GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

EVALUACIÓN COMPLETA DEL POTENCIAL DE USO DE LA COGENERACIÓN DE ALTA EFICIENCIA Y DE LOS SISTEMAS URBANOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EFICIENTES

ABRIL DE 2016

INDICE

0. INTRODUCCIÓN, CONTEXTO Y OBJETIVOS 13

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA COGENERACIÓN Y LOS SISTEMAS URBANOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN ESPAÑA 16

1.1. Situación actual de la cogeneración 16

1.2. Situación de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración 21

2. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LOCALIZACIÓN DE CENTROS CONSUMIDORES 23

2.1 Recopilación de datos 24

3. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA 29

3.1. Determinación de los usos de suelo finales sobre los que caracterizar la demanda térmica . 32

3.2. Sector residencial 34

3.3. Sector terciario 42

3.4. Sectores industrial, agrícola y pesquero 49

3.5. Resultados agregados totales 61

4. HERRAMIENTA DE CONSULTA Y ACTUALIZACIÓN DE DATOS 62

4.1. Mapa de representación gráfica 63

4.2. Herramienta de análisis de información y consulta de resultados 65

5. HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE POTENCIAL TÉCNICO 67

5.1. Entrada de información de la herramienta 67

5.2. Metodología de cálculo 69

5.2.1 Identificación de sistemas 69

5.2.2 Caracterización de la demanda y oferta térmica 89

5.2.3 Salidas de información de la herramienta 94

5.2.4 Dimensionamiento térmico de plantas de cogeneración 97

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE POTENCIAL TÉCNICO 108

6.1. Potencial técnico de calor residual de industria 111

6.2. Potencial técnico de calor residual de centrales térmicas 113

6.3. Potencial técnico de calor residual de plantas de valorización de residuos 115

6.4. Potencial técnico de Geotermia 117

6.5. Potencial técnico de energía solar para producción de ACS 119

6.6. Potencial técnico de Biogás 121

6.7. Potencial técnico de Biomasa 123

6.8. Potencial técnico de Cogeneración 125

7. ANÁLISIS COSTE BENEFICIO A NIVEL PAÍS 128

7.1. Definición del Escenario Base 129

7.1.1. Sector Residencial 129

7.1.2. Sector Terciario 129

7.1.3. Sector Industrial 130

7.2. Definición de Escenarios Alternativos 130

7.3. Análisis coste beneficio de cada escenario 131

7.4. Parámetros económicos 132

7.4.1. Inputs de la herramienta de análisis coste beneficio global 132

7.4.2. Determinación de la inversión 133

7.4.3. Determinación de los costes 134

7.4.4. Determinación de los beneficios 137

7.5. Potencial Económico 140

7.6. Potencial coste eficiente 140

8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE POTENCIAL ECONÓMICO 141

8.1. Potencial técnico y económico de calor residual de industria 142

8.2. Potencial técnico y económico de calor residual de centrales térmicas 143

8.3. Potencial técnico y económico de calor residual de plantas de valorización de residuos 144

8.4. Potencial técnico y económico de Geotermia 145

8.5. Potencial técnico y económico de energía solar para producción de ACS 146

8.6. Potencial técnico y económico de Biogás 147

8.7. Potencial técnico y económico de Biomasa 148

8.8. Potencial técnico y económico de Cogeneración 149

9. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS POTENCIAL COSTE EFICIENTE 150

9.1. Potencial coste eficiente a nivel nacional 151

9.2. Potencial coste eficiente en el sector residencial 152

9.3. Potencial coste eficiente en el sector terciario 153

9.4. Potencial coste eficiente en el sector industria 154

9.5. Conclusiones 155

ANEXO I. FUENTES DE INFORMACIÓN Y RECOPILACIÓN DE DATOS UTILIZADOS 158

ANEXO II. USOS DEL CATASTRO 162

ANEXO III. CORRESPONDENCIA DE LA ZONA TÉRMICA DEL CTE CON LAS ZONAS CLIMÁTICAS CONTEMPLADAS EN EL SES 166

ANEXO IV. SUPERFICIES DESAGREGADAS POR ZONA CLIMÁTICA Y USO DE SUELO EN FUNCIÓN DEL CATASTRO 167

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Potencia instalada anualmente y acumulada de plantas de cogeneración en España. 17

Ilustración 2. Evolución de la electricidad de cogeneración en el período 2003 – 2013 20

Ilustración 3. Metodología empleada para la elaboración de la Base de Datos Final del Catastro 23

Ilustración 4. Esquema del procedimiento para obtener la Base de Datos Depurada del Catastro 24

Ilustración 5. Distribución territorial de las zonas climáticas 31

Ilustración 6. Procedimiento para determinar los perfiles de demanda difusa 32

Ilustración 7. Caracterización de la demanda de los sectores residencial, terciario e industrial 34

Ilustración 8. Esquema de funcionamiento de la Herramienta de conversión de demandas térmicas según zona climática 46

Ilustración 9. Asignación del factor de emisión de CO_2 de una industria. 54

Ilustración 10. Asignación de rendimiento térmico de referencia en una industria sin cogeneración. 55

Ilustración 11: Interfaz de la aplicación web del mapa de calor 62

Ilustración 12: Representación de la demanda térmica y visualización de la barra de filtros. ... 64

Ilustración 13: Representación de la demanda térmica, detalle demandas puntuales. 64

Ilustración 14: Representación de centros con potencial de oferta térmica. 65

Ilustración 15: Herramienta de consulta de la aplicación webmapping. 66

Ilustración 16: Resumen del proceso de cálculo de la herramienta. 69

Ilustración 17: Identificación de áreas de demanda difusa. 71

Ilustración 18: Análisis de la disponibilidad de oferta térmica. 72

Ilustración 19: Mapa de disponibilidad de biomasa residual. 73

Ilustración 20. Relación entre habitantes y habitantes equivalentes. 76

Ilustración 21: Mapa de ubicación de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales 77

Ilustración 22: Relación entre calor residual industrial y centros consumidores. 83

Ilustración 23: Distribución de los yacimientos geotérmicos en el territorio nacional. 84

Ilustración 24. Distribución de zonas climáticas solares. 86

Ilustración 25. Variación de la eficiencia energética solares térmicos. 87

Ilustración 26. Pérdidas energéticas en paneles solares térmicos. 88

Ilustración 27: Variación del pico de demanda a causa de la simultaneidad. 90

Ilustración 28: Dimensionado térmico de una planta de cogeneración. 92

Ilustración 29: Regresión de cálculo de potencia eléctrica en CSTG. 97

Ilustración 30: Regresión de cálculo del RE en CSTG. 98

Ilustración 31: Regresión de cálculo de la potencia eléctrica en CSMG. 98

Ilustración 32: Regresión de cálculo del RE en CSMG. 99

Ilustración 33: Regresión de cálculo de la potencia eléctrica en CCTV. 99

Ilustración 34: Regresión de cálculo del RE en CCTV. 100

Ilustración 35: Regresión de cálculo de la potencia eléctrica en CSTV. 100

Ilustración 36: Regresión de cálculo del RE en CSTV. 101

Ilustración 37: Regresión de cálculo del calor disipada en motogeneradores. 101

Ilustración 38: Esquema de un ciclo simple de turbina de gas para suministro de vapor. 102

Ilustración 39: Esquema de un ciclo simple de motor a gas 103

Ilustración 40: Esquema de un ciclo combinado con turbina de vapor a contrapresión. 104

Ilustración 41: Esquema de un ciclo simple con turbina de vapor. 104

Ilustración 42: Distribución de la demanda calor de los sistemas 109

Ilustración 43: Distribución de la demanda frío de los sistemas 110

Ilustración 44: Distribución geográfica del potencial de recuperación de calor de industria 112

Ilustración 45: Distribución geográfica del potencial técnico de frío a partir de calor residual de industria 112

Ilustración 46: Distribución geográfica de potencial de recuperación de calor en centrales térmicas. 114

Ilustración 47: Distribución geográfica de potencial de generación de frío en centrales térmicas. 114

Ilustración 48: Distribución geográfica de potencial de recuperación de calor en plantas de valorización de residuos. 116

Ilustración 49: Distribución geográfica del potencial técnico de generación de frío a partir de plantas de valorización de residuos 116

Ilustración 50: Distribución geográfica del potencial técnico de aprovechamiento de calor procedente de geotermia. 118

Ilustración 51: Distribución geográfica del potencial técnico de generación de frío mediante geotermia..... 118

Ilustración 52: Distribución geográfica del potencial técnico de energía solar para producción de ACS 120

Ilustración 53: Distribución geográfica del potencial de calor procedente de biogás. 122

Ilustración 54: Distribución geográfica del potencial de biogás para generar frío. 122

Ilustración 55: Distribución geográfica del potencial de calor procedente de biomasa. 124

Ilustración 56: Distribución geográfica del potencial de frío procedente de biomasa..... 124

Ilustración 57: Distribución geográfica del potencial técnico de calor de cogeneración. 127

Ilustración 58: Distribución geográfica del potencial técnico de frío de cogeneración 127

Ilustración 59: Esquema metodológico del análisis coste beneficio desde la perspectiva de sociedad 128

Ilustración 60: Ejemplo de evaluación en un análisis coste beneficio 131

Ilustración 61: Potencial coste eficiente e inversión de las soluciones técnicas estudiadas 155

Índice de tablas

Tabla 1. Potencia instalada, número de plantas y energía eléctrica generada en España por plantas de cogeneración por sectores de actividad 18

Tabla 2. Potencia instalada, número de plantas y energía eléctrica generada en España por plantas de cogeneración por tecnologías 19

Tabla 3. Potencia instalada, número de plantas. Electricidad de cogeneración y calor útil año 2013 por tecnologías. 21

Tabla 4. Características de los ficheros CAT 25

Tabla 5: Estructura de la base de datos puntual[1] 27

Tabla 6. Clasificación de categorías difusa y puntual 30

Tabla 7. Usos de suelo finales con perfil de demanda asociado 33

Tabla 8. Consumo energético anual de vivienda unifamiliar equipada por uso y zona climática 35

Tabla 9. Consumo energético anual de vivienda bloque equipada por uso y zona climática 36

Tabla 10. Tasa de equipamiento de viviendas unifamiliares 36

Tabla 11. Tasa de equipamiento de viviendas bloque 36

Tabla 12. Consumo energético anual de vivienda unifamiliar por uso y zona climática 37

Tabla 13. Consumo energético anual de vivienda bloque por uso y zona climática 37

Tabla 14. Relación de viviendas según utilización por zona climática 37

Tabla 15. Superficie media de viviendas principales por tipología y zona climática 38

Tabla 16 . Desagregación de consumo según fuentes energéticas y zonas climáticas 39

Tabla 17. Rendimientos por fuentes energéticas y zonas climáticas 40

Tabla 18. Relación de consumo eléctrico para calefacción y refrigeración 40

Tabla 19. Superficie por uso y zona climática (m^2) 40

Tabla 20. Demanda térmica desagregada del sector residencial español 41

Tabla 21. Usos del sector terciario y clasificación en demanda puntual y difusa 42

Tabla 22. Demanda térmica puntual por uso de suelo del sector terciario español 44

Tabla 23. Demanda térmica difusa por uso de suelo del sector terciario español 46

Tabla 24. Demanda térmica del sector terciario español..... 48

Tabla 25: Factores de emisión promedio en el sector industrial..... 53

Tabla 26. Rendimientos térmicos de cogeneración en función de su tecnología..... 56

Tabla 27. Rendimientos térmicos de cogeneración en función del sector industrial[2]..... 56

Tabla 28. Demanda térmica puntual por tipología de industria 59

Tabla 29. Demanda térmica difusa por tipología de industria..... 60

Tabla 30. Demanda térmica del sector industrial español 60

Tabla 31. Demanda térmica de calefacción y refrigeración en España (GWh)..... 61

Tabla 32. Disponibilidad de biomasa residual en industria..... 74

Tabla 33. Producciones de biogás en EDAR's por comunidad autónoma. 75

Tabla 34. Resultados obtenidos para la producción de biogás en EDAR's..... 76

Tabla 35: Caracterización del calor residual en la industria. 82

Tabla 36: Bases de cálculo de calor residual en industria..... 83

Tabla 37. Radiación solar según zona climática solar..... 85

Tabla 38: Caracterización de la demanda de calor y frío en el sector terciario e industrial. 89

Tabla 39: Presentación de resultados técnicos de la herramienta para un sistema de los sectores residencial y terciario 95

Tabla 40: Presentación de resultados técnicos de la herramienta para un sistema del sector industrial 96

Tabla 41: Alternativas contempladas en función del fluido caloportador. 97

Tabla 42: Potencial técnico de calor residual de industria 111

Tabla 43: Potencial técnico de calor residual de centrales térmicas 113

Tabla 44: Potencial técnico de calor residual de plantas de valorización de residuos 115

Tabla 45: Potencial técnico de geotermia 117

Tabla 46: Potencial técnico de ACS mediante energía solar térmica. 119

Tabla 47: Potencial técnico de biogás 121

Tabla 48: Potencial técnico de cogeneración. 125

Tabla 49: Potencial técnico de cogeneración de alta eficiencia según tecnología. 126

Tabla 50: Ejemplo de los factores de daño ambiental 135

Tabla 51: Potencial técnico y económico de calor residual de industria. 142

Tabla 52: Potencial técnico y económico de calor residual de centrales térmicas 143

Tabla 53: Potencial técnico y económico de calor residual de plantas de valorización de residuos 144

Tabla 54: Potencial técnico y económico de geotermia 145

Tabla 55: Potencial técnico y económico de energía solar para ACS 146

Tabla 56: Potencial técnico y económico de biogás 147

Tabla 57: Potencial técnico y económico de biomasa 148

Tabla 58: Potencial técnico y económico de cogeneración 149

Tabla 59: Potencial coste eficiente nacional 151

Tabla 60: Potencial coste-eficiente de cada solución técnica en el sector residencial 152

Tabla 61: Potencial coste-eficiente de cada solución técnica en el sector terciario 153

Tabla 62: Potencial coste eficiente de cada solución técnica en el sector industrial 154

Tabla 63. Usos de suelo 162

Tabla 64. Correspondencia entre zona térmica del CTE con zona climática de SES 166

Tabla 65. Superficie puntual m2 167

Tabla 66. Superficie difusa m2 168

0. INTRODUCCIÓN, CONTEXTO Y OBJETIVOS

La escasez de combustibles fósiles, la dependencia energética, el creciente precio de los carburantes y el cambio climático son algunos de los principales retos a los que se enfrentará la Unión Europea en materia de energía durante los próximos años. En este contexto, la eficiencia energética se revela como una herramienta que favorece el crecimiento energético sostenible y una de las formas más rentables no sólo para reforzar la seguridad del abastecimiento energético, sino también para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Consciente de ello la Unión Europea ha publicado la Directiva de Eficiencia Energética 2012/27/UE (en adelante la Directiva) que crea un marco común para establecer acciones concretas que fomenten la eficiencia energética dentro de los Estados Miembros.

Una de las medidas establecidas en esta Directiva hace referencia a la promoción de la eficiencia en calefacción y refrigeración. El Artículo 14 establece la obligación de notificar a la Comisión una evaluación completa del potencial de uso de la cogeneración de alta eficiencia y de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración eficientes, de acuerdo con lo indicado en el anexo VIII de dicha Directiva. Asimismo se debe llevar a cabo un análisis coste-beneficio de los proyectos evaluados que cubra todo el territorio nacional. En aquellos lugares en los que los beneficios excedan los costes, los Estados Miembros han de adoptar las medidas adecuadas para desarrollar las infraestructuras de redes urbanas de calefacción y refrigeración eficientes.

La Secretaría de Estado de Energía del MINETUR (Ministerio de Industria, Energía y Turismo) en España es la entidad responsable de la trasposición de la Directiva y de llevar a cabo la evaluación del potencial de acuerdo a lo indicado en la misma. El objetivo final de la evaluación es analizar la viabilidad técnica y económica de los sistemas de cogeneración de alta eficiencia y de las redes urbanas de calefacción y refrigeración en el territorio español.

Para realizar dicha evaluación se han seguido las siguientes fases:

- Caracterización de la demanda de calor y frío en España
- Elaboración de un mapa de calor que ubique puntos de demanda/oferta energética
- Elaboración de una herramienta experta de evaluación de la información del mapa de calor que procese la información e identifique y evalúe potenciales de calefacción y refrigeración eficientes en base al análisis técnico económico de la oferta energética disponible.

En la primera fase del estudio, se describe la metodología empleada en la caracterización de la demanda de calor y frío de todos los centros consumidores de España, atendiendo a diferencias sectoriales y climáticas.

Respecto al mapa de calor y siguiendo lo indicado en el anexo VIII de la Directiva se ha identificado dentro del territorio nacional la siguiente información:

- Los puntos de demanda de calefacción y refrigeración, incluidos:
  - Municipios y conurbaciones con una relación entre superficie construida y superficie de terreno, cómo mínimo de 0.3
  - Zonas industriales con un consumo anual total de calefacción y refrigeración de más de 20 GWh
- La infraestructura de calefacción y refrigeración urbana
- Los puntos posibles de suministro de calefacción y refrigeración, incluidas:
  - Las instalaciones de generación de electricidad con una producción anual de más de 20 GWh
  - Las instalaciones de incineración de residuos
  - Las instalaciones de cogeneración existentes que usan las tecnologías contempladas por la Directiva, así como las instalaciones de calefacción urbana

Todos estos datos de demanda así como los puntos posibles de suministro de calefacción y refrigeración urbana han sido integrados en una base de datos, a partir de la cual se han desarrollado dos herramientas diferenciadas: una primera herramienta de consulta que constituye el propio mapa de calor y, por otro lado, la herramienta desarrollada para la elaboración del cálculo técnico-económico del potencial de cogeneración de alta eficiencia y de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración eficientes.

Por último y tomando como punto de partida la información enumerada en el apartado anterior, la herramienta se encargará de identificar las demandas térmicas con posible potencial para implantar sistemas de calefacción y refrigeración eficientes para, posteriormente, analizar la viabilidad técnica y económica de su ejecución.

En base a ello se han identificado las soluciones técnicas que utilizando calor residual, energías renovables y sistemas de cogeneración, presentan potencial técnico y económico para su posible implantación. Posteriormente a partir del potencial económico se calcula el potencial coste eficiente, que supone para cada sistema la combinación de soluciones técnicas más ventajosas para satisfacer el mayor porcentaje de la demanda.

Es necesario señalar que debido a la ausencia de datos estadísticos en los que basarse ha sido necesario realizar un importante número de hipótesis para la caracterización de la demanda de energía térmica por lo que los resultados obtenidos en la caracterización de la demanda han de ser considerados como una primera aproximación al conocimiento

desagregado de la demanda de calor y frío en los diferentes sectores a nivel nacional y dado que la demanda de energía térmica constituye el punto de partida para todo el análisis posterior del potencial técnico y económico de los sistemas de calefacción y refrigeración eficientes, los resultados finales han de ser considerados asimismo como una primera aproximación.

Por otro lado, también hay que señalar que los resultados obtenidos del estudio de potencial económico son muy sensibles a las hipótesis consideradas en su cálculo debido tanto a la amplitud del horizonte temporal considerado 2015-2050 como al elevado número de variables económicas y energéticas que intervienen en cada una de las alternativas consideradas. La propia evolución de la línea base añade incertidumbre a los resultados finales. En este sentido, el potencial económico no ha de ser entendido como un dato estático sino que necesariamente tiene que evolucionar y no solamente por la propia dinámica del cambio en las variables que lo determinan sino también por la adopción de las políticas adecuadas para su implementación.

No obstante lo anterior, es importante resaltar que la metodología adoptada, completada con ulteriores estudios focalizados en áreas concretas del territorio nacional, permitirá tener un mejor conocimiento del que hasta ahora se tiene del verdadero potencial disponible en sistemas de calefacción de refrigeración eficientes y será de gran ayuda en los procesos futuros de planificación energética ya que facilitará la toma de decisiones en la optimización de los recursos económicos empleados.

Antes de proceder a analizar detalladamente la metodología utilizada, se indica a continuación cual es la situación de la cogeneración en España.

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA COGENERACIÓN Y LOS SISTEMAS URBANOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN ESPAÑA

De acuerdo con el anexo VIII de la Directiva 2012/27 relativa a la eficiencia energética, a continuación se indica cual es la situación actual de la cogeneración y de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración.

1.1. Situación actual de la cogeneración

La Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, y el Real Decreto 413/2014 por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos clasifican las plantas de cogeneración en los siguientes grupos y subgrupos:

- Grupo a.1. Instalaciones que incluyan una central de cogeneración.
  - Subgrupo a.1.1. Cogeneraciones que utilizan como combustible gas natural, si supone al menos el 95% de la energía primaria o al menos el 65% si el resto proviene de biomasa o biogás.
  - Subgrupo a.1.2. Cogeneraciones que utilizan como combustible principal derivados de petróleo o carbón, siempre que suponga al menos el 95% de la energía primaria.
  - Subgrupo a.1.3. Resto de cogeneraciones que utilicen gas natural o derivados de petróleo o carbón, y no cumplan los límites de consumo establecidos.
- Grupo a.2. Instalaciones que incluyan una central que utilice energías residuales procedentes de cualquier instalación, máquina o proceso industrial cuya finalidad no sea la producción de energía eléctrica.

El Real Decreto 413/2014 define un marco retributivo para la venta de la energía eléctrica vertida a la red basado en el precio del mercado organizado de la energía eléctrica y dos térmicos retributivos adicionales:

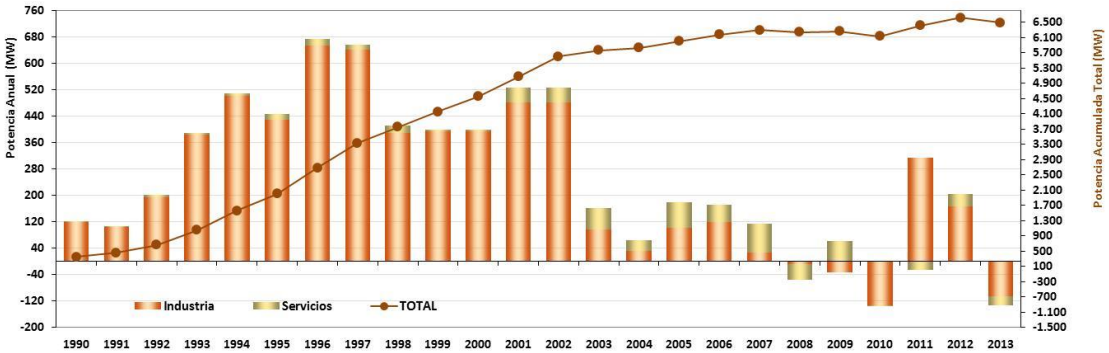
- Retribución a la inversión, término retributivo por unidad de potencia que permite compensar los costes de inversión que no hayan sido recuperados y que no lo podrán ser mediante los ingresos de explotación previstos hasta alcanzar la vida útil regulatoria (25 años para el caso de cogeneración), todo ello para alcanzar la denominada ‘rentabilidad razonable’. Es actualizada en cada semiperiodo regulatorio (3 años).
- Retribución a la operación, término retributivo por unidad de energía que junto con la estimación de ingresos de explotación iguala a los costes estimados de explotación. Es actualizada de forma semestral.

Los parámetros retributivos son propios para cada ‘instalación tipo’ las cuales tipifican conjuntos de plantas de cogeneración que comparten varias características técnicas y administrativas para responder al objetivo del Real Decreto 413/2014 de que las

cogeneraciones alcancen la rentabilidad razonable en la vida útil regulatoria de 25 años. A día de hoy se han definido 456 instalaciones tipo, sin incluir el subgrupo a.1.3.

A finales del año 2013 el parque de plantas de cogeneración en España totaliza **6.486,7 MW** repartidos en **727 plantas**[1]. La evolución histórica y la potencia instalada en cada ejercicio anual desde el año 1990 se representan gráficamente en la Ilustración 1 adjunta, en la cual se aprecia cómo el número de plantas de cogeneración instaladas anualmente en España ha ido creciendo a partir del año 1990 con cifras considerables de nuevos proyectos desde el año 1993 hasta el 2002. Posteriormente la instalación de nuevas plantas disminuyó considerablemente, no existiendo una actividad significativa de nuevos proyectos en los años más recientes.

Ilustración 1. Potencia instalada anualmente y acumulada de plantas de cogeneración en España.



Fuente: Boletín de estadísticas energéticas de cogeneración. Año 2013. IDAE

Durante el año 2013 la generación eléctrica (en bornes de alternador) de las cogeneraciones en España ascendió a **30.790,9 GWh**, con una aportación eléctrica a la red de **25.409 GWh**[2] (esta última cifra no incluye a las cogeneraciones a partir de fuentes renovables). Esto supone un descenso de la producción eléctrica de las cogeneraciones respecto el ejercicio anterior, aunque la participación en la demanda eléctrica se sitúa en torno al 10%.

Por otra parte la Tabla 1 presenta las cifras de potencia, número de instalaciones de cogeneración y la energía eléctrica generada (en bornes de alternador) en el año 2013 por sectores de actividad. Se observa que la cogeneración tiene una fuerte presencia en las siguientes ramas, las cuales concentran cerca del 80% de la potencia instalada en el año 2013:

- Industria Agrícola, Alimentaría y del Tabaco (19,4%)
- Pasta y Papel (19,3%)
- Industria química (15,9%)

---

[1] *Datos del Boletín de estadísticas energéticas de cogeneración. Año 2013. IDAE.*

[2] *Datos procedentes de Comisión Nacional de los Mercados y de la Competencia (CNMC) sobre las ventas de energía del Régimen Especial.*

- Refinerías (9,9%)
- Fabricación de Minerales No Metálicos (7,4%)

También es destacable la alta producción eléctrica en industria química, alimentación, papel y cartón y refino, donde se superan en todas ellas los 4.000 GWh en el año 2013.

Tabla 1. Potencia instalada, número de plantas y energía eléctrica generada en España por plantas de cogeneración por sectores de actividad

Sector de actividad		Potencia Eléctrica (MW)	Número de plantas	Energía eléctrica (GWh)
Industria	Coquización	123,8	5	613,8
	Extracción	95,3	14	502,3
	Extracción de Combustibles Sólidos	35,4	5	72,8
	Fabricación Otros Productos Minerales No Metálicos	478,0	139	1.696,3
	Industria Química	1.032,5	60	5.264,8
	Industrias Agrícolas, Alimentarias y Tabaco	1.257,1	151	4.709,7
	Industrias del Papel y Cartón, Edición e Imprenta	1.253,9	78	7.562,4
	Producción de Minerales No Férreos	35,3	6	87,9
	Refinerías	641,4	15	4.306,9
	Siderurgia	12,1	3	52,4
	Textil, Vestido y Cuero	311,5	34	557,0
	Transformados Metálicos, Fabricación de Maquinaria y Equipos	122,1	14	448,5
	Otras Ramas Industriales	414,4	58	1.774,5
Residencial y servicios		630,1	129	2.906,0
Transporte y Comunicaciones		44,0	16	235,5
TOTAL		**6.486,7**	**727**	**30.790,9**

Fuente: Boletín de Estadísticas Energéticas de cogeneración. Año 2013, IDAE

Seguidamente la Tabla 2 presenta las mismas cifras de potencia, número de instalaciones de cogeneración y la energía eléctrica generada (en bornes de alternador) en el año 2013 por tecnologías. Casi la mitad de la potencia de las plantas utilizan el **motor de combustión interna** (3.120,5 MW), siendo también significativa la presencia de **ciclos combinados** (1.306,8 MW) y **turbinas de gas en ciclo simple** (1.221,1 MW). También la mayor producción eléctrica proviene de **motores de combustión interna** (del orden de 11.000 GWh), aunque es relevante también la producción de **ciclos combinados** (más de 8.000 GWh) y de **ciclos simples con turbinas de gas** (más de 6.000 GWh).

En términos relativos la tecnología dominante sigue siendo el **motor de combustión interna** con el 48,1% de la potencia instalada, así como el 76,1% de las instalaciones existentes. Le siguen en orden de magnitud las tecnologías de **ciclo combinado** y la **turbina de gas**, que

conjuntamente representan el 39% de la potencia instalada, si bien la representatividad de estas tecnologías es menor en cuanto a número de instalaciones (el 17,6%). Lo anterior se traduce en un mayor tamaño medio asociado a estas tecnologías, especialmente en el caso del **ciclo combinado**, con 38,4 MW de potencia unitaria, casi siete veces superior al tamaño medio de las instalaciones equipadas con **motores de combustión interna** (5,6 MW).

Tabla 2. Potencia instalada, número de plantas y energía eléctrica generada en España por plantas de cogeneración por tecnologías

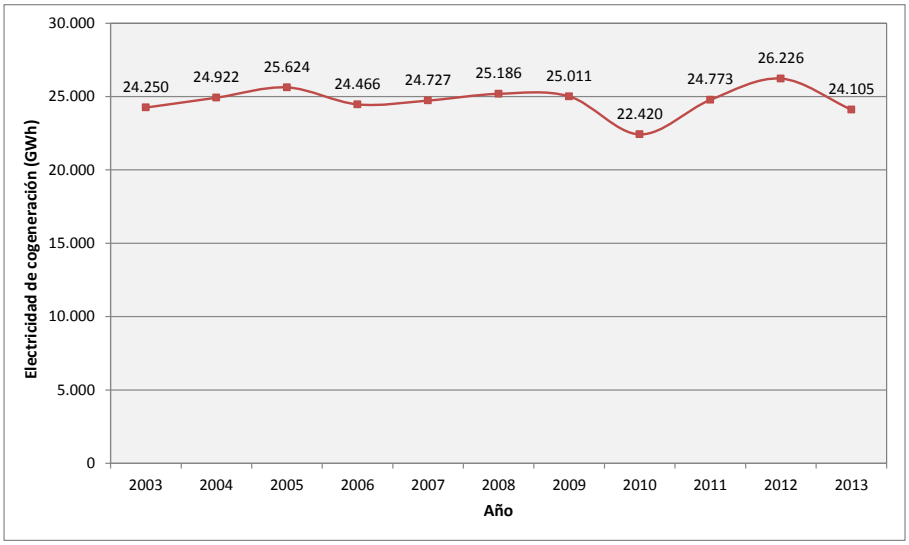
Tecnología	Potencia Eléctrica (MW)	Número de plantas	Energía eléctrica (GWh)
Ciclo Combinado	1.306,8	34	8.034,6
Motor de Combustión Interna	3.120,5	553	11.455,0
Turbina de Gas con Recuperación de Calor	1.221,1	94	6.882,7
Vapor: Turbina a Contrapresión	552,8	31	2.714,3
Vapor: Turbina de Condensación	284,9	13	1.704,3
Varios	0,6	2	0,0
TOTAL	**6.486,7**	**727**	**30.790,9**

Fuente: Boletín de Estadísticas Energéticas de cogeneración. Año 2013, IDAE

Respecto a los combustibles empleados por las plantas de cogeneración, el **gas natural** sigue siendo el utilizado por la gran mayoría de instalaciones (más del 80% de la producción eléctrica proviene a partir de este combustible), aunque también es relevante el parque de plantas que utilizan **gasóleo**, **fuelóleo** y **combustibles renovables**. En menor medida existen grupos que utilizan carbón y subproductos de la actividad de refino de petróleo.

La Ilustración 2 muestra la evolución de la electricidad de cogeneración del parque de plantas en España. Este dato ha sido calculado de acuerdo a lo establecido en el Anexo I de la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.

Ilustración 2. Evolución de la electricidad de cogeneración en el período 2003 – 2013



Fuente EUROSTAT

Se puede observar que la electricidad de cogeneración no ha experimentado cambios apreciables en el periodo 2003 – 2013, lo cual se corresponde con lo que antes se ha comentado sobre la poca relevancia de nuevas plantas instaladas de cogeneración desde el año 2003, aunque es esperable que con la relativamente reciente publicación del Real Decreto 413/2014 y con futuros planes de renovación y mejora de la eficiencia del parque de cogeneración en España estas cifras experimenten ligeros ascensos. También en el marco de comunitario, cabe esperar un impacto favorable en la cogeneración asociado a las Directivas 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. Ambas directivas subrayan la importancia de la cogeneración de alta eficiencia, con hincapié en la cobertura de la demanda energética en los edificios de nueva construcción, en el caso de la Directiva 2010/31/UE, y en los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración, en el caso de la Directiva 2012/27/UE.

En la Tabla 3 se detalla la potencia, número de instalaciones, electricidad de cogeneración y calor útil de las cogeneraciones en el año 2013.por tecnología utilizada. La electricidad de cogeneración calculada de acuerdo con el Anexo I de la Directiva 2012/27/UE para la totalidad de las plantas fue de 24.105 GWh, siendo el calor útil aportado por las cogeneraciones 48.570 GWh,

Tabla 3. Potencia instalada, número de plantas. Electricidad de cogeneración y calor útil año 2013 por tecnologías.

Plantas completas CHP (eficiencia global ≥ umbral)				
Tecnología	Potencia eléctrica (GW_E)	Número de instalaciones	Electricidad de cogeneración (GWh_E)	Calor útil (GWh_T)
Ciclo Combinado			0	0
Turbina de Gas con Recuperación de Calor	379	35	2.101	5.562
Motor de Combustión Interna	368	35	1.665	3.459
Vapor: Turbina a Contrapresión	180	13	768	5.717
Vapor: Turbina de Condensación			0	0
Otras tecnologías			0	0
SUBTOTAL	**927**	**83**	**4.533**	**14.737**
Plantas con parte no-CHP (eficiencia global < umbral)				
Tecnología	Potencia eléctrica (GW_E)	Número de instalaciones	Electricidad de cogeneración (GWh_E)	Calor útil (GWh_T)
Ciclo Combinado	1.307	34	7.508	11.340
Turbina de Gas con Recuperación de Calor	842	59	3.594	7.359
Motor de Combustión Interna	2.753	518	6.024	8.391
Vapor: Turbina a Contrapresión	373	18	1.001	3.378
Vapor: Turbina de Condensación	285	13	1.444	3.365
Otras tecnologías	1	2	0	0
SUBTOTAL	**5.560**	**644**	**19.572**	**33.833**
TOTAL	**6.487**	**727**	**24.105**	**48.570**

Fuente: Elaboración a partir de Estadísticas MINETUR - IDAE. Año 2013

1.2. Situación de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración

En octubre de 2011 se realizó el primer censo de las redes urbanas de calefacción y refrigeración en España, incluyendo redes y micro-redes. Como consecuencia de la continuación de este trabajo, hasta la fecha se han identificado 270 redes, de las cuales se dispone de datos de 247. Estas redes tienen una longitud construida de más de 310 km y satisfacen la demanda de energía de una superficie de 7 millones de m2, equivalentes a la superficie de 93.000 viviendas.

De las 247 redes de las que se dispone de datos, 220 redes son de calor, y sólo tres redes producen únicamente frío, por tanto, el 89% de las redes producen sólo calor, mientras que el 1% produce únicamente frío.

No obstante, las redes de calor y frío son las que tienen mayor potencia instalada.

- 1.139 MW instalados en total.
- 419 MW en redes de calor:37%
- 713 MW en redes de calor y frío: 62%
- 7 MW en redes de frío: 1%

En términos absolutos, la potencia instalada tiene como fin mayoritario el suministro de calor

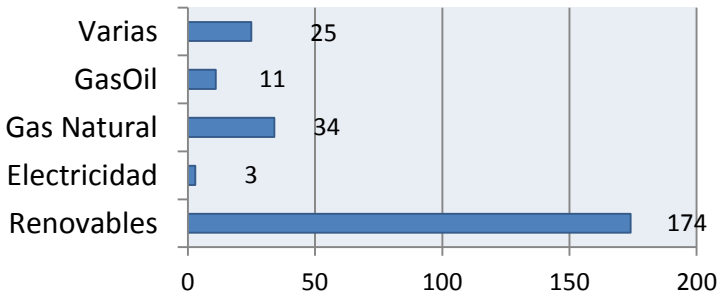
- 814 MW en calor: 72%
- 325 MW en frío: 28%

En cuanto a la distribución del número de redes por sector de actividad al que dan servicio, se observa que la mayoría están en el sector terciario, 63%, seguidas a mucha distancia del residencial 19%, mientras que el sector industrial representa sólo un 5%.

No obstante, si se tiene en cuenta la potencia instalada que da servicio a cada sector la distribución es la siguiente: terciario 33%, residencial 15% y por último industria 7%.

En cuanto a la titularidad de las redes, los porcentajes de titularidad pública y privada son 51 y 43% respectivamente que constituyen el 94% de las instalaciones. El 6% restante pertenece a sociedades mixtas. Sin embargo, en términos de potencia instalada, las redes pertenecientes a sociedades mixtas suponen el 49% del total de potencia instalada.

Respecto al tipo de energía consumido por las redes censadas, la ditribución es la siguiente:



2. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LOCALIZACIÓN DE CENTROS CONSUMIDORES

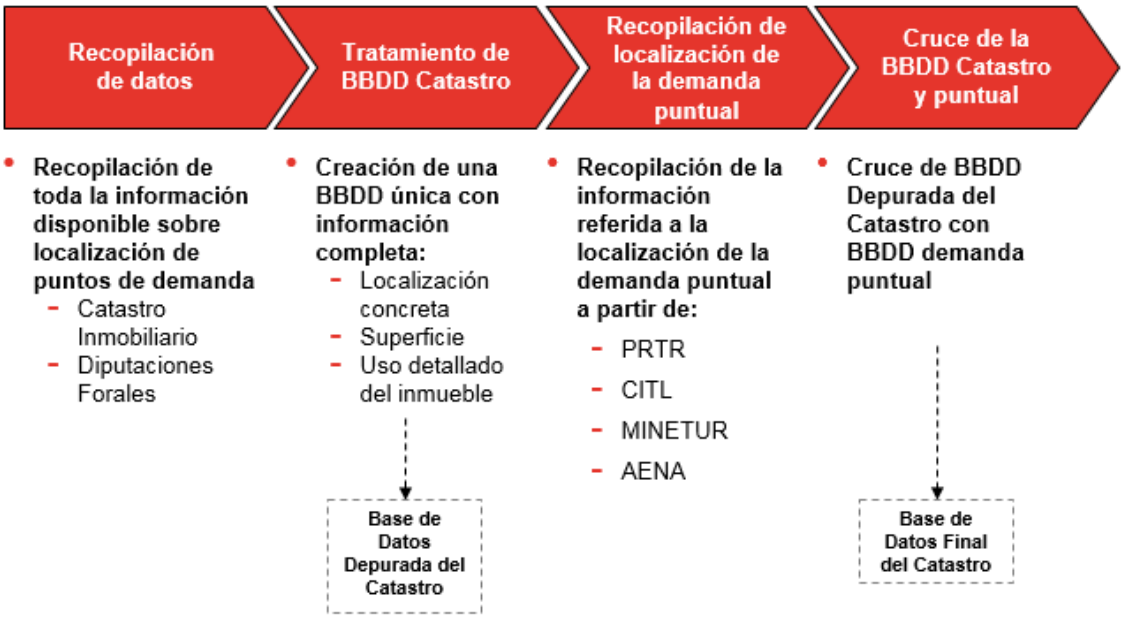
Para la caracterización de la demanda térmica del territorio español, dada la inexistencia de estadísticas oficiales que permitan llegar a conclusiones diferenciadas, se requiere obtener la información que permita estimar las demandas energéticas de cada uno de sus centros consumidores.

