,1	6,2	Eslovaquia	70,5	72,5	68,7
Bulgaria	47,2	46,1	47,7	Letonia	28,6	27,5	26,6	Finlandia	167,4	164,8	155,2
Republica Checa	163,9	161,6	162,2	Lituania	30,4	29,3	27,6	Suecia	176,9	178,2	182,9
Dinamarca	87,4	85,1	84,0	Luxemburgo	12,8	12,9	12,8	Islandia	14,1	13,7	13,0
Alemania	1.273,7	1.270,8	1.244,1	Hungría	119,5	116,3	118,9	Noruega	55,2	55,2	54,9
Estonia	18,1	17,6	17,2	Malta	0,9	1,0	1,1	Montenegro	2,7	2,7	2,7
Grecia	58,5	58,9	58,5	Holanda	308,7	299,5	291,6	Serbia	50,6	48,6	51,9
España	347,0	343,3	328,6	Austria	155,2	159,0	155,7	Albania	9,1	8,0	8,1
Francia	718,6	708,5	675,4	Polonia	476,0	455,1	446,8	Macedonia	7,1	7,5	7,6
Croacia	37,7	37,2	37,7	Portugal	72,3	73,2	71,8	Kosovo	7,7	8,0	7,7
Irlanda	56,4	55,3	57,1	Rumania	158,7	158,0	158,6	Moldavia	20,0	18,3	18,3
Italia	643,8	627,8	605,0	Eslovenia	21,7	21,2	20,9	Ucrania	399,6	367,4	359,6

Tabla 28. Energía final consumida en el ámbito de calefacción y refrigeración.

Observando la tabla se puede llegar a la conclusión de que se ha consumido aproximadamente lo mismo en todos los países. La mayoría se mantiene en el mismo consumo de energía final en los tres años seleccionados.

A continuación, se muestra un gráfico de la tabla anterior:

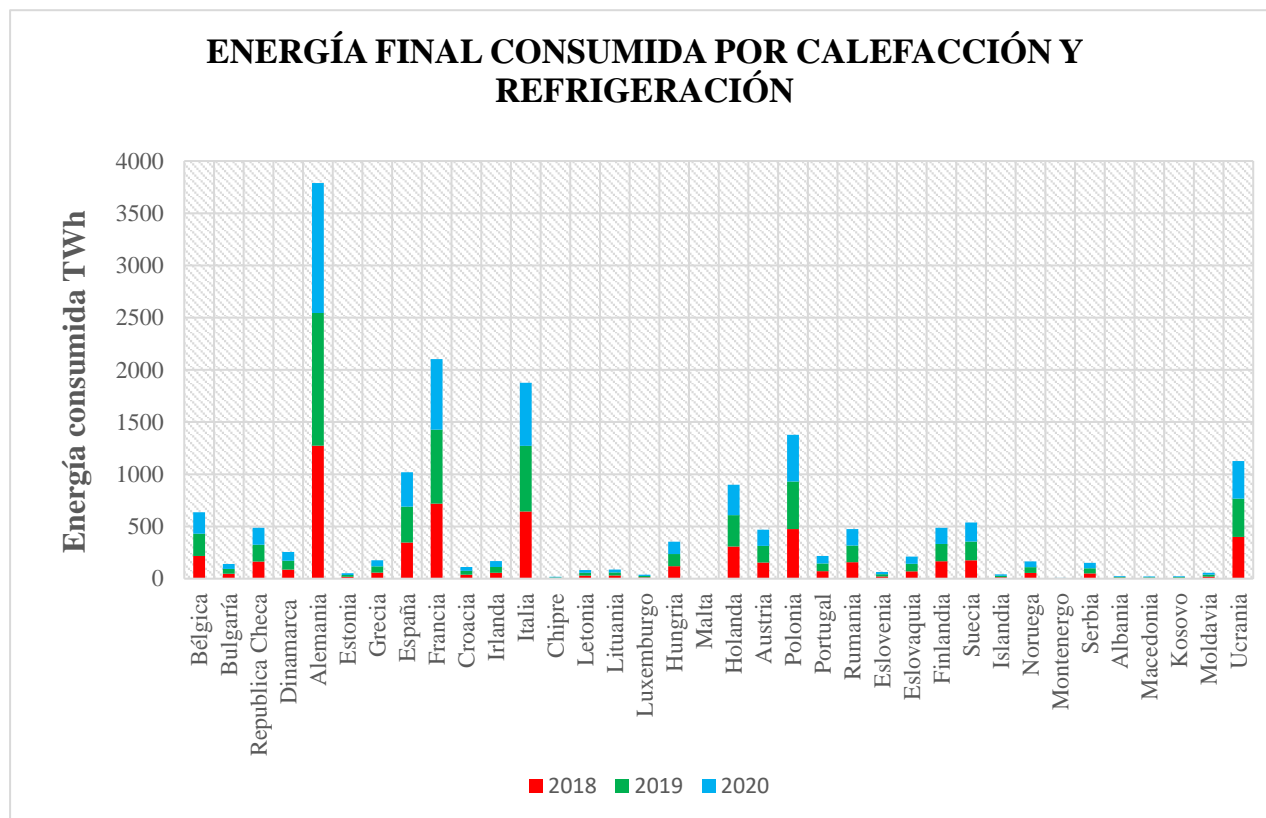


Ilustración 68. Energía final consumida por calefacción y refrigeración.

Este apartado se puede complementar con el siguiente, debido a que se muestra el consumo final de energía procedente de las fuentes renovables, para calefacción y refrigeración.

6.6 Energía final consumida en Calefacción y Refrigeración procedente de Fuentes Renovables [102]

La recopilación de estos datos procede de la misma base de datos del apartado anterior, se trata de la energía final consumida en el ámbito de la calefacción y refrigeración, pero esta vez procedente de recursos renovables. La siguiente tabla y gráficos se han construido a partir de los datos recopilados de la página “Eurostat”. Las unidades presentadas en la siguiente tabla y gráfico son en TWh.

Países	2018	2019	2020	Países	2018	2019	2020	Países	2018	2019	2020
Bélgica	18,1	17,7	17,3	Chipre	2,1	2,1	2,3	Eslovaquia	7,5	14,3	13,3
Bulgaria	15,7	16,3	17,7	Letonia	15,8	15,9	15,2	Finlandia	91,9	93,8	89,4
Republica Checa	33,8	36,6	38,2	Lituania	14,0	13,9	13,9	Suecia	112,0	114,8	121,4
Dinamarca	39,3	40,3	42,9	Luxemburgo	1,1	1,1	1,6	Islandia	11,2	11,1	10,4
Alemania	181,1	184,3	184,2	Hungría	21,7	21,1	21,1	Noruega	18,3	19,5	19,8
Estonia	9,7	9,2	10,1	Malta	0,2	0,2	0,3	Montenegro	1,8	1,7	1,7
Grecia	17,6	17,7	18,7	Holanda	19,0	21,6	23,5	Serbia	12,3	12,9	18,5
España	56,0	59,1	59,0	Austria	53,0	53,9	54,5	Albania	2,0	2,0	2,0
Francia	152,5	158,4	157,8	Polonia	102,2	100,1	98,9	Macedonia	2,3	2,4	2,6
Croacia	13,8	13,7	13,9	Portugal	29,6	30,5	29,8	Kosovo	4,4	4,4	4,3
Irlanda	3,6	3,5	3,6	Rumania	40,4	40,7	40,2	Moldavia	9,0	7,4	7,5
Italia	124,1	123,7	120,7	Eslovenia	7,0	6,8	6,7	Ucrania	31,8	33,2	33,4

Tabla 29. Energía final consumida procedente de fuentes renovables (TWh).

Se puede observar cómo los consumos finales de energía procedentes de fuentes de renovables son aproximadamente similares en los tres últimos años. Los países más consumidores de energía final son Alemania (184,2 TWh), Francia (157,8 TWh), Italia (120,7 TWh) y Suecia (121,4 TWh). España se encuentra con un consumo de energía final procedente de recursos renovables en torno a 59 TWh, similar a Austria (54,5 TWh).

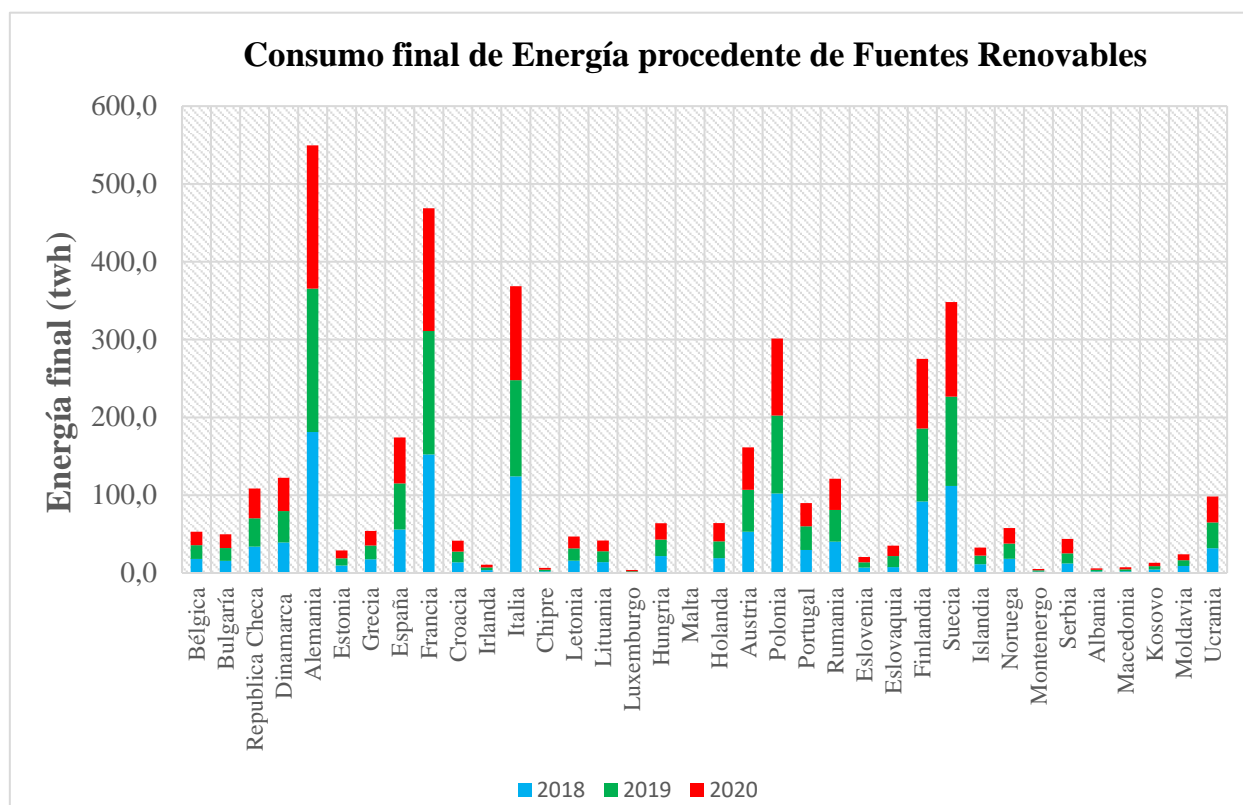


Ilustración 69. Consumo Final de energía procedente de fuentes renovables.

6.7 Capacidad Instalada de Recursos Renovables en Europa [103]

Es fundamental la búsqueda de datos sobre recursos renovables a la hora de poder integrarlos en las redes de calefacción urbana, por ello se ha buscado la capacidad instalada de fuentes renovables en cada país de Europa.

Los datos son del año 2021 y se han obtenido de la página **IRENA**, “*La Agencia Internacional de Energías Renovables*”. La capacidad instalada esta expresada en megavatios (MW).