La principal fuente de información para cada uno de los municipios del país ha sido el Catastro Inmobiliario de España, mientras que para los centros más singulares se ha recurrido a otras fuentes (registros de emisiones de CO_2 del PRTR y CITL, Registro del Régimen Especial de producción de energía eléctrica, Catálogo Nacional de Hospitales, etc.) que han permitido complementar la información inicial y optimizar la metodología de cálculo. En el Anexo I se recogen todas las fuentes de información utilizadas en el estudio.

Tras la obtención de toda la información necesaria se procede al tratamiento y estructuración de datos, agrupando toda la información necesaria en una única base de datos (en adelante, Base de Datos Final del Catastro Inmobiliario).

En la Ilustración 3 se resume la metodología empleada para la elaboración de la Base de Datos Final del Catastro:

Ilustración 3. Metodología empleada para la elaboración de la Base de Datos Final del Catastro



2.1 Recopilación de datos

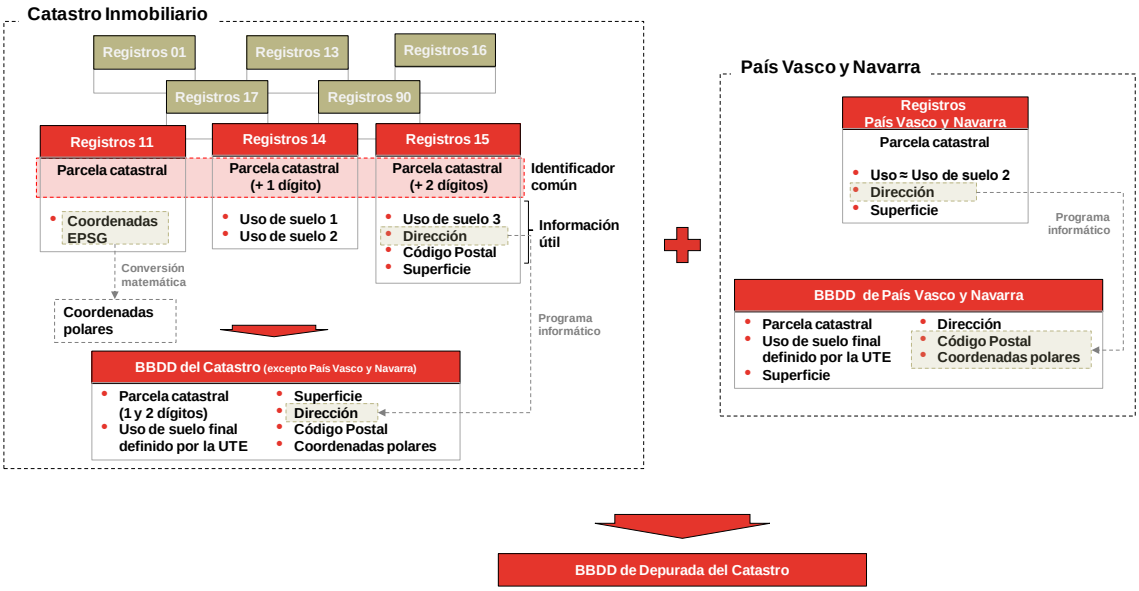
El Catastro Inmobiliario es un registro administrativo dependiente del MINHAP (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas) en el que constan los inmuebles urbanos, rústicos y aquellos de características especiales. La inscripción en el mismo es obligatoria, por lo que se encuentran todos los bienes inmuebles de España a excepción de País Vasco y Navarra, que disponen de competencias propias en cuanto al Catastro inmobiliario. La descripción de cada uno de los bienes inmuebles incluye sus características físicas entre las que se encuentran su referencia catastral, localización, superficie y actividad desarrollada, información necesaria para la posterior determinación y localización de la demanda térmica.

Del Catastro Inmobiliario se utilizaron 15.184 ficheros CAT alfanuméricos: uno urbano y uno rural de cada uno de los municipios de España, a excepción de Navarra y País Vasco para los que se obtuvo de forma independiente la información alfanumérica de cada uno de sus municipios. Una vez obtenidos los ficheros necesarios para cubrir la totalidad del territorio español, se trataron de manera independiente para posteriormente unificarlos en una única base de datos, la Base de Datos Depurada del Catastro, que incluye la información necesaria de cada registro.

2.1.1. Tratamiento de la base de datos del Catastro Inmobiliario

La complejidad del formato de los datos del Catastro requirió un tratamiento exhaustivo de la información proporcionada. A continuación se muestra un esquema con el procedimiento seguido.

Ilustración 4. Esquema del procedimiento para obtener la Base de Datos Depurada del Catastro



El tratamiento parte de 15.184 ficheros CAT, cada uno de los cuales contiene ocho tipos de registros diferentes. Cada registro se refiere a un nivel catastral diferente y, por tanto, tiene dimensiones distintas. Los registros de estos ficheros son los siguientes:

Tabla 4. Características de los ficheros CAT

Registro	Caracterización del fichero	Datos útiles para el proyecto
Tipo 01: Registro de cabecera	Existe uno para todo el fichero y hace referencia a la cabecera del fichero	-
Tipo 11: Registro de Finca	Existe uno por cada parcela catastral implicada	• Parcela Catastral • Coordenadas
Tipo 13: Registro de Unidad Constructiva	Existe uno por cada unidad constructiva en cada parcela catastral	-
Tipo 14: Registro de Construcción	Existe uno por cada construcción de cada unidad constructiva en cada parcela catastral	• Parcela Catastral • Uso de suelo 1 • Uso de suelo 2
Tipo 15: Registro de Inmueble	Existe uno por cada bien inmueble en cada parcela catastral	• Parcela Catastral • Uso de suelo 3 • Dirección • Superficie
Tipo 16: Registro de reparto de elementos comunes	Existe al menos uno por cada elemento común que se reparte, siempre que sea necesario especificar repartos especiales	-
Tipo 17: Registro de cultivos	Existe uno por cada subparcela de cultivo existente dentro de la parcela catastral	-
Tipo 90: Registro de cola	Existe uno para todo el fichero	-

Fuente: Catastro Inmobiliario

Como se aprecia en la *Tabla* 4, la información necesaria para la caracterización de la Base de Datos Depurada del Catastro y que se recoge en los registros Tipo 11, Tipo 14 y Tipo 15 es la siguiente:

- **Parcela Catastral**: es un identificador oficial de los bienes inmuebles. Consiste en un código alfanumérico asignado por el Catastro de manera que todo inmueble pueda ser situado inequívocamente en la cartografía catastral.

- **Uso**: hace referencia a la actividad desarrollada según el Catastro en ese bien inmueble (para mayor detalle, ver Anexo II). Cada tipo de registro puede recoger una dimensión distinta de dicha actividad de menor a mayor especificidad, tal y como sigue:
    - Uso de suelo 1 se refiere a la actividad desarrollada de una forma general (por ejemplo "I Industrial").
    - Uso de suelo 2 recoge información sobre el tipo de edificio (por ejemplo "2.1.3. Naves de fabricación y almacenamiento; Almacenamiento").
    - Uso de suelo 3 recoge la actividad desarrollada con un mayor grado de detalle (por ejemplo "IIM Industria química).
- **Dirección** asociada al punto de demanda.
- **Coordenadas** en formato EPSG.
- **Superficie útil** del bien inmueble.

Entre los tres registros mencionados existe un identificador común, la parcela catastral, campo a partir del cual se ha unificado toda la información de los diferentes registros.

La actividad desarrollada en cada uno de los bienes inmuebles del Catastro Inmobiliario está catalogada en función de tres normas de valoración, que difieren entre sí en el grado de especificidad al que llegan. Así, por lo general, la mayoría de bienes inmuebles se ven suficientemente identificados por el uso de suelo 2 y en algunos casos por el uso de suelo 3. Siguiendo estas premisas, la relación final de los 144 usos de suelo identificados se puede consultar en la Tabla 63 del Anexo II.

Para poder completar la BBDD del Catastro fue necesario incluir la información referida a País Vasco y Navarra. El formato de los datos catastrales en estas comunidades presenta diferencias significativas con respecto al Catastro Inmobiliario. Por ello fue necesario elaborar cuatro procedimientos específicos, en línea con el descrito para el Catastro Inmobiliario, que adaptaran dicha información e integraran los 4.000.000 de nuevos registros en la Base de Datos Preliminar del Catastro. Asimismo se desarrolló otro programa informático ad hoc que completara la información sobre la localización concreta de los centros de demanda de estas provincias.

Ambas bases de datos (la Base de Datos Preliminar del Catastro y las bases de datos resultantes del tratamiento de la información de Navarra y País Vasco) se integraron para obtener una única (Base de Datos Depurada del Catastro) con toda la información necesaria de cada una de las referencias catastrales de España.

2.1.2 Tratamiento de la base de datos de demanda puntual

Paralelamente a este proceso, se ha llevado a cabo la elaboración de otra base de datos que incluye un conjunto de centros consumidores con elevadas demandas térmicas que requieren un tratamiento diferenciado. Esta base de datos incluye los siguientes centros:

- Centros hospitalarios y sanitarios
- Edificios propiedad de la Administración General del Estado
- Centros penitenciarios
- Aeropuertos
- Grandes industrias
- Centros comerciales

La base de datos puntual está compuesta por los centros consumidores que requieren de una metodología de cálculo específica para la estimación de sus demandas. En general, se consideran como centros consumidores puntuales aquellos asociados a grandes demandas térmicas y que, por ello, es conveniente analizar de forma individualizada, a excepción de gran parte de los edificios propiedad de la Administración General del Estado cuya consideración de demanda puntual es debida únicamente a su carácter público y al hecho de que sus consumos energéticos son publicados de forma oficial.

La información contenida en la base de datos varía en función de la tipología del centro consumidor y se ha procedido a la localización geográfica de sus coordenadas mediante la elaboración de una herramienta informática de geolocalización a partir de la API de Google Maps. En la *Tabla* 5 se muestra la información contenida en la base de datos para cada tipología de centro.

Tabla 5: Estructura de la base de datos puntual[1]

Tipología	Información
Centros hospitalarios y sanitarios	• Nº de camas • Coordenadas geográficas
Edificios propiedad de la Administración General del Estado	• Superficie • Consumos de energía final • Coordenadas geográficas
Centros penitenciarios	• Superficie • Consumos de energía final • Nº de celdas • Nº de reclusos • Coordenadas geográficas
Aeropuertos	• Tráfico anual • Altitud • Coordenadas geográficas
Grandes industrias	• Código CNAE • Emisiones anuales de CO_2 • Disponibilidad de planta de cogeneración • Características de la planta de cogeneración • Disponibilidad de gas natural

[1]*No se incluyen los centros comerciales debido a la carencia de un registro oficial que permita su identificación. El proceso empleado para su localización se explica en el apartado 3.3 del presente documento*

2.1.3 Unificación de la base de datos depurada del Catastro con la base de datos de demanda puntual

Dado que la Base de Datos Depurada de Catastro recopila prácticamente la totalidad de los bienes inmuebles del territorio español, la inclusión de cada uno de los centros consumidores puntuales supone su duplicación, por lo que se ha procedido a la identificación de cada uno de los centros de consumo puntual en la Base de Datos Depurada de Catastro para posteriormente combinar ambas entradas en una única que contenga la totalidad de la información, denominada Base de Datos Final del Catastro.

El procedimiento de identificación se ha llevado a cabo a partir de una herramienta informática programada en mySQL que, a partir de las coordenadas geográficas del centro de demanda puntual, es capaz de localizar los inmuebles ubicados en un radio de alcance predefinido y analizar la información almacenada para cada una de estas referencias catastrales (superficie y uso de suelo).

Con todo esto, se ha obtenido una base de datos única con la que proceder a la estimación de las demandas energéticas de cada uno de los centros consumidores.

3. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

En este capítulo se muestra la metodología que se ha empleado a la hora de caracterizar la demanda energética de los centros consumidores, así como la determinación posterior de las curvas horarias de demanda de ACS, calefacción y refrigeración.

Con el fin de facilitar el análisis de la demanda energética, se ha recurrido a la clasificación de los puntos de consumo en dos grandes categorías:

- **Centros de demanda puntuales:** son aquellos centros de demanda térmica con consumos especialmente relevantes, que requieren un tratamiento individualizado. A nivel industrial incluyen todas las instalaciones que tengan demandas térmicas esencialmente debidas a procesos productivos y no a sistemas de climatización. En el caso del sector terciario, se consideran centros de consumos puntuales los edificios propiedad de la Administración General del Estado (incluyendo los centros penitenciarios) debido a su carácter público y los hospitales, centros sanitarios, centros comerciales y aeropuertos por considerarse edificaciones susceptibles de abastecer su demanda térmica mediante sistemas de cogeneración de alta eficiencia. La superficie total de los centros de consumo puntuales analizados es de más de 77 millones de metros cuadrados.

- **Centros de demanda difusos:** son aquellos puntos del sector terciario e industrial, no incluidos en el apartado anterior y abarcan una superficie superior a 991 millones de metros cuadrados. También se incluye en este grupo la totalidad del sector residencial (24 millones de viviendas). Debido al gran número de consumidores que forman parte de esta categoría no es posible caracterizarlos de manera individualizada, por lo que se emplea un perfil de demanda tipo para cada sector de actividad.

En un mayor detalle, en ambas categorías se encontrarán los siguientes grupos:

Tabla 6. Clasificación de categorías difusa y puntual

Categoría difusa	Categoría puntual
• Demanda - Sector residencial - Sector terciario difuso o Oficinas o Comercios o Sanidad o Deportivo o Espectáculos o Ocio y hostelería o Cultural - Sector industrial difuso	• Demanda - Sector terciario o Hospitales o Centros penitenciarios o Edificios institucionales o Aeropuertos o Centros comerciales - Sector industrial

Adicionalmente a la diferenciación entre demanda puntual y difusa, se considera necesario establecer clasificaciones adicionales en función de las variaciones climáticas. En este sentido y de forma general, la demanda energética de un centro consumidor está altamente relacionada con su ubicación, debido principalmente a los diferentes requerimientos en climatización según la zona climática en la que se encuentre. En el presente informe se han establecido tres zonas climáticas diferenciadas: Atlántico Norte, Continental y Mediterránea.

La diferenciación de estas zonas se ha hecho teniendo en cuenta el proyecto "*SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final. (2011)*" en el cual se establecen las tres zonas climáticas que caracterizan a España y cuya delimitación se ha obtenido en función de las temperaturas promedio máximas, medias y mínimas de las provincias españolas para el periodo 1997-2007. La *Ilustración 5* muestra a qué zona climática pertenece cada una de las provincias del territorio nacional.

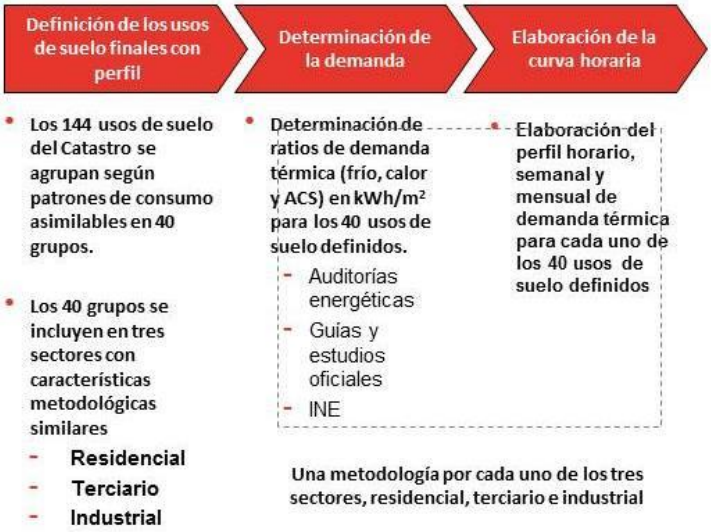
Ilustración 5. Distribución territorial de las zonas climáticas

Fuente: Proyecto SECH-SPAHOUSEC. 2011

En general, las demandas térmicas de los sectores residencial y terciario se ven influidas por la zona climática. Por el contrario, se considera que el sector industrial no se ve afectado ya que la mayor parte de la demanda térmica es debida al proceso productivo, en el que apenas influye la variable climática.

La siguiente ilustración muestra un esquema de la metodología empleada en la caracterización de la demanda energética de los centros consumidores de energía y que será explicada en los siguientes puntos del informe.

Ilustración 6. Procedimiento para determinar los perfiles de demanda difusa



3.1. Determinación de los usos de suelo finales sobre los que caracterizar la demanda térmica

La demanda energética de España abarca multitud de consumidores que pueden ser identificados en base al uso de suelo según en el Catastro. Tal y como se vio en el *Capítulo 2*, tras el tratamiento de la Base de Datos Depurada del Catastro la relación de todos los usos de suelo identificados ascendió a 144. Después de estudiarlos de manera independiente, se consideró que muchos de ellos presentaban un patrón de consumo energético asimilable, por lo que para simplificar el análisis se procedió a su agrupación. Esta agrupación por similitud dio lugar a 40 usos de suelo finales, para cada uno de los cuales se calcularon sus respectivos ratios de demanda térmica y se elaboró una curva horaria, semanal y mensual de demanda energética. A continuación se muestran los usos de suelo finales, resultantes de la agrupación.

Tabla 7. Usos de suelo finales con perfil de demanda asociado

Id	Uso	Id	Uso
1	Sin demanda	21	Industria-Agrícola
2	Viviendas colectivas	22	Industria-Bebida
3	Viviendas unifamiliares	23	Industria-Barro
4	Oficinas	24	Industria-Construcción
5	Comercio general	25	Industria-Cantera - (Minas)
6	Mercado o supermercado	26	Industria-Electricidad
7	Deportes cubiertos; piscinas	27	Industria-Química
8	Deportivos auxiliares	28	Industria-Madera
9	Espectáculos	29	Industria-Manufacturada
10	Ocio y hostelería con residencia	30	Industria-Metálica
11	Ocio y hostelería sin residencia	31	Industria-Maquinaria
12	Sanidad y beneficencia con residencia	32	Industria-Plásticos
13	Sanidad y beneficencia sin residencia	33	Industria-Papel
14	Cultural y religioso con residencia	34	Industria-Pesca
15	Cultural y religioso sin residencia	35	Industria-Petróleo
16	Administrativo	36	Industria-Tabaco
17	Penitenciario	37	Industria-Textil
18	Industria	38	Industria-Vidrio
19	Industria-Agropecuaria	39	Estaciones de servicio
20	Industria-Alimentación	40	Aeropuertos

Asimismo, para facilitar la caracterización de la demanda se establecieron 3 grandes grupos consumidores en función del patrón de consumo considerado (residencial, terciario e industrial). La caracterización de la demanda empleada presentó claras diferencias metodológicas para cada uno de los grupos definidos. Los 40 usos de suelo finales se clasificaron en uno u otro sector, atendiendo al siguiente esquema:

Ilustración 7. Caracterización de la demanda de los sectores residencial, terciario e industrial

A continuación se explica la metodología que se ha llevado a cabo para caracterizar la demanda térmica de cada uno de los tres sectores definidos.

3.2. Sector residencial

El sector residencial comprende los usos de suelo 2 (viviendas colectivas) y 3 (viviendas unifamiliares) recogidos en la *Tabla 7* del presente informe. La demanda energética de este sector se caracteriza por ser muy sensible a la zona climática en la que se encuentra, debido a la alta influencia de la climatización en el consumo total de las viviendas. Asimismo, otro de los factores típicamente importantes en el cálculo de la demanda térmica de una vivienda es la tipología de la misma, debido principalmente a la envolvente térmica y las superficies en contacto con el ambiente exterior. Por todo ello se ha considerado necesario diferenciar entre vivienda bloque y vivienda unifamiliar para cada una de las zonas climáticas previamente mencionadas y determinar la demanda térmica y la curva horaria de cada una de ellas.

Este sector no presenta consumos especialmente relevantes que requieran un tratamiento individualizado, por lo que el 100% de la demanda asociada al sector residencial se ha considerado demanda difusa.

3.2.1. Caracterización de la demanda del sector residencial

Como fuente principal de información para la caracterización del sector residencial se ha utilizado el proyecto SECH-SPAHOUSEC "*Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final*" de 2011. Este estudio tiene como objetivo principal el desarrollo de una metodología para la determinación de los consumos del sector residencial, tanto a nivel global como segmentados por usos y servicios. Si bien este informe se basa en datos de 2010, se ha considerado que los resultados unitarios por vivienda se mantienen en 2013. El informe de SECH-SPAHOUSEC disgrega los consumos energéticos diferenciando entre:

- Tipología de vivienda
  - Unifamiliar
  - Bloque
- Zona climática
  - Atlántico Norte
  - Continental
  - Mediterráneo
- Disgregación del consumo energético por hogar
  - Calefacción
  - ACS
  - Refrigeración
  - Iluminación + electricidad
  - Otros (Cocina)

Superficie media por tipología y zona

A continuación se muestran los datos de SPAHOUSEC empleados para la determinación de los ratios de consumo de cada tipología de vivienda equipada, por metro cuadrado y zona climática.

Tabla 8. Consumo energético anual de vivienda unifamiliar equipada por uso y zona climática

Zona climática	Calefacción (GJ/hogar)	ACS (GJ/hogar)	Refrigeración (GJ/hogar)	Iluminación + electrod. (GJ/hogar)	Otros (cocina) (GJ/hogar)	Total (menos cocina) (GJ/hogar)
Atlántico norte	32,7	9,0	0,1	10,9	1,2	52,7
Continental	49,2	8,9	0,4	10,8	1,5	69,3
Mediterráneo	28,6	8,2	0,4	8,7	1,7	45,9

Fuente: SPAHOUSEC

Tabla 9. Consumo energético anual de vivienda bloque equipada por uso y zona climática

Zona climática	Calefacción (GJ/hogar)	ACS (GJ/hogar)	Refrigeración (GJ/hogar)	Iluminación + electrod. (GJ/hogar)	Otros (cocina) (GJ/hogar)	Total (menos cocina) (GJ/hogar)
Atlántico norte	6,7	6,8	0,02	12,1	1,3	25,6
Continental	15,5	7,6	0,3	10,8	1,0	34,2
Mediterráneo	4,9	7,5	0,3	7,7	1,7	20,4

Fuente: SPAHOUSEC

Como puede observarse, los datos de consumo energético presentados en las *Tabla 8* y Tabla 9 hacen referencia únicamente a viviendas equipadas, entendiendo por equipamiento la disponibilidad de los siguientes equipos o servicios energéticos: calefacción, ACS, refrigeración, cocina, iluminación y electrodomésticos. En España hay viviendas que no disponen de ciertos servicios energéticos (*Tabla* 10 *y Tabla 11*), por lo que para no sobredimensionar el consumo energético asociado al sector residencial español, se ha minorado el consumo energético de las viviendas equipadas por tipología y zona climática en función de la tasa de equipamiento.

Tabla 10. Tasa de equipamiento de viviendas unifamiliares

Zona climática	Calefacción	ACS	Refrigeración	Iluminación	Cocina
Atlántico norte	91,5%	99,6%	0,3%	100%	100%
Continental	89,4%	99,3%	36,9%	100%	100%
Mediterráneo	85,9%	99,7%	67,8%	100%	100%

Fuente: SPAHOUSEC

Tabla 11. Tasa de equipamiento de viviendas bloque

Zona climática	Calefacción	ACS	Refrigeración	Iluminación	Cocina
Atlántico norte	93,3%	100%	1,3%	100%	100%
Continental	97,4%	99,9%	40,3%	100%	100%
Mediterráneo	86,3%	100%	66,2%	100%	100%

Fuente: SPAHOUSEC

Siguiendo las recomendaciones de la guía de la Comisión Europea sobre la elaboración del mapa de calor: "*Best Practices and informal guidance on how to implement the Comprehensive Assessment and the country wide cost-benefit analysis*" se ha omitido el consumo residencial referente a "Otros (Cocina)" para el presente análisis.

Como resultado se obtuvieron los siguientes ratios de consumo energético por tipología de vivienda y zona climática.

Tabla 12. Consumo energético anual de vivienda unifamiliar por uso y zona climática

Zona climática	Calefacción (kWh)	ACS (kWh)	Refrigeración (kWh)	Iluminación + electrod. (kWh)	Otros (cocina) (kWh)	Total (menos cocina) (kWh)
Atlántico norte	8.311	2.490	0,1	3.028	333	13.829
Continental	12.218	2.455	38	3.000	417	17.711
Mediterráneo	6.824	2.271	81	2.417	472	11.593

Fuente: SPAHOUSEC

Tabla 13. Consumo energético anual de vivienda bloque por uso y zona climática

Zona climática	Calefacción (kWh)	ACS (kWh)	Refrigeración (kWh)	Iluminación + electrod. (kWh)	Otros (cocina) (kWh)	Total (menos cocina) (kWh)
Atlántico norte	1.736	1.889	0,1	3.361	361	6.986
Continental	4.194	2.109	37	3.000	278	9.340
Mediterráneo	1.175	2.083	55	2.139	472	5.452

Fuente: SPAHOUSEC

Según el uso que presente una vivienda, se clasifica en principal (ocupada la mayor parte del año), secundaria (segunda residencia o vivienda ocupada durante las vacaciones) y vacía. Los datos de consumo que presenta SPAHOUSEC hacen referencia únicamente a viviendas principales, por lo que si se aplicasen dichos ratios de consumo al 100% de las viviendas españolas se estaría mayorando la demanda final del sector residencial en España. Por ello, los consumos que figuran en la Tabla **12** y Tabla **13** por uso y zona climática, fueron minorados a partir de los ratios de ocupación de viviendas especificados en el Censo de Población del INE de 2011.

Tabla 14. Relación de viviendas según utilización por zona climática

Zona climática	Viviendas principales	Viviendas secundarias	Viviendas vacías
Atlántico norte	74,3%	11,8%	13,9%
Continental	72,0%	14,9%	13,1%
Mediterráneo	70,9%	15,1%	14,0%

Fuente: INE

A partir de los datos anteriores y de la superficie media de cada vivienda en las zonas climáticas correspondientes (Tabla 15), se obtuvo el ratio de consumo energético por metro cuadrado (kWh/m^2), según tipología de vivienda, uso y zona climática.

Tabla 15. Superficie media de viviendas principales por tipología y zona climática

Zona climática	Superficie viviendas bloque (m^2)	Superficie viviendas unifamiliares (m^2)
Atlántico norte	82,2	126,7
Continental	84,7	150,6
Mediterráneo	88,7	136,8

Fuente: SPAHOUSEC

Para cumplir con el objeto de este proyecto, una vez obtenidos los ratios de consumo energético para cada tipología de vivienda y zona climática fue necesario convertirlos en ratios de demanda. Para realizar esta conversión, se aplicó el rendimiento medio de los equipos implicados en ese uso particular, teniendo en cuenta la relación típica de fuentes energéticas que se emplean para dar ese servicio en esa zona climática. La Tabla 16 muestra la desagregación del consumo en viviendas, según las distintas fuentes energéticas y zonas climáticas contempladas en el análisis.

Tabla 16 . Desagregación de consumo según fuentes energéticas y zonas climáticas

Zona climática	Tecnología	Uds.	Calefacción	ACS	Refrigeración	Iluminación + electrod.	Otros (cocina)
Atlántico Norte	Carbón	*TJ*	402	32	0	0	39
	Productos petrolíferos	*TJ*	11.064	4.715	0	0	981
	Gas	*TJ*	6.939	9.225	0	0	3.665
	Biomasa	*TJ*	9.229	140	0	0	522
	ST	*TJ*	67	153	0	0	0
	Geotermia	*TJ*	43	33	18	0	0
	Electricidad	*MWh*	690.976	621.515	13.867	5.420.096	1.068.284
Continental	Carbón	*TJ*	103	8	0	0	35
	Productos petrolíferos	*TJ*	62.870	7.883	0	0	1.980
	Gas	*TJ*	36.123	31.541	0	0	6.105
	Biomasa	*TJ*	39.825	1.778	0	0	425
	ST	*TJ*	195	1.173	0	0	0
	Geotermia	*TJ*	145	59	25	0	0
	Electricidad	*MWh*	1.697.708	894.273	534.894	14.760.599	2.341.106
Mediterráneo	Carbón	*TJ*	0	0	0	0	0
	Productos petrolíferos	*TJ*	27.430	14.265	0	0	4.769
	Gas	*TJ*	27.915	24.801	0	0	6.934
	Biomasa	*TJ*	50.080	180	0	0	132
	ST	*TJ*	169	4.076	0	0	0
	Geotermia	*TJ*	66	51	64	0	0
	Electricidad	*MWh*	2.029.250	2.963.806	851.423	23.932.460	2.162.719

Fuente: SPAHOUSEC

Los rendimientos considerados se determinaron a partir del conocimiento específico de cada tecnología obtenido en más de 5.000 auditorías energéticas consultadas. En la Tabla 17 se muestra la relación de dichos rendimientos.

Tabla 17. Rendimientos por fuentes energéticas y zonas climáticas

Zona climática	Carbón	P. Petrolíf.	Gas	Biom.	ST	GT	Elect. Ilumin.	COP	EER
Atlántico norte	75%	85%	87%	85%	100%	100%	100%	294%	312%
Continental	75%	85%	87%	85%	100%	100%	100%	289%	292%
Mediterráneo	75%	85%	87%	85%	100%	100%	100%	298%	292%

El informe de SPAHOUSEC no desagrega el consumo eléctrico asociado a la calefacción y refrigeración en función del equipo en que se produce. Por ello, y para diferenciar la electricidad consumida en bombas de calor de la consumida en otros equipos eléctricos, se ha establecido la hipótesis de que el consumo eléctrico se reparte con el mismo porcentaje que el número de equipos de calefacción y refrigeración de cada tipología que figuran en SPAHOUSEC para cada zona climática.

A partir de esta información, se ha determinado que del consumo eléctrico total empleado en calefactar y refrigerar hogares, el reparto entre bomba de calor y otros equipos eléctricos es el que sigue:

Tabla 18. Relación de consumo eléctrico para calefacción y refrigeración

	Tipo de demanda	Atlántico Norte	Continental	Mediterráneo
Bomba de calor	**Calefacción**	4%	27%	37%
	Refrigeración	33%	91%	95%
Resto de equipos eléctricos	**Calefacción**	96%	73%	63%
	Refrigeración	67%	9%	5%

Una vez determinados estos valores, se calcularon los ratios de demanda energética por tipología de vivienda, uso considerado y zona climática y multiplicando por la superficie construida total de viviendas de cada tipo y para cada zona climática que figuran en la Tabla 19, se determinó la demanda total del sector residencial que figura en la Tabla 20, desagregada por uso y zona climática.

Tabla 19. Superficie por uso y zona climática (m^2)

Uso de suelo	Atlántico Norte	Continental	Mediterráneo
Vivienda bloque	196.660.565	466.525.103	753.465.626
Vivienda unifamiliar	122.585.982	401.140.426	595.373.591

Tabla 20. Demanda térmica desagregada del sector residencial español

Id	Uso de suelo	Zona climática	Nº Viviendas	Demanda de calefacción (GWh)	Demanda de refrigeración (GWh)	Demanda de ACS (GWh)
2	Viviendas colectivas	Atlántico Norte	2.207.335	2.692,4	0,3	2.965,5
		Continental	5.112.033	14.686,2	406,7	7.348,8
		Mediterráneo	8.203.409	6.452,1	925,5	11.289,7
3	Viviendas unifamiliares	Atlántico Norte	891.952	5.211,7	0,0	1.580,9
		Continental	2.832.634	20.691,9	201,9	4.136,7
		Mediterráneo	4.404.903	19.205,2	696,1	6.305,1
Total		**-**	**23.652.266**	**68.939,6**	**2.230,5**	**33.626,8**

Como resumen de todo lo anterior, la demanda térmica del sector residencial en el año 2013 resulta ser de 104.797 GWh, siendo su distribución por uso final:

ACS	**33.627 GWh**
Calefacción	**68.940 GWh**
Refrigeración	**2.231 GWh**

3.3. Sector terciario

Los usos pertenecientes al sector terciario se caracterizan por presentar una demanda térmica muy dependiente de las condiciones atmosféricas. Por ello, para cada uso se ha determinado la demanda térmica correspondiente a cada una de las zonas climáticas definidas en el Apéndice B del Código técnico de la Edificación (CTE). La correspondencia entre estas zonas y las tres consideradas en el estudio SPAHOUSEC, figura en el Anexo III de este informe.

El sector terciario presenta centros con un volumen de consumo energético relevante que requieren de un tratamiento individualizado y como tal se han considerado centros de demanda puntuales los siguientes:

- Hospitales y centros sanitarios
- Edificios de la Administración General del Estado (incluidos centros penitenciarios)
- Aeropuertos
- Centros comerciales

Asimismo, todos los consumidores del sector terciario que no estén incluidos en la clasificación anterior o que por sus características de consumo no estén catalogadas como puntuales, se han caracterizado como de demanda difusa. A continuación se muestra la Tabla 21 resumen de todos los usos de suelo del sector terciario:

Tabla 21. Usos del sector terciario y clasificación en demanda puntual y difusa

Id	Uso	Demanda puntual	Demanda difusa
4	Oficinas	✘	✓
5	Comercio general	✘	✓
6	Mercado o supermercado	✘	✓
7	Deportes cubiertos; piscinas	✘	✓
8	Deportivos auxiliares	✘	✓
9	Espectáculos	✘	✓
10	Ocio y hostelería con residencia	✘	✓
11	Ocio y hostelería sin residencia	✘	✓
12	Sanidad y beneficencia con residencia	Hospitales	✓
13	Sanidad y beneficencia sin residencia	Centros sanitarios	✓
14	Cultural y religioso con residencia	✘	✓
15	Cultural y religioso sin residencia	✘	✓
16	Administrativo	Edificios AGE	✓
17	Penitenciario	Centros penitenciarios	✓
39	Estaciones de servicio	✘	✓
40	Aeropuertos	Aeropuertos	✘

3.3.1 Caracterización de la demanda puntual del sector terciario

- **Hospitales y centros sanitarios**

Para la determinación de las demandas térmicas de los hospitales y centros sanitarios se ha partido del análisis de los consumos eléctricos y de combustible reales procedentes de auditorías energéticas llevadas a cabo en un conjunto de hospitales.

- **Edificios de la Administración General del Estado**

Los inmuebles propiedad de la Administración General del Estado abarcan edificaciones de diversa índole entre las que se distinguen principalmente edificios administrativos y de oficinas, centros penitenciarios y sanitarios e inmuebles destinados a fines culturales, sociales o educativos.

El Ministerio de Industria, Energía y Turismo publica de forma anual un inventario energético en el que se detallan los consumos eléctricos, y de combustible (gas natural, gasóleo y propano) para cada uno de los edificios.

- **Aeropuertos**

Respecto a los aeropuertos la entidad AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea), encargada de la gestión de los aeropuertos nacionales, publica periódicamente informes de gestión ambiental con el objetivo de tratar de minimizar el impacto medioambiental de sus instalaciones. En estos informes se da especial importancia a la optimización de la eficiencia energética, por lo que se analiza la evolución de las demandas energéticas de las edificaciones.

Del análisis de esta información se deducen patrones de consumo energético y se caracterizan varias terminales tipo en función de su tamaño y de su tráfico de pasajeros, y a partir de ellas se establece una analogía con los aeropuertos restantes y se aplica una corrección de la demanda en función de los grados-día de calefacción o refrigeración según corresponda

- **Centros comerciales**

El caso de los centros comerciales posee una particularidad con respecto al resto de centros consumidores puntuales, ya que se han considerado como tal a pesar de no disponer una fuente de información concreta que los identifique y que proporcione datos de primera mano relativos a sus consumos energéticos. El motivo de este tratamiento es el elevado consumo energético de este tipo de centros que hace necesario estudiar la viabilidad de proyectos de cogeneración en ellos.

Para la identificación de estos centros se ha recurrido a analizar las edificaciones catalogadas como sector comercio por el catastro inmobiliario y se ha establecido que todos aquellos centros con una superficie superior a 5.500 m^2 son susceptibles de ser estudiados de forma individualizada.

La estimación de las demandas energéticas se realiza tomando como referencia los consumos auditados en centros comerciales situados en la península ibérica de los que se dispone de su consumo energético y que permite generar ratios de consumo térmico unitario ajustado a cada una de las zonas climáticas contempladas por el Código Técnico de la Edificación.

Aplicando los ratios obtenidos a la superficie total de los puntos de consumo localizados para cada uno de los usos analizados, que figuran en el Anexo IV de este informe, se han obtenido las siguientes demandas puntuales agregadas por zona climática.

Tabla 22. Demanda térmica puntual por uso de suelo del sector terciario español

Uso de suelo	Zona climática	Nº Edificios	Demanda de calor (GWh)	Demanda de refrigeración (GWh)
Centros hospitalarios y sanitarios	Atlántico Norte	109	280,7	17,5
	Continental	268	937,3	524,6
	Mediterráneo	458	798,3	680,0
Centros penitenciarios	Atlántico Norte	11	25,6	1,9
	Continental	40	103,0	35,7
	Mediterráneo	56	91,1	86,7
Aeropuertos	Atlántico Norte	8	47,7	5,8
	Continental	14	98,5	146,5
	Mediterráneo	28	95,0	241,2
Centros comerciales	Atlántico Norte	92	112	8
	Continental	168	264	187
	Mediterráneo	331	236	340
Edificios propiedad de la AGE	Atlántico Norte	202	24,5	1,7
	Continental	612	226,5	130,7
	Mediterráneo	544	72,6	53,7
Total		**2.941**	**3.412,3**	**2.461,7**

3.3.2. Caracterización de la demanda difusa del sector terciario

Tal y como se mencionó en la introducción del presente capítulo, la gran mayoría de los centros consumidores del sector terciario se catalogan como puntos difusos ya que sus consumos energéticos no son lo suficientemente representativos como para ser caracterizados

individualmente. La Tabla 21 muestra los usos de suelo del sector terciario a los que aplica la metodología de caracterización de demanda difusa explicada a continuación.

Para determinar los ratios de demanda térmica de los usos de suelo considerados difusos, se ha empleado información de auditorías energéticas para cada uso de suelo, diferenciando por zona climática:

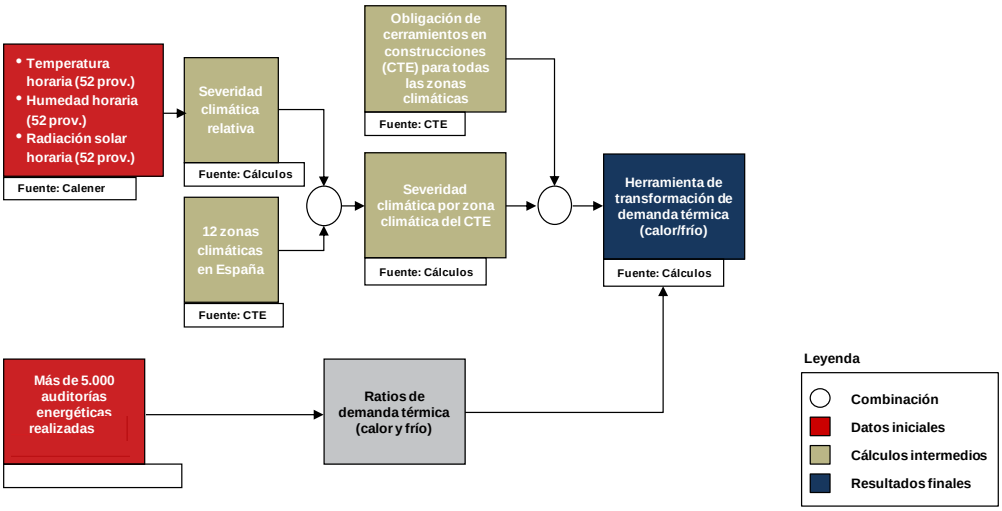
- Consumo energético por unidad superficie (kWh/m^2)
- Balance energético (%), dividido en:
    - Clima
    - Equipos ofimáticos
    - Iluminación
    - Otros equipos
    - ACS
    - Otros

La climatización y el ACS pueden provenir de diversas fuentes energéticas (combustibles y electricidad) y el uso de una u otra está altamente relacionado con el tipo de edificio y zona climática. Para reflejar la realidad de cada sector y zona climática, se ha realizado un estudio pormenorizado de dichos consumos a partir de la base de datos de auditorías energéticas. Estos pasos previos permiten establecer para cada tipología de uso de suelo y zona climática un rango de ratios de consumo asociados a una distribución concreta de fuentes de energía.

Posteriormente los ratios de consumo fueron convertidos en ratios de demanda aplicándoles los rendimientos de los equipos más habituales según tipo de combustible empleado y zona climática. Estos valores se obtuvieron a partir de los rendimientos promedio para cada uso de suelo del sector terciario, en la base de datos de auditorías energéticas.

Para aquellas zonas climáticas en las que no se dispone de suficientes auditorías de un determinado uso de suelo, o estas no estén distribuidas homogéneamente a lo largo de la zona climática correspondiente, se utilizó una herramienta de corrección de demanda térmica. Esta herramienta extrapola las demandas térmicas de calefacción y refrigeración de una determinada zona climática del Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, a otras zonas climáticas en función de la temperatura y los grados día, la humedad y la radiación solar. En el Anexo II se puede observar la correspondencia entre zona climática utilizada en los seguimientos energéticos sectoriales (p.ej SPAHOUSEC) y CTE. A continuación se muestra el esquema de funcionamiento de dicha herramienta:

Ilustración 8. Esquema de funcionamiento de la Herramienta de conversión de demandas térmicas según zona climática



Aplicando los ratios anteriores a las superficies para cada uso del suelo y agrupando por zona climática, se obtienen las siguientes demandas térmicas difusas en el sector terciario.

Tabla 23. Demanda térmica difusa por uso de suelo del sector terciario español

Uso de suelo	Zona climática	Nº Edificios	Demanda de calor (GWh)	Demanda de refrigeración (GWh)
Oficinas	Atlántico Norte	66.227	1.764,8	372,0
	Continental	192.005	19.878,9	4.179,9
	Mediterráneo	228.374	6.175,9	1.107,7
Comercio general	Atlántico Norte	240.830	1.573,6	613,9
	Continental	380.356	11.036,1	2.939,6
	Mediterráneo	775.956	8.632,0	2.652,6
Mercado o supermercado	Atlántico Norte	8.154	460,7	813,4
	Continental	19.187	2.135,7	4.204,0
	Mediterráneo	26.700	1.863,7	2.836,9
Deportes cubiertos; piscinas	Atlántico Norte	1.945	15,2	1,8
	Continental	7.144	215,7	20,9
	Mediterráneo	3.857	52,0	5,3
Deportivos auxiliares	Atlántico Norte	5.650	9,2	1,3
	Continental	5.149	478,7	35,0
	Mediterráneo	6.467	35,4	4,4
Espectáculos	Atlántico Norte	8.258	36,3	12,2
	Continental	200.269	660,4	149,3
	Mediterráneo	152.189	241,9	50,0

Uso de suelo	Zona climática	Nº Edificios	Demanda de calor (GWh)	Demanda de refrigeración (GWh)
Ocio y hostelería con residencia	Atlántico Norte	32.710	2.363,4	424,1
	Continental	88.826	5.696,5	1.017,9
	Mediterráneo	94.455	5.032,6	385,6
Ocio y hostelería sin residencia	Atlántico Norte	940	285,1	60,3
	Continental	5.132	2.871,3	617,4
	Mediterráneo	5.445	1.526,7	272,4
Sanidad y beneficencia con residencia	Atlántico Norte	3.503	132,5	29,4
	Continental	10.758	1.181,2	246,2
	Mediterráneo	11.244	545,2	99,4
Sanidad y beneficencia sin residencia	Atlántico Norte	2.500	43,5	10,5
	Continental	5.349	416,6	88,4
	Mediterráneo	4.981	268,9	43,9
Cultural y religioso con residencia	Atlántico Norte	24.750	154,1	25,4
	Continental	46.062	944,8	191,9
	Mediterráneo	38.667	586,1	84,9
Cultural y religioso sin residencia	Atlántico Norte	1.253	306,8	82,8
	Continental	11.600	3.066,8	640,7
	Mediterráneo	7.210	1.663,6	262,0
Administrativo	Atlántico Norte	383	430,3	105,6
	Continental	1.447	3.354,4	711,2
	Mediterráneo	2.990	1.592,7	281,2
Penitenciario	Atlántico Norte	66.227	787,8	105,3
	Continental	192.005	647,9	93,0
	Mediterráneo	228.374	564,3	56,6
Estaciones de servicio	Atlántico Norte	240.830	2,7	0,8
	Continental	380.356	25,0	5,6
	Mediterráneo	775.956	24,6	4,8
Total		**4.612.670**	**89.781,6**	**25.948,5**

La Tabla 24 muestra la demanda térmica de calor y frío total (puntual + difusa) de España para cada uso de suelo definido en el sector terciario .En general, comercios, oficinas y ocio y hostelería con residencia son los subsectores que demandan más energía térmica de todo el sector terciario español. La demanda de calor representa aproximadamente un 85% del total de demanda térmica total de cada subsector. Sin embargo, en el caso de supermercados, y debido a sus requerimientos específicos de frío, la demanda de frío representa prácticamente un 58% del total del subsector de mercados y supermercados.

Tabla 24. Demanda térmica del sector terciario español

Id	Uso de suelo	Demanda térmica (calor) (GWh)	Demanda térmica (frío) (GWh)
4	Oficinas	27.900,2	5.705,0
5	Comercio general	21.853,2	6.741,7
6	Mercado o supermercado	4.460,1	7.854,3
7	Deportes cubiertos; piscinas	282,9	28,0
8	Deportivos auxiliares	523,3	40,7
9	Espectáculos	938,6	211,5
10	Ocio y hostelería con residencia	13.092,5	1.827,6
11	Ocio y hostelería sin residencia	4.683,1	950,1
12	Sanidad y beneficencia con residencia	3.875,2	1.597,2
13	Sanidad y beneficencia sin residencia	741,8	147,2
14	Cultural y religioso con residencia	1.689,2	305,5
15	Cultural y religioso sin residencia	5.134,5	1.063,3
16	Administrativo	5.506,2	1.153,1
17	Penitenciario	2.219,8	379,3
39	Estaciones de servicio	52,3	11,2
40	Aeropuertos	241,2	393,5
Total		**93.193,9**	**28.409.2**

Como resumen de todo lo anterior, la demanda térmica del sector terciario en el año 2013 resulta ser de **121.603 GWh**, siendo su distribución por uso final:

Calefacción **85.903 GWh**
ACS **7.291 GWh**
Refrigeración **28.409 GWh**

3.4. Sectores industrial, agrícola y pesquero

Los sectores industrial, agrícola y pesquero hacen referencia a los identificadores 18 al 38 (ambos inclusive) de la Tabla 7. La demanda energética del sector industrial proviene principalmente del proceso productivo, siendo el consumo en climatización muy poco representativo sobre el total de energía. Sin embargo, existen variaciones significativas en el consumo energético del proceso productivo en función de la tipología de industria estudiada por lo que requiere un tratamiento individualizado. Debido a que no es posible conocer a partir de los datos de ubicación y actividad del Catastro las industrias que presentan proceso productivo, se ha considerado que aquellas que deben registrar sus emisiones de CO_2 tienen unas demandas energéticas lo suficientemente grande como para ser tratados como centros de demanda puntual

3.4.1. Caracterización de la demanda puntual del sector industrial

A continuación se describe en primer lugar la metodología seguida para la determinación de la demanda de calor en la industria y posteriormente la correspondiente a la demanda de frío.

- **Demanda de calor**

Para la determinación de las demandas térmicas de calor en el sector industrial se ha partido del registro de emisiones de CO_2 para el año 2013. A partir del mismo, se ha desarrollado una metodología de cálculo complementada con la información obtenida del catastro que se describe detalladamente a continuación:

1. Identificación, caracterización y localización de las industrias del registro de emisiones de CO_2 y de sus emisiones de dióxido de carbono totales. Discriminación de las emisiones de CO_2 asociadas a generación térmica de las relativas a reacciones de proceso o generación eléctrica (instalaciones con cogeneración).

2. Cálculo de los consumos de combustible asociados a las emisiones de CO_2 debidas a procesos de combustión para generación térmica en las instalaciones que figuran en el registro de emisiones. Determinación de la demanda térmica asociada al consumo de combustible para cada instalación.

3. Identificación de las industrias del registro de emisiones en el catastro.

4. Cálculo del consumo de combustible total por sectores industriales. Normalización de los mismos teniendo en cuenta los consumos de energía final que figuran en el Informe "*Balances de energía final (1990-2013)*" correspondientes al año 2013. Reajuste de la

demanda térmica calculada previamente a partir de los consumos de combustible normalizados.

A continuación se describen cada uno de los cinco puntos que constituyen la metodología seguida en la determinación de la demanda de calor puntual en el sector industrial:

I. EMISIONES DE CO_2: OBTENCIÓN Y PROCESADO DE DATOS

La metodología llevada a cabo para el cálculo de las demandas térmicas de calor en el sector industrial se basa en su estimación a partir de las emisiones de dióxido de carbono liberadas a la atmósfera por cada uno de los complejos industriales que figuran en el PRTR (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes) y en el CITL (*Community Independent Transaction Log*) en los procesos de combustión.

Las emisiones de CO_2 registradas tanto en el PRTR como en el CITL para cada uno de los complejos industriales corresponden a la totalidad de las emisiones de la industria, por lo que incluye tanto las emisiones derivadas del proceso industrial como aquellas resultantes de procesos de combustión. Por este motivo, se analizaron los diferentes sectores industriales susceptibles de tener emisiones de dióxido de carbono debidas a reacciones químicas de sus procesos productivos con la finalidad de ajustar las emisiones de CO_2 disponibles en los datos del PRTR y el CITL y poder determinar aquellas derivadas esencialmente de procesos de combustión.

Los sectores industriales donde se han identificado emisiones de CO_2 debidas a procesos y reacciones químicas diferentes de la combustión han sido: sector de metalurgia no férrea y sector minerales no metálicos (cemento. cal, productos cerámicos y vidrio). A continuación se detallan los ajustes realizados sobre las emisiones de CO_2 obtenidas de los registros de emisiones contaminantes (PRTR y CITL).

Sector metalurgia no férrea

Dentro de este sector industrial, el subsector correspondiente a la producción del aluminio es el mayor contribuyente de emisiones de CO_2. Este hecho es debido a que en el proceso productivo del aluminio primario existe una importante cantidad de emisiones de dióxido de carbono debidas a la electrólisis de la alúmina.

Conociendo las toneladas de aluminio primario producidas en 2013 de las industrias que aparecen en el registro de emisiones de CO_2 se han calculado las toneladas de CO_2 debidas a la reacción de electrólisis

Las emisiones de CO_2 que figuran en el registro de emisiones se corresponden prácticamente a la totalidad de las calculadas. Este hecho es lógico teniendo en cuenta

que el consumo energético para elaborar el aluminio es únicamente de electricidad y que si existe consumo de combustible será reducido y en otros procesos.

Sector minerales no metálicos

Dentro de este sector industrial, los subsectores de la producción del cemento y de cal generan emisiones de dióxido de carbono a través de los procesos de descarbonatación de la caliza. De manera análoga a los procesos de producción del cemento y de la cal, la producción de productos cerámicos (ladrillos, tejas, azulejos, cerámica, etc.) y de vidrio (hueco o plano) también tiene emisiones de CO_2 debidas a procesos de calcinación y fundición respectivamente.

- En el proceso productivo del **cemento**, en torno el 60% de las emisiones de CO_2 se generan durante la descomposición de la piedra caliza y otros materiales calcáreos para producir el Clinker. El 40% restante de emisiones de CO_2 son generadas por la quema de combustibles fósiles, realizadas para que se alcancen las altas temperaturas en el horno y equipos asociados, como en los secadores.

  Teniendo en cuenta este dato obtenido de diferentes fuentes bibliográficas se ha realizado el ajuste de las emisiones de CO_2 que figuran en el registro aplicando dicho factor corrector.

- En cuanto al proceso productivo de la cal, El óxido de calcio o cal viva se forma al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Se hace generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas y en el proceso se libera CO2. Conociendo la reacción química se ha determinado qué porcentaje de emisiones de CO2 se corresponden a la generación del calor de necesario para el proceso.

  De este modo, se determina que el 20,76% de las emisiones de CO_2 son por la combustión de combustible mientras que el 79,23% restante son debidas a la reacción química. Con ello se ajustan las emisiones de CO_2 obtenidas del registro de emisiones.

- Las emisiones de CO_2 debidas al **proceso productivo de productos cerámicos** (ladrillos, tejas, productos refractarios, azulejos, etc.) son el resultado de la calcinación de las materias primas (particularmente de la arcilla, de los esquistos, de la piedra caliza, de la dolomita y de la witherita o carbonato de bario y de la piedra caliza como fundentes).

  El sector de la cerámica estructural se ve afectado por las emisiones de proceso de CO_2procedentes de la descomposición del carbonato cálcico ($CaCO_3$) y del

carbonato de magnesio ($MgCO_3$) en menor medida, en la etapa de cocción, que contiene la materia prima utilizada en el proceso de fabricación de ladrillos

A partir del análisis de datos sobre instalaciones concretas de este sector industrial se ha obtenido un ratio de emisiones de CO_2 debidas a los procesos de descomposición expuestos anteriormente respecto a las emisiones de CO_2 totales donde se contabilizan las emisiones debidas a procesos de combustión en hornos de cocción y secaderos. En promedio este ratio es de **23,9%.**

- Las principales materias primas del **vidrio** que emiten CO_2 durante el proceso de fundición son: la piedra caliza ($CaCO_3$), la dolomita Ca, $Mg(CO_3)_2$ y la ceniza de sosa (Na_2CO_3). La acción de estos carbonatos en la fusión del vidrio constituye una reacción química compleja a altas temperaturas y no debe compararse directamente con la calcinación de carbonatos para producir cal viva o cal de dolomita quemada. Sin embargo, esta fusión (en la región de los 1500°C) tiene los mismos efectos netos desde el punto de vista de las emisiones de CO_2.

  Tanto en el proceso de producción del vidrio hueco como plano existen emisiones debidas a la descarbonatación de la caliza, dolomita, carbonatos de sodio o de bario (entre otros). Para el cálculo de las emisiones de CO_2 debidas a procesos de combustión es necesario extraer de las emisiones totales de CO_2 obtenidas de las BBDD del PRTR y CITL las emisiones correspondientes a los procesos de descarbonatación mencionados.

  Para su determinación, en primer lugar, se ha obtenido del documento "*Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación de Vidrio* – Ministerio de Medio Ambiente" tanto para la producción de vidrio plano como vidrio hueco el consumo de combustible por tonelada de vidrio producida. Aplicando los correspondientes factores de emisión de CO_2 según el combustible consumido se ha obtenido el ratio de emisiones de CO_2 por tonelada de vidrio producido debidas <u>exclusivamente al consumo de combustible para generación térmica</u>. Una vez obtenidos esos ratios se ha acudido a industrias concretas incluidas en el PRTR donde se dispone de información de la producción de vidrio y de las emisiones de CO_2 totales y se han calculado las emisiones debidas a procesos de combustión y, posteriormente, se ha determinado el porcentaje de emisiones correspondientes a procesos de fundición. Éste ha resultado ser en promedio del **41%**.

II. COMBUSTIBLE CONSUMIDO Y RENDIMIENTOS TÉRMICOS

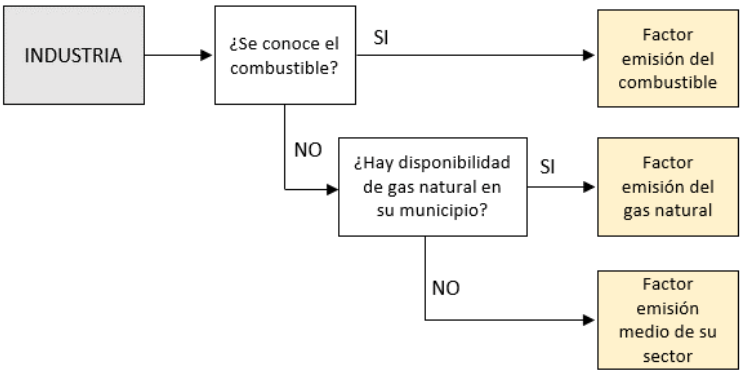
Una vez determinadas las emisiones de CO_2 correspondientes a cada una de las instalaciones del registro de emisiones, a cada una de las industrias se le ha asignado un factor de emisiones de CO_2 relacionado con la cantidad de energía en forma de combustible consumido.

Tabla 25: Factores de emisión promedio en el sector industrial.

INDUSTRIA	Factor emisiones (tCO_2/MWh)	Factor emisiones sin GN (tCO_2/MWh)
Extractivas (no energéticas)	0,2333	0,2631
Alimentación, Bebida. y Tabaco	0,2215	0,2707
Textil, Cuero y Calzado	0,2087	0,2644
Pasta, Papel e Impresión	0,2065	0,2636
Química	0,2108	0,3140
Minerales No Metálicos	0,2671	0,3408
Siderurgia y Fundición	0,2991	0,3312
Metalurgia no férrea	0,2487	0,3098
Transformados Metálicos	0,2439	0,2834
Equipo Transporte	0,2106	0,2579
Madera, Corcho y Muebles	0,2301	0,2661
Otras	0,2050	0,2633
Refino de petróleo	0,2817	0,2817
Agricultura	0,2452	0,2625
Pesca	0,2615	0,2615

Teniendo en cuenta que para la mayoría de industrias se desconocía el combustible consumido y que, por otro lado, se disponía de los factores medios de emisión de CO_2 por sector industrial y de un listado de los municipios de España donde se disponía de red de distribución de gas natural, el proceso de asignación de factor de emisión a cada industria ha seguido el proceso que se muestra a continuación.

Ilustración 9. Asignación del factor de emisión de CO_2 de una industria.



Una vez asignado el factor de emisión de CO_2 a cada una de las industrias y conocidas las emisiones de CO_2 registradas en el PRTR o CITL se determina la cantidad de combustible consumido para cada una de ellas de forma directa:

$$\text{Combustible consumido}\left(\text{MWh}_{\text{pci}}\right) = \frac{\text{Emisiones (ton CO}_2)}{\text{Factor emisión}\left(\frac{\text{ton CO}_2}{\text{MWh}_{\text{pci}}}\right)}$$

Mediante el cálculo realizado se obtiene <u>todo el combustible consumido</u> en cada una de las industrias. Sin embargo, en aquellas donde se disponga de una planta de cogeneración no todo este combustible será destinado a la generación térmica sino que habrá una parte destinada a la generación eléctrica. Por ello, el siguiente paso realizado ha sido discriminar entre las industrias que disponen de plantas de cogeneración y las que no. De este modo, aquellas en las que no se disponga de cogeneración se ha asumido que todo el combustible calculado a partir de las emisiones de CO_2 va destinado a la generación térmica mientras que en el caso de disponer de cogeneración habrá una parte destinada a generación de electricidad.

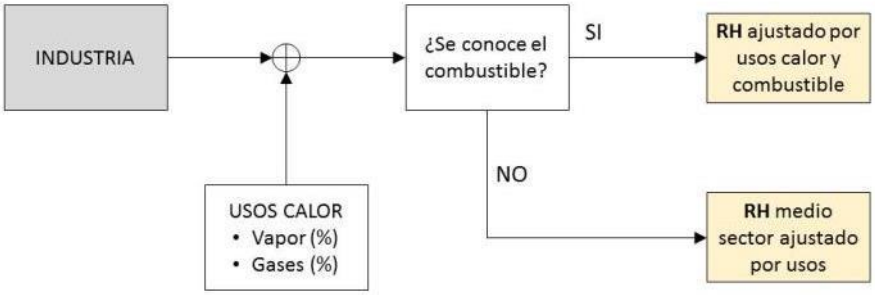
Para identificar qué industrias disponen de plantas de cogeneración se ha recurrido al Registro del Régimen Especial de producción de energía eléctrica localizando un total de 301 empresas con cogeneración declarantes de sus emisiones de CO2. Posteriormente, según si la empresa disponía de cogeneración o no la metodología fue la siguiente:

- <u>Industrias sin cogeneración</u>

  En el caso de una industria sin cogeneración, todo el combustible calculado se asume que es empleado para generación térmica. Dado que los valores de referencia de la eficiencia para la producción por separado de calor no dependen únicamente del tipo de combustible empleado sino que también dependen del tipo de fluido caloportador (vapor/agua caliente o uso directo de gases), para cada uno de los sectores

industriales se ha considerado un porcentaje de uso del calor de proceso en forma de vapor y otro en forma de gases calientes directos. Para determinar esos porcentajes se ha recurrido a estudios y auditorías elaboradas en industrias concretas de los diferentes sectores industriales y a estudios sobre los procesos productivos característicos de cada sector.

Ilustración 10. Asignación de rendimiento térmico de referencia en una industria sin cogeneración.



- <u>Industrias con cogeneración</u>

Para el cálculo de la demanda térmica en industrias que disponen de planta de cogeneración se ha tomado como referencia el *Boletín de Estadísticas Energéticas de Cogeneración. Año 2013*.

Dado que no se dispone de información sobre el tipo de tecnología de cada una de las instalaciones de cogeneración, en aquellas que se conoce el tipo de ciclo del sistema se emplea su rendimiento térmico característico, mientras que en los que este dato es desconocido se empleará el rendimiento térmico promedio de las plantas de cogeneración pertenecientes al mismo sector industrial. En la Tabla 26 y Tabla 27 se muestran los valores de cálculo y los rendimientos térmicos obtenidos.

El rendimiento térmico queda definido por la siguiente ecuación:

$$RH = \frac{Producción\ de\ calor\ neta\ (MWh)}{Consumo\ total\ de\ combustible\ (MWh)}$$

Tabla 26. Rendimientos térmicos de cogeneración en función de su tecnología[3].

Tecnología	Potencia Eléctrica Total (MW)	Producción Eléctrica Bruta (GWh)	Producción de Calor Neta (TJ)	Consumo de Combustible (TJ)	RH
Ciclo Combinado	1.306,8	8.034,6	40.832,5	100.244,7	0,41
Motor de Combustión Interna	3.120,5	11.455,0	42.665,4	120.948,3	0,35
Turbina de Gas con Recuperación de Calor	1.221,1	6.882,7	46.523,8	95.366,1	0,49
Vapor: Turbina a Contrapresión	552,8	2.714,3	32.747,8	56.929,2	0,58
Vapor: Turbina de Condensación	284,9	1.704,3	12.114,6	25.048,4	0,48
TOTAL	**6.486,7**	**30.790,9**	**174.884,1**	**398.536,7**	**0,44**

Tabla 27. Rendimientos térmicos de cogeneración en función del sector industrial[2].

Sectores	Potencia Eléctrica Total (MW)	Producción Eléctrica Bruta (GWh)	Producción de Calor Neta (TJ)	Consumo de Combustible (TJ)	RH
Coquización	123,8	613,8	2.990,2	7.074,6	0,42
Extracción	95,3	502,3	3.373,2	7.007,9	0,48
Extracción de Combustibles Sólidos	35,4	72,8	347,3	837,6	0,41
Fabricación Otros Productos Minerales No Metálicos	478,0	1.696,3	13.503,3	25.930,9	0,52
Industria Química	1.032,5	5.264,8	28.896,5	64.802,7	0,45
Industrias Agrícolas, Alimentarias y Tabaco	1.257,1	4.709,7	22.330,2	54.971,1	0,41
Industrias del Papel y Cartón, Edición e Imprenta	1.253,9	7.562,4	51.722,0	115.751,4	0,45
Otras Ramas Industriales	414,4	1.774,5	7.368,3	19.158,4	0,38
Producción de Minerales No Férreos	35,3	87,9	970,5	1.669,0	0,58
Refinerías	641,4	4.306,9	24.827,6	54.254,3	0,46
Servicios, etc.	630,1	2.906,0	11.433,3	31.104,4	0,37
Siderurgia	12,1	52,4	169,8	518,6	0,33
Textil, Vestido y Cuero	311,5	557,0	4.043,4	7.957,3	0,51
Transformados Metálicos, Fabricación de Maquinaria y Equipos	122,1	448,5	2.309,9	5.356,7	0,43
Transporte y Comunicaciones	44,0	235,5	599,0	2.141,7	0,28
TOTAL	**6.486,7**	**30.790,9**	**174.884,1**	**398.536,7**	**0,44**

[3] *Todos los datos provienen de estadísticas del MINETUR, salvo el Rendimiento Térmico que se ha calculado a partir de ellas.*

III. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA PUNTUAL

Una vez asignado a cada industria un rendimiento de generación térmica se obtiene de forma directa la demanda térmica a partir del combustible consumido de la industria calculado en el punto anterior:

$$\text{Demanda térmica (MWh)} = \text{Combustible}\left(\text{MWh}_{\text{pci}}\right) \cdot \text{RH}(\%)$$

De este modo, se dispone de una base de datos de centros consumidores pertenecientes al sector industrial con sus correspondientes demandas térmicas asociadas.

- **Demanda de frío**

Dado que el consumo de frío en la industria es muy heterogéneo en cuanto a su uso y, por lo tanto, complejo de caracterizar, únicamente se ha considerado la producción de frío industria alimentaria y bebida, farmacéutica y química donde su uso es habitual y se dispone de información sobre sus usos más habituales. Los usos más habituales son en cámaras frigoríficas:

- Industria farmacéutica: Muchos de los compuestos utilizados en este sector precisan ser conservados y almacenados en condiciones estrictas y estables a temperaturas reducidas. Los intervalos de temperatura habituales en las cadenas de frío en las industrias farmacéuticas está entre 2 – 8ºC.
- Industria alimentaria: Su uso es muy extendido y toma especial importancia en los subsectores cárnico, pesquero, lácteo y conservero. El frío se consume mayoritariamente en cámaras frigoríficas de conservación, cámaras y túneles de congelación y salas de trabajo y manipulación de alimentos climatizadas.
- Industria química: Se trata de un sector muy heterogéneo en el que el uso del frío es muy variable según la actividad. Se emplea tanto en cámaras frigoríficas, climatización, enfriamientos rápidos o túneles de enfriamiento.
- Industria de fabricación de bebidas: El consumo de frío en este sector industrial se centra básicamente en la refrigeración y climatización de las bebidas. El rango de temperaturas de uso del frío habituales es variado, desde los 2-4ºC hasta los -4/-5ºC según el proceso de enfriamiento de las bebidas.

Para estimar las demandas de frío en los sectores mencionados anteriormente se ha recurrido a estudios y auditorías energéticas en diferentes industrias de cada uno de los sectores seleccionados. A partir de las demandas de frío, calor y electricidad de las diferentes empresas analizadas se han obtenido ratios de consumo de frío y calor por consumo eléctrico total para cada sector. Dado que en la mayoría de industrias las demandas de frío son suministradas mediante sistemas de compresión (enfriadores eléctricos) se ha considerado que la totalidad

de las demandas frigoríficas son suministradas mediante esta tipología de máquinas frigoríficas. Por ello, una vez obtenidos los ratios medios de consumo de frío por consumo eléctrico total para cada uno de los sectores, se determina la demanda frigorífica de cada sector empleando los datos de consumo eléctrico por sectores que figuran en la publicación *"Balances de energía final (1990-2013)"*.

Teniendo en cuenta que en dicha publicación los consumos eléctricos de algunos de los sectores donde existe consumo de frío están agrupados (químico y farmacéutico o alimentario y bebidas) se ha estimado el consumo eléctrico desglosado en cada uno de los subsectores y posteriormente se han aplicado los ratios de consumo de frío calculados. La metodología seguida es la que se expone a continuación:

i. Cálculo del consumo eléctrico de cada industria. Para cada industria (puntual y difusa) de los sectores analizados se ha determinado su consumo eléctrico. En el caso de industrias puntuales se ha aplicado el ratio de consumo eléctrico / consumo térmico, mientras que en el caso de industrias difusas se ha estimado su consumo eléctrico a partir de las necesidades de climatización.

ii. Cálculo y normalización del consumo eléctrico de cada subsector. Para cada subsector se ha calculado la suma agregada del consumo eléctrico de todas las industrias de las bases de datos puntual y difusa. Una vez calculada la suma agregada se ha normalizado en base al consumo eléctrico que figura en los "Balances de energía final (1990-2013)" para las diferentes agrupaciones sectoriales.

iii. Consumo de frío en las industrias puntuales. Una vez determinado y ajustado el consumo eléctrico de cada una de las industrias de los sectores industriales con potencial consumo de frío se ha aplicado para cada una de ellas el ratio de consumo de frío por consumo eléctrico correspondiente a su subsector. Con ello se determina el consumo de frío de cada industria puntual y realizando su suma agregada se obtiene la demanda de frío puntual total.

Tabla 28. Demanda térmica puntual por tipología de industria

Sector industrial	Nº Edificios	Calor (GWh)	Frío (GWh)
Extractivas (no energéticas)	19	442,0	n.c.
Alimentación, bebida y tabaco	353	8.996,1	10.147,1
Textil, cuero y calzado	23	536,4	n.c.
Pasta, papel e impresión	99	12.757,3	n.c.
Química	291	29.897,2	4.662,7
Minerales no metálicos	585	31.196,7	n.c.
Siderurgia y fundición	77	18.642,0	n.c.
Metalurgia no férrea	47	1.574,4	n.c.
Transformados metálicos	176	1.345,7	n.c.
Equipo transporte	41	1.750,4	n.c.
Construcción	0	0,0	n.c.
Madera, corcho y muebles	11	1.264,2	n.c.
Otras	21	361,5	n.c.
Agricultura	13	84,0	n.c.
Pesca	1	1,1	n.c.
Refino de petróleo	14	33.992,8	n.c.
Total	**1.771,0**	**142.841,8**	**14.809,9**

3.4.2. Caracterización de la demanda difusa del sector industrial

Para el cálculo de la demanda difusa de cada uno de los sectores industriales estudiados, se determinó el consumo energético puntual y comparó con los consumos de energía final en el sector Industrial 2013, procedentes de los Seguimientos Energéticos Sectoriales (SES)

El remanente, si lo hubiera, se repartió entre la industria considerada difusa y su demanda se determina en función de un rendimiento de referencia promedio RH que considera el mix de combustible de cada sector industrial contemplado por el Seguimiento Energético Sectorial correspondiente.

Tabla 29. Demanda térmica difusa por tipología de industria

Sector industrial	Nº Edificios	Calor (GWh)	Frío (GWh)
Extractivas (no energéticas)	2.169	2.618,2	n.c.
Alimentación, bebida y tabaco	73.020	5.299,0	5.906,6
Textil, cuero y calzado	9.704	1.342,3	n.c.
Pasta, papel e impresión	2.666	4.104,2	n.c.
Química	3.932	4.047,7	461,8
Minerales no metálicos	4.775	373,6	n.c.
Siderurgia y fundición	0	0,0	n.c.
Metalurgia no férrea	12.409	2.504,1	n.c.
Transformados metálicos	46.468	2.144,7	n.c.
Equipo transporte	91.961	0,0	n.c.
Construcción	12.695	10.909,1	n.c.
Madera, corcho y muebles	37.796	2.645,6	n.c.
Otras	95.354	8.030,7	n.c.
Agricultura	522.781	24.357,8	n.c.
Pesca	1.451	1.039,8	n.c.
Refino de petróleo	0	0,0	n.c.
Total	**917.181**	**69.416,9**	**6.368,4**

La demanda total del sector industrial español, considerando las demandas puntuales y difusas es la siguiente:

Tabla 30. Demanda térmica del sector industrial español

Sector industrial	Nº Edificios	Calor (GWh)	Frío (GWh)
Extractivas (no energéticas)	2.188	3.060,1	n.c.
Alimentación, bebida y tabaco	73.373	14.295,0	16.053,7
Textil, cuero y calzado	9.727	1.878,7	n.c.
Pasta, papel e impresión	2.765	16.861,5	n.c.
Química	4.223	33.945,0	5.124,5
Minerales no metálicos	5.360	31.570,3	n.c.
Siderurgia y fundición	77	18.642,0	n.c.
Metalurgia no férrea	12.456	4.078,5	n.c.
Transformados metálicos	46.644	3.490,4	n.c.
Equipo transporte	92.002	1.750,4	n.c.
Construcción	12.695	10.909,1	n.c.
Madera, corcho y muebles	37.807	3.909,9	n.c.
Otras	95.375	8.392,2	n.c.
Agricultura	522.794	24.441,9	n.c.
Pesca	1.452	1.040,8	n.c.
Refino de petróleo	14	33.992,8	n.c.
Total	**918.952**	**212.258,7**	**21.178,3**

Como resumen de todo lo anterior, la demanda térmica del sector industrial, agrícola y pesquero en el año 2013 resulta ser de 233.437 GWh, siendo su distribución por uso final:

Calefacción **212.259 GWh**
Refrigeración **21.178 GWh**

3.5. Resultados agregados totales

A continuación se muestran los resultados del total de demanda térmica de calor y frío de España por sectores Residencial, Terciario e Industrial, Agrícola y Pesquero.

Tabla 31. Demanda térmica de calefacción y refrigeración en España (GWh)

Sector	Residencial	Terciario	Industrial, agrícola y pesquero	TOTAL
Calefacción + ACS	102.566,4	93.193,9	212.258,7	**408.019**
Refrigeración	2.230,5	28.409,2	21.178,6	**51.818**

Es necesario señalar que debido a la ausencia de datos estadísticos en los que basarse, ha sido necesario realizar un elevado número de hipótesis para llegar a los resultados anteriores de caracterización de la demanda, por lo que dichos resultados son muy sensibles a la variación de dichas hipótesis y por la tanto han de ser considerados como una primera aproximación al conocimiento desagregado de la demanda de calor y frio en los diferentes sectores a nivel nacional y tratados con las reservas necesarias.

No obstante lo anterior, es importante resaltar que el esfuerzo realizado en la caracterización, completado con ulteriores estudios focalizados en áreas concretas del territorio nacional, y mejor aún la realización de una campaña de mediciones energéticas con fines estadísticos permitirá tener un mejor conocimiento del que hasta ahora se tiene del verdadero potencial disponible en sistemas de calefacción de refrigeración eficientes.

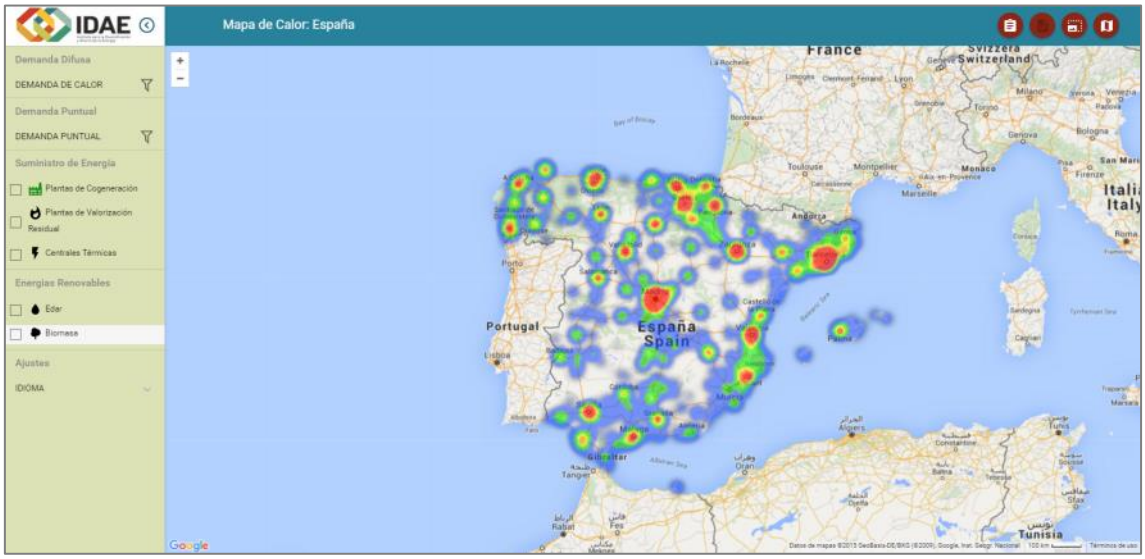
4. HERRAMIENTA DE CONSULTA Y ACTUALIZACIÓN DE DATOS

La herramienta de consulta se concibe como un software sobre plataforma web, de carácter seguro, amigable y actualizable e implementado en multi-lenguaje (HTML, CSS y JavaScript), que permita tanto la representación gráfica de la información resultante del estudio de potencial como su consulta y análisis.

La aplicación estará constituida por dos módulos claramente diferenciados, un mapa de representación gráfica de la información, la herramienta de consulta y un sistema de análisis de la información que contiene.

Para el entorno web de la aplicación se ha optado por un dominio propio, lo que le otorgará de autonomía y facilidad de actualización y gestión. El entorno está programado en lenguaje *JavaScript* con el objeto de garantizar una compatibilidad absoluta con el sistema elegido para la representación gráfica de la información (ver apartado 0 del documento) y con la aplicación de encuestas del mapa de calor, de tal modo que se permita, a través de ella, incluir nuevos centros consumidores (o actualizar los ya existentes) con la previa aprobación del administrador del sistema. En la Ilustración 11 se muestra la interfaz propuesta para la aplicación.

Ilustración 11: Interfaz de la aplicación web del mapa de calor



4.1. Mapa de representación gráfica

La visualización de la información se ha llevado a cabo mediante una aplicación webmapping desarrollada a partir de la API (*Application Programming Interface*) de Google Maps v3.0 que mostrará toda la información susceptible de ser representada, permitiendo la visualización de subconjuntos de la información a partir de filtros y capas. La información a representar es la siguiente:

- ***Áreas de alta densidad de edificación:*** El parámetro principal a tener en cuenta a la hora de analizar el potencial técnico de una red urbana eficiente es la demanda energética que debe satisfacer, que, según la guía interpretativa a la Directiva 2012/27/UE, debe ser superior a 130 kWh/m2 para poder considerar viable su instalación. Estos ratios de consumo son usualmente obtenidos en áreas de gran densidad de edificación y, por ello, se representa únicamente la demanda térmica de estas áreas. El criterio seguido para identificar estas zonas es mediante la elaboración de una rejilla formada por cuadrículas de 100 metros de lado en las que se analice la superficie edificada en su interior, considerando que la densidad de edificación será alta en los casos en los que el plot ratio es superior a 0,30.

- ***Demanda térmica:*** La demanda térmica está categorizada según se indica en la siguiente tabla:

DEMANDA DE CALOR	
Demandas difusas	**Demandas puntuales**
Residencial	Sanidad y Beneficencia
Administración	Penitenciario
Oficinas	Aeropuertos
Comercios	Comercios
Deportivo	Agricultura y pesca
Ocio y Hostelería	Alimentación, bebida y tabaco
Sanidad y Beneficencia	Coquerías y refino de petróleo
Penitenciario	Extractiva no energética
Otros	Fabricación de maquinaria
Industrias	Madera y muebles
	Industria Metálica
	Minerales no metálicos
	Papel e impresión
	Química y farmacéutica
	Textiles
	DHC

Para la representación gráfica de las demandas térmicas de calor se ha optado por un “mapa de calor” que relacionará los consumos energéticos con una escala de colores, de tal forma

que cuanto mayor sea la demanda, mayor será la intensidad del color que lo representa. La visualización se puede consultar de forma global (agregada) o por subconjuntos definidos a partir de filtros por diferentes sectores de actividad y tipo de demanda (puntual y/o difusa). Para mejorar la visibilidad, en los casos de alta concentración de puntos de demanda, el mapa muestra un icono con un número en su interior que totaliza las instalaciones puntuales y a medida que se aumenta el zoom las demandas se van individualizando para tener mejor información de cada una de ellas.