Países	Energía Hidroeléctrica	Biomasa	Eólica Onshore	Eólica Offshore	Geotermia	Solar	biogás	Residuos
Austria	14546	1251	3524	0	1	2692	165	1086
Bélgica	1417	931	2518	2262	0	6585	199	709
Croacia	2202	145	988	0	10	109	55	90
Bosnia	2206	3	135	0	0	53	2	1
Republica Checa	2283	846	339	0	0	2119	366	480
Dinamarca	7	1778	4708	2306	0	1540	119	1659
Finlandia	3178	2790	3184	73	0	404	116	2674
Francia	25712	1939	18674	2	16	14718	563	1362
Alemania	10653	10449	56013	7747	40	58461	7611	2607
Hungría	58	509	321	0	3	2131	85	424
Irlanda	529	107	4307	25	0	136	1379	48
Italia	22712	3439	11276	0	802	22698	1379	1128
Letonia	1596	171	81	0	0	8	60	111

Lituania	886	131	671	0	0	338	37	94
Países	Energía Hidroeléctrica	Biomasa	Eólica Onshore	Eólica Offshore	Geotermia	Solar	biogás	Residuos
Macedonia	822	10	37	0	0	94	8	2
Noruega	34813	81	4644	0	0	225	7	74
Holanda	37	865	5341	2460	0	14249	215	650
Polonia	2384	1045	6958	6	0	6257	261	784
Portugal	7241	741	5223	25	29	1801	75	666
Rumania	6655	164	3013	0	0	1398	30	135
Eslovaquia	2529	225	3	0	0	535	82	143
Eslovenia	1358	59	2	0	0	367	30	27
España	20116	1278	27492	5	0	15952	269	1003
Serbia	3097	31	398	0	0	52	29	2
Suecia	16406	4462	11877	203	0	1577	2	3565
Suiza	15594	245	87	0	0	3449	34	211
Bulgaria	3376	48	705	0	0	1186	33	15
Estonia	9	249	317	0	0	414	11	238

Tabla 30. Capacidad Instalada de Recursos Renovables (MW).

Resaltar de la tabla anterior la poca capacidad instalada de energía geotérmica, siendo el país con mayor capacidad instalada Italia. Y resaltar lo mismo con la energía eólica offshore que se presenta en países como Alemania, Holanda, Bélgica, Dinamarca y en menor cantidad Suecia. La energía predominante es la energía hidroeléctrica seguida de Biomasa.

A continuación, se mostrará un gráfico para visualizar mejor los datos anteriores:

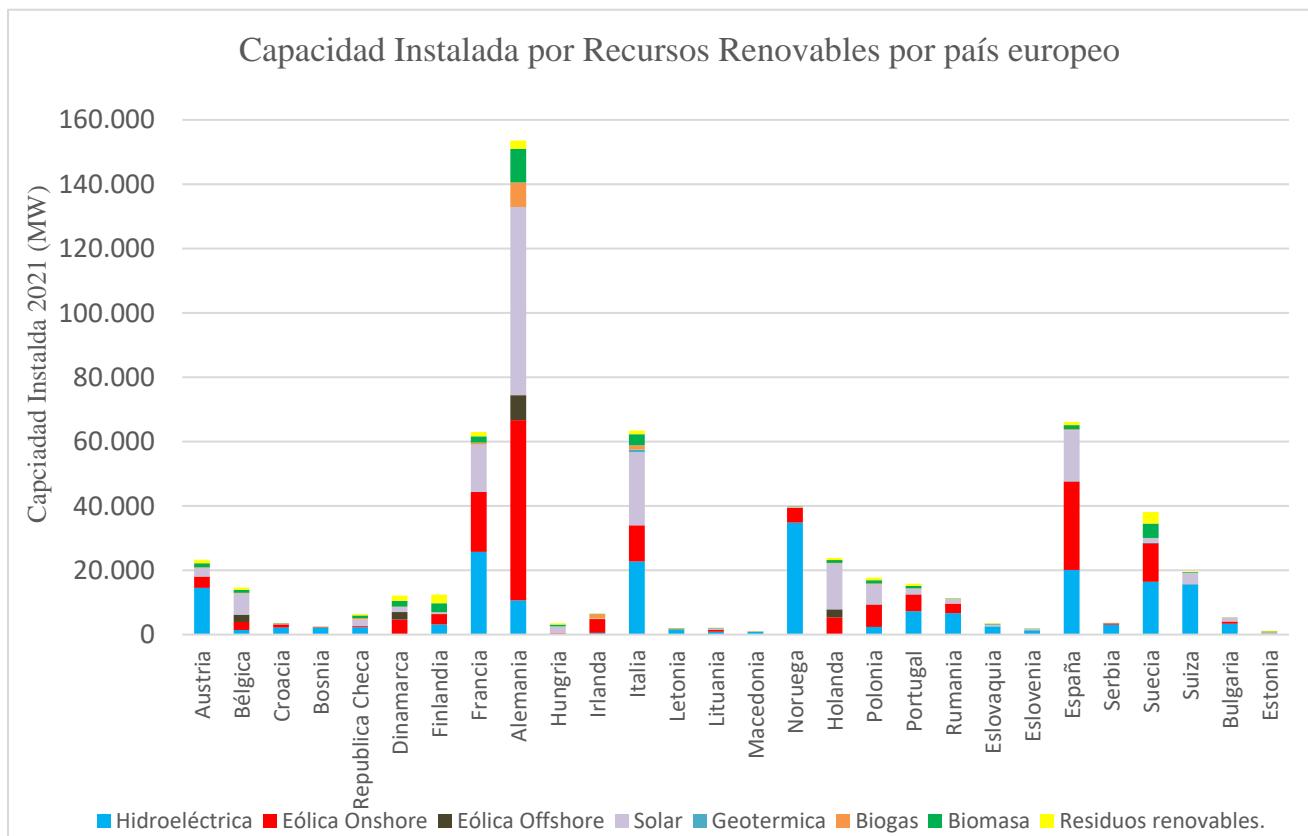


Ilustración 70. Capacidad Instalada por recursos renovables 2021 (MW).

6.8 Generación de Energía Eléctrica procedente de Recursos Renovables [104]

Partiendo del apartado anterior se ha recopilado datos sobre la generación de energía eléctrica de los recursos renovables anteriores, siendo estos datos del 2021. Los datos que se han recopilado proceden de la página alemana, “*Energy-Charts*”, y están expresados en TWh.

Países	Energía Hidroeléctrica	Biomasa	Eólica Onshore	Eólica Offshore	Geotermia	Solar	biogás	Residuos
Austria	31,4	1,4	7	0	0	0,8	0	0,9
Bélgica	0,2	2,2	4	6,8	0	4,5	0	2
Croacia	6,2	0,6	2,1	0	0,1	0,1	0,4	0
Bosnia	5,3	0	0,3	0	0	0	0	0
Republica Checa	2,4	2,5	0,6	0	0	2,1	2,3	0,2
Dinamarca	0	4,9	8,8	7,2	0	1,4	0	1,4
Finlandia	14,3	6,5	7,9	0	0	0	0	0,2
Francia	55,9	3,1	35,2	0	0	13,2	0	1,7
Alemania	19,7	43,5	89,5	24	0	48,4	0	0
Hungría	0,2	1,1	0,6	0	0	2,4	0,1	0,1
Irlanda	0,7	0	9,5	0	0	0	0	0
Italia	40,5	6,1	20,8	0	5,5	19,3	0	0,3
Letonia	2,6	0,5	0,1	0	0	0	0	0
Lituania	0,3	0,4	1,3	0	0	0,1	0	0,1
Países	Energía Hidroeléctrica	Biomasa	Eólica Onshore	Eólica Offshore	Geotermia	Solar	biogás	Residuos
Macedonia	1,7	0	0,1	0	0	0	0	1,7
Noruega	135,2	0	10,7	0	0	0	0,3	135,2
Holanda	0	0,2	4,7	7,9	0	0,3	0	0
Polonia	1,7	1,9	15,3	0	0	4,4	0	1,7
Portugal	9,7	3,3	12,9	0,1	0	1,7	0	9,7
Rumania	17	0,6	6,4	0	0	1,2	0	17
Eslovaquia	4,1	0,9	0	0	0	0,5	0,5	4,1
Eslovenia	4,5	0,1	0	0	0	0,3	0	4,5
España	32,3	4,2	59,1	0	0	24,4	0,9	32,3
Serbia	11	0,3	0	0	0	0	0	11
Suecia	73,3	0	26,8	0	0	0	0	73,3
Suiza	34,8	0	0,1	0	0	2,7	0	34,8
Bulgaria	4,8	0,2	1,4	0	0	1,4	0	4,8
Estonia	0	0,5	0,8	0	0	0,3	0	0

Tabla 31. Generación de Energía Eléctrica procedente de Recursos Renovables 2021 (TWh).

Resaltar de la tabla que los datos de la generación eléctrica corresponden con la capacidad instalada del apartado anterior, se puede ver como en energía geotérmica solo generan Italia y Croacia. Con respecto a la energía eólica offshore el país que más genera es Alemania seguido de Holanda, Dinamarca, Bélgica y muy poco Portugal. la poca capacidad instalada de energía geotérmica, siendo el país con mayor capacidad instalada Italia.

Se puede observar como la fuente que más energía eléctrica genera son la Hidroeléctrica y la Eólica Onshore. A continuación, se mostrará un gráfico para visualizar mejor los datos anteriores:

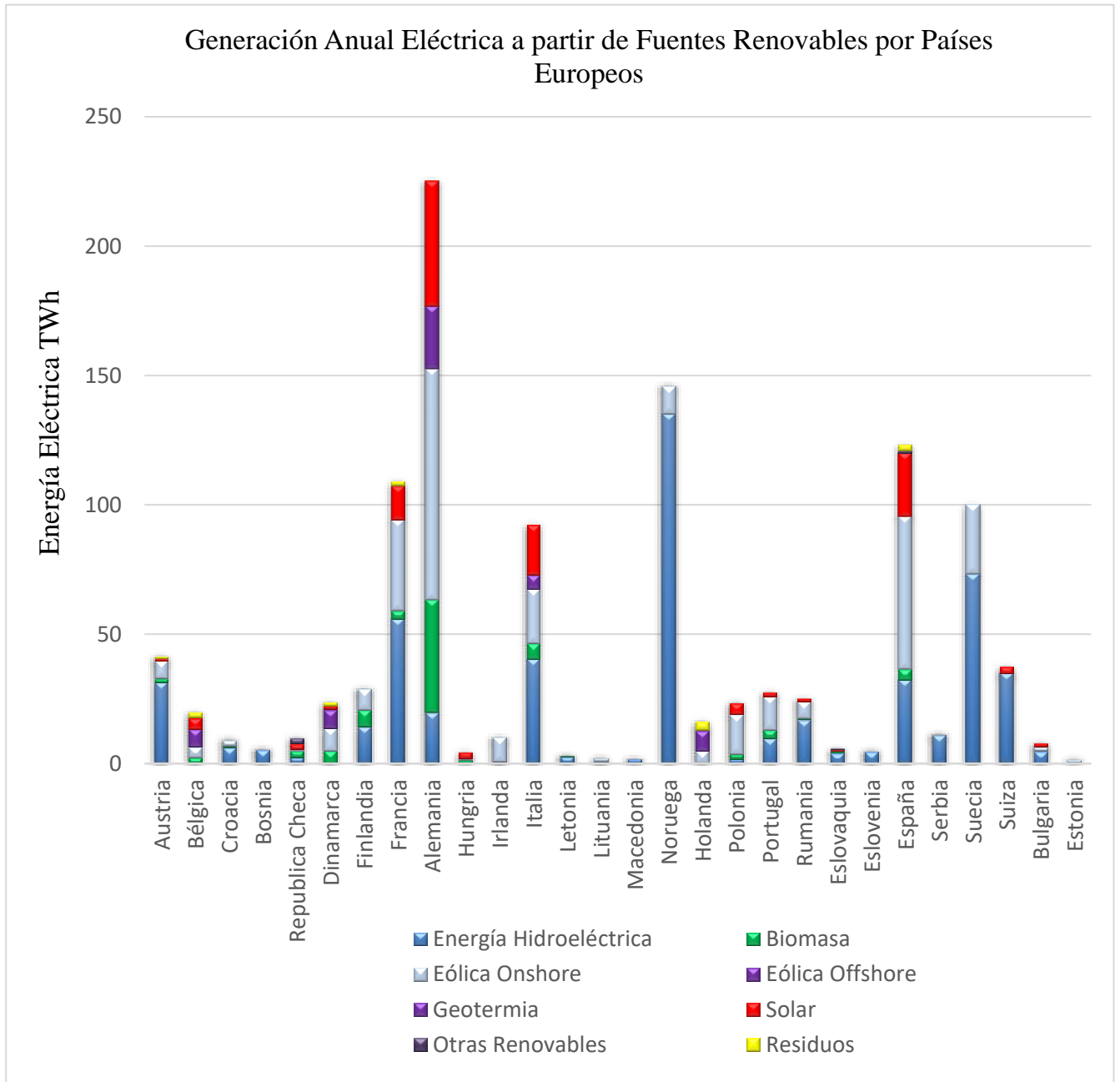


Ilustración 71. Generación Energía Eléctrica por Recursos Renovables 2021 TWh.

6.9 Generación de Energía Eléctrica procedente de cada tipo de recurso [104]

Para complementar el apartado anterior y observar del total de la energía eléctrica generada por país proviene de recursos fósiles, recursos renovables y energía nuclear, de la misma página del apartado anterior **“Energy-Charts”**, se ha obtenido un gráfico mostrando el porcentaje de la generación total por país de cada tipo de recurso.

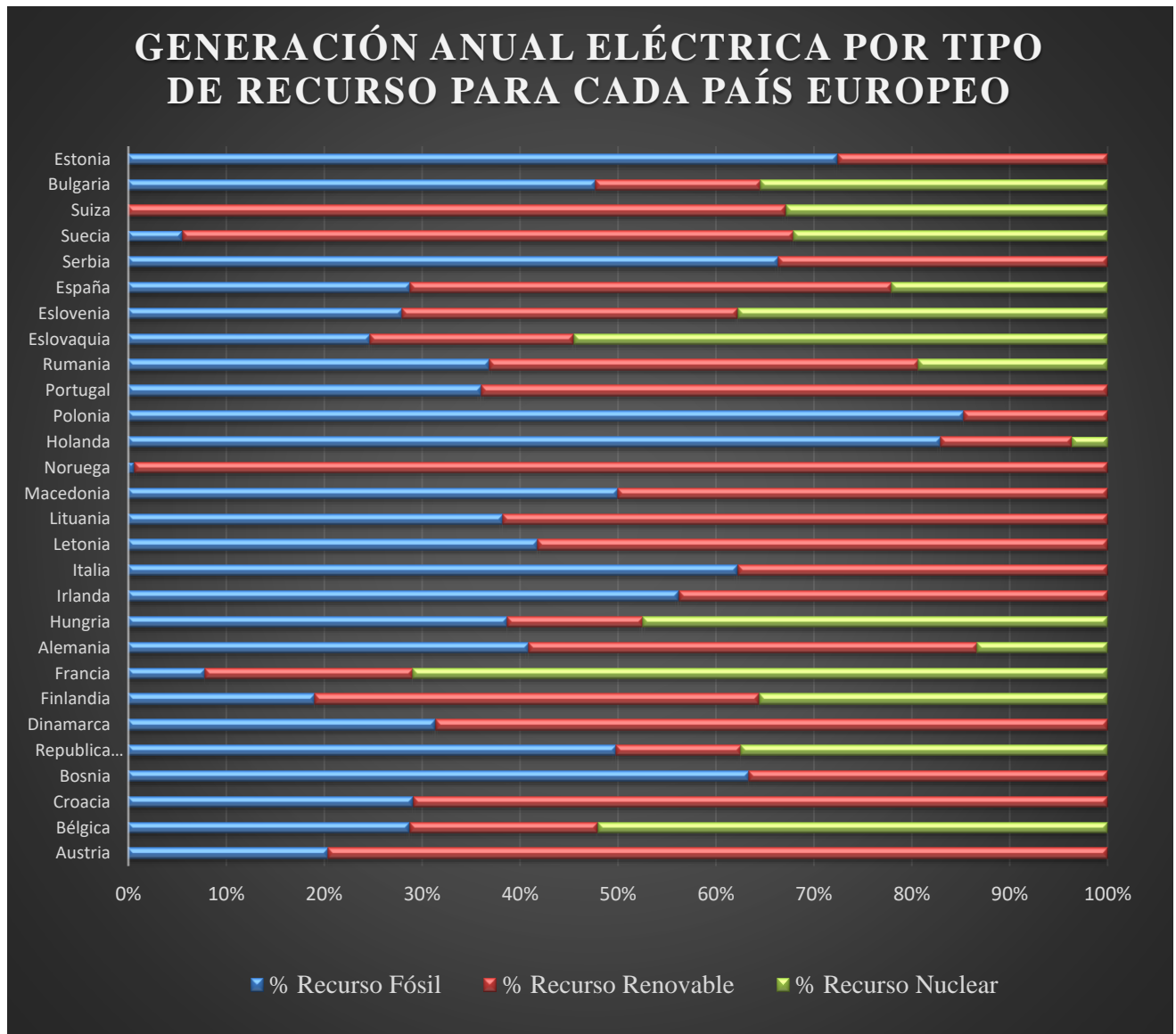


Ilustración 72. Generación de la Energía Eléctrica por tipo de Recurso 2021.

Se puede observar cómo en países como Estonia, Polonia, Holanda y Bosnia domina el recurso fósil, en cambio en países como Bélgica, Francia y Eslovaquia domina la energía Nuclear, y con respecto al recurso renovable países como Noruega, Austria y Suiza domina fuertemente este recurso.

6.10 Proporción de energía de los recursos finales para calefacción por país [100]

Realizando la búsqueda sobre datos relacionados con la calefacción urbana, se ha encontrado datos relacionados con la proporción de energía de cada tipo de recurso final que se utiliza para la calefacción y refrigeración, en este caso se han encontrado datos del año 2015 que pueden servir para tener una idea de en qué países actúan mayormente las redes de calefacción urbana para satisfacer calefacción. Los datos encontrados provienen de la fuente *“HeatRoadMapEurope”*, datos del 2015.

En el siguiente gráfico se muestra en porcentaje como actúa cada recurso final para satisfacer la calefacción.

Proporción por tipo de recurso final para proporcionar calefacción y refrigeración 2015.

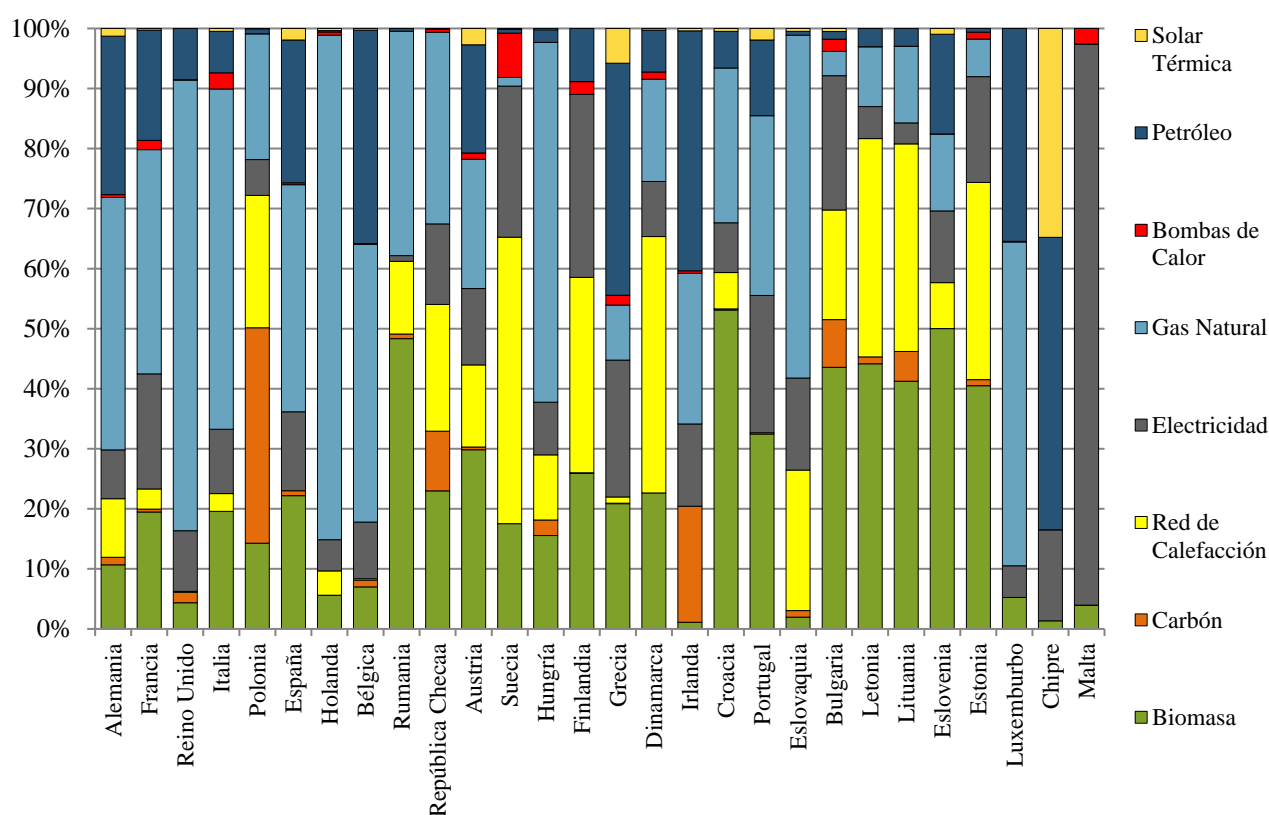


Ilustración 73. Proporción de calefacción urbana aportada por cada tipo de recurso.

Observando el gráfico se ve como hay muchos países que presentan un porcentaje superior al 20% para el suministro de calefacción a partir de biomasa, y varios países que aprovechan el recurso de red de calefacción urbana para satisfacer la calefacción como son Suecia, Dinamarca, Letonia y Lituania.

6.11 Previsión de la capacidad instalada por tipo de recurso renovable para 2050 [105]

Debido a que para el futuro es necesario obtener emisiones CO2 neutras, se ha realizado la búsqueda de la previsión futura de la capacidad instalada por cada tipo de recurso renovable para 2050, y se ha obtenido la capacidad instalada eólica onshore y offshore, energía geotérmica, energía fotovoltaica y energía hidroeléctrica. Los datos son procedentes de la página *“European Commission – JRC”*.