En la Ilustración 12 y la Ilustración 13 se puede observar la representación de la demanda térmica.

Ilustración 12: Representación de la demanda térmica y visualización de la barra de filtros.

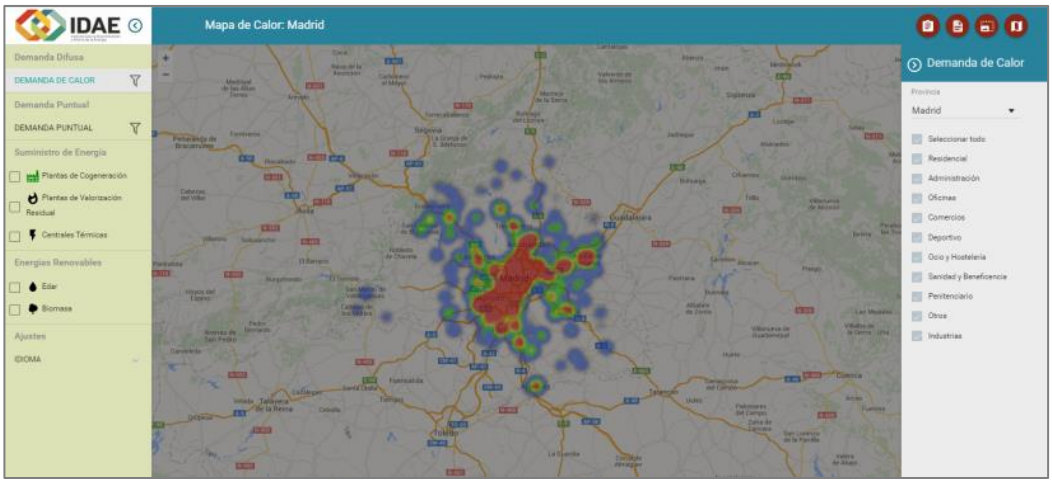
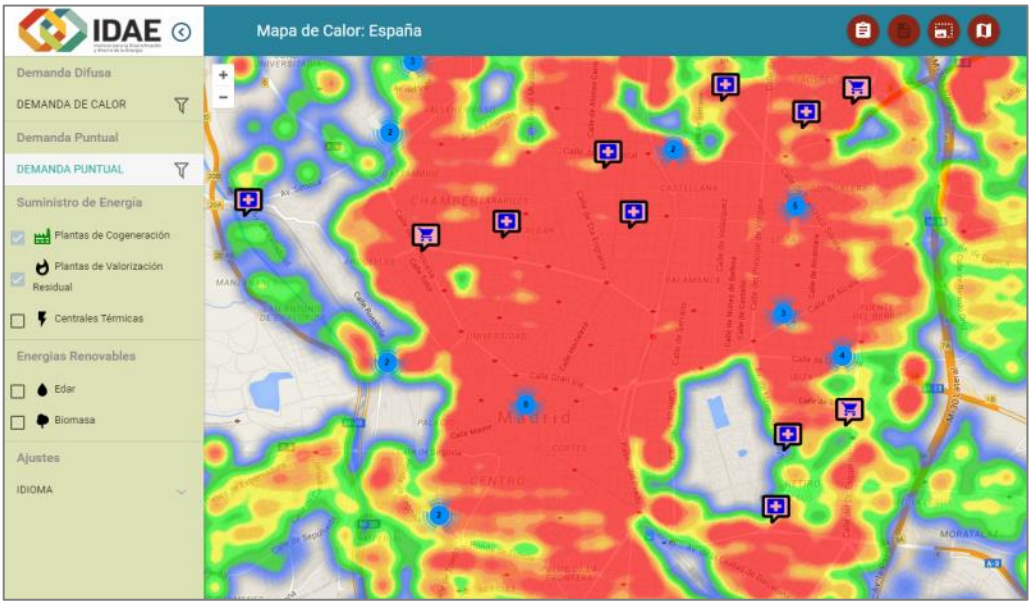


Ilustración 13: Representación de la demanda térmica, detalle demandas puntuales.



- ***Oferta térmica:*** En este apartado se incluirán los puntos con potencial de suministro térmico e información acerca de sus características. Su representación se llevará a cabo mediante iconos que permitirán distinguir la tipología del centro (**Ilustración 14)**. Además de esto, su tamaño variará en función de su potencia o de la cantidad de calor que puedan suministrar. Dentro de esta oferta térmica se incluirán:

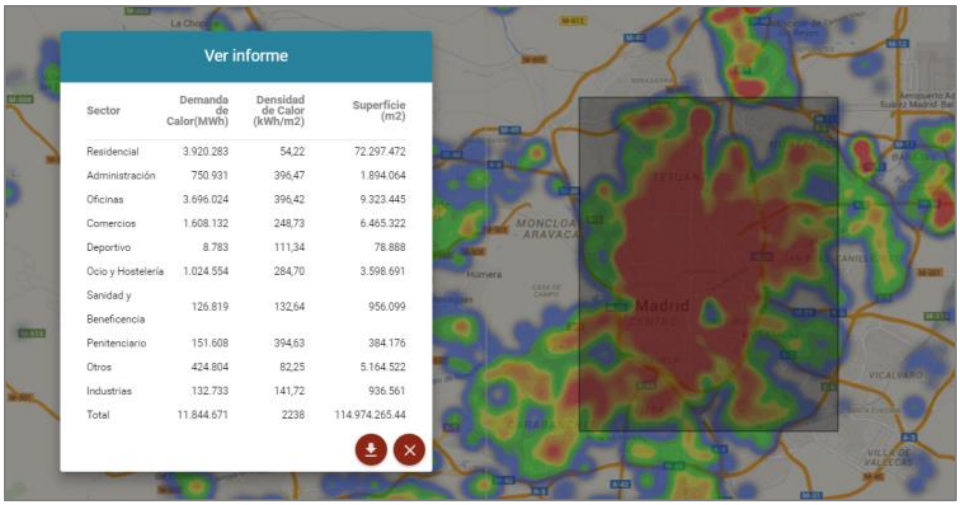
  - Plantas de valorización de residuos.
  - Centrales térmicas.
  - Estaciones depuradoras de aguas residuales.
  - Biomasa residual
  - Energía solar
  - Energía geotérmica

Ilustración 14: Representación de centros con potencial de oferta térmica.

4.2. Herramienta de análisis de información y consulta de resultados

La función de esta herramienta consiste en mostrar la información detallada de un área concreta del mapa seleccionada por el usuario. La elección de la información a analizar podrá ser delimitada por polígonos definidos por el usuario o, por lo contrario, se podrá seleccionar toda la información relativa a una zona. De estos subconjuntos se podrán obtener informes en los que se indique su demanda y oferta térmica y su desglose en los diferentes tipos de consumidores. En la Ilustración 15 se muestra la extracción de informes en el mapa de calor.

Ilustración 15: Herramienta de consulta de la aplicación webmapping.



Sector	Demanda de Calor(MWh)	Densidad de Calor (kWh/m2)	Superficie (m2)
Residencial	3.920.283	54,22	72.297.472
Administración	750.931	396,47	1.894.064
Oficinas	3.696.024	396,42	9.323.445
Comercios	1.608.132	248,73	6.465.322
Deportivo	8.783	111,34	78.888
Ocio y Hostelería	1.024.554	284,70	3.598.691
Sanidad y Beneficencia	126.819	132,64	956.099
Penitenciario	151.608	394,63	384.176
Otros	424.804	82,25	5.164.522
Industrias	132.733	141,72	936.561
Total	11.844.671	2238	114.974.265.44

5. HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE POTENCIAL TÉCNICO

El potencial técnico de sistemas de calefacción y refrigeración eficientes se determinará mediante la evaluación de las demandas térmicas y sus características e identificando los casos en los que ésta sería susceptible de aprovechar tecnologías eficientes, como la cogeneración, calores residuales o energías renovables.

En el presente apartado se describen las entradas de información a la herramienta de cálculo, la metodología de cálculo empleada para la determinación del potencial de calefacción y refrigeración eficiente y, por último, se explicitan las salidas de información de la propia herramienta.

5.1. Entrada de información de la herramienta

Los inputs de información de la herramienta de cálculo vendrán a partir de la información contenida en la Base de Datos que alimenta el mapa de calor y a través de distintas consultas a las Bases Técnicas disponibles en la Herramienta. Según la tipología de información se consideran tres bloques diferenciados:

a. Información general del centro consumidor

Tipología de centro consumidor (Sector)	Sector terciario / sector industrial
Superficie construida	m^2 edificados
Subsector del centro consumidor	p.e. Centro comercial / Sector papelero
Localización geográfica	Coordenadas polares del centro

b. Información sobre demandas energéticas del centro consumidor

DEMANDA DE CALOR	
Tipología de calor demandado	Vapor / Gases calientes / Agua caliente
Demanda anual total de calor	MWht/a
Horas anuales de demanda de calor	h/a
DEMANDA DE FRÍO	
Tipología de frío demandado	Climatización / Proceso
Demanda anual total de frío	MWhf/a
Horas anuales de demanda de frío	h/a

Donde:

- *Tipología de calor / frío demandado:* Para cada subsector (industrial o terciario) se dispondrá de una asignación de qué tipología de frío y/o calor es la más representativa. Por ejemplo para la industria del papel la tipología de calor sería vapor y para un hospital será agua caliente (ya sea para ACS o calefacción).

- *Demanda anual total de calor/frío/electricidad:* Para cada centro consumidor térmico puntual se dispone en la Base de Datos de su demanda total de energía térmica en forma de frío y/o en forma de calor y en base a ratios de consumo eléctrico en las Bases Técnicas de la herramienta se determina su demanda eléctrica.

- *Horas anuales de demanda:* Conocido el tipo de centro consumidor puntual, se dispone de las horas de demanda de frío/calor/electricidad ya que para cada subsector (industrial y terciario) hay asignadas unas curvas de demanda de cada tipo de energía.

c. *Información sobre el entorno del centro consumidor*

1.	DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS		
2.	Tipología	3.	Biomasa/ res. Industriales
4.	Demanda máxima suministrable	5.	MWh/a
6.	DISPONIBILIDAD DE COMBUSTIBLES RESIDUALES		
7.	Tipología	8.	Biogás / otros
9.	Demanda máxima suministrable	10.	MWh/a
11.	DISPONIBILIDAD DE CALOR RESIDUAL		
12.	Origen	13.	Industria / Planta valorización / Central térmica
14.	Potencia máxima	15.	MWt
16.	Horas de operación	17.	h/a
18.	Calor útil máximo	19.	MWh/a
20.	DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA GEOTÉRMICA		
21.	Tipología	22.	Media temperatura / Baja temperatura
23.	Potencia máxima	24.	MWt

Donde:

- *Demanda máxima suministrable:* Demanda térmica máxima a suministrar mediante combustibles residuales fijando la demanda térmica a suministrar de este modo al 85% de la demanda total, evitando, de este modo, el sobredimensionamiento térmico de la instalación y recurriendo así a calderas convencionales en los picos de demanda.

- *Potencia máxima:* Capacidad máxima de suministro de calor del recurso atendiendo a parámetros de disponibilidad.

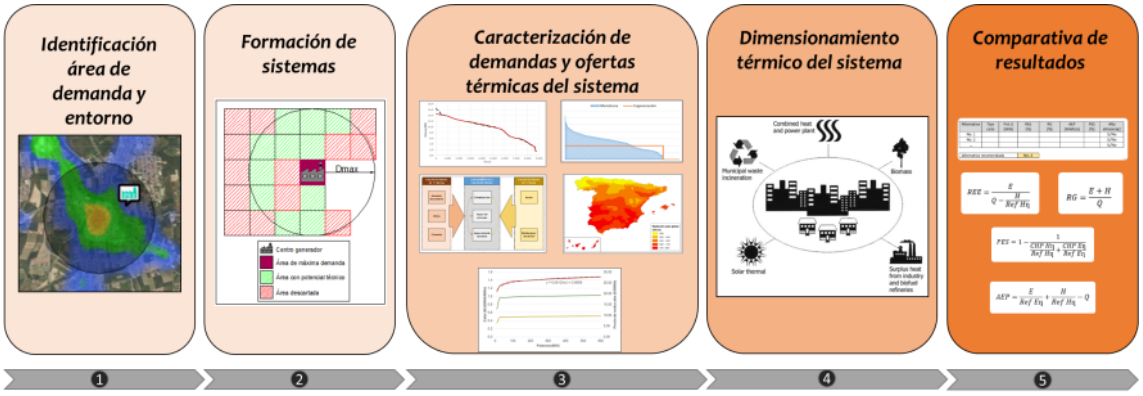
- *Horas de operación:* Disponibilidad temporal del recurso a lo largo del año

A partir de la localización geográfica del centro consumidor, la herramienta de cálculo realizará una consulta a la Base de Datos para obtener la información disgregada sobre residuos y/o combustibles residuales en una distancia máxima pre-definida para cada uno de los casos.

5.2. Metodología de cálculo

Tomando como punto de partida la información enumerada en el apartado anterior, la herramienta se encargará de identificar las demandas térmicas con posible potencial para implantar sistemas de calefacción y refrigeración eficientes para, posteriormente, analizar la viabilidad técnica de su ejecución. A continuación se describirá el proceso seguido por la herramienta y las bases técnicas en las que se basa para ello, que se sintetiza en la Ilustración 16.

Ilustración 16: Resumen del proceso de cálculo de la herramienta.



5.2.1 Identificación de sistemas

En el ámbito del presente estudio se entiende por sistema a una agrupación de centros consumidores de tipologías diversas, que comparten características de demanda, asociadas a un conjunto de ofertas térmicas que pueden abastecer parcial o totalmente esta demanda.

Dentro de las demandas térmicas diferenciamos:

- *Demanda difusa:* La demanda difusa está formada por aquellos centros consumidores que no pueden formar un sistema por sí mismos pero pueden ser agrupados para formar áreas de territorio que se podrían abastecer mediante calefacción y refrigeración eficiente.

- *Demanda puntual:* La demanda puntual abarca todos aquellos centros consumidores que, por tratarse de centros con una demanda térmica significativa, pueden formar un sistema por sí mismos o incluirse dentro de un sistema de mayores dimensiones. Dentro de esta tipología encontramos grandes industrias y grandes consumidores

terciarios (centros hospitalarios y sanitarios, centros penitenciarios, grandes superficies comerciales y aeropuertos).

En cuanto a las ofertas térmicas, distinguimos los siguientes recursos:

Combustible residual: Se trata del combustible obtenido como residuo de algún proceso susceptible de ser utilizado para generación térmica. Los combustibles residuales contemplados son: la biomasa residual, tanto de industria como de residuos agrícolas y forestales, y el biogás procedente de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs).

Calor residual: Se trata de, o bien calor en forma de gases calientes generados en un proceso industrial, o bien calor en forma de vapor obtenido en procesos de generación eléctrica.

Para la identificación de sistemas es necesario realizar una agrupación de los parámetros mencionados con anterioridad. Para ello se ha efectuado un análisis pormenorizado de la información contenida en la base de datos mediante la elaboración de una rejilla formada por celdas de 100 metros de lado, en los que se analiza de forma individualizada la información de los centros consumidores y ofertantes contenidos en ellos. El proceso empleado sigue los siguientes pasos:

1. ***Localización de áreas de alta densidad de edificación:*** La viabilidad técnica de redes urbanas se ve altamente influenciada por la densidad de demanda térmica, que, a su vez, depende notoriamente del volumen de edificación. Por ello se considera que únicamente será viable la construcción de un sistema de calefacción y/o refrigeración urbana eficiente en las áreas cuyo plot ratio es superior a 0,30, descartando, de este modo, todas aquellas celdas en los que la superficie construida es inferior al 30% de la superficie de terreno.

2. ***Formación de áreas de demanda difusa:*** Una vez localizadas las celdas de alta densidad de edificación (*plot ratio* superior a 0,3), se descartan aquellas cuya demanda es inferior a 130 kWh/m^2 de terreno y se procede a la agrupación de aquellas celdas que cumplan los dos requisitos anteriormente expuestos.

   En primer lugar la Herramienta inicia un procedimiento de agrupación de celdas empezando por la celda de mayor demanda térmica de todo el territorio.

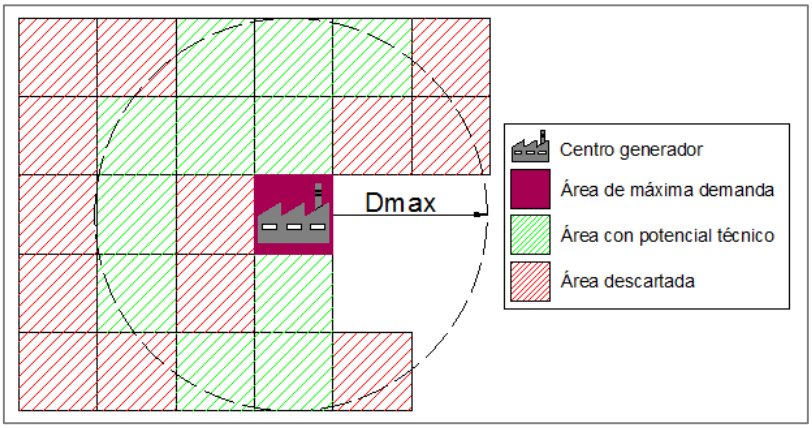
   Una vez localizada dicha celda, la Herramienta establece a la misma como centro de la primera agrupación de celdas del territorio. La Herramienta analiza las celdas cuyo centro de coordenadas esté ubicado a una distancia no superior a 1,5 km. De todas las celdas ubicadas en el área delimitada por esos 1,5 km de radio, añadirá a la agrupación de celdas difusas todas aquellas que pertenezcan al mismo sector (residencial o terciario) que la celda origen de la agrupación y que no hayan sido

descartadas previamente por no cumplir los requisitos de plot ratio superior a 0,3 y las que cumplan una demanda superior a 130 kWh/m2.

Tras realizar la agrupación de todas las celdas de demanda difusa que cumplan las restricciones expuestas, se determina cuál es la demanda térmica total agregada de la agrupación y en el caso de ser igual o superior a 5.000 MWh será considerada como una nueva agrupación, mientras que en el caso de no cumplirse ese requisito será descartada. En la Ilustración 17 se muestra gráficamente el proceso empleado para la formación de sistemas.

Una vez analizada la primera agrupación factible de ser realizada tomando como celda origen la de mayor demanda térmica del territorio, la Herramienta localizará la segunda celda con mayor demanda térmica del mismo y realizará el mismo procedimiento, teniendo en cuenta que las celdas que ya estén constituyendo una agrupación ya no podrán formar parte de un nuevo sistema. Este procedimiento se repetirá con el resto de celdas y de forma descendente en cuento a su demanda térmica.

Ilustración 17: Identificación de áreas de demanda difusa.



3. ***Inclusión de demandas puntuales:*** Una vez localizadas las áreas de demanda difusa, se agruparán con éstas las demandas puntuales situadas a una distancia menor a 5 km del sistema. Como es posible que una misma demanda puntual esté ubicada en el entorno de varios sistemas, para su agrupación se priorizará en función de las demandas térmicas tanto del sistema como del consumidor puntual.

.

4. ***Formación de sistemas individuales:*** Una vez formados todos los sistemas que disponen de área de demanda difusa se efectuarán sistemas individuales formados por aquellos centros consumidores que, debido a su situación lejana respecto a las áreas de demanda difusa, únicamente pueden formar sistemas por sí mismos.

5. ***Análisis de la disponibilidad de oferta térmica:*** Por último, se añadirán al sistema los recursos energéticos disponibles en el entorno (ver apartado de combustible y calor residual). El radio de análisis será de 5 km para todos los recursos excepto para biomasa residual, en la que se considerarán 50 km). Al igual que en el apartado 3, su distribución se efectúa en función de un coeficiente, k en este caso, que tiene en cuenta la demanda térmica del sistema, la oferta térmica y la distancia entre ellos.

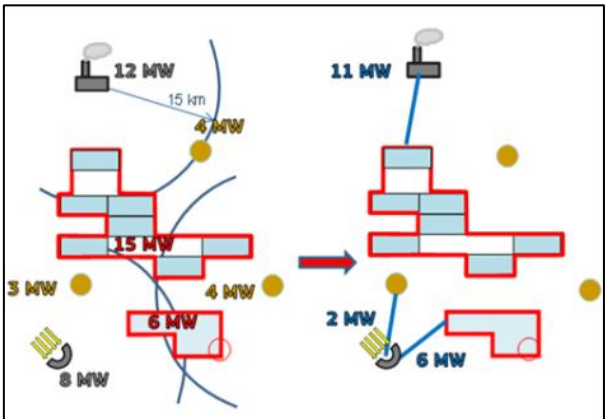
$$k = \frac{H_{recurso}}{L \cdot \sqrt{\frac{H_{recurso}}{H_{demanda}}}}$$

Donde:

- $H_{recurso}$: Oferta térmica anual disponible
- $H_{demanda}$: Demanda térmica anual.
- L: Distancia entre el posible suministro de calor y el punto o área de demanda térmica.

En la Ilustración 18 se puede ver cómo se calcula el factor k para el estudio de sistemas a partir de demandas puntuales, difusas y focos de suministro de calor.

Ilustración 18: Análisis de la disponibilidad de oferta térmica.



Calor residual suministrado	Possible heat consumer	Distance m	Coefficient k
12.000 MWh	15.000 MWh	8	1,677
	4.000 MWh	14,5	0,478
8.000 MWh	15.000 MWh	12,5	0,876
	6.000 MWh	7	0,990
	3.000 MWh	8,5	0,576
4.000 MWh	15.000 MWh	2	3,873
	6.000 MWh	7	0,653

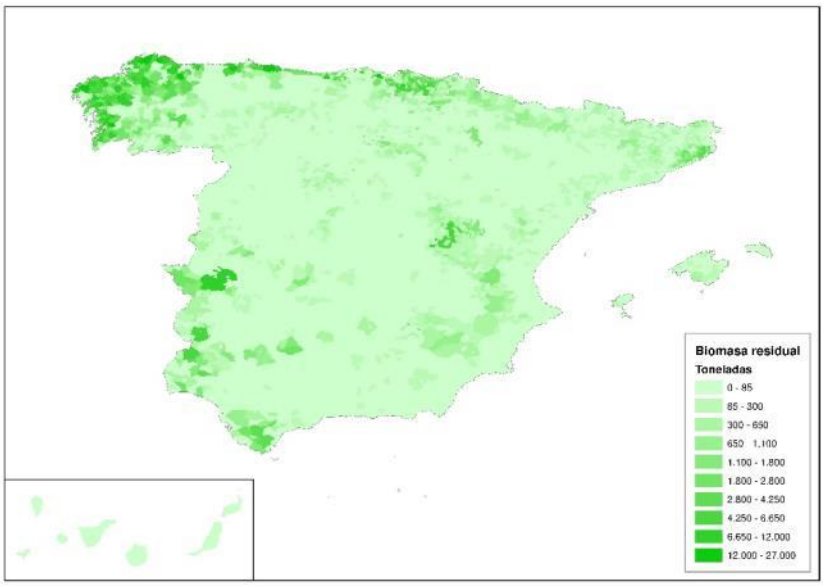
Fuentes: JRC Science and policy reports

Para la caracterización de los recursos disponibles para el abastecimiento térmico de los sistemas se ha efectuado del siguiente modo:

a. **Combustibles residuales:** Como se explicaba anteriormente, el presente estudio ha considerado como combustibles residuales la biomasa generada como residuo de procesos industriales, agrícolas y forestales y el biogás procedente de EDARs. Su disponibilidad geográfica se ha determinado del siguiente modo:

a.1 **Biomasa:** Se trata de materia orgánica vegetal originada como residuo en procesos industriales, agrícolas y/o forestales. Para estos dos últimos casos se considerarán los recursos de biomasa estudiados por el "Plan de Energías Renovables 2011-2020", obteniendo del tratamiento de la información la disponibilidad geográfica que se muestra en la Ilustración 19.

Ilustración 19: Mapa de disponibilidad de biomasa residual.



Para el caso de la biomasa de procedencia industrial, los sectores identificados como principales productores son:

- *Sector madera y muebles:* En el sector maderero y de fabricación de muebles se genera una gran cantidad de biomasa residual en forma de recortes de madera, serrín, pallets, piezas deterioradas, etc. El poder calorífico promedio con humedades entorno al 35-40% rondan las 2.600 kcal/kg.

- *Sector pasta y papel:* La industria papelera se encuentra a la cabeza en la valorización energética de residuos. Estos residuos provienen de los procesos de descortezado, trituración filtración, etc., y entre ellos se encuentran restos de madera y corteza, lodos de fibra y otros residuos orgánicos. En general, poseen una humedad bastante elevada,

cercana al 55%, y su poder calorífico medio se establece en unos 3.200 kcal/kg.

- *Sector del aceite de oliva:* La industria olivarera supone también una gran aportación a la generación de biomasa residual. Entre los principales subproductos encontramos el orujillo, que a pesar de su elevada humedad posee un considerable poder calorífico que ronda los 4.100 kcal/kg en base seca, y el hueso de aceituna, que resulta un combustible idóneo debido a su reducida humedad, su elevado poder calorífico (en torno a 4.440 kcal/kg) y su bajo impacto ambiental.

- *Otros sectores:* Existen más industrias en las que se generan combustibles residuales susceptibles de ser aprovechados para su valorización energética pero no se contemplarán en el presente estudio o bien por tratarse de subsectores industriales minoritarios o bien por que la cantidad de residuos valorizables generados son mínimos o difíciles de estimar.

En la Tabla 32 se resumen los factores que se han tenido en cuenta para la estimación de cantidades y poderes caloríficos de los combustibles residuales basados en la bibliografía y en valores encuestados. Únicamente se considerará la biomasa residual para consumo en el propio centro que lo genera.

Tabla 32. Disponibilidad de biomasa residual en industria.

Sector Industrial	Residuos/calor (t/MWh_t)	P.C.I. (kcal/kg)
Madera y muebles	0,0629	2.600
Pasta y papel	0,1173	3.200
Aceite de oliva	0,0746	4.200

a.2 **Biogás:** Combustible residual generado por digestión anaerobia de materia orgánica, cuya producción se lleva a cabo en digestores en los que se deposita la materia orgánica a fermentar. La generación de biogás es común en diversos sectores industriales, en el sector agrícola, en las depuradoras de aguas residuales (EDARs), en vertederos, etc., pero el presente estudio, debido a que la viabilidad económica de aprovechamiento de biogás en cogeneración es limitada en industria y agricultura y a que la estimación de residuos acumulados por los vertederos es compleja, únicamente contemplará su aprovechamiento en EDARs.

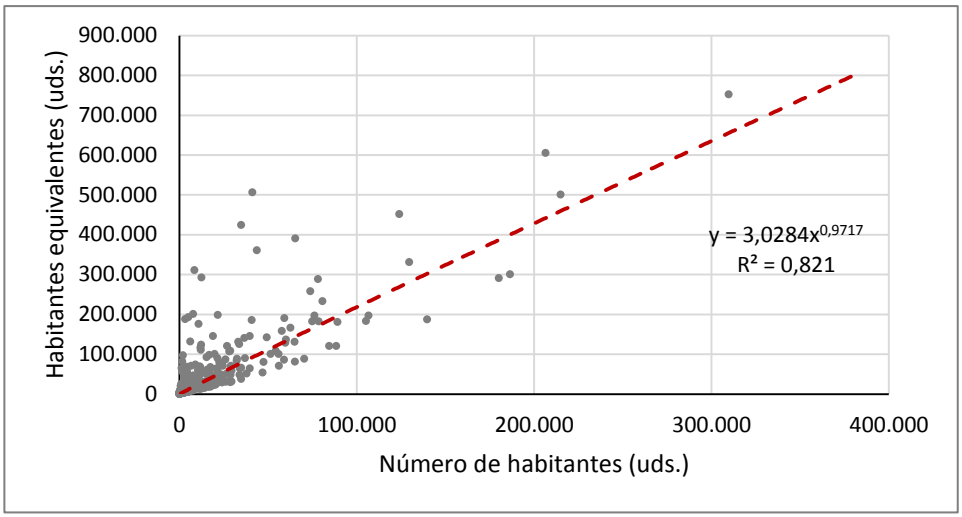
Para la estimación de la cantidad de biogás potencialmente generable por cada una de las estaciones depuradoras se ha partido de un registro disponible en el que se incluye la práctica totalidad de las EDARs existentes en el territorio nacional, para los que se ha estimado los habitantes a los que abastece, y para la cantidad de biogás potencialmente generable se ha tenido en cuenta el análisis realizado en el estudio "Situación y potencial de generación de biogás. Estudio técnico PER 2011 – 2020" y se ha estimado el potencial energético por habitante para cada una de las Comunidades Autónomas de España. En la **Tabla 33** se muestran los ratios energéticos por habitante y el potencial energético total.

Tabla 33. Producciones de biogás en EDAR's por comunidad autónoma.

Provincia	Biogás generado (KWh PCI/hab)	Potencial energético total (GWh)
Andalucía	20,1	169,8
Aragón	31,9	43,0
Asturias (Principado de)	3,3	3,5
Balears (Illes)	100,4	111,6
Canarias	6,6	14,0
Cantabria	13,8	8,1
Castilla y León	30,2	70,9
Castilla la Mancha	42,1	88,4
Catalunya	53,7	405,8
Comunitat Valenciana	87,5	447,7
Extremadura	14,7	16,3
Galicia	23,2	64,0
Madrid (Comunidad de)	61,4	398,8
Murcia (Región de)	2,4	3,5
Navarra (Comunidad Foral de)	30,7	19,8
País Vasco	11,8	27,9
Rioja (La)	46,9	15,1
TOTAL	**41,2**	**1908,1**

A pesar de que no se dispone de información de la totalidad de las EDARs, se ha llevado a cabo una estimación de los habitantes que abastece estudiando los municipios en los que únicamente existe una EDAR y que se prevé que suministrarán a la totalidad de su población. En estos casos, se efectúa una relación entre los habitantes del municipio y los habitantes equivalentes de la EDAR que se ve reflejada en la Ilustración 20.

Ilustración 20. Relación entre habitantes y habitantes equivalentes.



Para los casos en los que no se dispone de esta estimación se realiza una estimación de la población suministrada teniendo en cuenta la población del municipio y el número de EDARs existentes en la región. Los resultados obtenidos se expresan en la Tabla 34

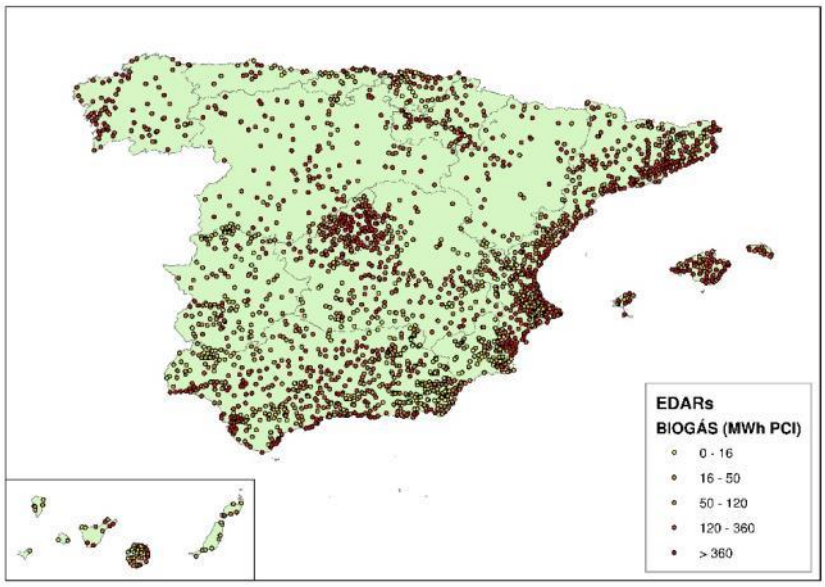
Tabla 34. Resultados obtenidos para la producción de biogás en EDAR's.

Comunidad Autónoma	Nº de EDARs	Suma de BIOGÁS (MWh PCI)	Habitantes totales	Habitantes abastecidos
Andalucía	711	153.331	8.401.567	90,7%
Aragón	57	38.916	1.326.937	91,8%
Principado de Asturias	27	3.237	1.049.754	94,4%
Islas Baleares	100	90.957	1.124.744	80,5%
Islas Canarias	85	11.545	2.128.647	82,4%
Cantabria	45	7.971	585.411	99,0%
Castilla la Mancha	248	59.051	2.062.714	94,7%
Castilla y León	133	89.747	2.478.376	86,1%
Catalunya	305	356.319	7.391.133	89,7%
Comunitat Valenciana	441	387.342	4.939.550	89,6%
Extremadura	142	14.172	1.091.591	88,0%
Galicia	93	52.758	2.734.915	83,3%
Comunidad de Madrid	106	380.801	6.377.364	97,2%
Región de Murcia	92	3.062	1.463.249	88,3%
Comunidad Foral de Navarra	45	18.720	636.638	95,9%
País Vasco	70	21.553	2.164.311	84,2%
La Rioja	25	14.671	313.615	99,7%
Total general	**2.725**	**1.704.153**	**46.270.516**	**90,1%**

En caso de resultar técnicamente viable se considera que la generación de calor se efectuaría en la propia EDAR, por esto se considera que, al igual que en el caso de calores residuales, la distancia máxima entre los centros consumidores y la EDAR de 5,0 Km.

En la Ilustración 21 se muestran las Estaciones Depuradoras consideradas.

Ilustración 21: Mapa de ubicación de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales



b. ***Calor residual:*** Se trata de, o bien calor en forma de gases calientes generados en un proceso industrial, o bien calor en forma de vapor obtenido en procesos de generación eléctrica. La viabilidad técnica de su aprovechamiento se determinará en función de la cantidad de calor disponible, su calidad térmica y las condiciones del fluido caloportador. El aprovechamiento de calores residuales depende de factores diversos, entre los que cabe destacar:

- ***Cantidad de calor:*** Para que una instalación de aprovechamiento de calor residual resulte justificable económicamente las demandas térmicas deben ser lo suficientemente elevadas para poder hacer frente a los costes fijos asociados a las mismas.
- ***Calidad del calor:*** Un factor importante a tener en cuenta es la calidad del calor residual, ya que es probable que exista una gran cantidad de energía residual pero que no sea posible aprovecharla debido a que el nivel térmico al que se demanda el calor sea superior al de calor residual disponible. La clasificación de los calores residuales en función de su calidad, que delimitará su modo de aprovechamiento, es la siguiente:

- *Alta:* Se considerarán calores residuales de alta calidad aquellos cuya temperatura es superior a 650ºC. Su principal ventaja es el gran potencial de aprovechamiento como, por ejemplo, para generación de vapor para procesos industriales o para generación eléctrica, precalentamiento de hornos, precalentamiento de aire de combustión, etc. El principal inconveniente es que a estas temperaturas se incrementa la corrosión y que se requieren materiales que soporten altas temperaturas. Se podrían considerar calores residuales de alta calidad los humos provenientes de incineradoras, de hornos de coque o de fundición de vidrio, etc. Su disponibilidad será muy improbable, ya que es poco frecuente que se deje de aprovechar en los propios centros que lo generan hasta reducir su nivel térmico.

- *Media:* El calor residual de calidad media se encuentra en un rango de temperaturas de entre 230 y 650ºC. Esta tipología posee un potencial de aprovechamiento inferior pero, por otra parte, es compatible con los materiales empleados en los intercambiadores de calor y, en algunos casos, es posible su aprovechamiento para generación eléctrica. Algunos ejemplos serían los gases de escape de turbinas de gas, o de calderas, o de hornos de cemento y su aprovechamiento se podría dar en prácticamente los mismos procesos que para niveles térmicos elevados (generación de vapor o electricidad, precalentamiento de aire de combustión, etc.).

- *Baja: Su temperatura es inferior a 230ºC y se puede aprovechar principalmente para climatización y para producción de agua caliente sanitaria, aunque de forma más limitada que en los casos anteriores. Dentro de este tipo se encuentran calores residuales como los gases calientes procedentes de calderas de etileno, condensados de vapor de proceso, agua de refrigeración de motores o compresores, etc.*

- ***Condiciones del fluido caloportador:*** El tipo de fluido que transporte el calor residual es determinante a la hora de establecer la eficiencia de su aprovechamiento debido a que la conductividad térmica es superior en líquidos que en gases. Se consideran tres tipos: gases calientes, vapor y agua caliente.

Para identificar en qué ocasiones se cumplen estas condiciones se ha llevado a cabo un análisis de los siguientes sectores que potencialmente podrían generar calor residual

b.1 ***Centrales térmicas y plantas* de valorización *energética***: El aprovechamiento térmico en las centrales térmicas y plantas de valorización energética se plantea como una extracción de vapor en la turbina a costa de una reducción del Rendimiento Eléctrico (RE) y, por tanto, de una disminución de la energía eléctrica generada. Para conocer la potencia térmica que puede ceder una planta se ha impuesto que el RE de la instalación no deberá reducirse por debajo de un 20% y que las horas de operación corresponderán a las características del tipo de tecnología de la planta y, de este modo, se han simulado varias plantas para cada tecnología y rango de potencia[4]. Por otra parte, se ha estimado el precio de venta del calor considerando que el consumidor es quien realiza la inversión inicial y que el margen de beneficio por la venta de calor es del 10%.

b.2 ***Industrias:*** A partir de un análisis sectorial se ha llegado a la conclusión de que los sectores industriales generadores de calor residual aprovechable son el sector del cemento, el sector del vidrio, el sector de producción de hierro y acero, el de producción de aluminio y el sector de metalurgia y fundición.

Producción de cemento

En la industria del cemento se consume una gran cantidad de calor en hornos rotatorios para la calcinación de caliza y arcilla para la obtención de clínker de cemento Portland. Dependiendo de la humedad de las materias primas, el proceso puede ser seco o húmedo (humedades en torno al 30 y el 40%), necesitando en estos últimos una cantidad mayor de energía para poder evaporar el agua que contiene. Las temperaturas de trabajo del horno superan los 1.500ºC, mientras que sus gases de escape rondan los 450ºC en los casos en que no existe recuperación de calor. El método más común de aprovechamiento es para el precalentamiento de las materias primas, llevándolo a menudo en diversas fases de aprovechamiento a varias temperaturas que provocan una reducción de temperatura de los gases de escapa hasta un rango de entre 200 y 300ºC.