A continuación, se muestra la tabla con los datos de la capacidad instalada en GWe:

País	Eólica Onshore	Eólica Offshore	Geotermia	Fotovoltaica	Hidroeléctricas
Austria	7,17	0,00	0,00	21,00	13,30
Bélgica	2,29	3,86	0,00	28,00	0,10
Croacia	1,30	0,00	0,00	11,00	2,20
Bosnia	2,00	0,00	0,00	0*	0*
Republica Checa	5,12	0,00	0,90	27,00	1,40
Dinamarca	4,10	5,38	0,00	14,00	0,00
Finlandia	2,64	4,00	0,00	14,00	4,10
Francia	49,45	0,50	0,00	160,00	28,10
Alemania	55,88	20,73	0,00	209,00	4,30
Hungría	1,72	0,00	0,08	26,00	0,10
Islandia	0,00	0,00	-	1,00	6,20
Irlanda	6,90	1,11	0,00	11,00	0,40
Italia	23,00	0,00	0,00	154,00	18,30
País	Eólica Onshore	Eólica Offshore	Geotermia	Fotovoltaica	Hidroeléctricas
Letonia	0,65	0,15	0,00	6,00	1,80
Lituania	1,37	0,60	0,00	8,00	0,20
Macedonia	2,20	0,00	0,00	0*	0*
Noruega	14,31	7,30	*0	12,00	45,40
Holanda	5,17	72,81	0,00	42,00	0,00
Polonia	9,03	0,12	0,46	97,00	3,80
Portugal	9,45	3,38	0,05	27,00	12,40
Rumania	3,70	1,10	0,00	55,00	16,30
Eslovaquia	1,15	0,00	0,01	14,00	2,50
Eslovenia	0,86	0,00	0,00	5,00	1,90
España	44,20	14,28	1,40	117,00	34,20
Serbia	2,31	*0	0,00	0*	0*
Suecia	13,59	11,00	0,00	24,00	32,50
Suiza	1,10	0,00	0,00	20,00	12,80
Bulgaria	3,45	0,00	0,00	19,00	6,40
Estonia	0,92	0,90	0,00	3,00	0,00

Tabla 32. Previsión de la Capacidad Instalada por Recursos Renovables.

Podemos observar que estos datos pueden no ser fiables de cara a 2050, ya que por ejemplo en Italia actualmente la capacidad instalada de energía geotérmica es de 820 MW y para 2050 es de 0 GWe. La energía fotovoltaica y la energía eólica serán potenciales por capacidad instalada en 2050.

A continuación, se muestra un gráfico, para observar de mejor forma los datos expresados en la tabla anterior:

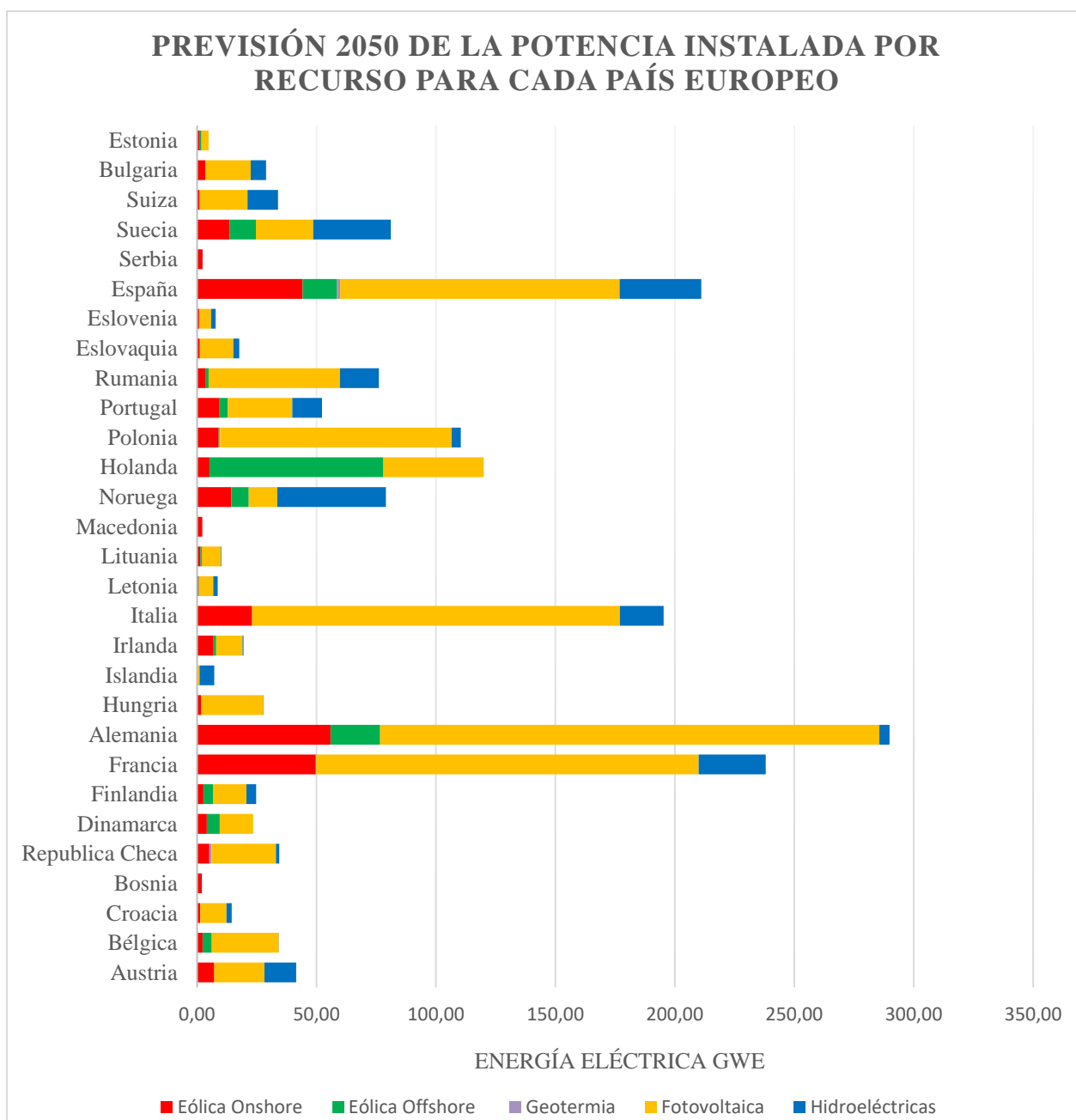


Ilustración 74. Previsión de la Capacidad Instalada por Recursos Renovables en 2050.

Partiendo del gráfico anterior, se observa como habrá mayor potencia instalada de energía fotovoltaica y ya en menor medida la energía hidroeléctrica y la energía eólica onshore. En Alemania, Francia, España, Italia y Polonia son los países que mayor capacidad de fotovoltaica tendrán instalada. Resaltar como Holanda será uno de los países con mayor capacidad instalada en energía eólica offshore.

6.12 Previsión de las redes de calefacción urbana para 2050 [106]

Finalmente, para terminar este apartado de búsqueda de datos, se ha realizado la recopilación de datos de previsiones futuras para 2050 con respecto a las redes de calefacción urbana. No se han conseguido datos, pero si se han conseguido gráficos de previsiones futuras.

Los gráficos se han obtenido de la página “Heat Roadmap Europe”, en el cual se han elaborado distintos escenarios por los cuales han obtenido los siguientes gráficos para una estrategia de descarbonización ambiciosa.

Este primer gráfico muestra la cantidad en porcentaje que satisface la demanda de calefacción los sistemas de calefacción urbana y el intervalo y el mínimo recomendado para que en 2050 sea económicamente viable, reduciendo la demanda de energía primaria y las emisiones de CO2.

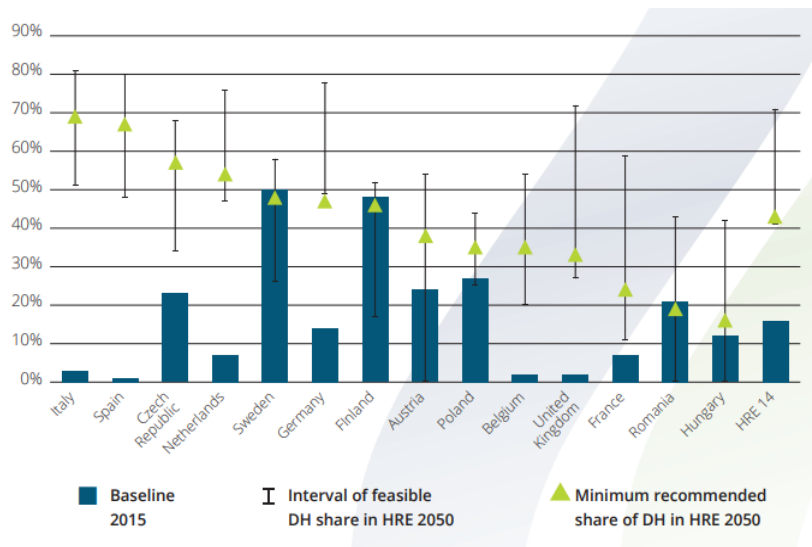


Ilustración 75. Porcentaje que deben satisfacer las redes de calefacción urbana para reducir la energía primaria y las emisiones de CO2 para un futuro descarbonizado.

En este segundo gráfico, se muestra como estarán alimentadas las redes de calefacción urbanas con previsión a 2050. Principalmente estarán abastecidas por las plantas de cogeneración, bombas de calor y un poco de calor residual.

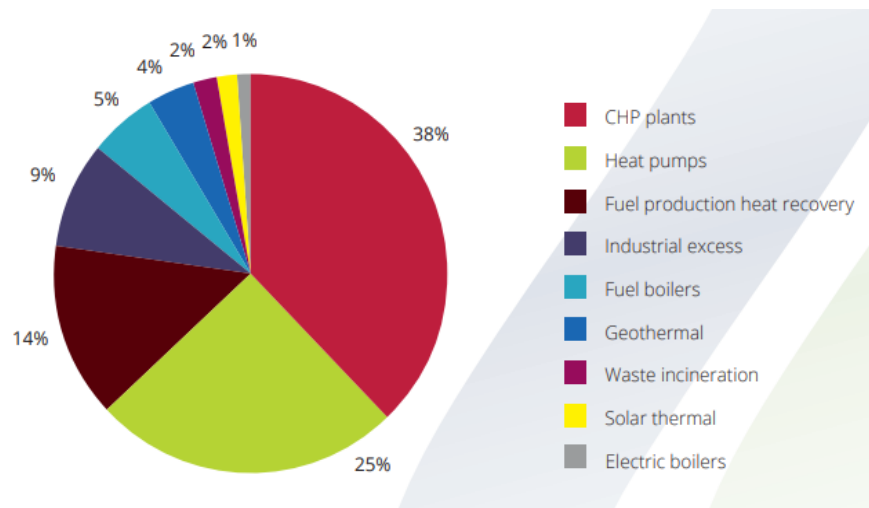


Ilustración 76. Recursos productores de energía para las redes de calefacción urbanas de cara a 2050.

Por último, este gráfico presenta el suministro de energía primaria según el tipo de recurso de cara a 2050. Hay tres escenarios, en los cuales su estrategia es la descarbonización (BL: JRC-EU-TIMES modelo de evaluación de tecnologías energéticas a largo plazo; CD: Descarbonizado Convencionalmente, se fomentan las energías renovables; HRE: sistema de calefacción y refrigeración considerando la rentabilidad diferentes tipos de eficiencia energética y exceso de calor).

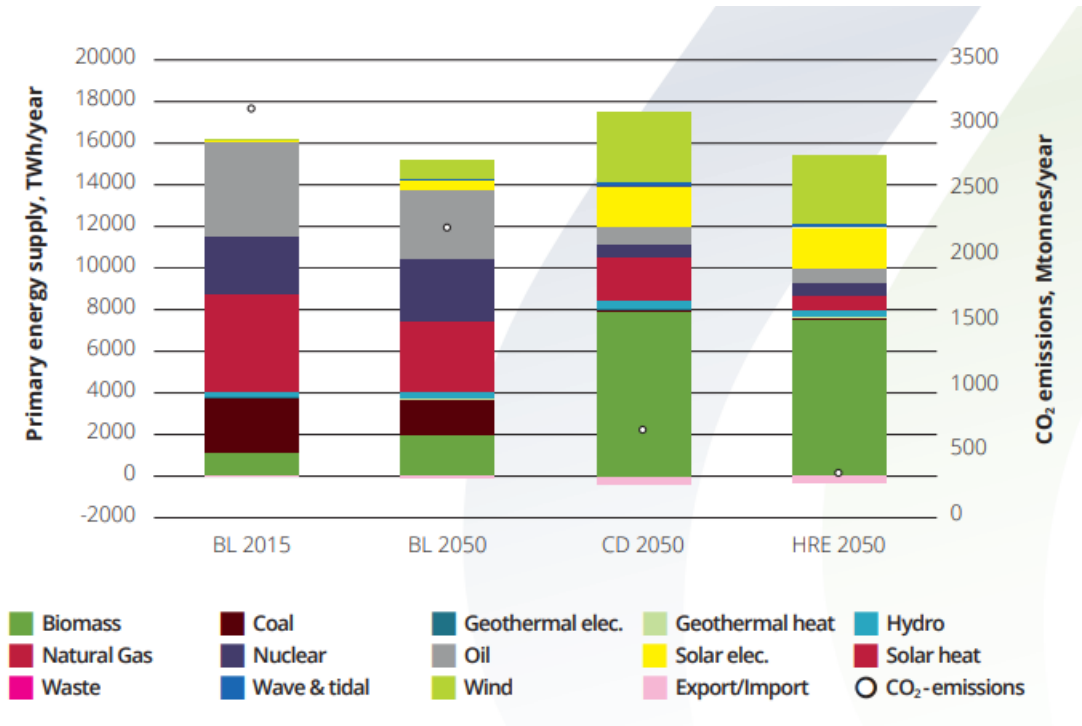


Ilustración 77. Suministro de Energía Primaria según el tipo de recursos para 2050.

Observando el gráfico, la primera columna muestra como en 2015 la energía primaria era principalmente recursos fósiles como Gas Natural, carbón y petróleo. Las previsiones futuras muestran como en el escenario BL (Centro Común de investigación de la Unión Europea) seguirá el uso de los recursos fósiles, pero en menor medida. En cambio, los otros dos escenarios son muy optimistas de cara a los recursos renovables, tanto que los recursos fósiles reducirán mucho con respecto al año 2015. En estos dos escenarios tendrá gran importancia la biomasa, la fotovoltaica y la eólica.

También, se muestra como las emisiones de CO2 (Punto blanco en el gráfico) irán disminuyendo según el escenario, cuanto menor sea el uso de recursos fósiles, menor serán las emisiones de CO2.

6.13 Exceso de calor residual de las líneas de metros existentes [107]

Realizando la búsqueda de los datos de subapartados anteriores, se encontró en la página de “Heat Road Map Europe” un mapa de Europa, en el cual se puede apreciar todas las estaciones existentes hasta la fecha de 2015, ya que son datos de ese año. Este mapa puede ser interesante a la hora de realizar estudios en los que se pueda aprovechar el calor residual de las líneas de metros. En la propia página indica que las marcas de mayor tamaño presentan un exceso de calor superior a 13 PJ/año, las marcas medianas entre 12-13 PJ/año y la más pequeñas menor a 12 PJ/año.

A continuación, se muestra el mapa completo de Europa:



Ilustración 78. Exceso de calor de las líneas de metro existentes en Europa.

Se puede observar cómo los mayores excesos de calor se encuentran en las capitales de los países, Madrid (España), Viena (Austria), Varsovia (Polonia) y París (Francia). En Alemania se puede observar cómo en cuatro ciudades distintas hay altos excesos de calor. En ciudades de menor densidad de población hay se encuentran menores excesos de calor de líneas de metro como, Nápoles (Italia), The Hague (Holanda) y Bilbao (España).

6.14 Exceso de calor residual de aguas residuales tratadas [107]

A parte de encontrar datos de excesos de calor residual de líneas de metros existentes, también se han encontrado el mapa de Europa sobre el exceso de calor residual excedentario de las aguas residuales tratadas. Al igual que los datos anteriores, estos son datos del 2015 y sacados de la página “Heat RoadMap Europe”. Al visualizar el mapa en la página web, indican que este calor residual es aprovechable por bombas de calor. En el mapa al ser las indicaciones muy similares, no se pueden apreciar cuales son las de mayor tamaño (superior a 1 PJ/a), mediano tamaño (0,2-1 PJ/a) y menor tamaño (inferior a 0,2 PJ/a).

A continuación, se muestra el mapa con las zonas de exceso de calor residual de las aguas residuales tratadas:

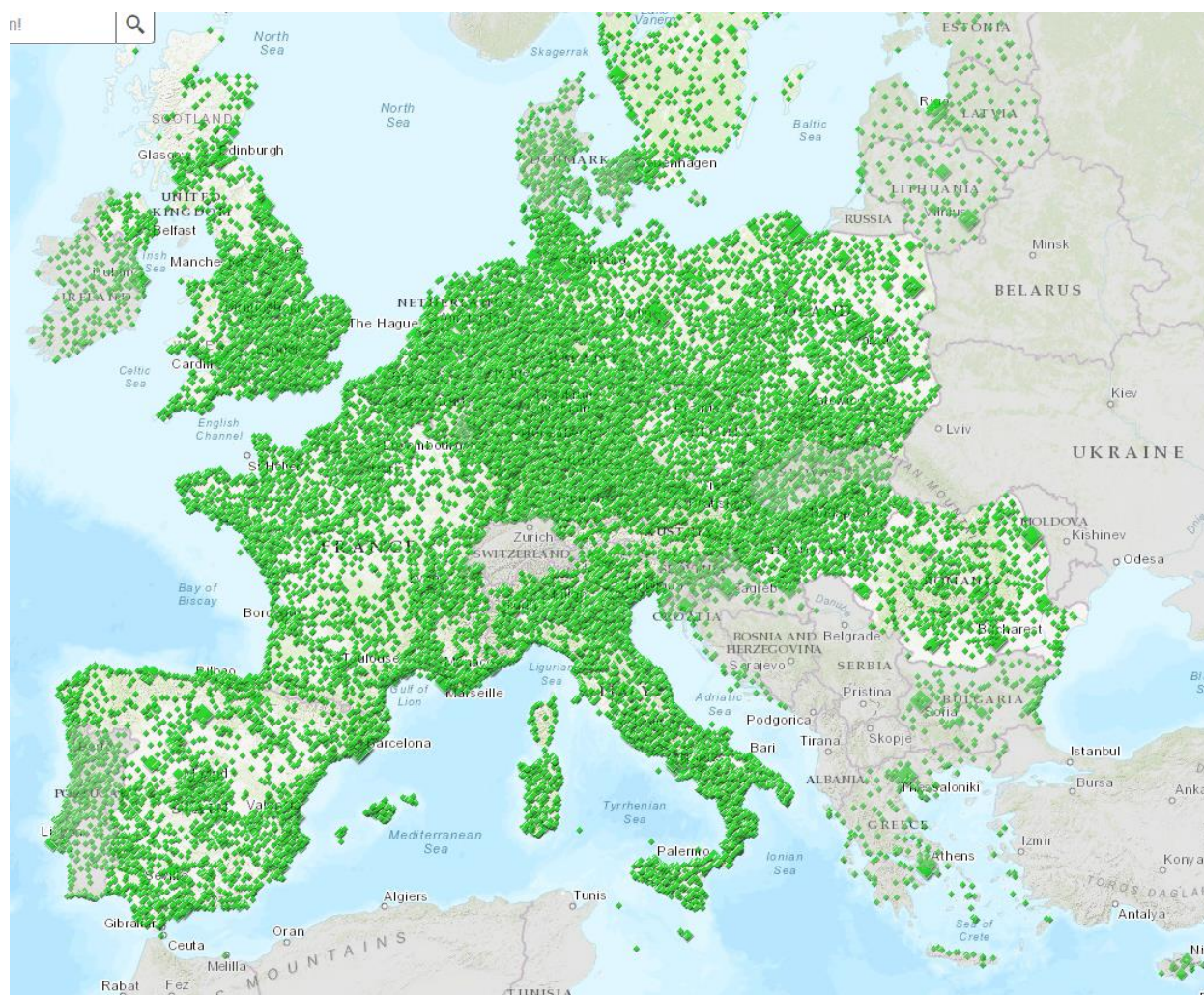


Ilustración 79. Exceso de calor residual de aguas residuales tratadas.

Observando el mapa, se puede ver como las zonas de Bélgica, Alemania y Holanda, presentar mayor densidad de exceso de calor residual. Al igual que en el apartado anterior, pero en menor medida las capitales presentan mayor densidad de exceso de calor residual.

6.15 Localización de recursos biomásicos [107]

La biomasa va a ser potencialmente importante de cara al futuro, sobre todo para las plantas de cogeneración que se presentan como una de las principales plantas de generación térmica de las redes de calefacción urbana. Por ello, se va a mostrar un mapa de Europa donde se muestran las cantidades de energía de biomasa en cada país. Al igual que los subapartados anteriores, estos datos proceden de la página “Heat Road Map Europe” y son datos del 2015. Las zonas más oscuras presentan cantidades que van desde 10PJ a 25 PJ y pueden ser superiores, el tono verde intermedio muestra cantidades que van desde 5PJ a 10 PJ y el tono verde más clarito van desde 2PJ a 5 PJ.

A continuación, se muestra el mapa de Europa con las zonas donde se encuentran los recursos de biomasa:



Ilustración 80. Localización de los recursos biomásicos.

Resaltar en las zonas de Alemania, Bélgica, Holanda y Austria, apenas hay cantidades de biomasa disponibles. Todo lo contrario, en países como Suecia y Finlandia, en los que abunda dicho recurso. En España, Francia, República Checa y Hungría hay cantidades de recurso, pero en menor medida que en los países mencionados.

6.16 Localización de Recursos Geotérmicos [107]

En este subapartado, se va a mostrar el mapa de Europa con las zonas en las cuales puede haber potencial aprovechamiento de recurso geotérmico. Dichos datos se han sacado de la página “Heat Road Map Europe”, estos datos son datos del 2015. En el mapa se podrá observar que hay distintos tonos de colores, representando distintos recursos geotérmicos.

- **Rojo**: Temperatura a 2.000 metros de profundidad mayor a 90°C.
- **Rojo Claro**: Temperatura 1.000 metros de profundidad mayor que 50°C.
- **Verde**: Áreas de recursos geotérmicos hidrotermales.
- **Morado**: Densidad de flujo de calor superior a 90 MW/m².