[4] *En el caso de los ciclos combinados se ha considerado un único rango de potencia debido a que las variaciones de rendimiento en potencias tan elevadas son mínimas.*

Producción de vidrio

El principal consumo energético en el sector del vidrio se produce en los hornos empleados en procesos de fundición y refinado, cuyos gases de escape alcanzan temperaturas que rondan los 1.300ºC en caso de no haber recuperación de calor. Los sistemas de recuperación de calor más habituales son los regeneradores y los recuperadores para precalentamiento del aire de combustión, aunque en ocasiones también es empleado para el precalentamiento de la materia prima a introducir en el horno

Producción de hierro y acero

Los principales focos de calor residual en el sector de producción de hierro y acero son los hornos a altas temperaturas para producción de sínter, coque, hierro y acero. Destacamos los siguientes:

- *Hornos de coque:* Las pérdidas de calor se producen en forma de gas de coquería, que se puede utilizar como combustible tras someterlo a un tratamiento previo, y como gases de escape a unos 200ºC.
- *Altos hornos:* Son utilizados para la producción de arrabio a partir de mineral de hierro, coque y caliza mediante un proceso de reducción que tiene lugar a temperaturas de entorno a los 1.500ºC. Se encuentran calores residuales en forma de gases de alto horno, que pueden ser utilizados como combustible, y en forma de gases de escape de estufas Cowper, empleadas para el precalentamiento del aire introducido en el alto horno.
- *Hornos de oxígeno básico:* Su objetivo es el afino del arrabio para la obtención de acero. El proceso se lleva a cabo mediante la inyección de oxígeno sobre el arrabio fundido para que éste reaccione con el carbono contenido en el arrabio y proceder así a su descarbonatación. El aprovechamiento de la energía contenida en los gases de escape se puede llevar a cabo mediante su combustión en una caldera de recuperación, o bien mediante su limpieza, acumulación y aprovechamiento como combustible.
- *Hornos de arco eléctrico:* Se emplean para la producción acero reciclado a partir de fusión eléctrica de chatarra produciendo gases de escape a temperaturas comprendidas entre 1.400 y 1.900ºC que se emplean comúnmente para mejorar la eficiencia del proceso mediante el precalentamiento de la chatarra.

Producción de aluminio

La industria del aluminio puede subdividirse en el refinado de la bauxita para la obtención de aluminio primario y en el reciclado de chatarra de aluminio para la producción de aluminio secundario. La producción de aluminio primario se efectúa mediante electrólisis alcanzando temperaturas cercanas a los 1.000ºC y con unas pérdidas térmicas de alrededor del 45% en las paredes de la cuba, aunque no existen hasta el momento tecnologías que permitan aprovechar ese calor. Por otra parte, en la producción del aluminio secundario se procede a la fusión de chatarra de aluminio para, de este modo, producir aluminio reciclado sin merma de propiedades físicas. El proceso de refundido se lleva a cabo mediante hornos de fusión, siendo los más comunes los reverberatorios, los rotatorios y los hornos de inducción, cuyos gases de escape pueden alcanzar temperaturas de entre 1.000 y 1.200ºC y suponen unas pérdidas energéticas de en torno al 60% de la energía de entrada. Aunque el aprovechamiento de este calor es técnicamente viable mediante recuperadores y regeneradores, únicamente resulta rentable en casos muy específicos, ya que los costes de mantenimiento suelen ser bastante elevados debido a problemas de corrosión provocados por los cloruros y fluoruros contenidos en los gases de escape, a la combustión secundaria de volátiles en el recuperador y al sobrecalentamiento.

Metalurgia y fundición

El sector metalúrgico requiere una gran cantidad de energía en forma de calor para la transformación de los minerales metálicos en metal puro y para su posterior tratamiento, moldeo y transformación. La mayor parte de esta energía es consumida en hornos de fundición que trabajan a altas temperaturas e implican unas pérdidas energéticas importantes en forma de gases calientes a temperaturas que rondan los 1.000ºC. El modo de aprovechamiento de calor más habitual es mediante recuperadores que emplean los gases de escape para el precalentamiento del aire de combustión o para el precalentamiento del metal a tratar, aunque también es posible su aprovechamiento de otros modos, como podría ser, por ejemplo, en climatización.

A modo de síntesis, la Tabla 35 muestra la totalidad de los calores residuales identificados en industria, sus características técnicas, la relación porcentual entre el calor residual potencialmente aprovechable (H_{res}) y la demanda térmica total (H) y si existe viabilidad económica y viabilidad técnica de aprovechamiento fuera del centro, teniendo en cuenta principalmente que parte del calor residual será aprovechado en la propia industria (en general aquellos de alta calidad).

Tabla 35: Caracterización del calor residual en la industria.

Fuente	Tª media	Calidad	Carnot efficiency	H_{res}/H	Viabilidad técnica	Viabilidad económica
Aluminio						
Aluminio primario						
Célula electrolítica	700ºC	Alta	69%	1,3%	No	No
Aluminio secundario						
Sin recuperación	1150ºC	Alta	79%	51,8%	Sí	No
Con recuperación	538ºC	Media	63%	22,9%	Sí	Sí
Acero						
Horno de coque						
Gas	980ºC	Alta	76%	18,3%	No	No
Gases de escape	200ºC	Baja	37%	6,3%	Sí	Sí
Alto horno						
Gas de alto horno	430ºC	Media	19%	0,2%	No	No
Gases de escape de alto horno						
Sin recuperación	250ºC	Media	43%	12,6%	Sí	Sí
Con recuperación	130ºC	Baja	26%	2,4%	Sí	Sí
Horno de oxígeno básico	1700ºC	Alta	85%	46,3%	No	No
Horno de arco eléctrico						
Sin recuperación	1200ºC	Alta	80%	8,0%	Sí[5]	Sí[4]
Con recuperación	204ºC	Baja	38%	0,6%	Sí[4]	Sí[4]
Fusión de vidrio						
Regenerativo	427ºC	Media	57%	15,8%	Sí	Sí
Recuperativo	982ºC	Alta	76%	42,5%	Sí	No
Oxyfuel	1420ºC	Alta	82%	26,9%	Sí[4]	Sí[4]
Hornos eléctricos	427ºC	Media	57%	14,0%	Sí[4]	No
Fundición directa	1316ºC	Alta	81%	60,1%	Sí[4]	No
Cemento						
Vía húmeda	338ºC	Media	51%	9,8%	Sí	Sí[4]
Vía seca	449ºC	Media	59%	15,2%		
Precalentador	338ºC	Media	51%	10,5%	Sí	Sí[4]
Precalcinador	338ºC	Media	51%	10,6%	Sí	Sí[4]
Metalurgia y fundición						
Aluminio						
Horno de reverbero	1150ºC	Alta	79%	52,0%	Sí[4]	Sí[4]
Stack melter	121ºC	Baja	24%	4,4%	Sí	Sí[4]
Horno de cubilote						
Sin recuperación	900ºC	Alta	75%	31,0%	Sí[4]	Sí
Con recuperación	204ºC	Baja	38%	3,9%	Sí[4]	Sí

[5] *Únicamente en casos muy específicos.*

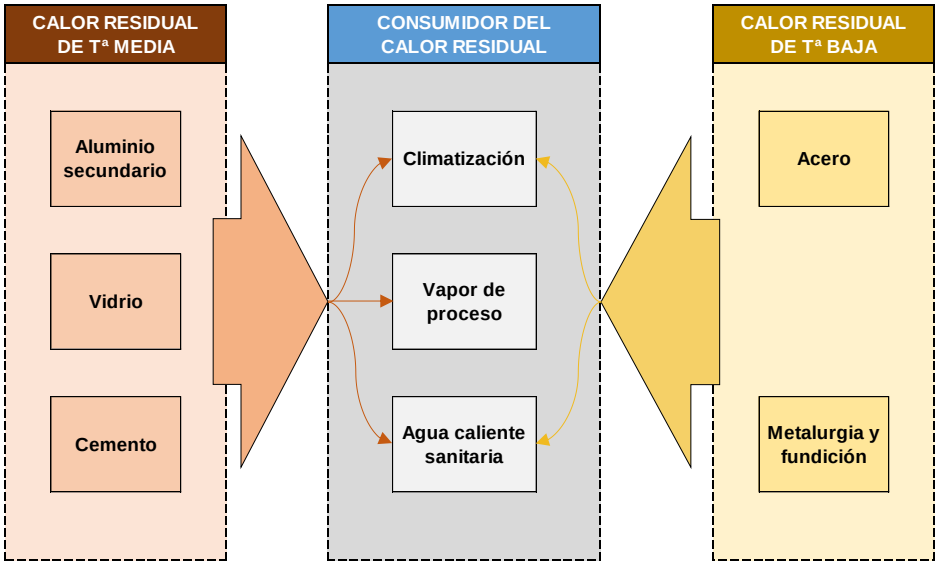
En la Tabla 36 se muestran los valores de cálculo empleados para la relación entre el calor residual potencialmente aprovechable (H_{res}) y la demanda térmica total (H) teniendo en cuenta que no todos los procesos analizados en la Tabla 35 consumen calor en la misma proporción, que algunos de estos procesos son excluyentes y que otros directamente no son viables, ya sea por motivos técnicos o económicos. Por otra parte, se ha considerado que los calores de alta calidad son aprovechados en la propia fábrica, ya sea de forma íntegra o parcial.

Tabla 36: Bases de cálculo de calor residual en industria.

Sector Industrial	Calidad	$\frac{\text{Calor residual útil}}{\text{Demanda térmica}}$
Aluminio secundario	Media	22,91%
Acero	Baja	0,78%
Vidrio	Media	6,84%
Cemento	Media	8,17%
Metalurgia y fundición	Baja	1,26%

Como cabe esperar, el calor residual únicamente podrá abastecer demandas térmicas de temperaturas menores, por lo que no se hace necesario establecer una correlación entre los calores residuales disponibles y los procesos industriales que lo demandan. Como no es posible analizar de forma individualizada todos y cada uno de los procesos industriales abarcados por este estudio, se ha definido esta relación en función de los principales calores residuales y procesos de cada sector, quedando establecida acorde a la Ilustración 22.

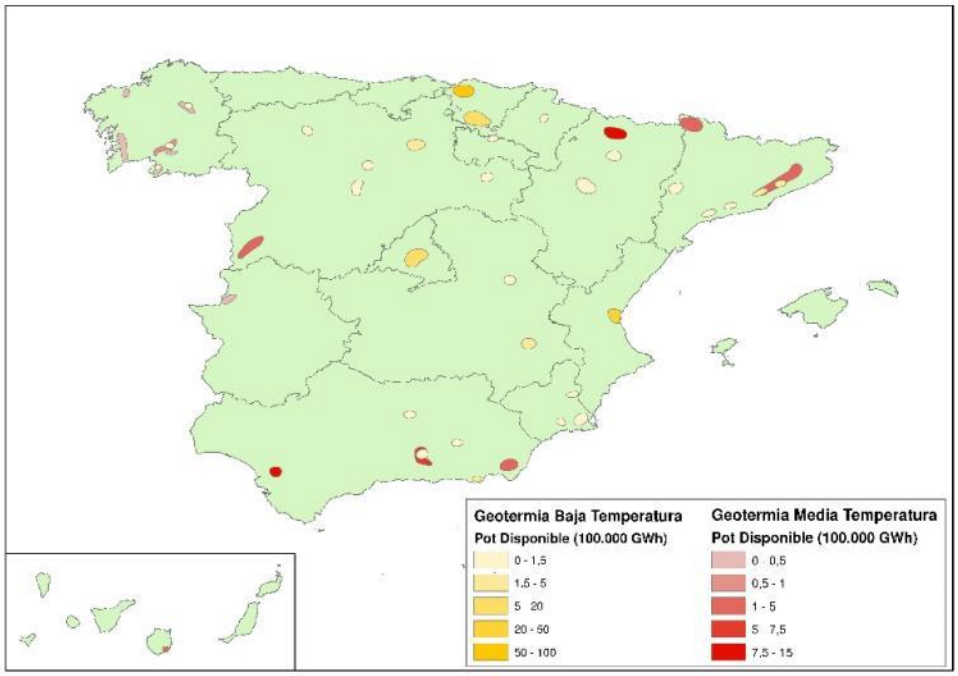
Ilustración 22: Relación entre calor residual industrial y centros consumidores.



La distancia máxima considerada para el aprovechamiento del calor residual es de **5,0 Km**[6]**.**

c. Energía geotérmica*:* Se considera el aprovechamiento directo de los yacimientos de baja temperatura para generación de ACS, cuya temperatura se sitúa habitualmente entre 30 y 100ºC y profundidades entre 1.500 y 2.500 metros, y yacimientos de media temperatura para generación de vapor y agua caliente, cuyas temperaturas se sitúan en torno a 100 y 150ºC profundidades entre 1.500 y 4.000 metros. La información de los recursos geotérmico ha sido obtenida del *"Plan de Energías Renovables 2011-2020"* (Ilustración 23).

Ilustración 23: Distribución de los yacimientos geotérmicos en el territorio nacional.



d. Energía solar térmica*:* La energía solar es una fuente energética que juega un papel muy importante en los objetivos energéticos, especialmente en países cálidos como es el caso de España. Su eficacia en redes de calefacción y refrigeración urbanas ha sido probada y demostrada en numerosas ocasiones en diversos proyectos en Suecia, Dinamarca, Alemania y Austria, combinándose habitualmente con otras tecnologías y fuentes energéticas como la geotermia, la biomasa, el aprovechamiento de calores residuales y la cogeneración.

[6] *http://www.redciudadesclima.es/uploads/documentacion/b7e75a5a739b40b44fc98ecaad533842.pdf*

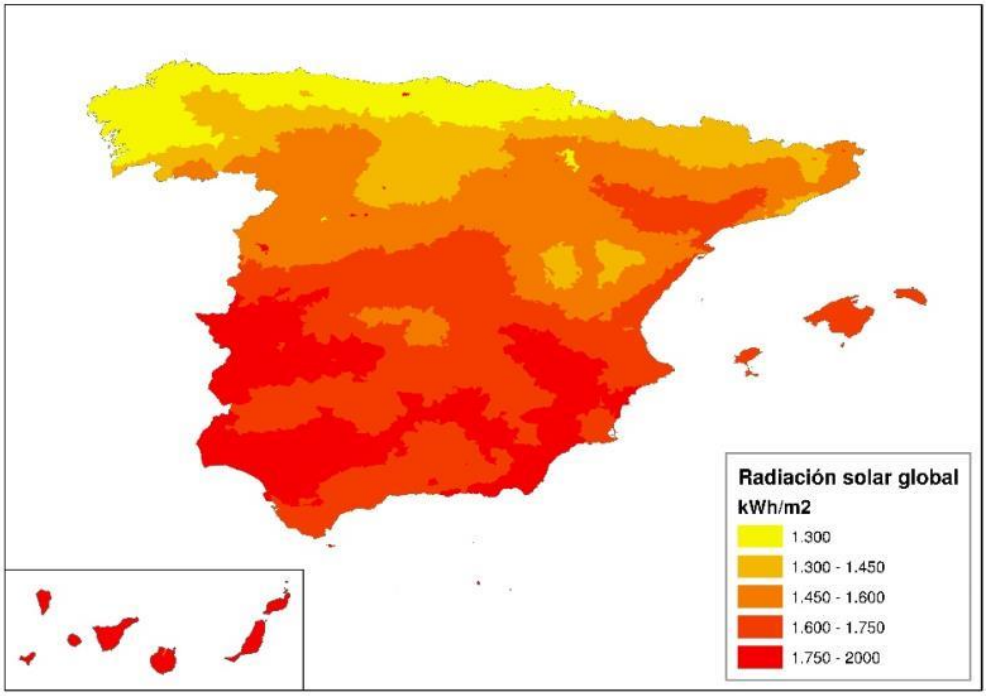
El principal obstáculo a la hora de realizar una planta solar es la disponibilidad de espacio en el que emplazar la instalación, siendo lo más habitual su implantación en las cubiertas de las edificaciones o en un terreno aislado ideado específicamente para su instalación. La primera opción resulta interesante en grandes edificaciones, especialmente si la orientación e inclinación de su cubierta ha sido diseñada con tal fin, mientras que la segunda es óptima en terrenos rústicos o aislados en los que existen vastas extensiones de terreno a precios razonables. En el presente estudio se ha considerado únicamente esta última opción, ya que permite instalar potencias mayores, y para ello se considera la superficie disponible como un valor proporcional del 7,5% de la superficie de baja densidad de edificación.

Un factor importante a tener en cuenta a la hora de conocer la disponibilidad energética de la planta es la radiación solar global de la región en la que se pretende instalar la planta, o lo que es lo mismo, la energía procedente del sol que alcanza una determinada superficie. Para el presente estudio se han tenido en cuenta los valores establecidos por el Código Técnico de la Edificación para cada una de las cinco zonas climáticas que contempla. Estos valores se determinan en la Tabla 37 mientras que en la Ilustración 24 se contempla su distribución en el territorio nacional.

Tabla 37. Radiación solar según zona climática solar.

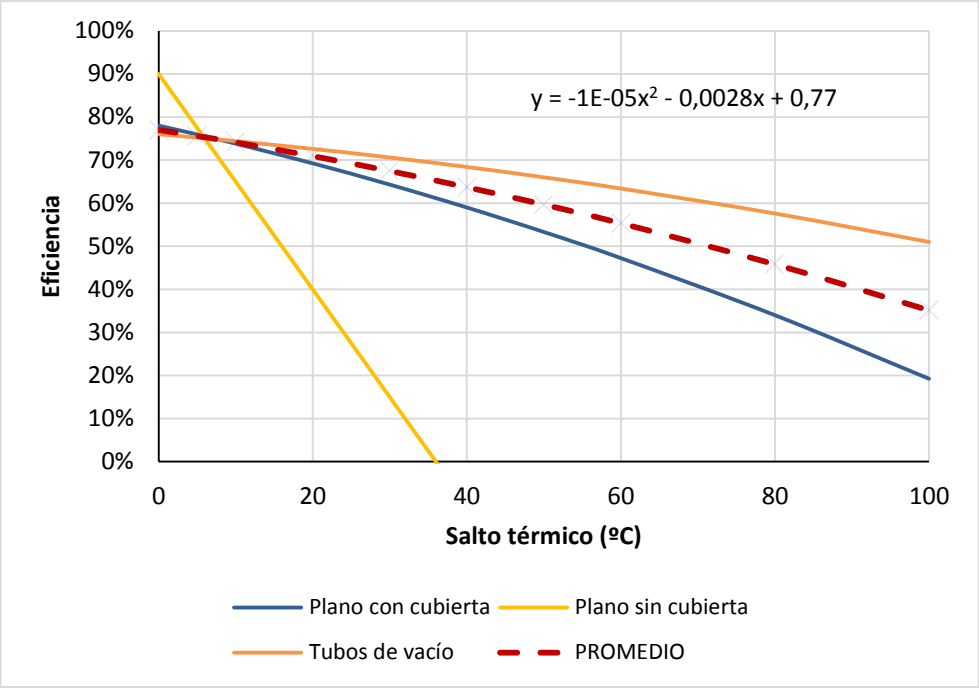
Zona solar	Radiación solar global (KWh/m2/día)	Valor empleado (KWh/m2/año)
I	H < 3,8	1278
II	3,8 ≤ H < 4,2	1460
III	4,2 ≤ H < 4,6	1606
IV	4,6 ≤ H < 5,0	1752
V	H ≥ 5,0	1935

Ilustración 24. Distribución de zonas climáticas solares.



Como cabe esperar, la eficiencia de los captadores varía en función de su orientación, su inclinación, su tipología y del salto térmico entre la temperatura ambiente y la temperatura del fluido caloportador. Debido a que el presente estudio únicamente plantea la posibilidad de instalación de plantas solares de una magnitud considerable, se presupone una orientación e inclinación óptima para maximizar el rendimiento de captación. En cuanto al rendimiento de los colectores, no considerarán los colectores planos sin cubierta, y los rendimientos se calcularán en función del salto térmico mediante la regresión polinómica de eficiencias promedio para colectores planos con cubierta y colectores tubos de vacío para el salto térmico que se determine. La Ilustración 25 muestra dicha regresión junto con los valores habituales de rendimiento de las diferentes tecnologías.

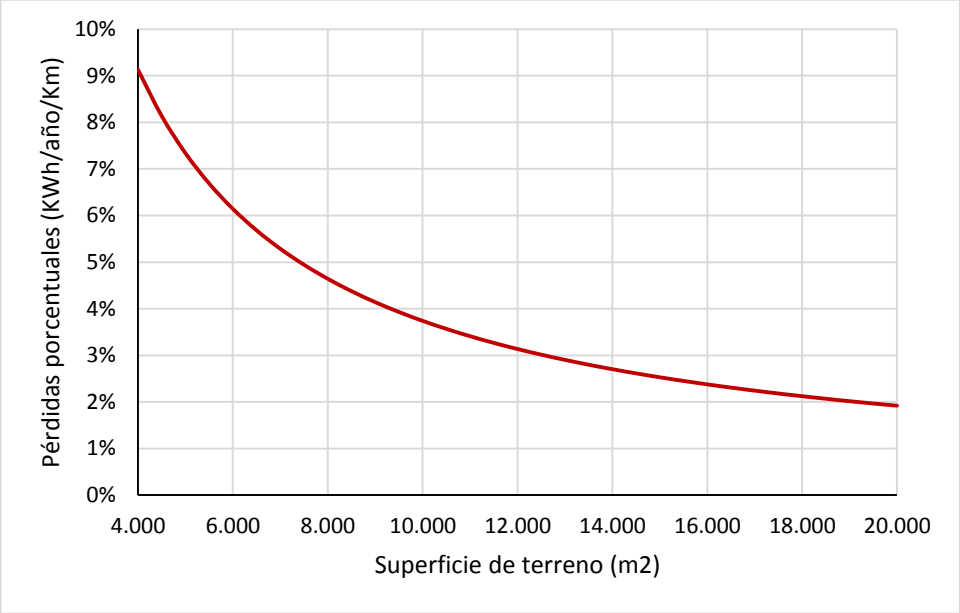
Ilustración 25. Variación de la eficiencia energética solares térmicos.



Otro factor importante a tener en cuenta es las pérdidas producidas en la tubería durante el transporte desde la planta solar hasta el centro consumidor.

En la Ilustración 26 se muestra la variación de las pérdidas energéticas en relación a la superficie de terreno por kilómetro de distancia entre el colector y el punto de conexión con la red de distribución, considerando un valor de **3,5 m^2** de terreno por m^2 de colector.

Ilustración 26. Pérdidas energéticas en paneles solares térmicos.



5.2.2 Caracterización de la demanda y oferta térmica

Una vez identificados los componentes del sistema se procede al cálculo de la demanda térmica del sistema y su distribución cronológica y de la oferta térmica:

- *Caracterización de la demanda térmica del sistema:* Para la caracterización de la demanda térmica difusa se tendrá en cuenta la superficie de cada uso de suelo y se le aplicará el ratio de demanda térmica unitaria. En el caso de las demandas térmicas puntuales, éstas están previamente calculadas, por lo que su inclusión en el sistema se efectuará de forma directa.

  Además de esto, habrá que definir el modo de consumo térmico, que vendrá definido por el sector al que pertenece, y, además, se tendrá que tener en cuenta que es posible que no toda la demanda térmica es suministrable mediante sistemas de calefacción y/o refrigeración eficientes, como puede ser el caso de hornos. Por esto, para cada sector considerado se aplicará un *"coeficiente de cogenerabilidad"* que establezca qué proporción de la demanda es suministrable mediante estos métodos. En la Tabla 38 se muestran los parámetros empleados para cada uno de los sectores.

Tabla 38: Caracterización de la demanda de calor y frío en el sector terciario e industrial.

	DEMANDA DE CALOR		DEMANDA DE FRÍO	
	Tipo	(%) Calor cogenerable	Tipo	(%) Frío cogenerable
SECTOR TERCIARIO	Agua caliente	100%	Clima	100%
SECTOR INDUSTRIAL				
Bebidas	Vapor	100%	Proceso	85%
Alimentación	Vapor	100%	Proceso	85%
Farmacéutico	Vapor	100%	Proceso	75%
Químico	Vapor	100%	Proceso	75%
Papelero	Vapor	100%	n.c	n.c
Maderero	Vapor	100%	n.c	n.c
Textil	Vapor	100%	n.c	n.c
Refino	Vapor	100%	n.c	n.c
Cerámica	Gases calientes	40%	n.c	n.c
Automoción	Vapor	90%	n.c	n.c
Cemento	n.c	n.c	n.c	n.c
Vidrio	n.c	n.c	n.c	n.c
Metalurgia	n.c	n.c	n.c	n.c
Siderurgia	n.c	n.c	n.c	n.c

- Distribución cronológica de la demanda: Para definir la demanda térmica del sistema se agruparán todos los centros consumidores con una misma curva de demanda (puntuales y difusos) para, a continuación, sumar sus demandas térmicas. Con este proceso se obtendrán tantas curvas de demanda como tipos de centros, que podrán ser adicionadas

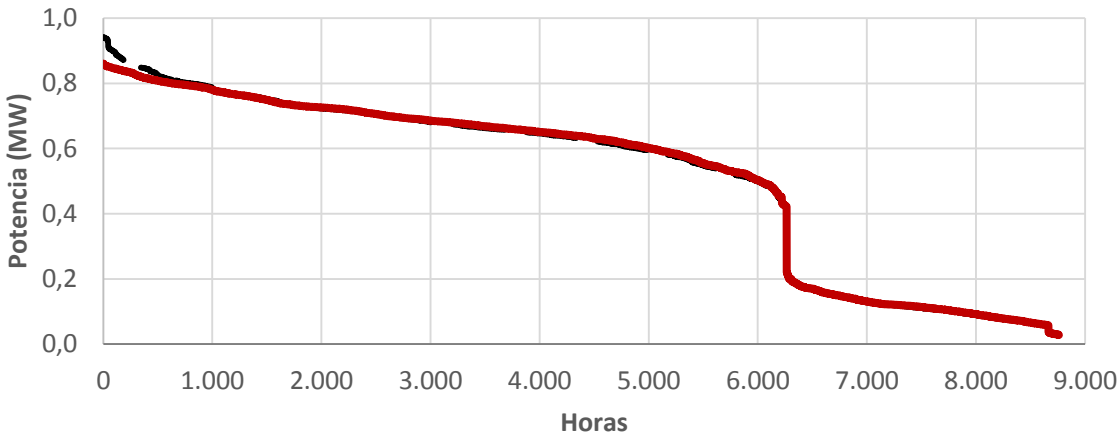
entre sí para obtener la curva horaria de demanda de todo el sistema. Al suponer curvas de demanda idénticas para cada uno de los sectores se obtendrán unos picos de demanda superiores a los reales, por lo que se aplicará un coeficiente de simultaneidad que permita obtener una demanda máxima más realista.

Este coeficiente de simultaneidad no es aplicable a la demanda térmica total, ya que, de este modo, se minoraría, por lo que se considera que las demandas térmicas horarias que excedan el pico resultante consumen a máxima potencia y los excedentes se distribuirán entre las horas restantes, siendo el reparto proporcional a la demanda horaria.

Una vez conocidas las curvas cronológicas de demanda del sistema para cada uso de suelo se obtiene por adición de las mismas la curva cronológica global que, a su vez, permitirá dimensionar el sistema.

En la Ilustración 27 se muestra la variación de la curva de demanda para el caso de un conjunto de industrias.

Ilustración 27: Variación del pico de demanda a causa de la simultaneidad.



- *Caracterización de la oferta térmica:* A pesar de que anteriormente ya se ha identificado la disponibilidad de recursos térmicos, no siempre es posible aprovechar la totalidad de estos recursos por falta de capacidad o por no resultar técnicamente viable. Por esto, se lleva a cabo una limitación de los recursos máximos en función de los distintos tipos de recursos. Las limitaciones consideradas para cada uno de los recursos son:

  - **Combustibles residuales**: Para la limitación de los recursos biomasa y biogás se considera que para que resulte viable el aprovechamiento de estos recursos se debe abastecer al menos la base de la curva de demanda y que no deberá superar el 85% de la demanda para evitar el sobredimensionado de las plantas.

    Calor residual: El aprovechamiento de calor residual únicamente se puede efectuar durante un número limitado de horas al año coincidente con las horas de operación de la planta o industria. Para estimar el calor residual potencialmente aprovechable se ha considerado que el aprovechamiento térmico se efectúa a máxima potencia durante el tiempo de operación característico de cada instalación, y nunca superando las demandas horarias del centro consumidor.

  - **Energías renovables**: En el caso de las energías renovables, su aprovechamiento depende principalmente de la disponibilidad del recurso y de la viabilidad técnica de aprovechamiento. Existen ciertas particularidades para cada uno de los recursos:

    ***Energía geotérmica**:* En este tipo de aprovechamiento se ha estimado una potencia térmica máxima para cada uno de los yacimientos térmicos contemplados por el "Plan de Energías Renovables 2011-2020" considerando su aprovechamiento a 50 años y en algunos limitando la potencia máxima en función del tipo de yacimiento para evitar capacidades térmicas poco realistas y difícilmente alcanzables.

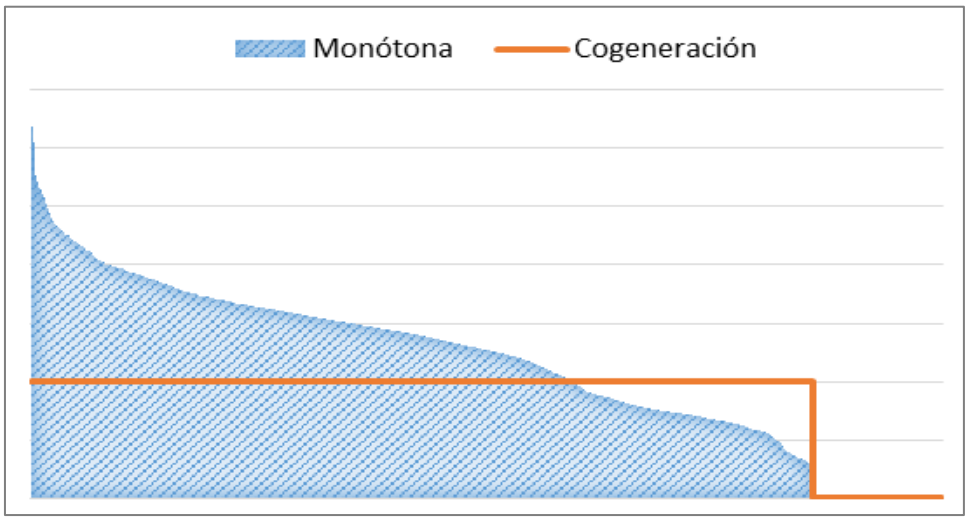
    ***Energía solar térmica**:* En el caso de la energía solar térmica se limita la potencia de la instalación al suministro de ACS, ya que ésta permite un aprovechamiento de la *fuente* renovable a lo largo de todo el año y con una estabilidad en cuanto a potencia consumida que no sucedería en el caso de efectuar un dimensionamiento para calefacción.

  - **Cogeneración**: En el caso de la cogeneración se efectúa un dimensionado de la planta que permite el aprovechamiento de la planta que permita el cumplimiento de suministro térmico mínimo fijado por la Directiva Europea. Para ello se considera que la cogeneración debe aportar al menos el 75% de la

demanda térmica y de entre todas las alternativas técnicas calculadas se considerará que la óptima es la que aporte un AEP superior y que cumpla los valores mínimos del PES.

En la **Ilustración 28** se muestra gráficamente el método de dimensionado empleado.

Ilustración 28: Dimensionado térmico de una planta de cogeneración.



Para analizar la viabilidad económica de desarrollo del potencial técnico de cada recurso es necesario trazar soluciones tecnológicas que lo aprovechen y que sean complementadas con otro tipo de tecnologías en caso de ser necesario. Para ello, se han planteado una serie de alternativas de abastecimiento en función del recurso, que son las siguientes:

Alternativas centralizadas

El presente estudio ha procurado priorizar la búsqueda de soluciones centralizadas que permitan optimizar los rendimientos del sistema y la obtención de un mayor ahorro de energía primaria. Se plantean soluciones centralizadas para cada uno de los recursos estudiados, que se podrían agrupar del siguiente modo:

- **Aprovechamiento de calor residual**: El aprovechamiento de calor se efectúa mediante una caldera de recuperación de calor procedente de los gases de escape generados en un proceso industrial. Por tanto, los equipos principales necesarios para la ejecución de la alternativa, incluyendo los sistemas convencionales en el caso de ser necesarios, son los siguientes:
    - *Caldera de recuperación.*
    - *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).*
    - *Máquinas de compresión (en caso de suministro de frío).*
    - *Red urbana de suministro.*

- **Recuperación de calor en centrales de generación eléctrica**: En el caso de los ciclos combinados, centrales térmicas convencionales y plantas de valorización de residuos la recuperación de calor se efectúa mediante una extracción de vapor en la turbina y efectuando una recuperación de este calor mediante un intercambiador vapor-vapor o vapor-agua dependiendo del tipo de calor demandado. Los equipos principales necesarios son:
    - *Intercambiador de calor.*
    - *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío)*
    - *Red urbana de suministro.*

- **Aprovechamiento de combustibles residuales**: Este caso correspondería al aprovechamiento de biomasa residual, ya sea forestal, agrícola o industrial, y al aprovechamiento de biogás procedente de estaciones depuradoras de aguas residuales. En este caso el calor es generado mediante calderas específicas que permitan la combustión de este tipo de combustibles. Los equipos principales empleados son:
    - *Caldera de biomasa/biogás.*
    - *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).*
    - *Red urbana de suministro.*

- **Aprovechamiento de recursos geotérmicos:** El aprovechamiento de recursos energéticos se plantea como uso directo del calor en yacimientos de baja y media temperatura. Su instalación requiere los siguientes equipos e instalaciones:
    - *Pozos de extracción e inyección.*
    - *Intercambiador de calor.*
    - *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).*
    - *Red urbana de suministro.*

- **Instalación de una planta solar térmica**: La producción de calor mediante energía solar se contempla mediante la ejecución de una planta solar térmica. El dimensionado de este tipo de plantas se ha planteado para que su operación sea eficiente durante el mayor número de horas posible, por ello, se limita su potencia a la de producción de agua caliente sanitaria. Los equipos principales e instalaciones contemplados son:
    - *Campo de captadores solares.*
    - *Red urbana de suministro.*

- **Instalación de una planta de cogeneración**: El último caso contemplado es el de la construcción de una planta de cogeneración que suministre parte de la energía térmica demandada. Su dimensionado se ha efectuado para que el suministro térmico sea de al menos el 75% con el objetivo de que se adapte a los parámetros exigidos por la Directiva Europea para redes de calefacción y refrigeración urbanas eficientes. Los equipos principales contemplados son:
    - *Planta de cogeneración.*
    - *Calderas convencionales.*

- *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).*
- *Red urbana de suministro.*

Alternativas aisladas

Las alternativas aisladas son, en esencia, prácticamente idénticas que las centralizadas con la particularidad de que únicamente abastecen a un centro consumidor. Por esta razón, se considera que estos centros ya poseen en la actualidad los equipos necesarios para abastecer sus demandas térmicas y que solamente se requerirá la instalación de los equipos y sistemas que permitan el aprovechamiento de los recursos analizados. A continuación, se enumeran los equipos e instalaciones necesarios en cada uno de los casos contemplados:

- **Aprovechamiento de calor residual:**
  - Caldera de recuperación.
  - Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).
- **Recuperación de calor en centrales de generación eléctrica:**
  - Intercambiador de calor.
  - Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).
- **Aprovechamiento de combustibles residuales:**
  - *Caldera de biomasa/biogás.*
  - *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).*
- **Aprovechamiento de recursos geotérmicos:**
  - *Pozos de extracción e inyección.*
  - *Intercambiador de calor.*
  - *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).*
- **Instalación de una planta de cogeneración:**
  - *Planta de cogeneración.*
  - *Máquina de absorción (en caso de suministro de frío).*

5.2.3 Salidas de información de la herramienta

Como resultado del cálculo de potencial técnico de las soluciones dentro de un sistema, la herramienta ofrecerá la posibilidad de visualizar por parte del usuario las características de cada uno de los sistemas, incluyendo su localización (provincia, municipio y coordenadas polares), la superficie construida de la edificación/es abastecida/s, la demanda térmica de calor, agua caliente sanitaria y frío desagregada por uso de suelo, y el potencial de suministro de esta demanda mediante cada uno de los recursos mencionados en el apartado anterior.

En la Tabla 39 y Tabla 40 se muestra la estructura de las salidas para dos de los sistemas confeccionados por la Herramienta, el primero es un sistema de los sectores residencial y terciario y el segundo es un sistema del sector industrial.

Tabla 39: Presentación de resultados técnicos de la herramienta para un sistema de los sectores residencial y terciario

Sistema	Sector	Subsector-Uso	Tipo de demanda	Demanda (GWh)	Calor residual industria		Calor residual centrales		...
					Potencial Solución Técnica 1 (GWh)	Potencial Solución Técnica 2 (GWh)	Potencial Solución Técnica 3 (GWh)	Potencial Solución Técnica 4 (GWh)	...
Sistema 1	Residencial	Viviendas Bloque	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
		Viviendas unifamiliares	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
	Terciario	Oficinas	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
		Comercio General	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
		Mercados o supermercados	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
		Deportes Cubiertos	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
		...	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
		Aeropuertos	Calefacción						...
			ACS						...
			Refrigeración						...
Valores totales de demanda y potencial técnico			**Calefacción**						...
			ACS						...
			Refrigeración						...

Tabla 40: Presentación de resultados técnicos de la herramienta para un sistema del sector industrial

Sistema	Sector	Subsector-Uso	Tipo de demanda	Demanda (GWh)	Calor residual industria		Calor residual centrales		...
					Potencial Solución Técnica 1 (GWh)	Potencial Solución Técnica 2 (GWh)	Potencial Solución Técnica 3 (GWh)	Potencial Solución Técnica 4 (GWh)	...
Sistema 2	Industrial	Industria agropecuaria	Calefacción						...
			Refrigeración						...
		Industria alimentación	Calefacción						...
			Refrigeración						...
		Industria agrícola	Calefacción						...
			Refrigeración						...
		Industria bebida	Calefacción						...
			Refrigeración						...
		Industria barro	Calefacción						...
			Refrigeración						...
		Industria construcción	Calefacción						...
			Refrigeración						...
		...	Calefacción						...
			Refrigeración						...
		Industria vidrio	Calefacción						...
			Refrigeración						...
Valores totales de demanda y potencial técnico			**Calefacción**						...
			Refrigeración						...

5.2.4 Dimensionamiento térmico de plantas de cogeneración

Dentro de este modo de suministro térmico se contemplarán, a su vez, diversas subalternativas que se analizarán en función de la potencia térmica requerida y del fluido caloportador requerido (Tabla 41).

Tabla 41: Alternativas contempladas en función del fluido caloportador.

	Tipología de calor útil demandado			
Tipología de ciclo	Agua caliente	Vapor de agua	Gases calientes	Refrigeración
Ciclo Simple TG				
Ciclo Simple MG				
Ciclo Simple TV contrapresión				
Ciclo combinado TV contrapresión				

TG : Turbina a gas , TV: Turbina de vapor, MG: Motor a gas

El dimensionamiento térmico de las soluciones de cogeneración queda de definido en base a sus demandas térmicas para que después la herramienta determine a partir de él el dimensionamiento eléctrico de la planta.

Para ello, se han elaborado regresiones entre la potencia eléctrica de cada tipo de ciclo y la potencia térmica suministrada (teniendo en cuenta la tipología de energía térmica demandada). De este modo, conociendo la potencia térmica a suministrar por la planta, la tipología de calor útil demandado y la tipología de ciclo es posible estimar la potencia eléctrica que deberá tener la planta de cogeneración y su rendimiento eléctrico característico. A continuación se muestran las regresiones obtenidas para cada tipo de ciclo:

Ciclo Simple de Turbina de gas

Ilustración 29: Regresión de cálculo de potencia eléctrica en CSTG.