A continuación, se muestra el mapa de Europa con las zonas de recursos geotérmicos:

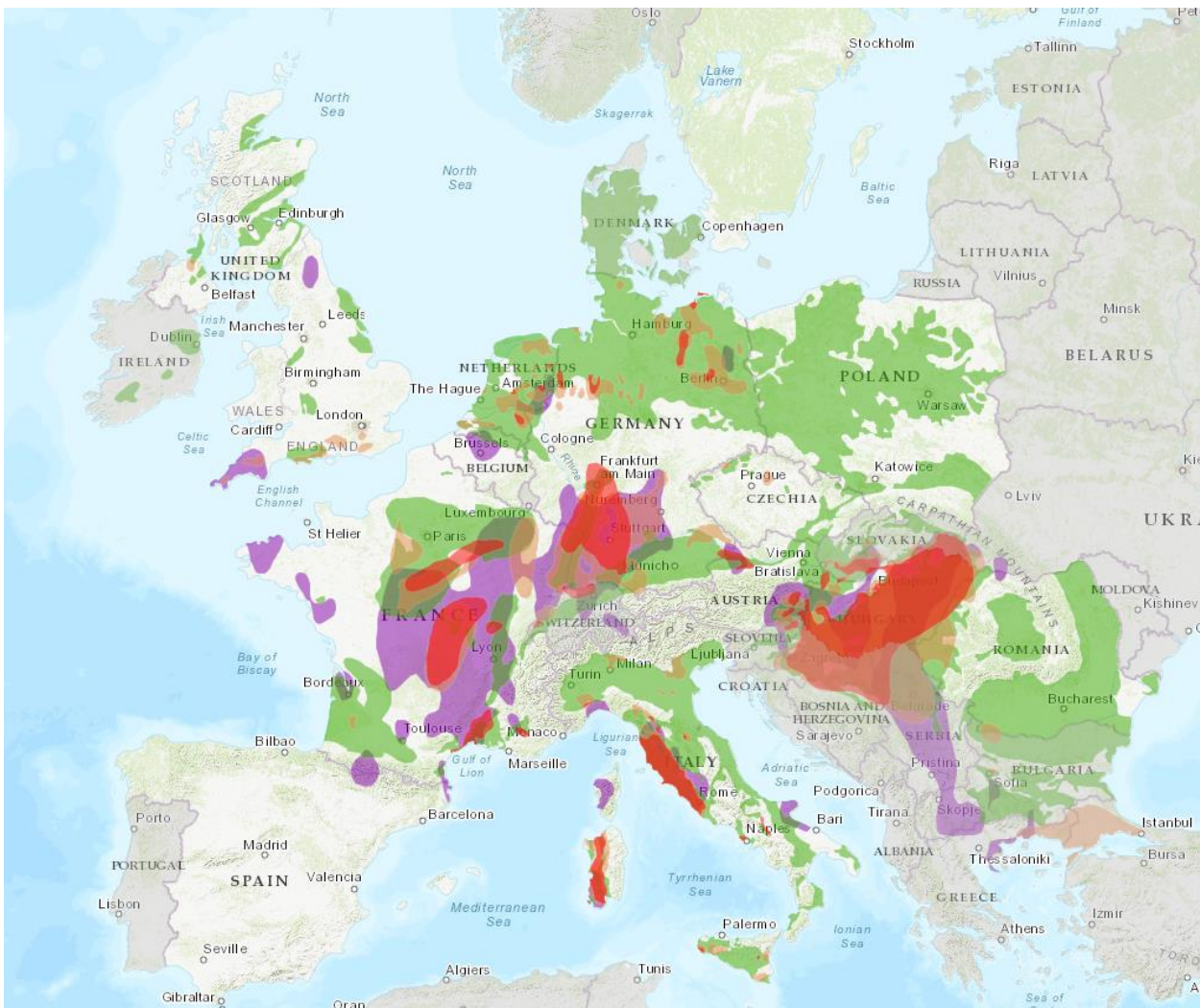


Ilustración 81. Localización de recursos geotérmicos en Europa.

Observando el mapa, las zonas de mayor profundidad que pueden ser aprovechadas, se encuentran en zonas de Italia, Hungría, Alemania y Francia. Las zonas de temperatura de 1.000 metros se pueden observar que se encuentran también sobre las mismas zonas de mayor profundidad. En general, abunda más las áreas de recursos hidrotermales por el mapa.

6.17 Sinergia de Calor en distintas regiones de Europa [107]

Por último, para finalizar este trabajo se va a proporcionar los datos del mapa de Europa, presentando las ciudades donde gran parte del exceso de calor convencional puede satisfacer una gran parte de la demanda de calor de las poblaciones. El mapa ha sido extraído de la página “Heat Road Map Europe”, siendo datos del 2015. En el mapa se podrán apreciar distintos colores:

- **Rojo:** Presenta la mayor sinergia entre exceso de calor y demanda de calor.
- **Naranja:** Menor sinergia entre exceso de calor y demanda de calor, que el rojo.
- **Amarillo:** Menor sinergia entre exceso de calor y demanda de calor, que el naranja.
- **Azul:** La sinergia entre exceso de calor y demanda de calor es insignificante.
- **Blanco:** No hay sinergia entre exceso de calor y demanda de calor.

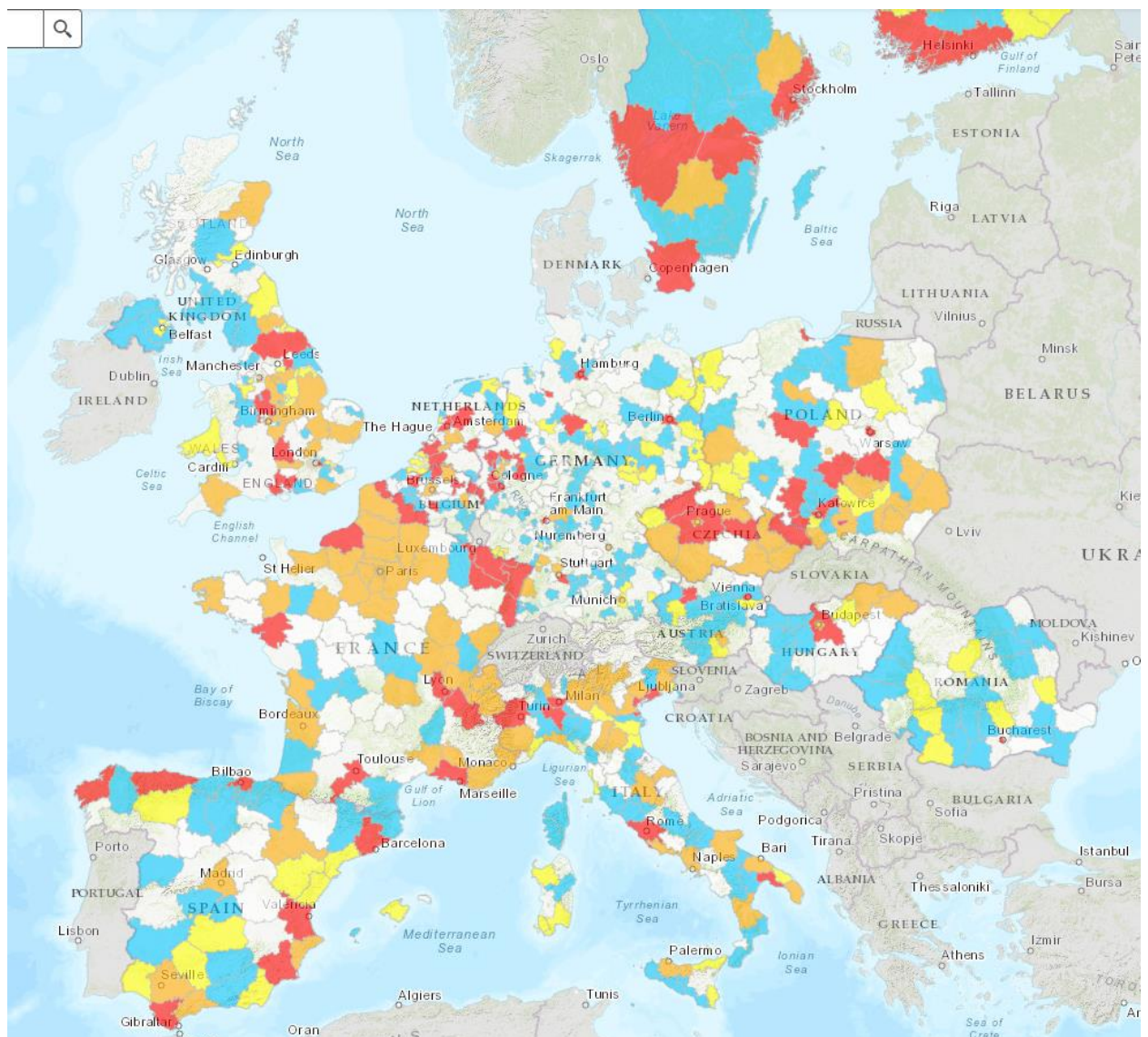


Ilustración 82. Sinergia entre el exceso de calor convencional y la demanda de calor en Europa.

De este punto no hay mucho que comentar, se observan como hay zonas de color rojo que pertenecen a las capitales de los países como sería lo más lógico. Hay mayor cantidad de color azul y blanco que los otros tres colores que indican mayor relación entre exceso de calor convencional y demanda de calor.

7 CONCLUSIÓN

A continuación, se mostrarán diversas conclusiones tras la recopilación de datos de diferentes artículos y páginas webs, por ello se mostrará un análisis FODA de la aplicación de red de calefacción urbana, para mostrar las claves que se deben mejorar para instaurar esta tecnología en el futuro.

- El Acoplamiento Sectorial, en la actualidad es inviable debido a los pocos sistemas que hay en la actualidad que se estén empleando en la civilización, pero se están realizando grandes avances en electrolizadores, los cuales convierten la electricidad en gas natural y poder almacenarlo o convertir ese gas natural en electricidad y poder aprovecharlo de otra forma. En la actualidad, la principal aplicación de Acoplamiento Sectorial tiene que ver con el vehículo eléctrico. Se carga el vehículo y este puede ceder la energía que no esté usando a una casa y esa casa aprovechar esa electricidad en calefacción. El Acoplamiento Sectorial llevaría a una descentralización de la generación de energía y no a una centralización de generación de energía como hay en la actualidad.
- Una de las principales mejoras que se pueden realizar para la disminución de la demanda de energía térmica en las viviendas es la mejora de la estructura de las viviendas existentes y que se van a construir, reduciendo la demanda de energía primaria. Sería más económico mejorar las conductas de los usuarios con respecto al ahorro energético y la mejora estructural de las viviendas.
- La situación actual de la climatología del planeta debe tratarse, por ello la implantación de las redes de calefacción urbanas son potencialmente satisfactorias de cara al futuro, debido a que su continuo desarrollo e investigaciones, han mejorado sus eficiencias para reducir el consumo de la energía primaria, reducir las emisiones contaminantes y mejorar la integración de los recursos renovables. La gran mayoría de los artículos revisados presentan instalaciones en las que se pretende integrar recursos renovables o sistemas de almacenamiento para mejorar estos sistemas, llevando a una evolución de los sistemas de cara al futuro.
- La gran mayoría de las redes de calefacción revisadas, presentan una planta de generación de energía térmica de cogeneración, ya que potencialmente mejora la eficiencia de los sistemas, por ello sería de real importancia revisar las redes de calefacción urbanas que presenten plantas de cogeneración e investigar si fuera potencialmente eficiente la sustitución por trigeneración, producción de calor, refrigeración y electricidad.
- Las bombas de calor en el futuro se presentan como una tecnología clave en el ámbito de la calefacción y refrigeración. Muchos de los artículos revisados se utilizan para conseguir generar el calor de suministro a menor temperatura y elevar su temperatura, mediante electricidad de un recurso renovable. Además, se da mayor flexibilidad a la hora de integrar recursos renovables y favorece al acoplamiento sectorial, convertir electricidad en energía térmica.
- Uno de los recursos que abundan en Europa es la biomasa, este recurso se adecua perfectamente con las plantas de generación de energía térmica que se presentan en gran parte de las redes de calefacción urbana, la cogeneración.
- Para finalizar, los sistemas de almacenamiento se han de usar principalmente dependiendo de la duración del almacenamiento, ya que varían sus características operativas, estructurales y económicas dependiendo de su duración. Realizar especial hincapié en el almacenamiento en la red de calefacción urbana, ya que dependiendo del diámetro de la tubería y longitud de la red se pueden conseguir ahorros en los costes de combustible y reducir las emisiones contaminantes.

Para finalizar, se presentará un análisis FODA de las redes de calefacción urbanas, tras lo revisado en diversos artículos:

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Realización de muchos estudios para conseguir evoluciones, técnicas, económicas y energéticas de las redes de calefacción urbana.	Desarrollo de herramientas de control sofisticas para análisis dinámicos y predictivos, que pueden servir para otras aplicaciones.
Contribución a la descarbonización del sector de calefacción.	La calefacción urbana juega un papel muy importante en la integración de recursos renovables en el sector de la calefacción.
Da la posibilidad de convertir electricidad o gas natural en energía térmica para calefacción (Acoplamiento Sectorial).	Mejora en la economía local en el ámbito de calefacción.
Las bombas de calor van a ser potencialmente importantes en el desarrollo de las redes.	Tendencia a sistemas de calefacción de baja temperatura en edificios nuevos.
DEBILIDADES	AMENAZAS
Falta de rentabilidad a corto y largo plazo.	Hay tecnologías que pueden ser más competitivas y se vuelven más atractivas.
Sin suministro directo de agua caliente sanitaria.	Disminución de la demanda de calor.
Dificultad a la hora de adaptar las redes de calefacción urbana a áreas densas de población.	Rechazo de la sociedad por el desconocimiento de la aplicación.
Grandes costes en el desarrollo de la infraestructura.	Inconsistencia política sobre la implantación de dicha aplicación en cierta población.

Tabla 33. Análisis FODA de las redes de calefacción urbanas.

REFERENCIAS

- [1] “Noticias Parlamento Europe, ‘Los efectos del cambio climático en Europa.’” <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180905STO11945/los-efectos-del-cambio-climatico-en-europa-infografia>
- [2] “Informe de la comisión al parlamento europe y al consejo,” Informe de situación de la UE de 2019 sobre la acción por el clima.” [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0559&from=EN>
- [3] “Potentials of sector coupling for decarbonisation - Publications Office of the EU.” <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/60fadfee-216c-11ea-95ab-01aa75ed71a1/language-en>
- [4] I. Renewable Energy Agency, “SECTOR COUPLING IN FACILITATING INTEGRATION OF VARIABLE RENEWABLE ENERGY IN CITIES SECTOR COUPLING IN FACILITATING INTEGRATION OF VARIABLE RENEWABLE ENERGY IN CITIES SECTOR COUPLING IN FACILITATING INTEGRATION OF VARIABLE RENEWABLE ENERGY IN CITIES 2,” 2021, [Online]. Available: www.irena.org
- [5] J. Ramsebner, R. Haas, A. Ajanovic, and M. Wietschel, “The sector coupling concept: A critical review,” *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, vol. 10, no. 4, Jul. 2021, doi: 10.1002/WENE.396.
- [6] G. Quirosa, M. Torres, and R. Chacartegui, “Analysis of the integration of photovoltaic excess into a 5th generation district heating and cooling system for network energy storage,” *Energy*, vol. 239, p. 122202, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122202.
- [7] H. Lund, P. A. Østergaard, D. Connolly, and B. V. Mathiesen, “Smart energy and smart energy systems,” *Energy*, vol. 137, pp. 556–565, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.05.123.
- [8] Aalborg University, “About CEESA.” <https://www.ceesa.plan.aau.dk/about/>
- [9] B. v. Mathiesen *et al.*, “Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions,” *Applied Energy*, vol. 145, pp. 139–154, May 2015, doi: 10.1016/J.APENERGY.2015.01.075.
- [10] P. de G. de E. Wallbox, “¿Qué es la carga inteligente?” https://wallbox.com/es_es/faqs-que-es-la-carga-inteligente
- [11] H. Lund, N. Duic, P. A. Østergaard, and B. V. Mathiesen, “Future district heating systems and technologies: On the role of smart energy systems and 4th generation district heating,” *Energy*, vol. 165, pp. 614–619, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.09.115.
- [12] “Energy Storage and Smart Energy Systems”, doi: 10.5278/ijsepm.2016.11.2.
- [13] U. Persson, B. Möller, and S. Werner, “Heat Roadmap Europe: Identifying strategic heat synergy regions,” *Energy Policy*, vol. 74, no. C, pp. 663–681, Nov. 2014, doi: 10.1016/J.ENPOL.2014.07.015.
- [14] ReUseHeat, “Aprovechamiento del calor residual del Metro.” <https://www.madridsubterra.es/aprovechamiento-del-calor-residual-del-metro-una-experiencia-real/>
- [15] E. de La and F. Naturgy, “Una visión para España”.
- [16] B. Nastasi and G. lo Basso, “Hydrogen to link heat and electricity in the transition towards future Smart Energy Systems,” *Energy*, vol. 110, pp. 5–22, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.ENERGY.2016.03.097.
- [17] CIC ENERGIGUNE, “Almacenamiento térmico: el camino hacia la optimización de la gestión energética | CIC energiGUNE.” <https://cicenergigune.com/es/blog/almacenamiento-termico-optimizar-gestion-energetica>

- [18] Ulster University, “Sistemas de Almacenamiento Térmico Estacional (Seasonal Thermal Energy Storage, STES) para personal técnico (arquitectos, ingenieros, sector de la construcción).” <https://slideplayer.es/slide/10157492/>
- [19] R. I. Dunn, P. J. Hearps, and M. N. Wright, “Molten-salt power towers: Newly commercial concentrating solar storage,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 2, pp. 504–515, 2012, doi: 10.1109/JPROC.2011.2163739.
- [20] ACEA DRIVING MOBILITY FOR EUROPE, “Fuel types of new cars: battery electric 9.1%, hybrid 19.6% and petrol 40.0% market share full-year 2021.” <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-9-1-hybrid-19-6-and-petrol-40-0-market-share-full-year-2021/>
- [21] B. Rezaie and M. A. Rosen, “District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements,” *Applied Energy*, vol. 93, pp. 2–10, May 2012, doi: 10.1016/J.APENERGY.2011.04.020.
- [22] I. D. la Cruz and C. E. Ugalde-Loo, “District Heating and Cooling Systems,” *Microgrids and Local Energy Systems*, Dec. 2021, doi: 10.5772/INTECHOPEN.99740.
- [23] S. S. Meibodi and F. Loveridge, “The future role of energy geostructures in fifth generation district heating and cooling networks,” *Energy*, vol. 240, p. 122481, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122481.
- [24] H. Lund, P. A. Østergaard, D. Connolly, and B. V. Mathiesen, “Smart energy and smart energy systems,” *Energy*, vol. 137, pp. 556–565, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.05.123.
- [25] E-ficiencia, “District Heating el futuro de la climatización.” <https://e-ficiencia.com/district-heating-el-futuro-de-la-climatizacion/>
- [26] SolarHeatData, “Solución sostenible para calefacción urbana para ciudades calor solar”, [Online]. Available: <http://www.solarheatdata.eu/>
- [27] “District Heating geotérmicos en Mieres y Langreo - Climatización e Instalaciones.” <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/245867-District-Heating-geotermicos-en-Mieres-y-Langreo.html>
- [28] Y. Li, Y. Rezgui, and H. Zhu, “District heating and cooling optimization and enhancement – Towards integration of renewables, storage and smart grid,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 281–294, May 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2017.01.061.
- [29] Universidad Tecnológica Estatal de Cherkasy (Ucrania), “Solar hot water supply system.” https://www.proakademia.eu/gfx/baza_wiedzy/481/nr_28_82-113_2.pdf
- [30] M. Johnson, J. Vogel, M. Hempel, A. Dengel, M. Seitz, and B. Hachmann, “High temperature latent heat thermal energy storage integration in a co-gen plant,” *Energy Procedia*, vol. 73, pp. 281–288, 2015, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2015.07.689.
- [31] L. Irwin, J. Stekli, C. Pfeifferkorn, and R. Pitchumani, “Thermochemical energy storage for concentrating solar thermal (CST) systems,” *Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology*, pp. 247–267, 2017, doi: 10.1016/B978-0-08-100516-3.00011-3.
- [32] M. A. Silva-Pérez, “Solar power towers using supercritical CO₂ and supercritical steam cycles, and decoupled combined cycles,” *Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology*, pp. 383–402, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-08-100516-3.00017-4.
- [33] J. Deng, R. Z. Wang, and G. Y. Han, “A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling, heating and power systems,” *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 37, no. 2, pp. 172–203, Apr. 2011, doi: 10.1016/J.PECS.2010.05.003.
- [34] M. Riipinen and N. Wirgentius, “DHC in Helsinki-The Ultimate Heating and Cooling Solution for a Large Urban Area”.
- [35] Publications Office of the EU, “Integrating renewable and waste heat and cold sources into district heating and cooling systems.” <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cc9516dc-7268-11eb-9ac9-01aa75ed71a1/language-en>

- [36] Research Gate, “Principle diagram of the Taars hybrid solar district heating system... | Download Scientific Diagram.” https://www.researchgate.net/figure/Principle-diagram-of-the-Taars-hybrid-solar-district-heating-system-Source-Aalborg-CSP_fig5_329060062
- [37] European Heat Pump Association, “Market Data.” <https://www.ehpa.org/market-data/>
- [38] J. Barco-Burgos, J. C. Bruno, U. Eicker, A. L. Saldaña-Robles, and V. Alcántar-Camarena, “Review on the integration of high-temperature heat pumps in district heating and cooling networks,” *Energy*, vol. 239, p. 122378, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122378.
- [39] State of Green, “Smart combination of district cooling, district heating and waste water in Taarnby.” <https://stateofgreen.com/en/partners/ramboll/solutions/smart-combination-of-district-cooling-district-heating-and-waste-water-in-taarnby/>
- [40] Paris Saclay Development Authority, “Paris Saclay, energy strategy and urban project.” https://www.bing.com/search?q=11_Julien_Sorreau_Paris_Saclay_DFBEW_OFATE%2520&cvid=e5c886eaeafe4c3fa21368995b1af2ec&aqs=edge...69i57.1445j0j4&FORM=ANAB01&PC=HCTS
- [41] InfoPower, “Planta DISTRICLIMA Urbana Tanger”.
- [42] UN Environment Programme, “DISTRICT ENERGY IN CITIES MILAN CASE STUDY OVERVIEW”.
- [43] IEA, “District heat production by fuel, 2010-2020 and in the Net Zero Scenario, 2030 – Charts – Data & Statistics.” <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/district-heat-production-by-fuel-2010-2020-and-in-the-net-zero-scenario-2030>
- [44] IEA, “Share of renewable energy in district heating networks, 2018 – Charts – Data & Statistics.” <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-renewable-energy-in-district-heating-networks-2018>
- [45] G. Xydis, “Wind Energy Integration through District Heating. A Wind Resource Based Approach,” *Resources 2015, Vol. 4, Pages 110-127*, vol. 4, no. 1, pp. 110–127, Mar. 2015, doi: 10.3390/RESOURCES4010110.
- [46] J. Zheng, Z. Zhou, J. Zhao, and J. Wang, “Integrated heat and power dispatch truly utilizing thermal inertia of district heating network for wind power integration,” *Applied Energy*, vol. 211, pp. 865–874, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.APENERGY.2017.11.080.
- [47] M. A. , F. L. Ilias DIMOULKAS, “District heating system operation in power systems with high share of wind power.” <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8940992>
- [48] EUR-LEX, “L:2012:315:TOC - ES - Legislación.” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L:2012:315:TOC>
- [49] E. Carpaneto, P. Lazzeroni, and M. Repetto, “Optimal integration of solar energy in a district heating network,” *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 714–721, Mar. 2015, doi: 10.1016/J.RENENE.2014.10.055.
- [50] M. N. Fisch, M. Guigas, and J. O. Dalenbäck, “A REVIEW OF LARGE-SCALE SOLAR HEATING SYSTEMS IN EUROPE,” *Solar Energy*, vol. 63, no. 6, pp. 355–366, Dec. 1998, doi: 10.1016/S0038-092X(98)00103-0.
- [51] RITTER XL SOLAR, “Planta Solar para una red de calefacción urbana.” <https://www.ritter-xl-solar.de/anwendungen/waermetetze/stadtwerke-senftenberg/>
- [52] Solar District Heating, “Seite wurde nicht gefunden.” <https://www.solar-district-heating.eu/ServicesTools/Plantdatabase.aspx> (accessed Mar. 15, 2022).
- [53] C. Winterscheid, J. O. Dalenbäck, and S. Holler, “Integration of solar thermal systems in existing district heating systems,” *Energy*, vol. 137, pp. 579–585, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.04.159.
- [54] Solar District Heating, “Guidelines”.
- [55] P. and N. Dronninglund Fjernvarme, “Dronninglund Solar thermal plant”.
- [56] M. Rämä and S. Mohammadi, “Comparison of distributed and centralised integration of solar heat in a