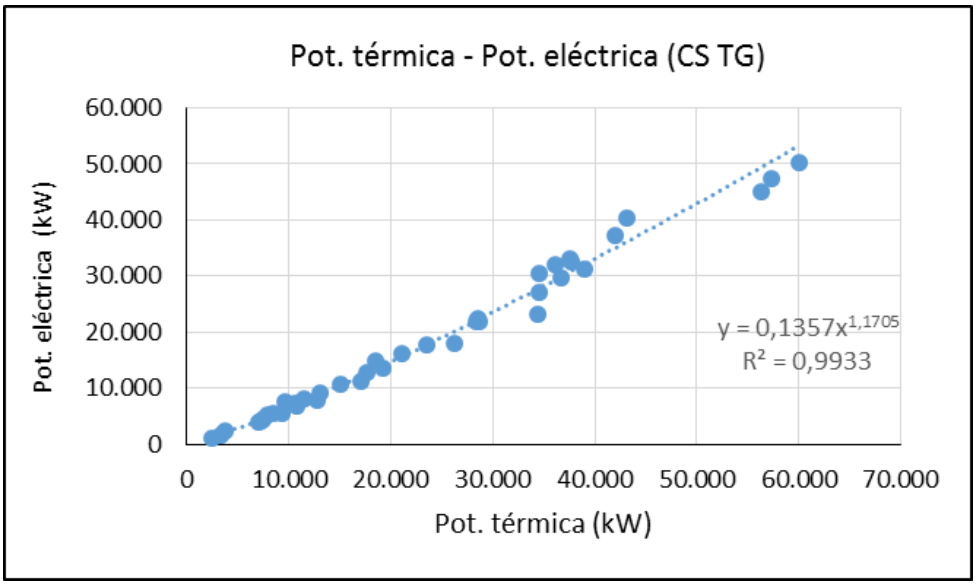
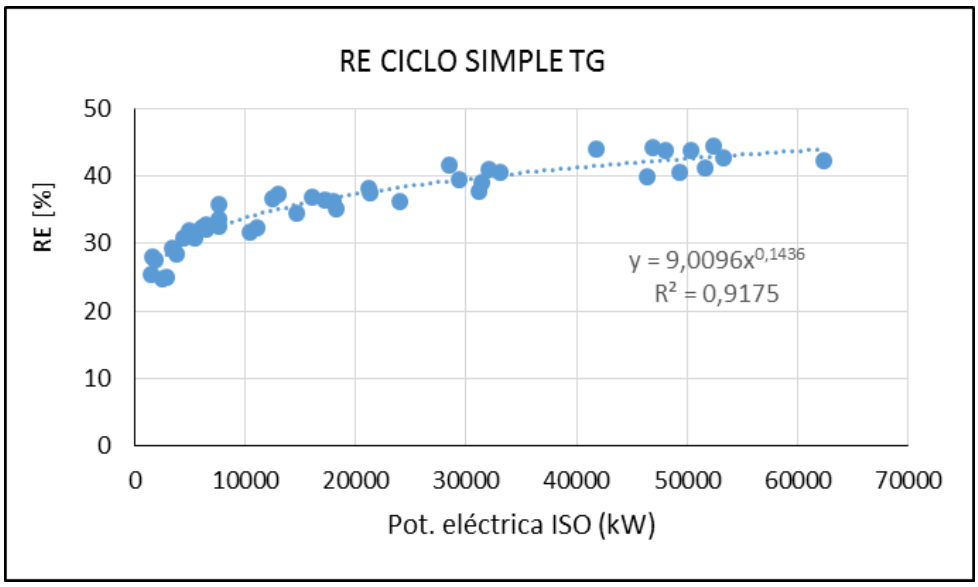


Ilustración 30: Regresión de cálculo del RE en CSTG.



Ciclo Simple de Motor a gas

Ilustración 31: Regresión de cálculo de la potencia eléctrica en CSMG.

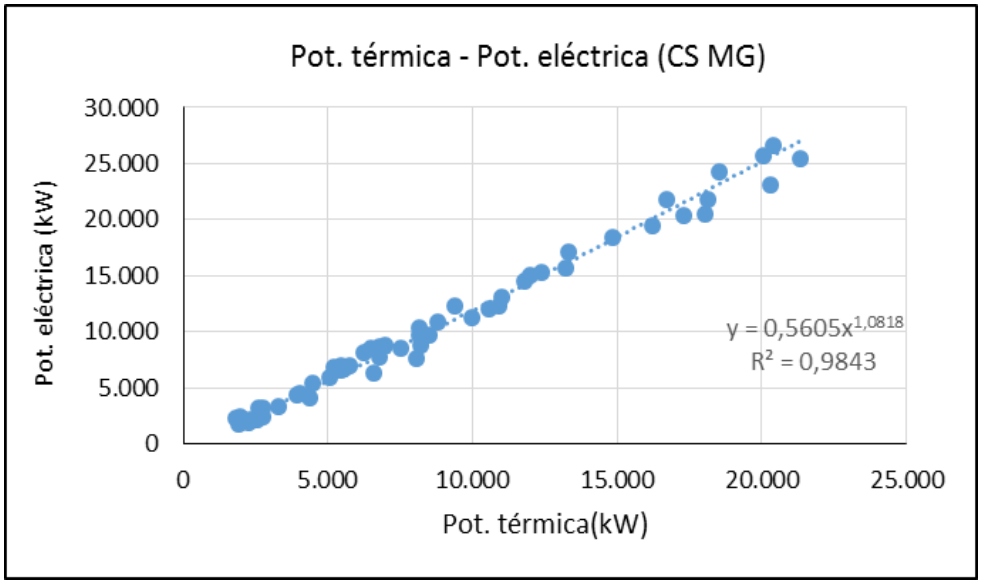
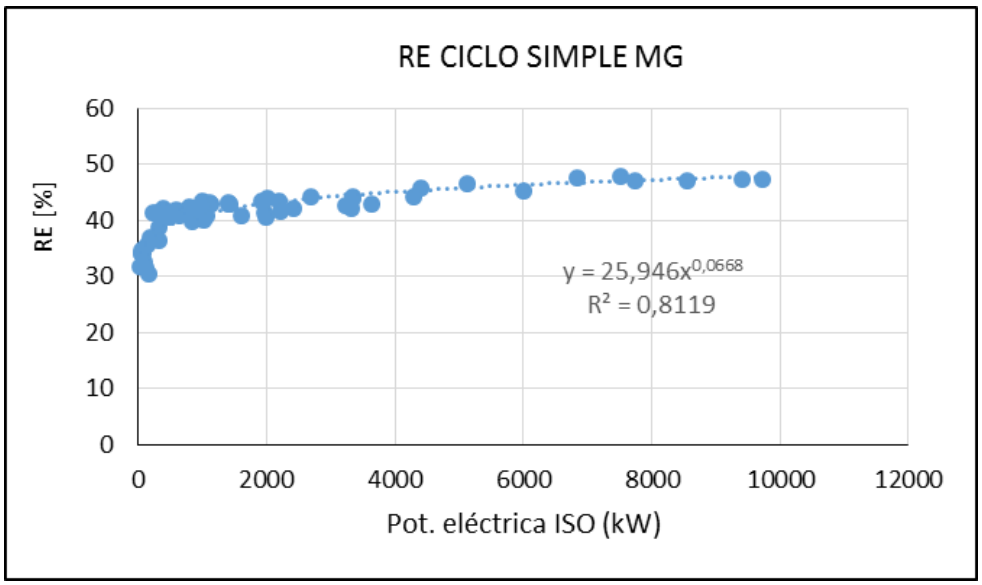


Ilustración 32: Regresión de cálculo del RE en CSMG.



Ciclo Combinado con Turbina de Vapor a contrapresión

Ilustración 33: Regresión de cálculo de la potencia eléctrica en CCTV.

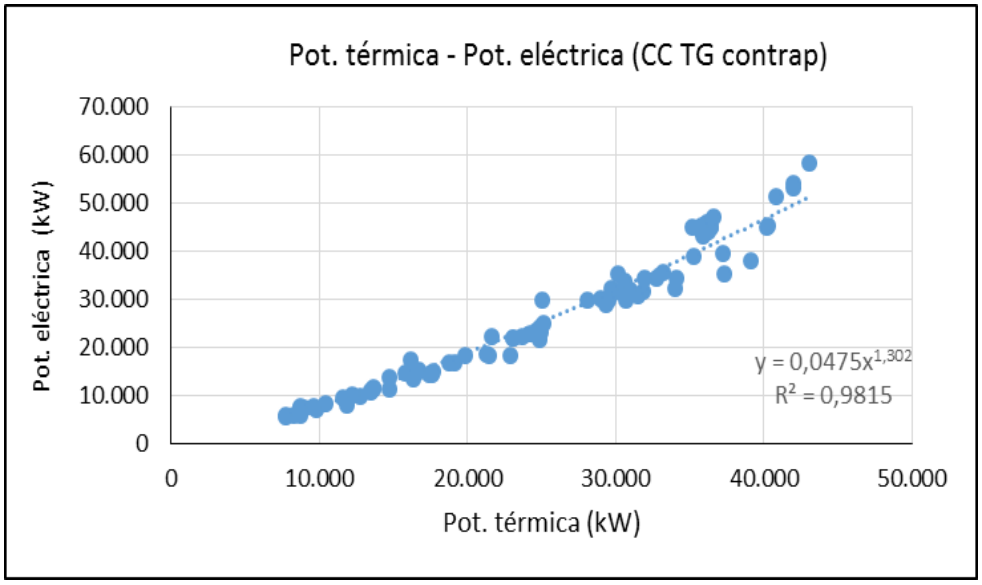
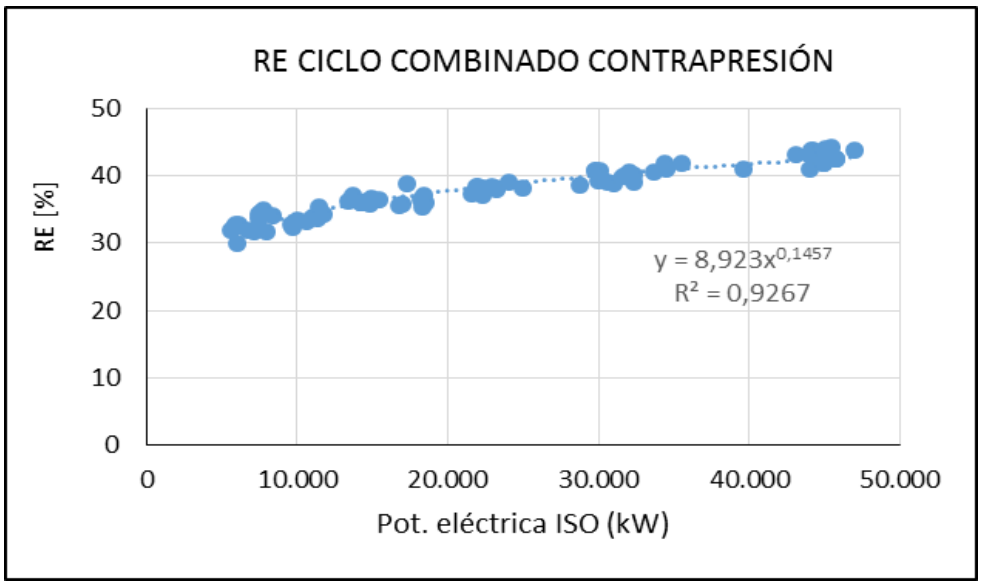


Ilustración 34: Regresión de cálculo del RE en CCTV



Ciclo Simple de Turbina de Vapor

Ilustración 35: Regresión de cálculo de la potencia eléctrica en CSTV.

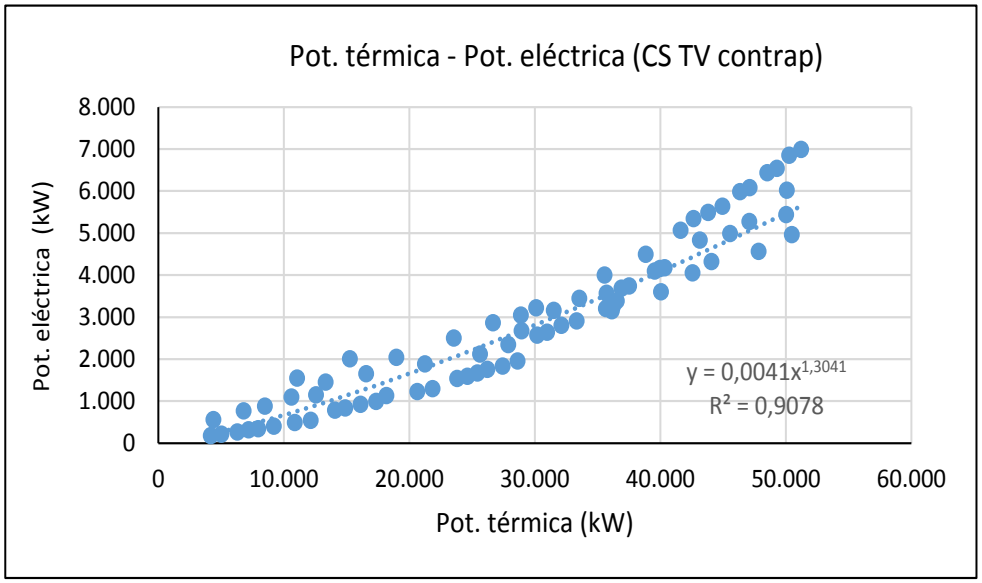
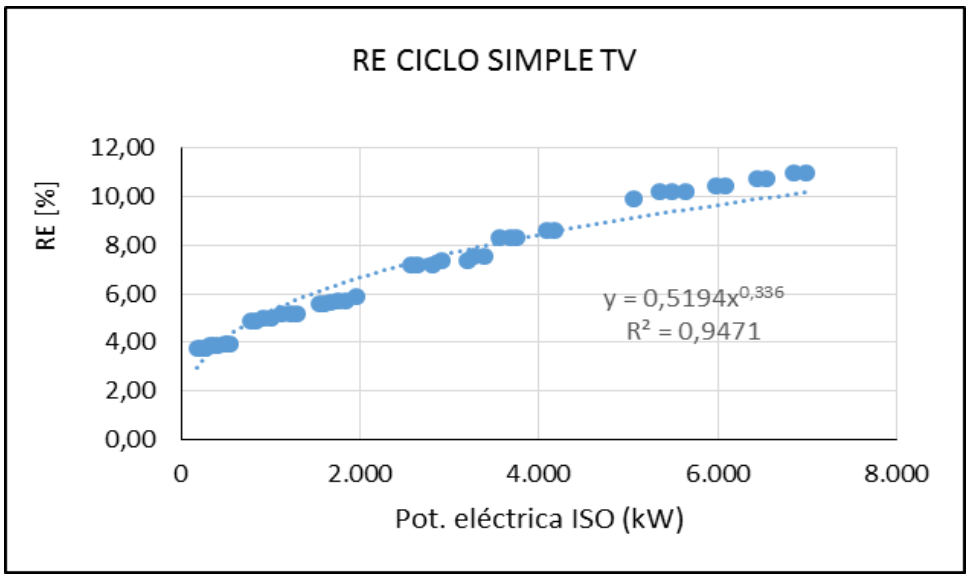
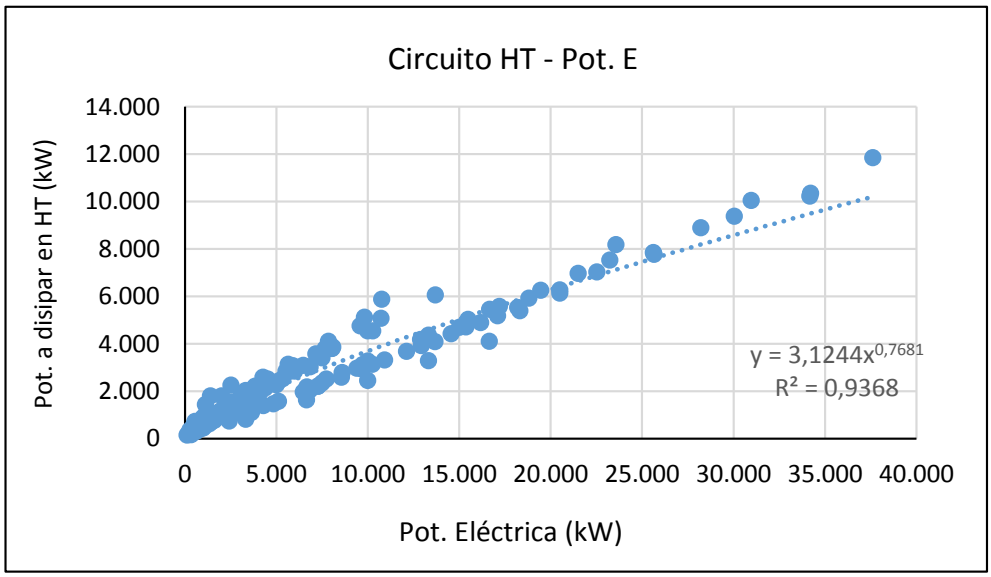


Ilustración 36: Regresión de cálculo del RE en CSTV.



En las alternativas en las que se plantee el suministro de energía frigorífica como energía secundaria de un CS con MG será necesario determinar la potencia térmica a disipar en el motogenerador con la finalidad de conocer la potencia frigorífica factible de ser suministrada. Para determinar dicha potencia se empleará la regresión obtenida a partir del análisis de datos correspondientes a diferentes marcas y modelos de fabricantes. Se muestra a continuación la relación obtenida.

Ilustración 37: Regresión de cálculo del calor disipada en motogeneradores.



Por último, para la determinación de los distintos rendimientos de cada una de las alternativas (REE y RG) y para la determinación del AEP (Ahorro de Energía Primaria) y el PES (Ahorro de Energía Primaria Porcentual), la Herramienta incorporará los valores de referencia Ref E y Ref H para producción separada de electricidad y calor

A continuación se detallan las características de las subalternativas estudiadas en cada una de las opciones de suministro:

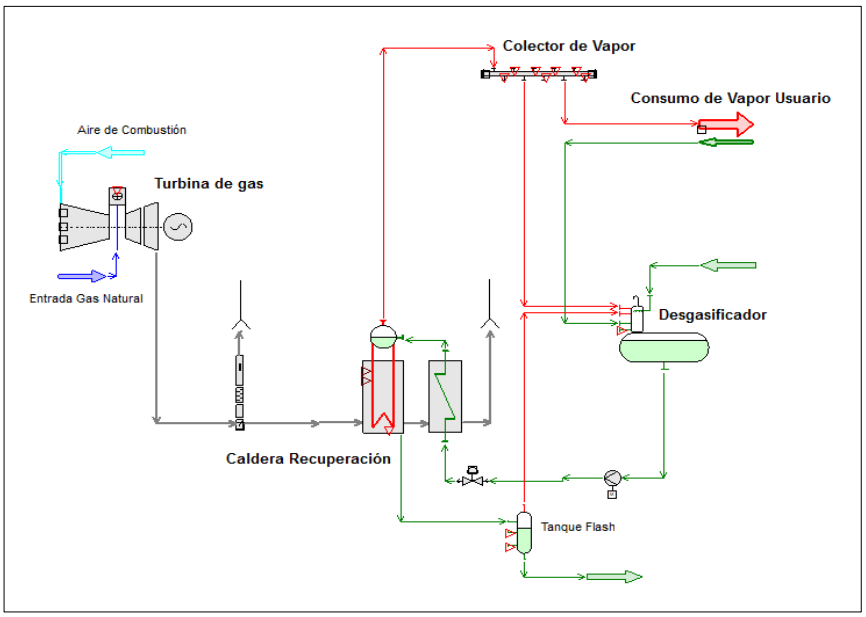
- **Opción 1: Sólo suministro de calor**

La primera opción analiza los diferentes tipos de tecnología que permiten abastecer únicamente las demandas de calor del sistema, mientras que las demandas de frío son abastecidas en su totalidad a partir de máquinas de compresión. Las alternativas son las siguientes:

Alternativa 1: Ciclo simple con turbina de gas

Un ejemplo de este tipo de soluciones es el que se muestra en el esquema representado en la será susceptible de análisis en los casos en los que la potencia eléctrica requerida a instalar sea superior a 5 MWe y para cualquier tipo de fluido caloportador. Además, se estudiará la posibilidad de implantación de quemadores de postcombustión que permitan optimizar el rendimiento de la instalación.

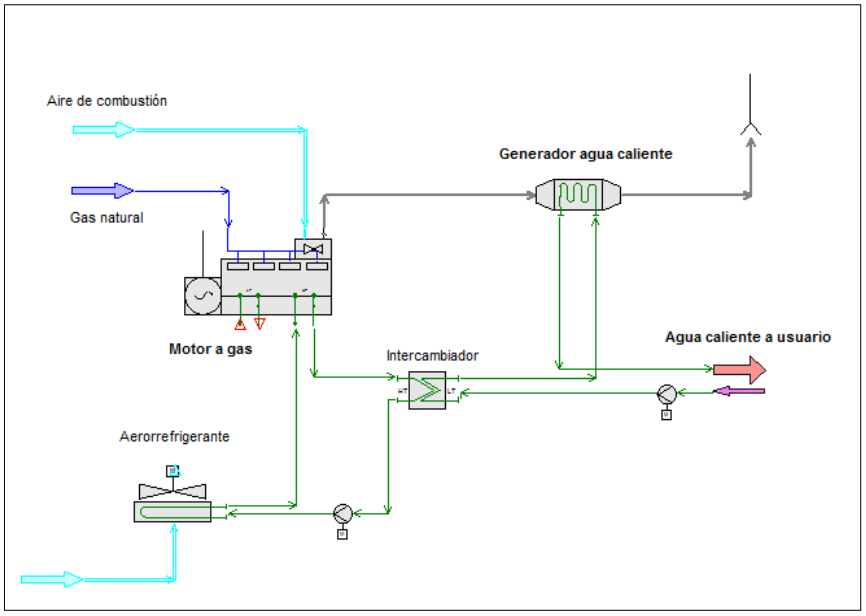
Ilustración 38: Esquema de un ciclo simple de turbina de gas para suministro de vapor.



Alternativa 2: Ciclo simple de motor a gas

Un ejemplo de instalación de un ciclo simple de motor a gas responde al esquema de la y se analizará para cualquier tipo de fluido caloportador y empleando grupos de motores que tengan una potencia eléctrica individual de, como máximo, 15 MWe.

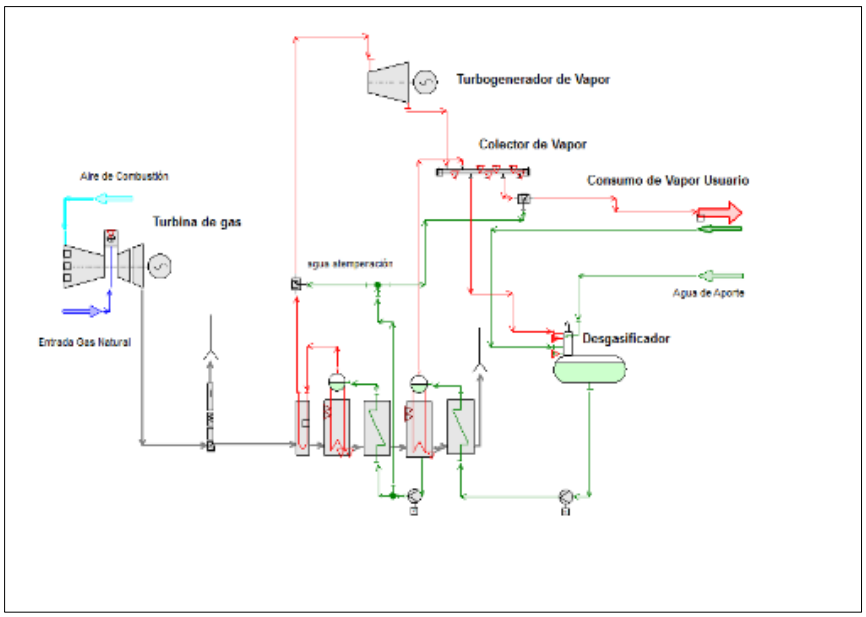
Ilustración 39: Esquema de un ciclo simple de motor a gas



Alternativa 3: Ciclo combinado con turbina de vapor a contrapresión

Este tipo de alternativa responde al esquema de la y será empleada en los casos en que el calor sea demandado en forma de vapor y cuando la potencia eléctrica supere los 10 MWe.

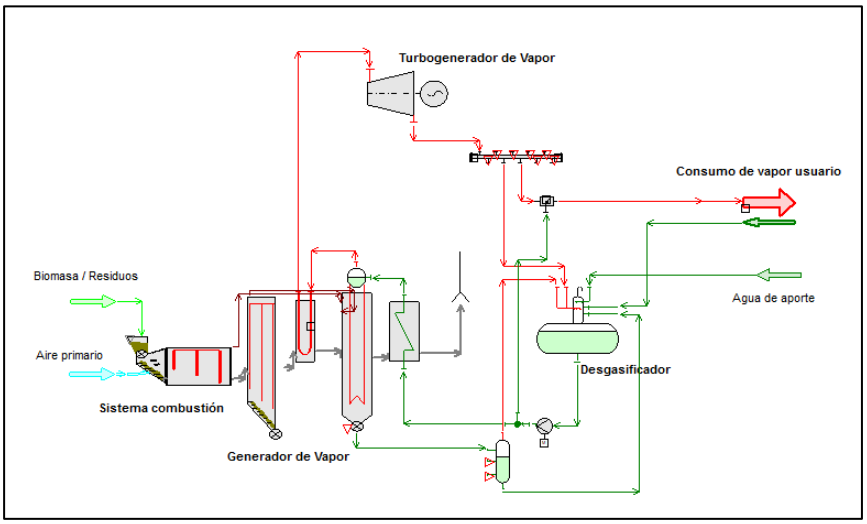
Ilustración 40: Esquema de un ciclo combinado con turbina de vapor a contrapresión.



Alternativa 4: Ciclo simple con turbina de vapor

Se estudiará para los casos en los que exista una demanda de vapor y la potencia eléctrica de la instalación supere los 10 MWe. La Ilustración 41 muestra el esquema de la alternativa.

Ilustración 41: Esquema de un ciclo simple con turbina de vapor.



Alternativa 5: Ciclo simple con micro-turbina de gas

Esta alternativa presenta las mismas características y bases de cálculo que la *Alternativa 1*, con la particularidad de que la potencia eléctrica nunca es superior a 1 MWe y que, además de gas natural, contempla el aprovechamiento de combustibles residuales. La Ilustración 38 muestra el esquema de la alternativa.

Alternativa 6: Ciclo simple de motor a gas de potencia menor a 1 MW

Esta alternativa presenta las mismas características y bases de cálculo que la Alternativa 2, con la particularidad de que la potencia eléctrica nunca es superior a 1 MWe y que, además de gas natural, se analizará el aprovechamiento de biogás residual. La Ilustración 39 muestra el esquema de la alternativa.

- **Opción 2: Suministro de calor y frío**

Esta opción dimensiona la planta para cubrir las demandas de calor y también para la generación de frío a partir de máquinas de absorción. Las subalternativas planteadas son idénticas a las de la opción 1, con la diferencia de que la curva de demanda empleada para el dimensionamiento es la resultante de la adición de la curva demanda de calor y la de calor necesario para la generación de frío mediante sistemas de absorción de simple o doble efecto según la tipología de demanda de calor.

Los rendimientos de las máquinas de frío se tienen en cuenta en función de fluido caloportador, considerando que en los casos en los que la demanda sea de vapor se emplearán máquinas de absorción de doble efecto, cuyo COP es de 1,15, y en los casos en los que la demanda sea de agua caliente se emplearán máquinas de absorción de simple efecto, en las que se emplea un COP de 0,70.

- **Opción 3: Suministro de calor y frío como subproducto**

Se plantea el dimensionamiento térmico de la planta únicamente para el suministro de calor y, además, se suministrará parte del frío demandad (o su totalidad) a través de calor sobrante disponible. En este tipo de alternativas únicamente se plantean ciclos de cogeneración basados en motores a gas donde el agua caliente del circuito de refrigeración de las camisas sea empleado para generar frío mediante máquinas de absorción de simple efecto.

Para cada una de estas subalternativas se obtendrán los principales parámetros que las caracterizan energéticamente, tomando para ello como referencia las bases técnicas detalladas a continuación:

- *Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE)*

El rendimiento eléctrico equivalente vendrá determinado por la siguiente fórmula:

$$REE = \frac{E}{F - \frac{H}{Ref\ H}}$$

Siendo:

- *E: Energía eléctrica generada medida en bornes de alternador.*
- *F: Consumo de combustible tanto de la cogeneración como de los dispositivos de postcombustión en caso de que existan.*
- *H:* Producción de calor útil o energía térmica útil.
- *Ref H:* Valor de referencia del rendimiento para la producción separada de calor.

- *Ahorro de Energía Primaria (AEP)*

El ahorro de energía primaria vendrá determinado por la siguiente fórmula:

$$AEP = \frac{E}{Ref\ E\eta} + \frac{H}{Ref\ H\eta} - F$$

Siendo:

- *E: Energía eléctrica generada medida en bornes de alternador.*
- *F: Consumo de combustible tanto de la cogeneración como de los dispositivos de postcombustión en caso de que existan.*
- *H:* Producción de calor útil o energía térmica útil.
- *Ref Hη: Valor de referencia de la eficiencia para la producción separada de calor.*
- *Ref Eη: Valor de referencia de la eficiencia para la producción separada de electricidad.*

- *Ahorro de Energía Primaria Porcentual (PES)*

El ahorro de energía primaria viene definido por la siguiente ecuación:

$$PES = 1 - \frac{1}{\frac{CHP\ H\eta}{Ref\ H\eta} + \frac{CHP\ E\eta}{Ref\ E\eta}}$$

Donde:

- *PES: Ahorro de energía en tanto por uno.*
- *CHP Hη: Eficiencia térmica de la producción mediante cogeneración definida como la producción anual de calor útil dividida por la cantidad de combustible utilizada para generar la suma de la producción de calor útil y electricidad de cogeneración.*

- *Ref Hη: Valor de referencia de la eficiencia para la producción separada de calor.*
- *CHP Eη: Eficiencia eléctrica de la producción mediante cogeneración definida como la electricidad anual de* cogeneración divid*ida por la cantidad de combustible utilizado para generar la suma de la producción de calor útil y electricidad de cogeneración.*

- *Rendimiento Global (RG)*

El rendimiento global vendrá determinado por la siguiente fórmula:

$$RG = \frac{E + H}{F}$$

Siendo:

- *E: Energía eléctrica generada medida en bornes de alternador.*
- *F: Consumo de combustible tanto de la cogeneración como de los dispositivos de postcombustión en caso de que existan.*
- *H:* Producción de calor útil o energía térmica útil.

- *Rendimiento Eléctrico (RE)*

El rendimiento eléctrico vendrá determinado por la siguiente fórmula:

$$RE = \frac{E}{F}$$

Siendo:

- *E: Energía eléctrica generada medida en bornes de alternador.*
- *F: Consumo de combustible tanto de la cogeneración como de los dispositivos de postcombustión en caso de que existan.*

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE POTENCIAL TÉCNICO

El proceso de identificación de sistemas ha localizado un total de **3.565** sistemas cuya demanda térmica de ascendería a un total de **135,7 TWh** de calor, y **24,6 TWh** de frío correspondiendo un 6% de esta demanda energética al sector residencial, un 38% al sector terciario y un 56% al industrial. En la Ilustración 42 y la Ilustración 43 se puede apreciar la distribución de estos sistemas en el territorio nacional.

Debido a la falta de estadística de las demandas de calor, se han asumido, tal y como se ha indicado en los capítulos anteriores, ciertas hipótesis para su cálculo, por lo que los resultados obtenidos han de ser considerados como una primera aproximación al conocimiento desagregado de la demanda de calor y frio en los diferentes sectores a nivel nacional y dado que la demanda de energía térmica constituye el punto de partida para todo el análisis posterior del potencial técnico y económico de los sistemas de calefacción y refrigeración eficientes, los resultados obtenidos para el potencial técnico han de ser considerados asimismo como una primera aproximación y muy dependiente de las hipótesis consideradas.

No obstante lo anterior, es importante resaltar que el esfuerzo realizado en la caracterización permitirá, completado con ulteriores estudios focalizados en áreas concretas del territorio nacional, tener un mejor conocimiento del que hasta ahora se tiene del verdadero potencial disponible en sistemas de calefacción de refrigeración eficientes.

Se describe a continuación los resultados desagregados del potencial técnico para cada una de las soluciones energéticas estudiadas.

Ilustración 42: Distribución de la demanda calor de los sistemas

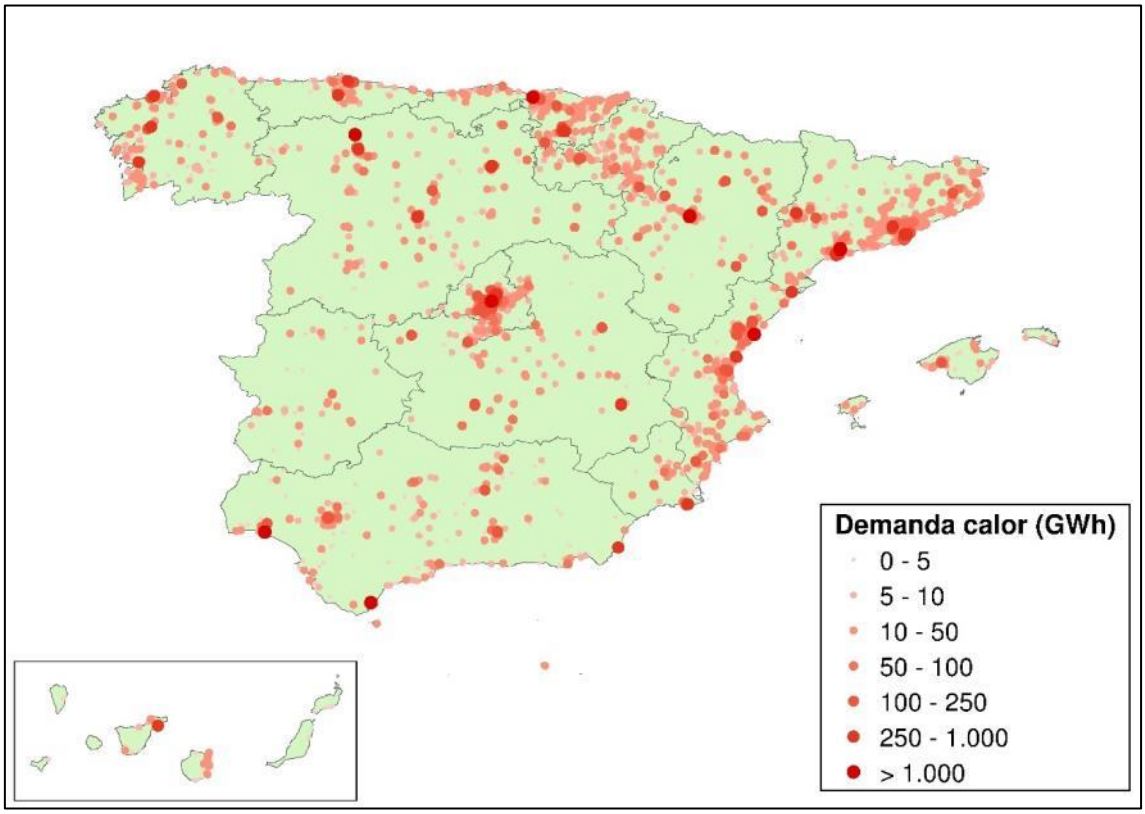
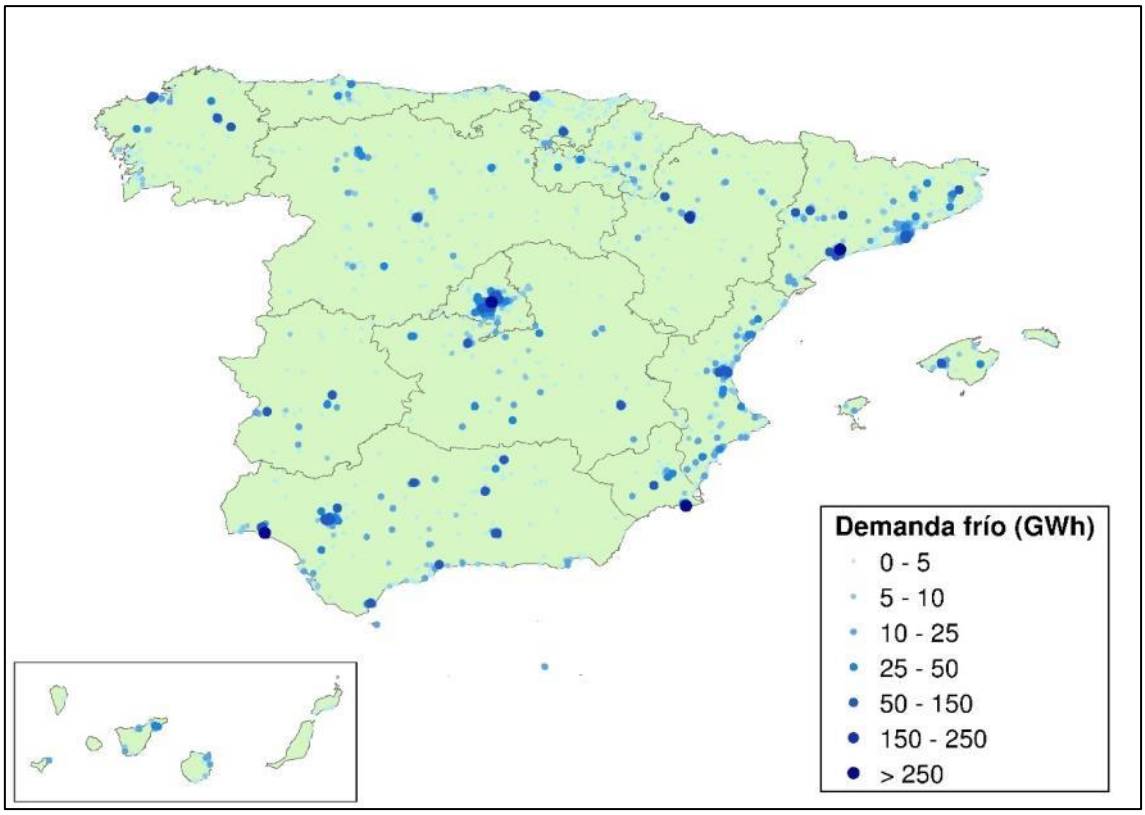


Ilustración 43: Distribución de la demanda frío de los sistemas



A continuación se realiza el análisis individualizado del potencial técnico de cada una de las soluciones de sistemas urbanos de calefacción y refrigeración.

6.1. Potencial técnico de calor residual de industria

El calor residual procedente de industria posee un bajo potencial de aprovechamiento en el país en sistemas de suministro térmico centralizado. Las causas principales de ello son las reducidas aportaciones térmicas en relación a la inversión necesaria y a las distancias elevadas entre el punto ofertante y los centros consumidores. Se han identificado un total de **402** sistemas con potencial aprovechamiento de calor residual y que suponen un total de **4,1 TWh** de calor y **0,2 TWh** de frío.

En la siguiente tabla se desagrega el potencial de calor y frío proporcionado mediante el aprovechamiento de calor residual de industria en los sectores residencial, terciario e industrial.