- district heating system,” *Energy*, vol. 137, pp. 649–660, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.03.115.
- [57] M. A. Sayegh, P. Jadwiszczak, B. P. Axcell, E. Niemierka, K. Bryś, and H. Jouhara, “Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating,” *Energy and Buildings*, vol. 166, pp. 122–144, May 2018, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2018.02.006.
- [58] R. Marx, D. Bauer, and H. Drucek, “Energy Efficient Integration of Heat Pumps into Solar District Heating Systems with Seasonal Thermal Energy Storage,” *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 2706–2715, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2014.10.302.
- [59] A. Carotenuto, R. D. Figaj, and L. Vanoli, “A novel solar-geothermal district heating, cooling and domestic hot water system: Dynamic simulation and energy-economic analysis,” *Energy*, vol. 141, pp. 2652–2669, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.08.084.
- [60] M. Sander, “Geothermal District Heating Systems: Country Case Studies From China, Germany, Iceland, and United States of America, and Schemes to Overcome the Gaps,” *GRC Transactions*, vol. 40, 2016.
- [61] L. Ozgener, A. Hepbasli, I. Dincer, and M. A. Rosen, “Exergoeconomic analysis of geothermal district heating systems: A case study,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, no. 8–9, pp. 1303–1310, Jun. 2007, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2006.11.008.
- [62] C. S. Blázquez, A. F. Martín, I. M. Nieto, and D. González-Aguilera, “Economic and Environmental Analysis of Different District Heating Systems Aided by Geothermal Energy,” *Energies 2018, Vol. 11, Page 1265*, vol. 11, no. 5, p. 1265, May 2018, doi: 10.3390/EN11051265.
- [63] U. Persson and S. Werner, “Heat distribution and the future competitiveness of district heating,” *Applied Energy*, vol. 88, no. 3, pp. 568–576, Mar. 2011, doi: 10.1016/J.APENERGY.2010.09.020.
- [64] “Geothermal energy in recent international energy strategies; Geothermie in aktuellen internationalen Energiestrategien (Journal Article) | ETDEWEB.” <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21530045> (accessed Mar. 16, 2022).
- [65] K. N. Finney *et al.*, “Modelling and mapping sustainable heating for cities,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 53, no. 2, pp. 246–255, May 2013, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2012.04.009.
- [66] “Georreferenciación y sistemas de coordenadas | ArcGIS Resource Center.” <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm> (accessed Mar. 16, 2022).
- [67] J. Unternährer, S. Moret, S. Joost, and F. Maréchal, “Spatial clustering for district heating integration in urban energy systems: Application to geothermal energy,” *Applied Energy*, vol. 190, pp. 749–763, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.APENERGY.2016.12.136.
- [68] J. Francisco Pinto and G. Carrilho da Graça, “Comparison between geothermal district heating and deep energy refurbishment of residential building districts,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 38, pp. 309–324, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.SCS.2018.01.008.
- [69] J. G. Koomey, “GROWTH IN DATA CENTER ELECTRICITY USE 2005 TO 2010,” 2011, [Online]. Available: <http://www.koomey.com><http://www.analyticspress.com/datacenters.html>
- [70] “(PDF) Total Consumer Power Consumption Forecast.” https://www.researchgate.net/publication/320225452_Total_Consumer_Power_Consumption_Forecast (accessed Mar. 16, 2022).
- [71] P. Huang *et al.*, “A review of data centers as prosumers in district energy systems: Renewable energy integration and waste heat reuse for district heating,” *Applied Energy*, vol. 258, p. 114109, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.114109.
- [72] R. C. McKenna and J. B. Norman, “Spatial modelling of industrial heat loads and recovery potentials in the UK,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 10, pp. 5878–5891, Oct. 2010, doi: 10.1016/J.ENPOL.2010.05.042.
- [73] H. Fang, J. Xia, K. Zhu, Y. Su, and Y. Jiang, “Industrial waste heat utilization for low temperature district

heating,” *Energy Policy*, vol. 62, pp. 236–246, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.ENPOL.2013.06.104.

- [74] D. Djuric Ilic, E. Dotzauer, L. Trygg, and G. Broman, “Integration of biofuel production into district heating – part I: an evaluation of biofuel production costs using four types of biofuel production plants as case studies,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 69, pp. 176–187, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2014.01.035.
- [75] G. Ferla and P. Caputo, “Biomass district heating system in Italy: A comprehensive model-based method for the assessment of energy, economic and environmental performance,” *Energy*, vol. 244, p. 123105, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2022.123105.
- [76] P. Caputo, G. Ferla, and S. Ferrari, “Evaluation of environmental and energy effects of biomass district heating by a wide survey based on operational conditions in Italy,” *Energy*, vol. 174, pp. 1210–1218, May 2019, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.03.073.
- [77] Y. Li, Y. Rezgui, and H. Zhu, “District heating and cooling optimization and enhancement – Towards integration of renewables, storage and smart grid,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 281–294, May 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2017.01.061.
- [78] L. Urbanucci, D. Testi, and J. C. Bruno, “Integration of Reversible Heat Pumps in Trigeneration Systems for Low-Temperature Renewable District Heating and Cooling Microgrids,” *Applied Sciences 2019, Vol. 9, Page 3194*, vol. 9, no. 15, p. 3194, Aug. 2019, doi: 10.3390/APP9153194.
- [79] P. Sdringola, S. Proietti, D. Astolfi, and F. Castellani, “Combined Heat and Power Plant and District Heating and Cooling Network: A Test-Case in Italy with Integration of Renewable Energy,” *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 140, no. 5, Oct. 2018, doi: 10.1115/1.4040196/368305.
- [80] A. Walch *et al.*, “Shallow geothermal energy potential for heating and cooling of buildings with regeneration under climate change scenarios,” *Energy*, vol. 244, p. 123086, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.123086.
- [81] M. E. Martínez and C. Martín-Gómez, “Reasons Why District Energy Systems Were Not Extended in Spain”.
- [82] M. Asim *et al.*, “Thermo-economic and environmental analysis of integrating renewable energy sources in a district heating and cooling network,” *Energy Efficiency*, vol. 13, no. 1, pp. 79–100, Jan. 2020, doi: 10.1007/S12053-019-09832-9/TABLES/25.
- [83] N. Nord, E. K. Løve Nielsen, H. Kauko, and T. Tereshchenko, “Challenges and potentials for low-temperature district heating implementation in Norway,” *Energy*, vol. 151, pp. 889–902, May 2018, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.03.094.
- [84] International Journal Of Sustainable Energy Plannign and Management, “View of Economic comparison of low-temperature and ultra-low-temperature district heating for new building developments with low heat demand densities in Germany.” <https://journals.aau.dk/index.php/sepm/article/view/2022/1844>
- [85] H. Edtmayer, P. Nageler, R. Heimrath, T. Mach, and C. Hochenauer, “Investigation on sector coupling potentials of a 5th generation district heating and cooling network,” *Energy*, vol. 230, p. 120836, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.120836.
- [86] M. Ahmed-Dahmane, A. Malek, and T. Zitoun, “Design and analysis of a BIPV/T system with two applications controlled by an air handling unit,” *Energy Conversion and Management*, vol. 175, pp. 49–66, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2018.08.090.
- [87] A. Behzadi and A. Arabkoohsar, “Comparative performance assessment of a novel cogeneration solar-driven building energy system integrating with various district heating designs,” *Energy Conversion and Management*, vol. 220, p. 113101, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2020.113101.
- [88] T. Reiners, M. Gross, L. Altieri, H. J. Wagner, and V. Bertsch, “Heat pump efficiency in fifth generation ultra-low temperature district heating networks using a wastewater heat source,” *Energy*, vol. 236, p. 121318, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.121318.

- [89] G. Quirosa, M. Torres, and R. Chacartegui, “Analysis of the integration of photovoltaic excess into a 5th generation district heating and cooling system for network energy storage,” *Energy*, vol. 239, p. 122202, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122202.
- [90] Aalborg University’s Research Portal, “Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27.” <https://vbn.aau.dk/en/publications/heat-roadmap-europe-2-second-pre-study-for-the-eu27>
- [91] A. Vandermeulen, B. van der Heijde, and L. Helsen, “Controlling district heating and cooling networks to unlock flexibility: A review,” *Energy*, vol. 151, pp. 103–115, May 2018, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.03.034.
- [92] E. Guelpa and V. Verda, “Thermal energy storage in district heating and cooling systems: A review,” *Applied Energy*, vol. 252, p. 113474, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.113474.
- [93] H. Gadd and S. Werner, “Thermal energy storage systems for district heating and cooling,” *Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications*, pp. 625–638, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-819885-8.00021-8.
- [94] J. M. Jebamalai, K. Marlein, and J. Laverge, “Influence of centralized and distributed thermal energy storage on district heating network design,” *Energy*, vol. 202, p. 117689, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.ENERGY.2020.117689.
- [95] A. Dahash, F. Ochs, M. B. Janetti, and W. Streicher, “Advances in seasonal thermal energy storage for solar district heating applications: A critical review on large-scale hot-water tank and pit thermal energy storage systems,” *Applied Energy*, vol. 239, pp. 296–315, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.01.189.
- [96] D. Romanchenko, J. Kensby, M. Odenberger, and F. Johnsson, “Thermal energy storage in district heating: Centralised storage vs. storage in thermal inertia of buildings,” *Energy Conversion and Management*, vol. 162, pp. 26–38, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2018.01.068.
- [97] M. Kuosa *et al.*, “Optimisation of district heating production by utilising the storage capacity of a district heating network on the basis of weather forecasts,” *Results in Engineering*, vol. 13, p. 100318, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.RINENG.2021.100318.
- [98] J. Hennessy, H. Li, F. Wallin, and E. Thorin, “Flexibility in thermal grids: a review of short-term storage in district heating distribution networks,” *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 2430–2434, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2019.01.302.
- [99] Euroheat & Power, “Country Profiles.” <https://archive.euroheat.org/knowledge-hub/country-profiles/page/3/>
- [100] Heat Roadmap Europe, “Heating and Cooling Energy Demands.” <https://heatroadmap.eu/heating-and-cooling-energy-demand-profiles/>
- [101] Heat Roadmap Europe, “Heating and Cooling Energy Demands.” <https://heatroadmap.eu/heating-and-cooling-energy-demand-profiles/>
- [102] Eurostat, “SHARES (Renewables).” <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
- [103] I. Renewable Energy Agency, “RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2022 STATISTIQUES DE CAPACITÉ RENOUVELABLE 2022 ESTADÍSTICAS DE CAPACIDAD RENOVABLE 2022,” 2022, Accessed: Jun. 08, 2022. [Online]. Available: www.irena.org
- [104] Energy-Charts, “Gráficos circulares de generación de electricidad.” https://energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=de&c=HU&year=2021&legendItems=11111111&download-format=text%2Fcsv&source=public
- [105] European Commission, “JRC Publications Repository - The JRC-EU-TIMES model - Assessing the long-term role of the SET Plan Energy technologies.” <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC85804>
- [106] S. ; Paardekooper *et al.*, “Aalborg Universitet Heat Roadmap Europe 4 Quantifying the Impact of Low-Carbon Heating and Cooling Roadmaps”, Accessed: Jun. 09, 2022. [Online]. Available: www.heatroadmap.eu

[107] Heat RoadMap Europe, “Peta4.” <https://heatroadmap.eu/peta4/>