Tabla 42: **Potencial técnico de calor residual de industria**

Sector	Uso	Calor Residual de Industria Uso directo calor Frío máquina de absorción Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	18.955
	ACS	18.362
	Refrigeración	834
Sector terciario	*Calefacción*	185.635
	ACS	24.265
	Refrigeración	90.178
Sector Industrial	*Calefacción*	3.806.294
	ACS	-
	Refrigeración	79.510
TOTAL	***Calefacción***	**4.010.885**
	ACS	**42.627**
	Refrigeración	**170.522**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden aprovechar el calor residual de industria queda reflejada en la Ilustración 44 y la Ilustración 45.

Ilustración 44: Distribución geográfica del potencial de recuperación de calor de industria

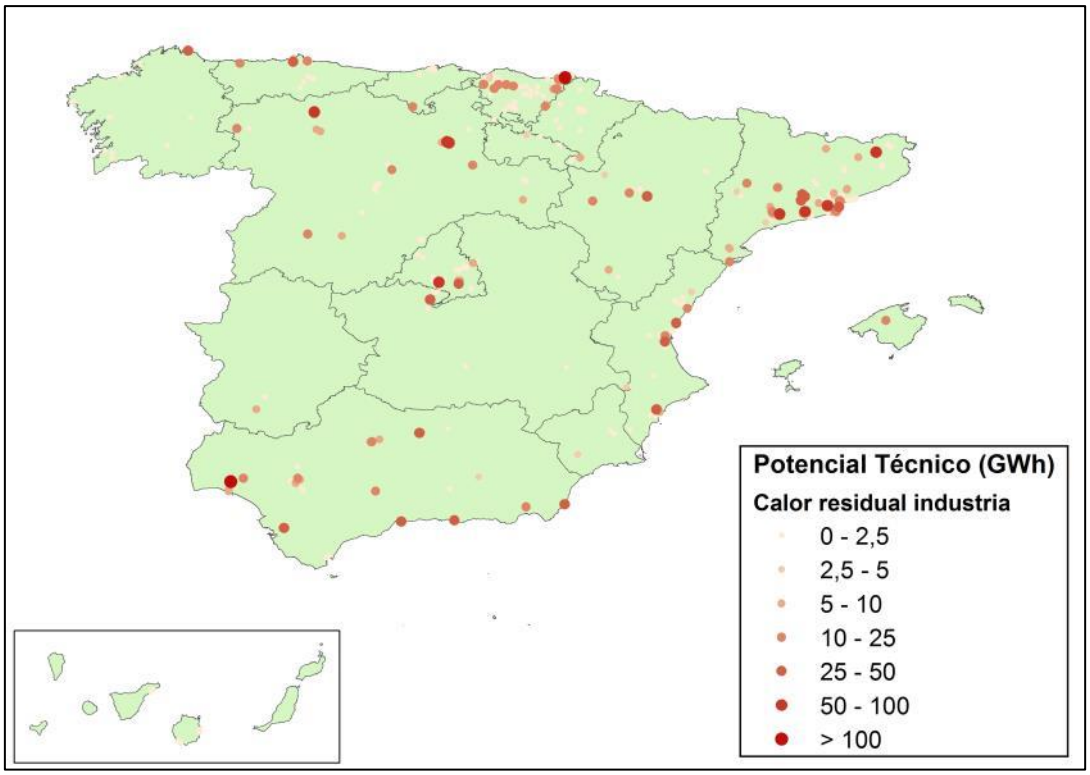
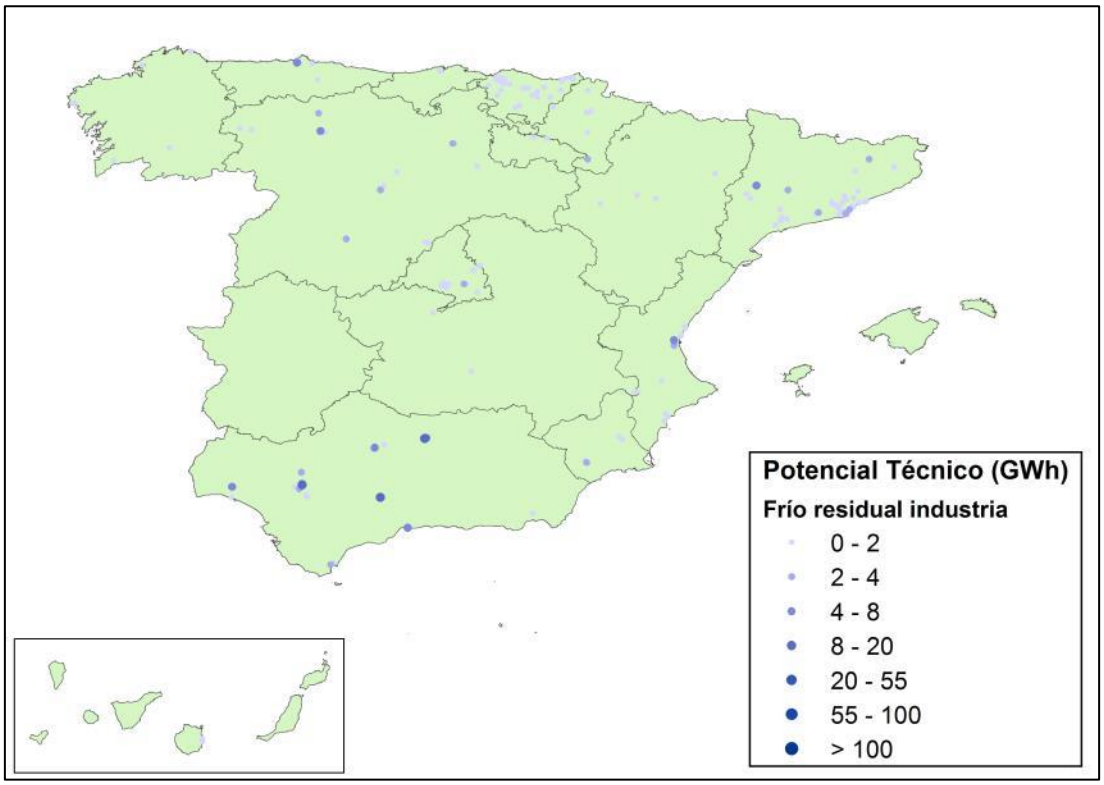


Ilustración 45: Distribución geográfica del potencial técnico de frío a partir de calor residual de industria



6.2. Potencial técnico de calor residual de centrales térmicas

El aprovechamiento de calor residual procedente de centrales térmicas se ha identificado en **157 sistemas** que de acuerdo a los criterios del aparto 5.2 pueden aportar un total de **3.2 TWh** como calor y **0.3 TWh** de frío.

En la siguiente tabla se desagrega el potencial de calor y frío proporcionado mediante el aprovechamiento de calor residual de centrales térmicas en los sectores residencial, terciario e industrial.

Tabla 43: Potencial técnico de calor residual de centrales térmicas

Sector	Uso	Calor Residual de Centrales Térmicas Uso directo calor Frío máquina de absorción Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	138.944
	ACS	166.004
	Refrigeración	2.055
Sector terciario	*Calefacción*	1.424.302
	ACS	175.158
	Refrigeración	201.605
Sector Industrial	*Calefacción*	1.325.563
	Refrigeración	140.053
TOTAL	***Calefacción***	**2.888.809**
	ACS	**341.163**
	Refrigeración	**343.713**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden aprovechar el calor residual de centrales térmicas queda reflejada en la Ilustración 46 y la Ilustración 47.

Ilustración 46: Distribución geográfica de potencial de recuperación de calor en centrales térmicas.

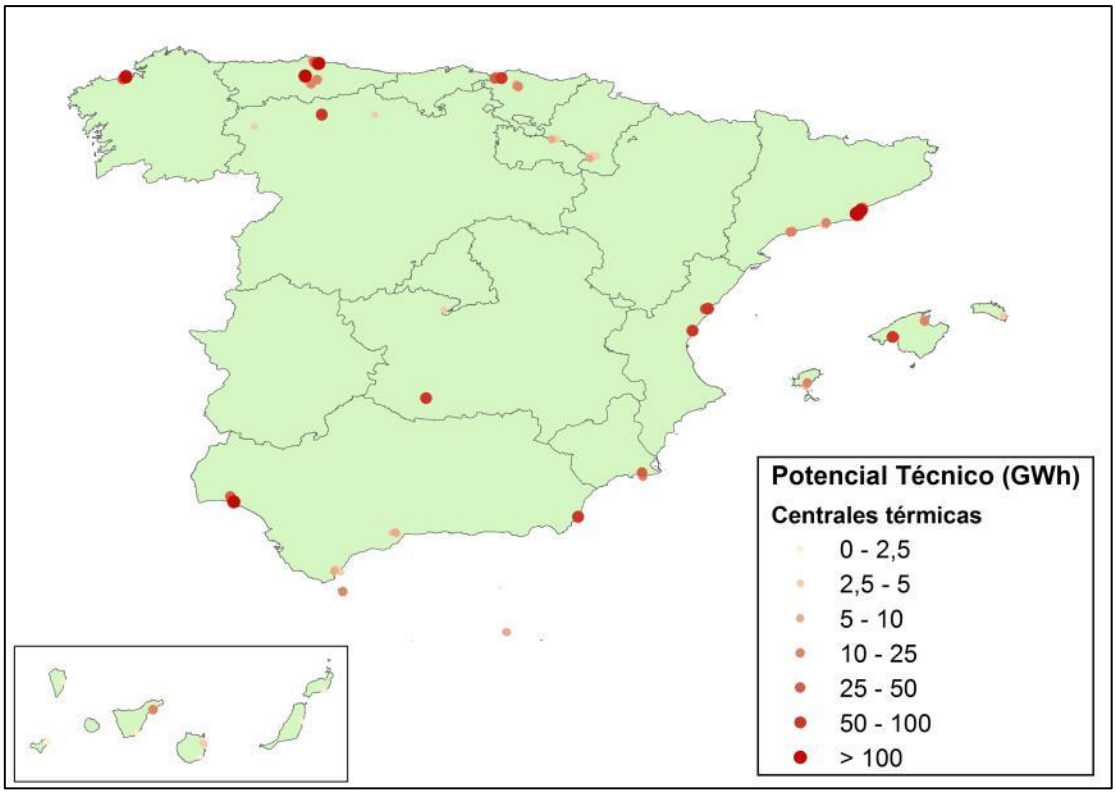
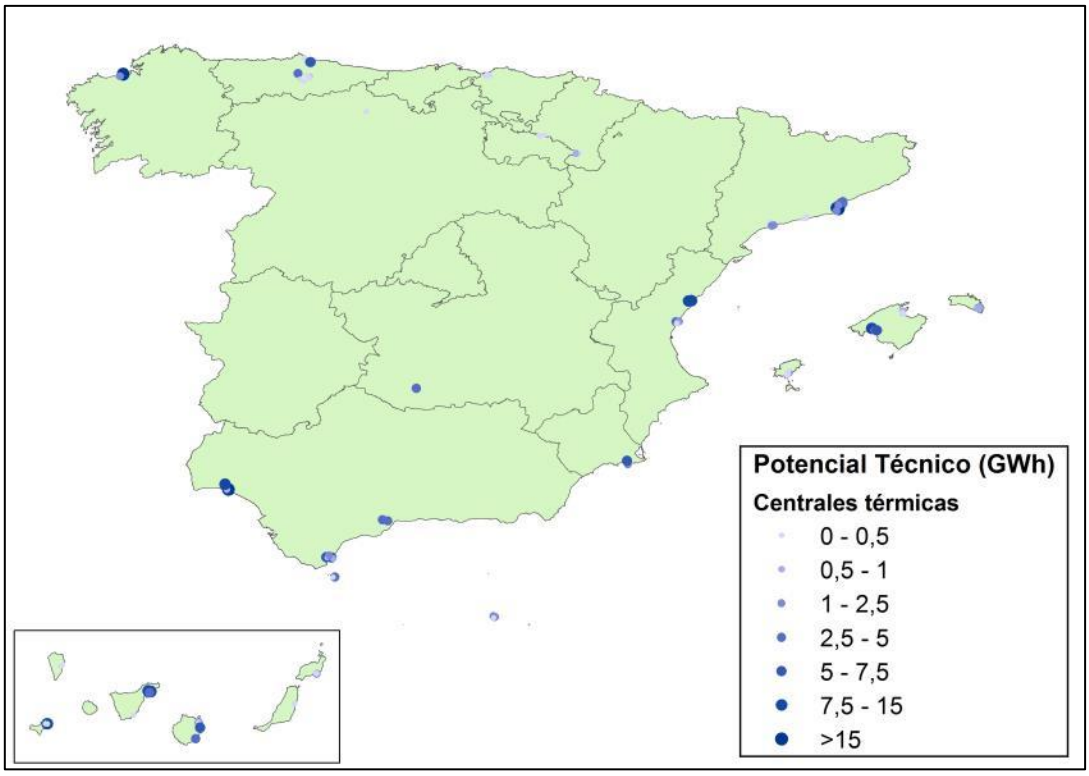


Ilustración 47: Distribución geográfica de potencial de generación de frío en centrales térmicas.



6.3. Potencial técnico de calor residual de plantas de valorización de residuos

En el caso del aprovechamiento de calor procedente de plantas de valorización de residuos se han identificado un total de **57** sistemas que supondrían el abastecimiento de alrededor de **1.7 TWh** de calor y **0,3 TWh** de frío.

En la siguiente tabla se desagrega el potencial de calor y frío proporcionado mediante el aprovechamiento de calor residual de plantas de valorización de residuos en los sectores residencial, terciario e industrial.

Tabla 44: Potencial técnico de calor residual de plantas de valorización de residuos

Sector	Uso	Calor Residual Plantas de Valorización de Residuos Uso directo calor Frío máquina de absorción Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	14.395
	ACS	14.412
	Refrigeración	1.142
Sector terciario	*Calefacción*	318.994
	ACS	34.848
	Refrigeración	143.259
Sector Industrial	*Calefacción*	1.287.618
	Refrigeración	119.546
TOTAL	***Calefacción***	**1.621.007**
	ACS	**49.259**
	Refrigeración	**263.948**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden aprovechar el calor residual de plantas de valorización de residuos queda reflejada en la Ilustración 48 y la **Ilustración** 49.

Ilustración 48: Distribución geográfica de potencial de recuperación de calor en plantas de valorización de residuos.

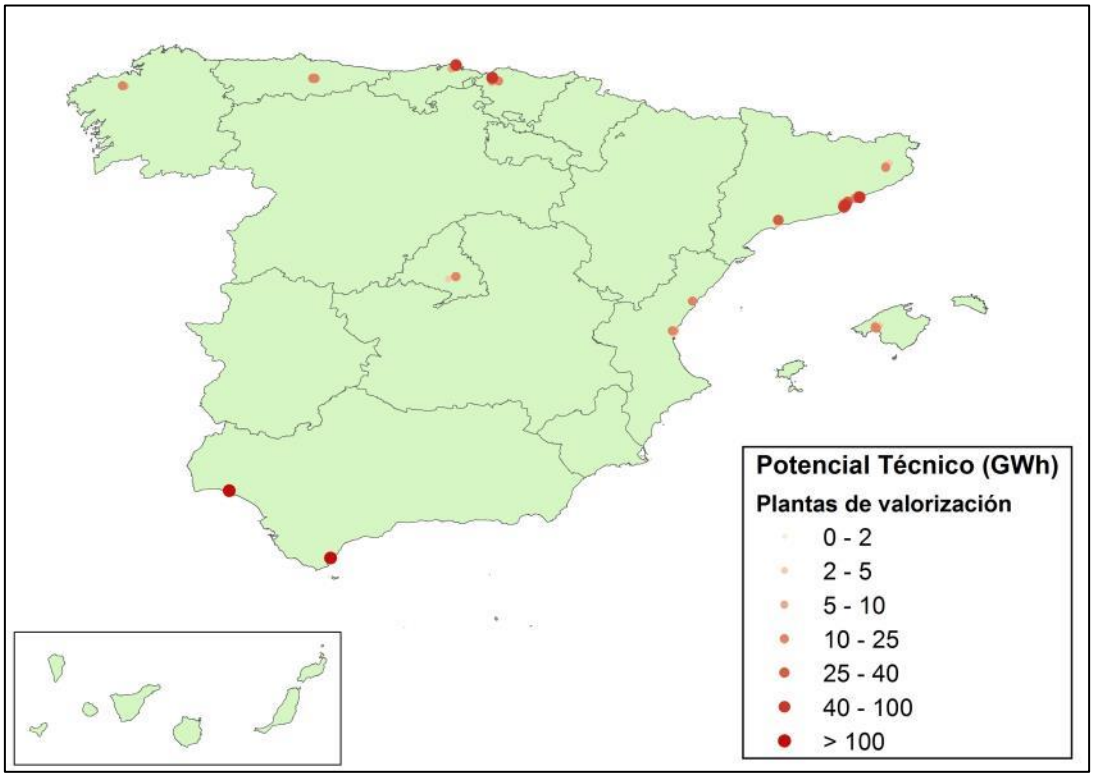
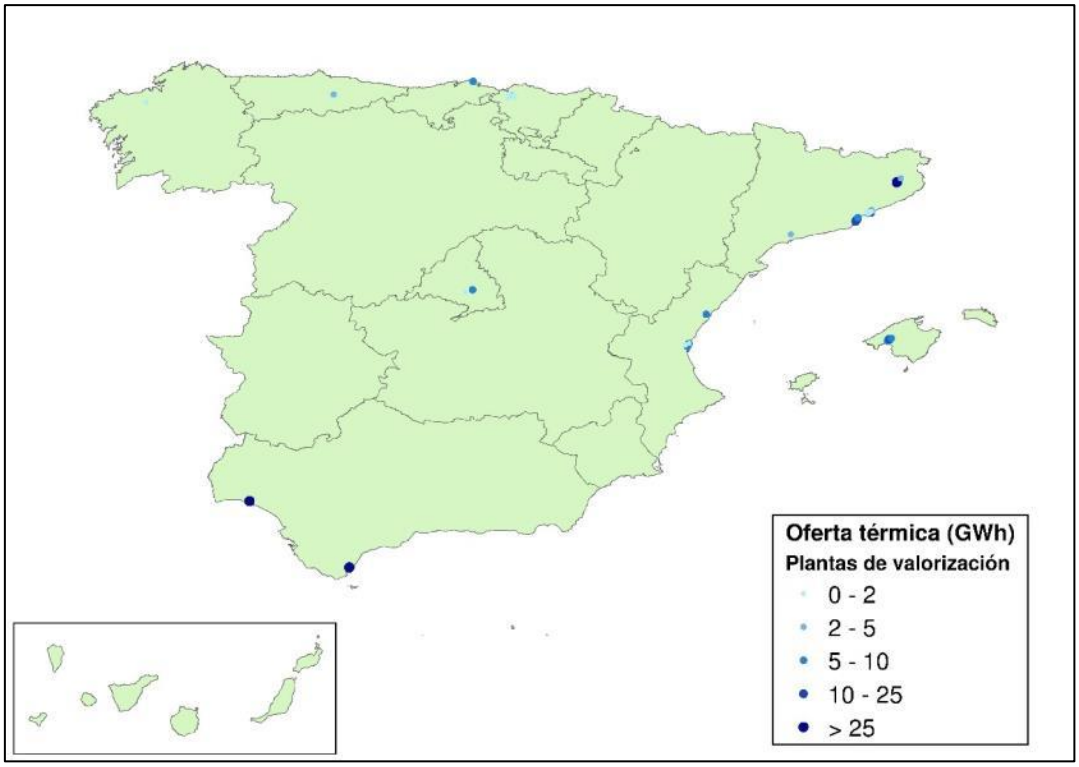


Ilustración 49: Distribución geográfica del potencial técnico de generación de frío a partir de plantas de valorización de residuos



6.4. Potencial técnico de Geotermia

El estudio de potencial de la geotermia ha identificado **146** sistemas que podrían satisfacer parte su demanda con este recurso. La energía que puede aportar este recurso a estos sistemas es **1.1 TWh** de calor y **0.3 TWh** de frío.

En la siguiente tabla se desagrega el potencial de calor y frío proporcionado mediante geotermia en los sectores residencial, terciario e industrial.

Tabla 45: Potencial técnico de geotermia

Sector	Uso	Geotermia Uso directo calor Frío máquina de absorción Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	24.609
	ACS	31.631
	Refrigeración	2.172
Sector terciario	*Calefacción*	343.293
	ACS	48.749
	Refrigeración	237.720
Sector Industrial	*Calefacción*	649.592
	Refrigeración	92.061
TOTAL	***Calefacción***	**1.017.494**
	ACS	**80.381**
	Refrigeración	**331.954**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden utilizar geotermia queda reflejada en la Ilustración 50 y la Ilustración 51.

Ilustración 50: Distribución geográfica del potencial técnico de aprovechamiento de calor procedente de geotermia.

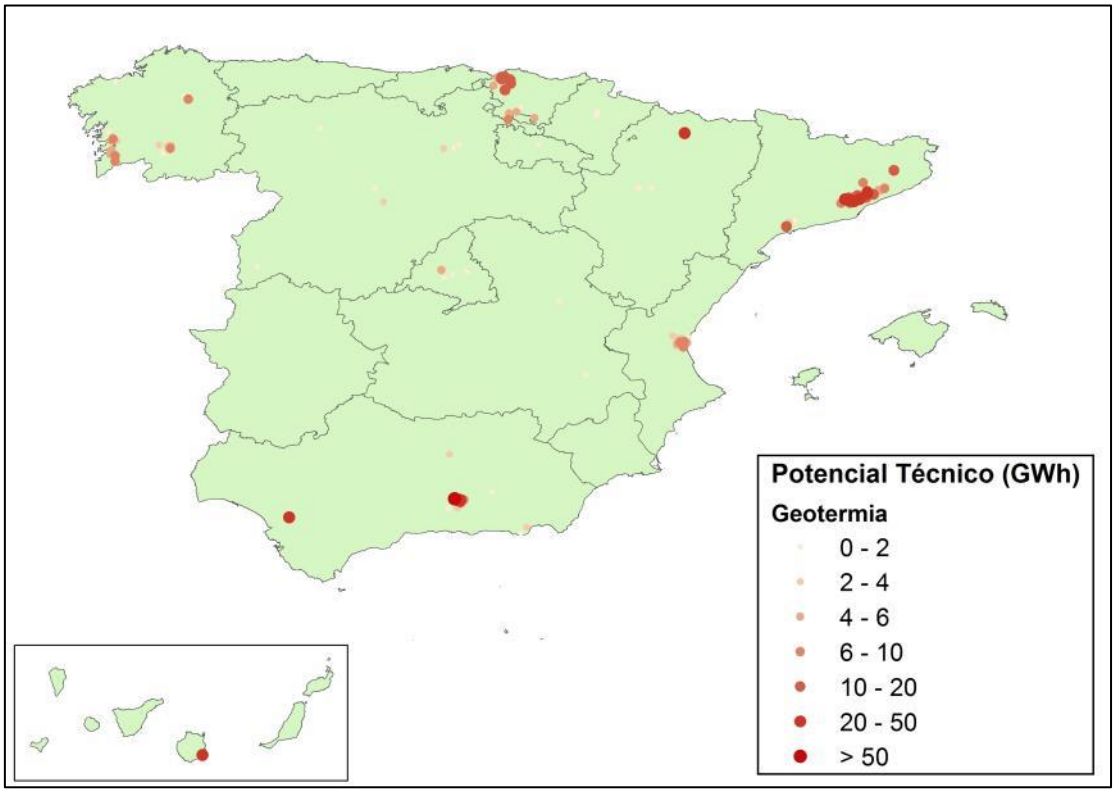
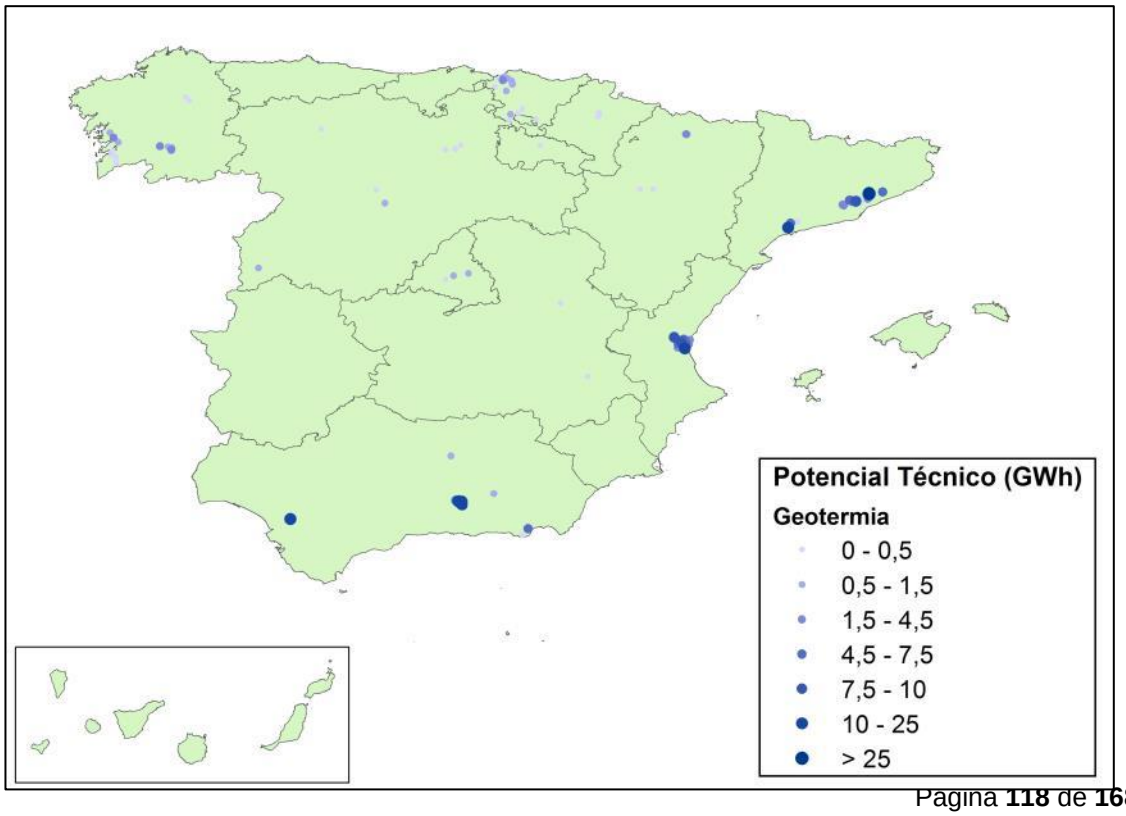


Ilustración 51: Distribución geográfica del potencial técnico de generación de frío mediante geotermia



6.5. Potencial técnico de energía solar para producción de ACS

En el caso de la energía solar los sistemas que potencialmente pueden tener un aporte de energía para satisfacer su demanda de agua caliente sanitaria, según los criterios de partida establecidos, han resultado **1.357**. La demanda de calor que puede ser satisfecha dentro de estos sistemas es de **6.0 TWh**.

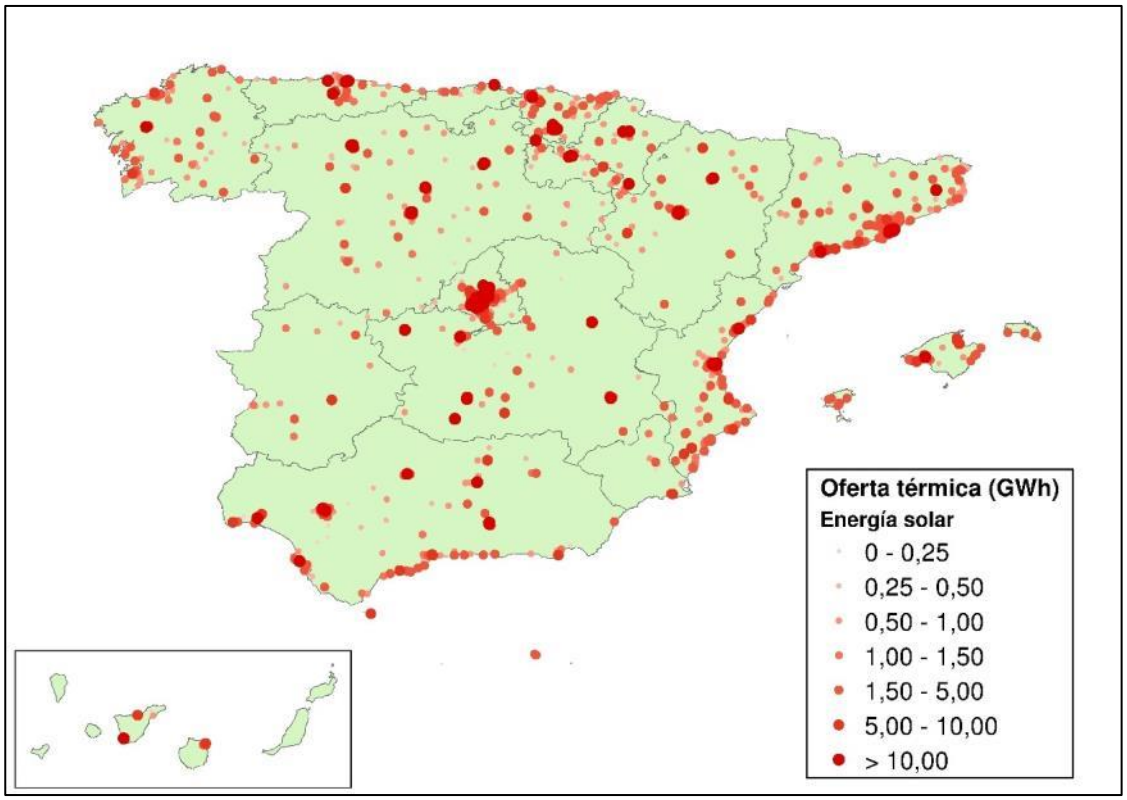
En la siguiente tabla se desagrega el potencial de calor proporcionado mediante energía solar en los sectores residencial, terciario e industrial.

Tabla 46: Potencial técnico de ACS mediante energía solar térmica.

Sector	Uso	Energía Solar Captadores Solares Térmicos Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	-
	ACS	3.118.787
	Refrigeración	-
Sector terciario	*Calefacción*	-
	ACS	2.911.104
	Refrigeración	-
TOTAL	***ACS***	**6.029.892**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden utilizar energía solar queda reflejada en la Ilustración 52.

Ilustración 52: Distribución geográfica del potencial técnico de energía solar para producción de ACS .



6.6. Potencial técnico de Biogás

En el caso del aprovechamiento energético del biogás, los sistemas que potencialmente pueden tener un aporte de energía para satisfacer su demanda, según los criterios de partida establecidos, han resultado **266**. La demanda que puede ser satisfecha dentro de estos sistemas es de **2.6 TWh** como calor y **0.7 TWh** de frío.

En la siguiente tabla se desagrega el potencial de calor y frío proporcionado con biogás en los sectores residencial, terciario e industrial.

Tabla 47: Potencial técnico de biogás

Sector	Uso	Biogás Calor Frío máquina de absorción Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	115.924
	ACS	80.256
	Refrigeración	5.261
Sector terciario	*Calefacción*	1.305.273
	ACS	148.861
	Refrigeración	569.416
Sector Industrial	*Calefacción*	921.047
	Refrigeración	119.963
TOTAL	***Calefacción***	**2.342.244**
	ACS	**229.117**
	Refrigeración	**694.639**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden utilizar biogás queda reflejada en la Ilustración 53 y la Ilustración 54.

Ilustración 53: Distribución geográfica del potencial de calor procedente de biogás.

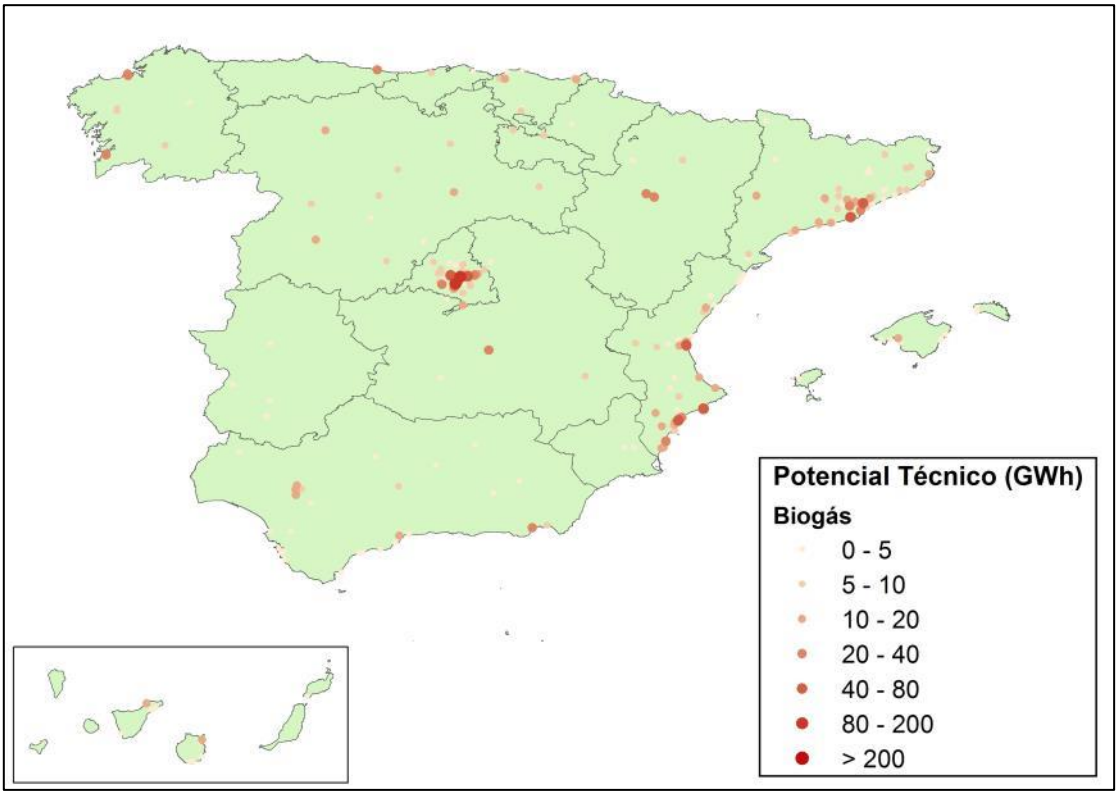
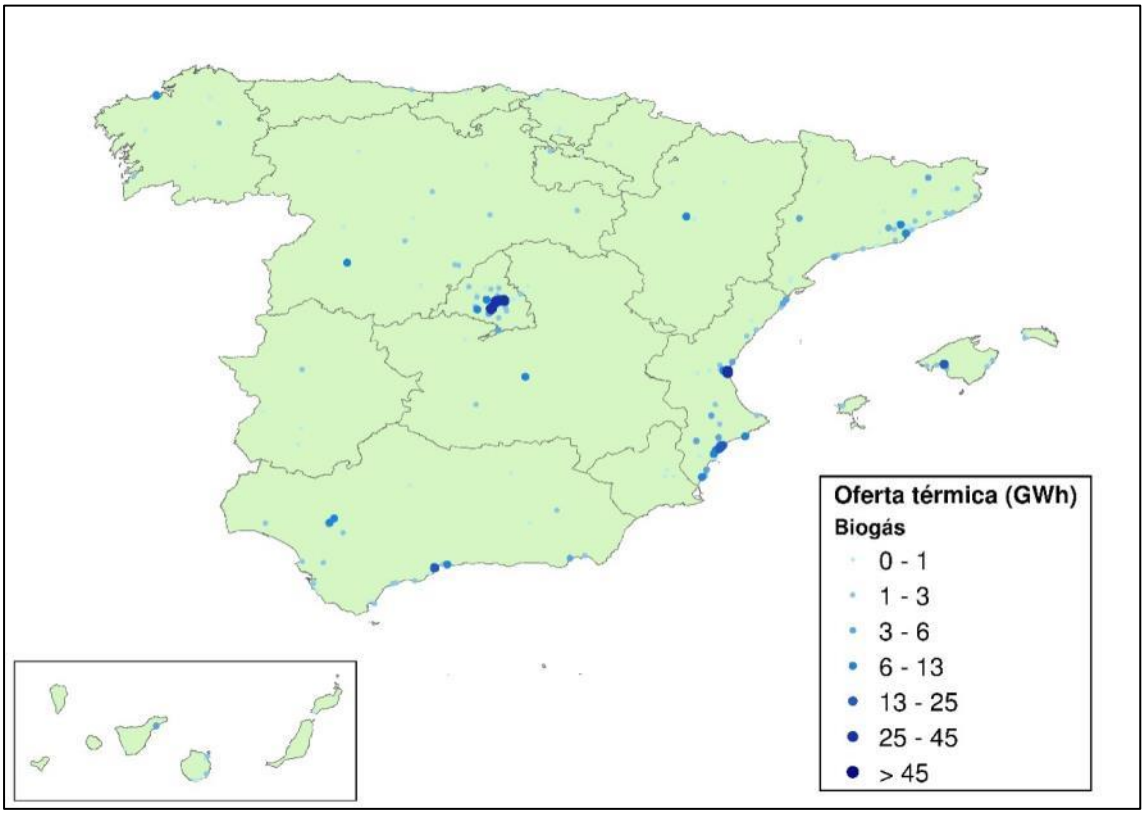


Ilustración 54: Distribución geográfica del potencial de biogás para generar frío.



6.7. Potencial técnico de Biomasa

En el caso de la biomasa los sistemas que potencialmente pueden tener un aporte de energía con este recurso, según los criterios de partida establecidos, han resultado **1.845**. La demanda que se puede satisfacer según los cálculos es de **31.9 TWh** de calor y **6.2 TWh** de frío.

En la siguiente tabla se desagrega el potencial de calor y frío proporcionado con biomasa en los sectores residencial, terciario e industrial.

Sector	Uso	Biomasa Uso directo calor Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	1.581.037
	ACS	988.240
	Refrigeración	57.715
Sector terciario	*Calefacción*	11.171.175
	ACS	960.325
	Refrigeración	4.065.736
Sector Industrial	*Calefacción*	17.160.984
	Refrigeración	2.075.913
TOTAL	***Calefacción***	**29.913.197**
	ACS	**1.948.565**
	Refrigeración	**6.199.365**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden utilizar biogás queda reflejada en la Ilustración 55 y la Ilustración 56.

Ilustración 55: Distribución geográfica del potencial de calor procedente de biomasa.

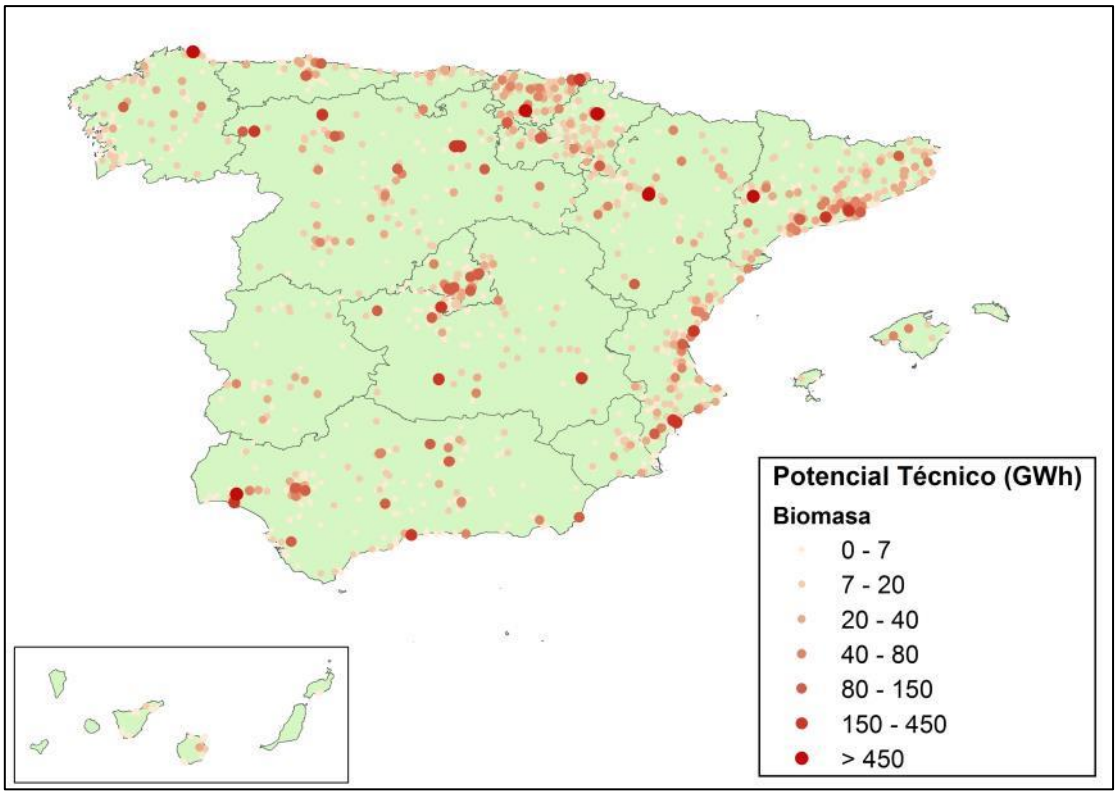
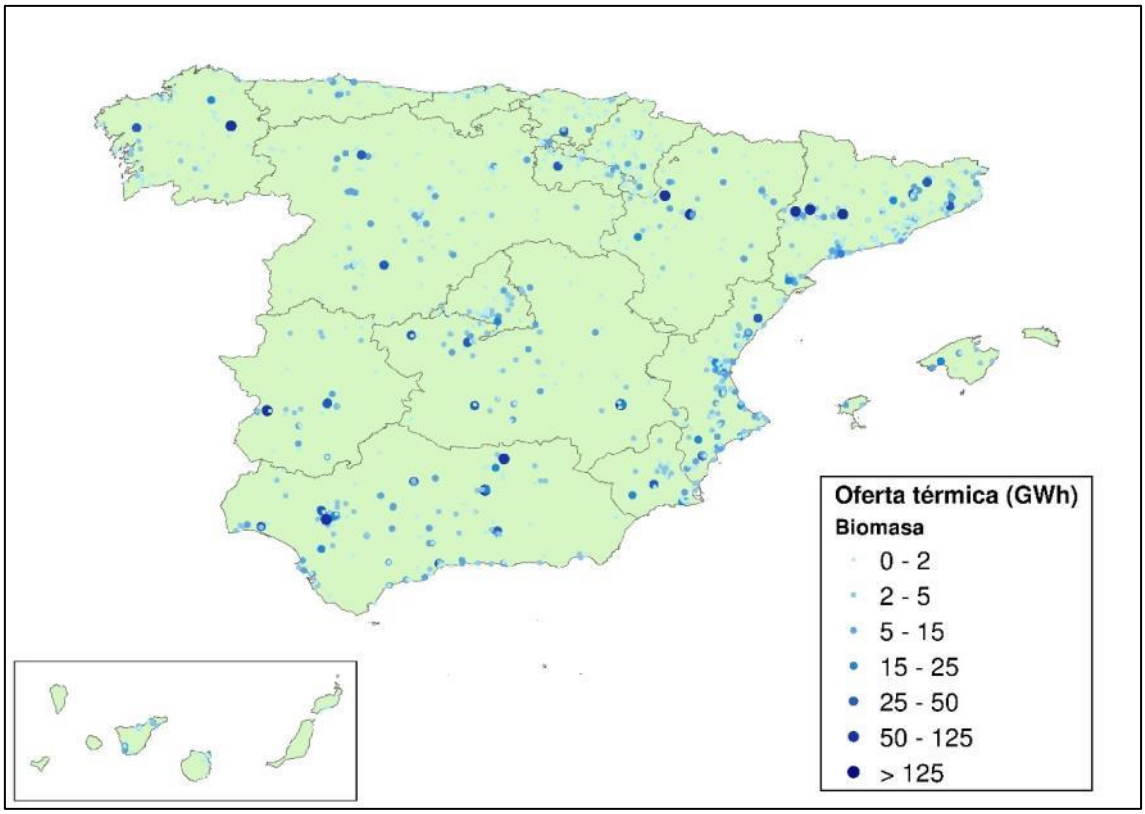


Ilustración 56: Distribución geográfica del potencial de frío procedente de biomasa



6.8. Potencial técnico de Cogeneración

En el caso de la cogeneración, micro-cogeneración y trigeneración, el potencial técnico depende de la cantidad de energía a suministrar, del modo de consumo y de su distribución a lo largo del año.

Se han identificado, según los criterios establecidos en el apartado 5.2.4, un total de 858 sistemas que suponen una potencia eléctrica de cogeneración de alta eficiencia de **8.911 MWe** y un suministro térmico de **30,1 TWh** de calor y **2,9 TWh** de frío.

En la Tabla 48 y la Tabla 49 se identifica respectivamente la desagregación del potencial de uso de cogeneración de alta eficiencia tanto por sectores de actividad como por tecnología.

Tabla 48: Potencial técnico de cogeneración.

Sector	Uso	Gas natural Calor CHP Frío CHP Potencial técnico (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	2.319.687
	ACS	1.365.233
	Refrigeración	32.302
Sector terciario	*Calefacción*	15.681.419
	ACS	1.234.956
	Refrigeración	2.317.438
Sector Industrial	*Calefacción*	9.544.438
	Refrigeración	592.346
Total	*Calefacción*	27.545.544
	ACS	2.600.189
	Refrigeración	2.942.087

Tabla 49: Potencial técnico de cogeneración de alta eficiencia según tecnología.

Provincia	Unidades	Potencia eléctrica (MWe)	Calor CHP (GWh)	Frío CHP (GWh)	AEP	PES promedio	RG promedio	REE promedio
CCTV	**22**	**1.542**	**7.378**	**318**	**7.200**	**15,9%**	**78,8%**	**70,4%**
Vapor	22	1.542	7.378	318	7.200	15,9%	78,8%	70,4%
CSMG	**591**	**2.511**	**4.477**	**1.147**	**2.885**	**15,3%**	**77,4%**	**69,1%**
Agua caliente	591	2.511	4.477	1.147	2.885	15,3%	77,4%	69,1%
CSMG<1MW	**137**	**64**	**221**	**97**	**151**	**14,9%**	**79,0%**	**70,6%**
Agua caliente	137	64	221	97	151	14,9%	79,0%	70,6%
CSmTG	**17**	**12**	**108**	**24**	**24**	**11,4%**	**79,0%**	**70,4%**
Agua caliente	17	12	108	24	24	11,4%	79,0%	70,4%
CSTG	**91**	**4.782**	**17.962**	**5.327**	**7.864**	**16,2%**	**84,3%**	**76,2%**
Agua caliente	69	4.596	15.795	4.608	7.176	17,5%	84,5%	77,4%
Gases calientes	7	69	869	118	284	11,7%	84,9%	74,5%
Vapor	15	117	1.298	601	404	11,9%	82,8%	71,6%
TOTAL	**858**	**8.911**	**30.146**	**6.912**	**18.124**	**15,2%**	**78,5%**	**70,1%**

La distribución geográfica de los sistemas que potencialmente pueden utilizar cogeneración queda reflejada en la Ilustración 57 y la Ilustración 58.

Ilustración 57: Distribución geográfica del potencial técnico de calor de cogeneración.

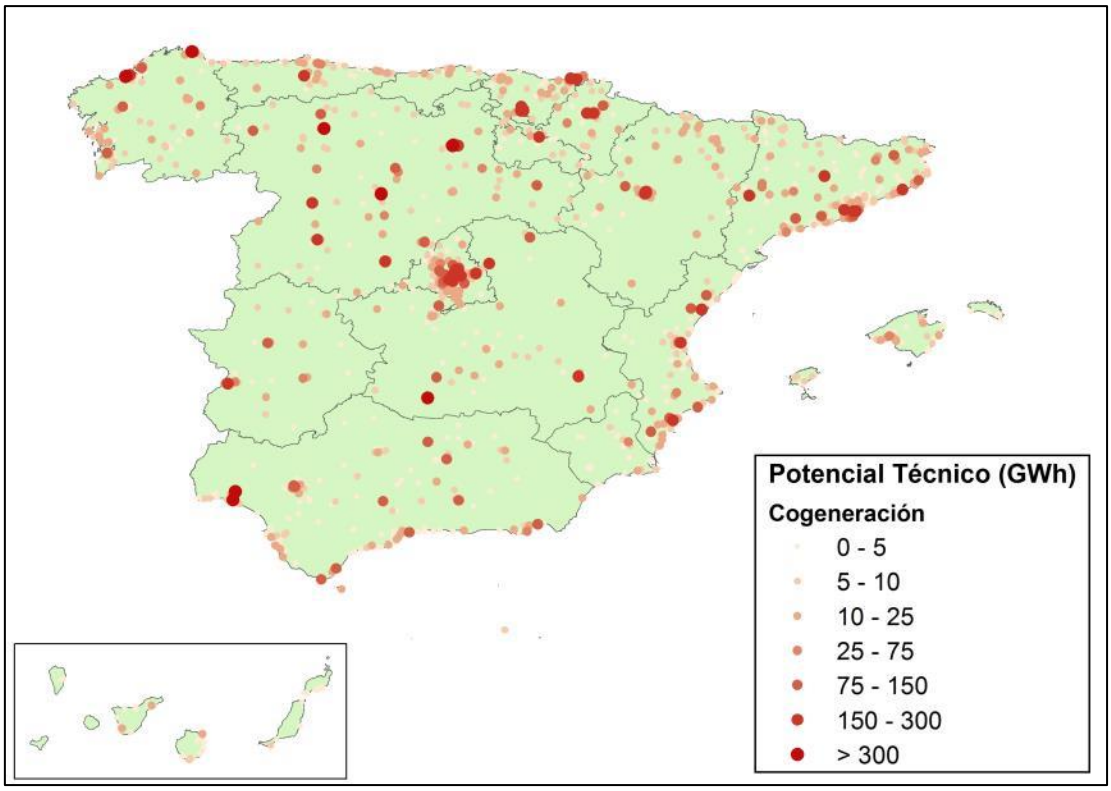
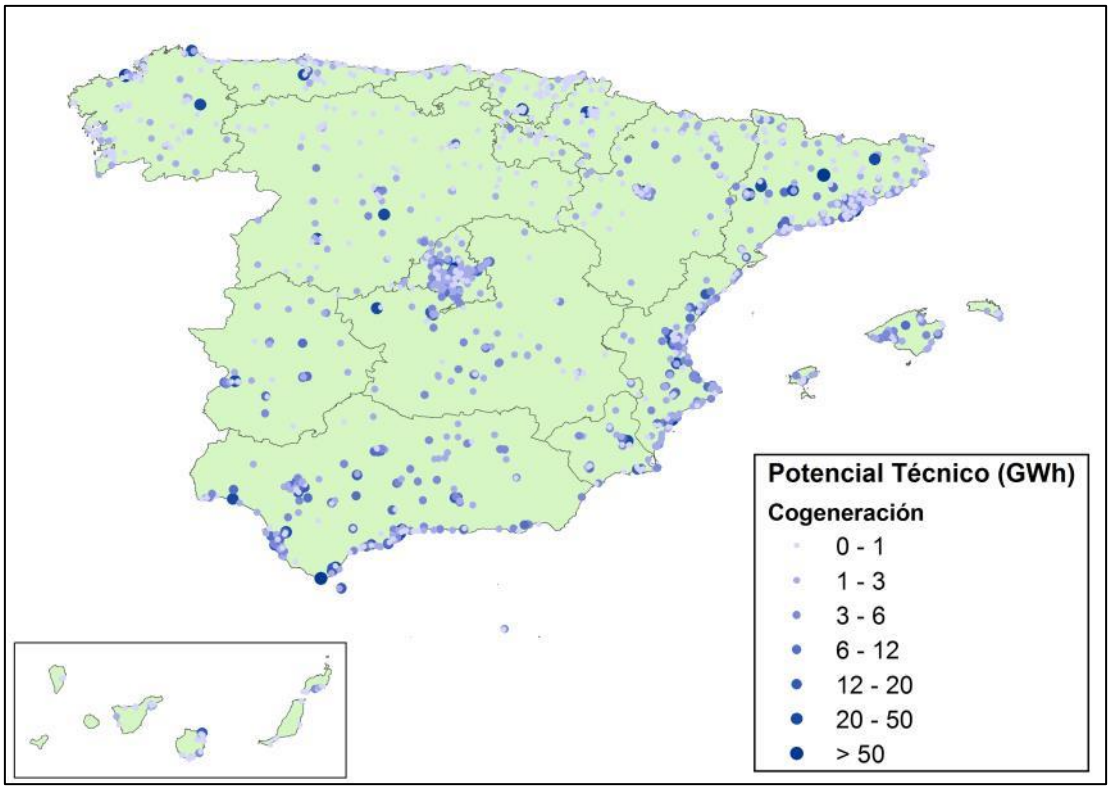


Ilustración 58: Distribución geográfica del potencial técnico de frío de cogeneración

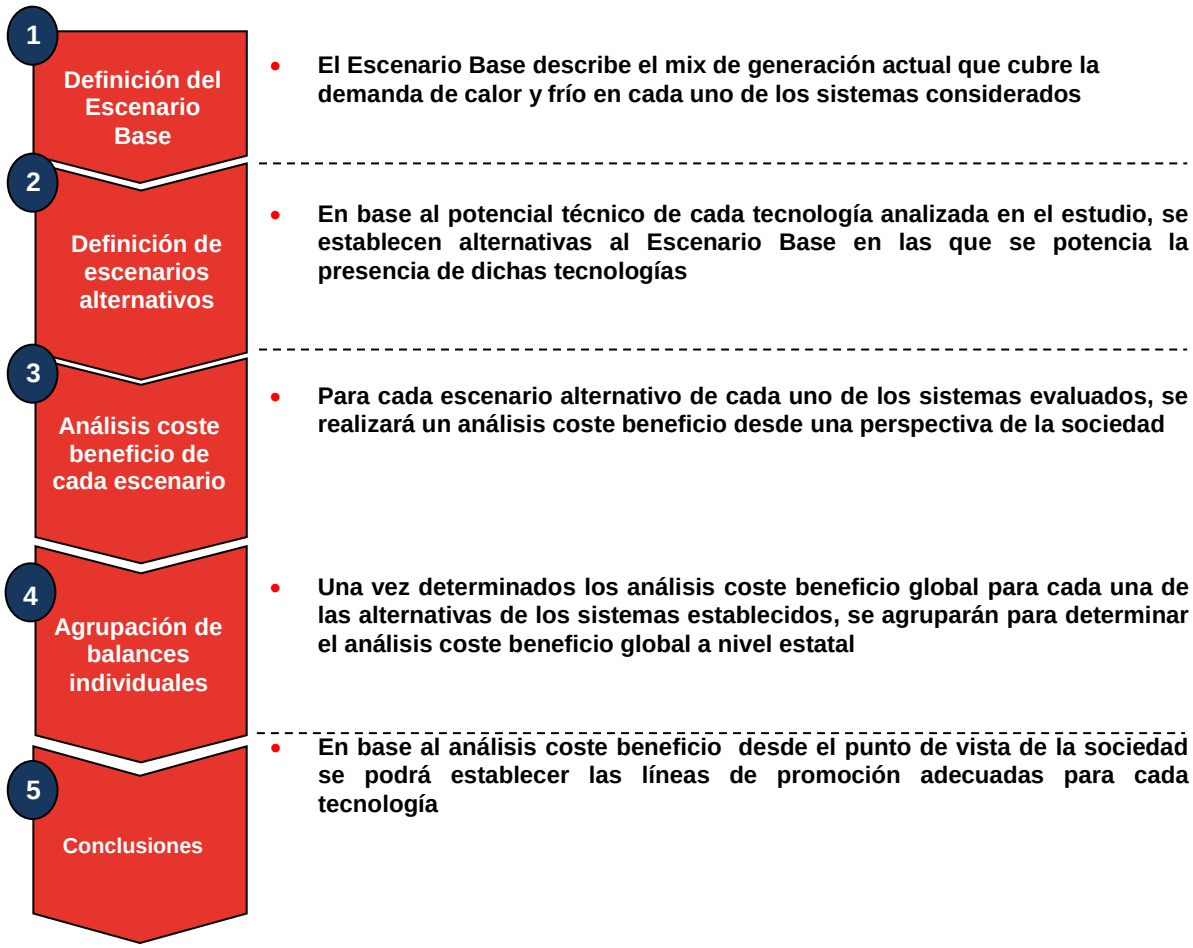


7. ANÁLISIS COSTE BENEFICIO A NIVEL PAÍS

El análisis coste beneficio global es una herramienta analítica que permite evaluar las decisiones de inversión mediante la valoración de los cambios en los costes y beneficios (entre el Escenario Base y el Escenario Alternativo) atribuibles a los mismos.

A continuación se muestra la metodología desarrollada para la realización del análisis coste-beneficio a nivel de la sociedad:

Ilustración 59: Esquema metodológico del análisis coste beneficio desde la perspectiva de sociedad



7.1. Definición del Escenario Base

El Escenario Base es el punto de partida sobre el que se construirá el análisis coste beneficio global y debe describir el mix de generación térmica existente en el horizonte actual, es decir, las tecnologías que existen actualmente para cubrir la demanda de calor y frío en cada uno de tres segmentos de consumo considerados (residencial, terciario e industrial). Servirá como referencia para evaluar el valor incremental de las distintas soluciones a analizar. Asimismo, el Escenario Base debe establecer la evolución esperada de dicho mix y de la demanda térmica hasta 2050.

A continuación se describe la metodología empleada para caracterizar las tecnologías que conforman el mix tecnológico actual en España, para cada uno de los sectores estudiados.

7.1.1. Sector Residencial

El mix tecnológico actual del sector residencial se ha establecido a partir del proyecto SECH-SPAHOUSEC "*Análisis del consumo energético del sector residencial en España*". Para ello, partiendo de la desagregación de los consumos de energía final por fuentes energéticas y por zona climática del total de las viviendas de España presentados en dicho informe, ha sido posible determinar las tecnologías principales de abastecimiento de calor, frío y ACS en el sector residencial para cada una de las tres zonas climáticas de España (Atlántico Norte, Continental y Mediterráneo).

Debido a que dicho informe no ofrece datos relativos al abastecimiento mediante redes urbanas de calefacción y microcogeneración, el porcentaje de demanda satisfecha por dichas tecnologías se ha obtenido a partir de datos de la Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío (ADHAC) y del Informe Estadístico de Cogeneración.

7.1.2. Sector Terciario

Dado que no se dispone de ningún estudio de caracterización de este sector similar al del sector residencial, para determinar las tecnologías que componen el mix energético del mismo, se ha partido de información obtenida de auditorías energéticas llevadas a cabo en instalaciones en las que se llevan a cabo las actividades correspondientes a los distintos usos del suelo del sector terciario en cada zona climática.

7.1.3. Sector Industrial

Para el sector industrial tampoco existe ninguna caracterización oficial de las tecnologías que abastecen la demanda térmica. Por ello dicho sector se ha caracterizado teniendo en cuenta los consumos de energía final por recurso energético y subsector industrial, que figuran en los Balances de Energía Final del año 2013 y el Informe Estadístico de Cogeneración de 2013

7.2. Definición de Escenarios Alternativos

En este paso se construyen los escenarios alternativos al Escenario Base, simulando que las soluciones técnicas analizadas en el marco de este estudio que combinan diferentes recursos energéticos: calores residuales de distintas procedencias y energías renovables, con tecnologías de generación de calefacción y refrigeración, entre las que se incluye la cogeneración y microcogeneración y que distribuyen la energía térmica generada mediante sistemas centralizados, redes urbanas de calefacción y refrigeración en los sectores residencial, terciario e industrial.

Al igual que el Escenario Base, las alternativas deben ser evaluadas en el horizonte temporal actual y en el futuro hasta el año 2050.

Para cada uno de los sistemas establecidos a nivel nacional se evalúan las siguientes soluciones técnicas.

- Uso de calor residual procedente de :

  - ✓ Industrias
  - ✓ Centrales térmicas de generación
  - ✓ Plantas de valorización de residuos

  Para los tres tipos de calor residual se analiza el uso directo del calor mediante intercambiadores y la producción de frío por absorción.

- Uso de combustibles y energías renovables

  - ✓ Biogás de EDAR
  - ✓ Biomasa residual
  - ✓ Energía Solar
  - ✓ Geotermia

  Para biogás y biomasa se analiza la producción de calor mediante caldera y la producción de calor y frío con caldera y máquina de absorción.

En el caso de la energía solar la solución técnica consiste en la producción de ACS mediante captadores solares.

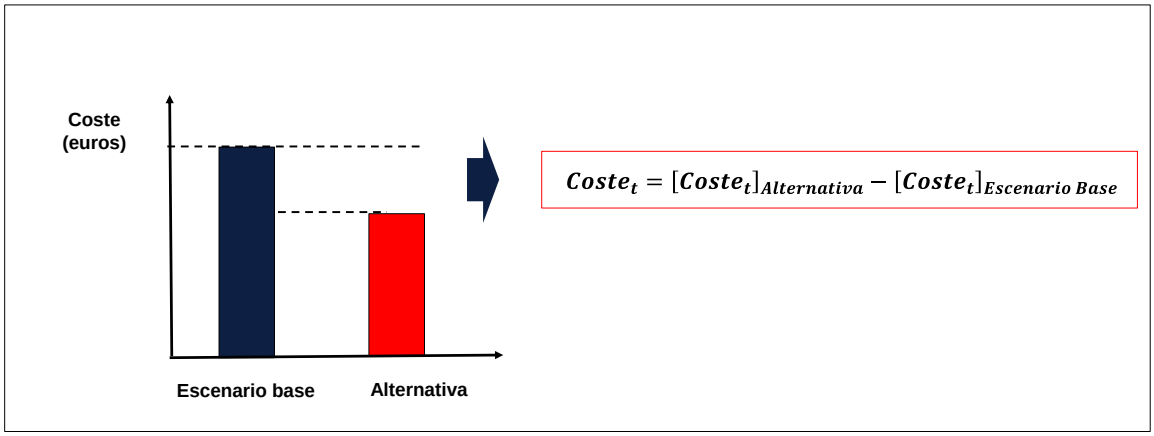
Con geotermia se analiza la producción de calor mediante intercambiadores y de frío con máquina de absorción.

- Uso de cogeneración para la producción de calor y frío con distintos tipos de ciclo y tecnologías (turbina de gas, motor alternativo, turbina de vapor).

7.3. Análisis coste beneficio de cada escenario

El análisis coste beneficio global es una herramienta analítica que permite evaluar las decisiones de inversión mediante la valoración de los cambios en los costes y beneficios entre el escenario base y el escenario alternativo en cada uno de los sistemas que se van a analizar, de acuerdo al siguiente esquema:

Ilustración 60: Ejemplo de evaluación en un análisis coste beneficio



Fuente: Cost-benefit analysis and interpretation of results. JRC

Los costes y beneficios que permanezcan constantes en ambos escenarios no deberán ser contabilizados porque cuando se evalúen las diferencias entre ambos se anularán.

En primer lugar, para cada una de las soluciones técnicas analizadas se realiza el análisis coste – beneficio de cada proyecto desde la perspectiva de un potencial inversor.

A continuación, para la realización del análisis económico global desde la perspectiva del conjunto de la sociedad, se partirá del análisis de los flujos de caja de cada proyecto particular desde la perspectiva del inversor, eliminando los impuestos directos.

Sobre dichos análisis y para cada escenario, se realizarán las modificaciones pertinentes para incorporar la perspectiva del conjunto de la sociedad:

- Incorporación de los impactos más relevantes que el desarrollo de la solución tecnológica considerada originaría sobre el conjunto de la sociedad:
  - Impacto medioambiental
  - Impacto sobre la dependencia energética del país
  - Impacto macro económico

Una vez considerados todos los costes e ingresos relevantes, el criterio de evaluación económica utilizado ha sido el VAN (Valor Actualizado Neto) de la inversión con una tasa de descuento del 5%.

Cada solución técnica que a nivel de sistema analizado tenga un VAN positivo comparado con la línea base, será considerada como potencialmente económica y la demanda de energía en MWh que dicha solución satisfaría en cada sistema será considerada como potencial económico.

La suma del potencial económico de una determinada solución en cada uno de los sistemas analizados constituirá el potencial económico a nivel nacional de dicha solución.

7.4. Parámetros económicos

A la hora de realizar el análisis coste beneficio global, deberán tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- **La tasa de descuento social:** refleja, desde un punto de vista social, cómo deben ser evaluados los beneficios y los costes futuros frente a los actuales. Se ha considerado una tasa del 5%.

- **El periodo de vida del proyecto (años**): La evaluación del análisis coste beneficio global se realizará entre los años 2015 y 2050.

7.4.1. Inputs de la herramienta de análisis coste beneficio global

Los inputs necesarios a la hora de evaluar el análisis coste beneficio global, serán los datos de potencial técnico de cada una de las soluciones tecnológicas analizadas. Los datos de los que se partirá son los siguientes:

SITUACIÓN ACTUAL
Sector
Demanda anual de calor del sistema (MWh)
Demanda anual de ACS del sistema (MWh)
Demanda anual de frío del sistema (MWh)

Zona climática del sistema
PARA CADA SOLUCIÓN TÉCNICA
Calor abastecido en el sistema durante un año (MWh)
Frío abastecido en el sistema durante un año (MWh)
Consumo anual de combustible previsto (MWh)
Venta electricidad al sistema durante un año (MWh)
Venta de calor al sistema durante un año (MWh)
Venta de frío al sistema durante un año (MWh)
CAPEX de la solución técnica (€)
OPEX de la solución técnica (€)

A partir de los inputs determinados en la tabla anterior, se determinará el análisis coste beneficio a nivel sociedad de cada una de las soluciones técnicas evaluadas para los sistemas existentes a nivel nacional.

Para conocer el potencial económico de desarrollo de estas tecnologías es necesario conocer los parámetros económicos asociados a ellas, como pueden ser la inversión necesaria para su ejecución, los gastos de combustible, operación y mantenimiento que suponen y los ingresos que se podrían obtener por la venta del calor.

La estimación de las inversiones y de los costes de operación y mantenimiento se ha efectuado mediante regresiones basadas en precios históricos y/o bibliografía para los siguientes equipos e instalaciones:

- Calderas de gas natural:
- Máquinas de compresión:
- Máquinas de absorción:
- Intercambiadores de calor:
- Calderas de recuperación de calor:
- Calderas de biomasa:
- Calderas de biogás:
- Instalaciones geotérmicas:
- Instalaciones solares térmicas:
- Plantas de cogeneración:
- Redes urbanas:

7.4.2. Determinación de la inversión

Tanto para la situación de referencia, como para cada una de las soluciones propuestas se determina el capital necesario a invertir tanto para sus sistemas o equipos principales como para llevar a cabo las posibles conexiones térmicas de suministro de calor y/o frío o bien para el aprovechamiento de calores o combustibles residuales. La inversión de cada una de las alternativas vendrá determinada por un valor en EUR/MW.

7.4.3. Determinación de los costes

A continuación se determina cada uno de los costes que tienen que ser tenidos en cuenta.

7.4.3.1. Costes de capital

Son los costes de los recursos empleados en la realización de una determinada inversión.

7.4.3.2. Costes de operación y mantenimiento

Incluye los costes necesarios para asegurar el funcionamiento correcto de la instalación en cuanto a su operación y mantenimiento de sus equipos e instalaciones.

7.4.3.3. Compra de combustibles y electricidad

Son los costes derivados de la compra de combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica según el caso analizado. Se determinará a partir de conocer:

- Precio de compra del combustible o electricidad (EUR/MWh)
- Consumo de combustible o electricidad previstos (MWh/a)

7.4.3.4. Impacto ambiental

La producción de energía causa un grave impacto ambiental derivado principalmente de la emisión de partículas contaminantes, pero también por la ocupación de las tierras y por el consumo de recursos. Estos impactos generan una pérdida de bienestar en la sociedad, que deberán tenerse en cuenta a la hora de realizar el análisis coste beneficio a nivel global.

Para determinar la valoración económica de los daños, se ha partido del estudio *"Subsidies and cost of EU energy"* (Alberici et al., 2014), que establece, para diferentes tecnologías, el factor de daño ambiental asociado a la emisión de una unidad de energía producida por esa tecnología (EUR/MWh). Estos factores de daño ambiental, serán usados para evaluar los costes ambientales que la implementación de cada una de las alternativas tiene sobre la sociedad respecto al Escenario Base.

El coste ambiental (CA) incremental de la solución tecnológica, se evaluará a partir del incremento de producción de energía por tecnología (ΔE) de la Solución

tecnológica respecto al Escenario Base, por el factor de daño ambiental (FDA) de la tecnología seleccionada, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$[\Delta CA_{y,t}]_{Alt} = [\Delta E_{y,t}]_{Alt} * FDA_{y,t}$$

Donde:

- $[\Delta CA_{y,t}]_{Alt}$ es el coste ambiental asociado al incremento de energía producida por la tecnología y, en el año t, en la solución tecnológica (MWh).
- $[\Delta E_{y,t}]_{Alt}$ es la diferencia entre la energía producida por la tecnología y, en el año t, en la solución tecnológica y el Escenario Base (MWh).
- $FDA_{y,t}$ es el factor de daño ambiental por unidad de energía, producido por la tecnología y (EUR/MWh).

El coste ambiental de cada escenario en un año específico, será la suma de los daños ambientales generados por la producción de todas las tecnologías usadas en esa solución tecnológica, ese año, tal y como se indica abajo:

$$[\Delta CA_{Total,t}]_{Alt} = \left[\sum_{y=1}^{n} \Delta CA_{y,t}\right]_{Alt}$$

Tabla 50: Ejemplo de los factores de daño ambiental

Tecnologías	FDA (EUR/MWhth)
CHP– calor – biomasa	4,3
CHP – calor – gas natural	11,7
CHP – calor – carbón	24,1
Caldera de gas natural doméstica	17,9
Caldera de biomasa doméstica	11,2
Bomba de calor doméstica	12,5
Solar térmica doméstica	9,6

Fuente: Subsidies and costs of EU energy

Si bien los FDA podrían verse modificados a lo largo de los años, el estudio de Alberici *et al.* (2014) no ofrece evoluciones para estos parámetros. Con el fin de mantener un escenario continuista y conservador, se ha decidido mantener constantes estos parámetros a lo largo del tiempo.

7.4.3.5. Costes derivados del impacto de la dependencia energética

Tal y como describió *Arnold et al (2007)*, en el contexto del proyecto *ExternE - External Costs of Energy* elaborado por la Unión Europea y la Agencia de la Energía Americana, para evaluar las externalidades derivadas de la dependencia energética es necesario estimar el impacto en la economía causado por el incremento en la precio de los combustibles importados.

Para establecer el impacto de la dependencia energética en la economía del país, el primer paso requiere determinar la elasticidad de la economía de acuerdo a incrementos en el precio de combustibles según la siguiente fórmula:

$$e_t = \frac{\Delta PIB/PIB}{\Delta P/P}$$

Donde:

- e_t es la elasticidad del PIB en el año t
- $\frac{\Delta PIB}{PIB}$ es el porcentaje de cambio del PIB entre los años t y t-1 (%)
- $\frac{\Delta P}{P}$ es el porcentaje de cambio de los precios de los combustibles entre los años t y t-1 (%)

De este modo, el impacto en la economía en el año t, por MJ de combustible consumido, se mide de la siguiente manera:

$$\Delta PIB_{por\ unidad} = \frac{e_t \cdot PIB_t}{Ft}$$

Donde:

- $\Delta PIB_{por\ unidad}$ es el impacto en el PIB por unidad de combustible consumido (EUR/MJ)
- e es la elasticidad del PIB
- PIB es el PIB de la economía en el año t (EUR)
- F es el consumo de combustible total en el año t (MJ)

Partiendo de la diferencia del combustible consumido en un año en la solución tecnológica de referencia respecto al Escenario Base, así como la evolución de precios, será posible evaluar la variación del PIB como un coste asociado a la dependencia energética de cada solución tecnológica según la siguiente fórmula:

$$[\Delta PIB_t]_{Alt} = \Delta PIB_{por\ unidad,t} \cdot \left[\left(\frac{\Delta P}{P}\right)_t\right]_{Alt.} \cdot ([F_t]_{Alt} - [F_t]_{EB})$$

Sin embargo, para su inclusión en el análisis coste beneficio global se considera necesario convertir el PIB en una medida de bienestar. Por ello, teniendo en cuenta el Consumo de Capital Fijo (CCF) se transformará el PIB en Producto Interior Neto (PIN) a partir de la relación establecida por Weitzman.

$$[\Delta PIN_t]_{Alt} = \Delta PIB_t * (1 - \frac{CCF_t}{PIB_t})$$

El resultado final será imputado en el análisis coste beneficio global de la solución tecnológica, como un coste de dependencia energética.

Para su extrapolación a 2050, se han tenido en cuenta las siguientes evoluciones:

- **PIB**: se han tomado como referencia los datos proyectados a 2020 por el PNAEE 2014. A partir de 2020 se ha asumido una tendencia continuista respecto al último año.
- **Precio de los combustibles**: tal y como se especifica en la Orden IET/1045/2014, se ha tomado como evolución un crecimiento del 1% anual en el precio de los combustibles.
- **Consumo de Capital Fijo (CCF)**: se ha asumido una tendencia continuista del 1%, respecto a los datos de los últimos 5 años.

7.4.4. Determinación de los beneficios

Los beneficios de la implementación de un proyecto en concreto podrán ser o bien debidos a una reducción de costes o bien gracias a un incremento en los ingresos respecto a la situación de referencia. A continuación se exponen los distintos beneficios a considerar:

7.4.4.1. Ingresos por venta de energía eléctrica

Se tendrán en los casos en los que la instalación prevista sea una planta de cogeneración. La electricidad generada podrá ser vendida a la red pública o bien auto-consumida en el propio emplazamiento de forma que se reduzca la necesidad de importación eléctrica de red. Los ingresos por venta de energía eléctrica se determinarán a partir de:

- Electricidad generada (MWh)
- Precios de venta eléctrica (EUR/MWh)

7.4.4.2. Impacto macroeconómico

La metodología que se emplea para determinar el impacto macroeconómico es la llamada vía oferta, que permite valorar cómo variará el PIB en función de los impactos directos e indirectos derivados de un cambio de demanda en ciertos sectores económicos.

La valoración de cada uno de los efectos se determinará como sigue:

- **Contribución directa al PIB ("contribución de las tecnologías")**: es aquel efecto provocado por un aumento de la demanda final, generada por un incremento de la producción del propio sector. Es decir, es el cálculo de la proporción correspondiente a las actividades realizadas por todas las empresas que dediquen la mayor parte de sus esfuerzos a la producción de bienes o servicios relacionados con la tecnología del sector analizado.

  La determinación de la contribución directa al PIB derivada de un cambio de tecnología, se determinará como el sumatorio de las siguientes contribuciones parciales al PIB:

  - Contribución al PIB de las instalaciones: este parámetro se ve influenciado únicamente por aquellas nuevas instalaciones que se construyan para suplir la demanda. Vendrá determinado por la siguiente fórmula:

    $\Delta PIB_{INSTALACIONES}$ =ΔMW instalados en el año * CAPEX * Costes de mano de obra de CAPEX * % de margen derivado de la fabricación y venta de equipos

  - Contribución al PIB de la Operación y Mantenimiento: por su parte, este parámetro se ve afectado por aquellas instalaciones ya construidas, que requieran de un mantenimiento recurrente. Se determina como sigue:

    $\Delta PIB_{O\&M}$ = Total de MW instalados * OPEX * Costes de mano de obra de OPEX * % de margen de operación de la instalación

  - Contribución de las exportaciones e importaciones al PIB: este parámetro se ve afectado por las exportaciones netas y como tal, por la fabricación y venta de equipos.

  Las fuentes de las que se han obtenido los valores necesarios para la determinación de la contribución parcia al PIB son las siguientes:

- CAPEX y OPEX medio de cada una de las tecnologías evaluadas según el "*Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050"* del *Joint Research Centre,* disgregando en los siguientes niveles:
    - Componente
    - Instalación
    - Costes de mano de obra
- Márgenes de las principales actividades de la cadena de valor de cada una de las tecnologías, obtenidos a partir de entrevistas:
    - Fabricación y venta de equipos
    - Instalación y puesta en marcha
    - Operación de la instalación
- Datos de Importación y exportación para cada uno de los CNAEs a los que hace referencia cada una de las tecnologías evaluadas, obtenidos del Ministerio de Comercio Exterior de España.

- **Efecto indirecto ("impacto en otros sectores")**: es aquel provocado por un cambio en el consumo directo en el resto de sectores que suministran inputs al sector específico. Es decir, este efecto engloba las actividades tanto de los sectores estrechamente relacionados con las tecnologías estudiadas, como del resto de sectores económicos, que experimentan un efecto arrastre por la propia actividad del sector analizado.

Este efecto de arrastre se deduce de los coeficientes técnicos de producción, determinados a partir de la Matriz Simétrica de ramas de actividad elaborada por el INE. Se trata de una matriz cuadrada, valorada en euros, que enfrenta en sus filas y columnas todos los sectores de la economía española (73), representando en:

- Columnas: la información de los recursos que un sector utiliza de otros, para llegar a su producción final. Es decir, las salidas o ventas del sector de la fila a los sectores de las columnas.
- Filas: la información de los bienes y servicios producidos por un sector y consumidos por otro. Es decir, las entradas o compras del sector columna a los sectores de las filas.

Operando esta matriz, hasta llegar a la matriz de Coeficientes Técnicos, se obtendrá el efecto indirecto derivado de la implementación de una tecnología.

El resultante de la suma de los efectos directos e indirectos sobre el PIB, se transformará en PIN (Producto Interior Neto) como se vio en el punto 7.4.3.5, y el valor resultante será imputado en el análisis coste beneficio global como un ingreso evaluado año a año.

7.4.4.3. Impacto en la fiabilidad de la operación del sistema

Otro de los beneficios derivados de la expansión de la cogeneración, es su contribución a la fiabilidad de la red eléctrica. Esta fiabilidad mide la capacidad del sistema eléctrico para abastecer las necesidades eléctricas de los consumidores. La cogeneración, como fuente de generación distribuida de electricidad, puede contribuir a evitar cortes de energía.

La metodología elaborada por el *Joint Research Centre* establece dos aproximaciones para determinar este impacto:

- Estimar los costes evitados derivados de un aumento de la fiabilidad del sistema por otras soluciones técnicas
- Estimar los costes evitados derivados de los cortes de energía

Sin embargo, dicha metodología también especifica que la implementación de cualquiera de estas dos aproximaciones requiere de un profundo análisis y que únicamente los Estados Miembro que tengan herramientas para el modelado de la fiabilidad del sistema podrán incluirlo en su análisis coste beneficio. Por ello, en este caso, no ha sido posible su evaluación de una manera cuantitativa.

7.5. Potencial Económico

De acuerdo a la metodología del análisis coste beneficio descrita anteriormente, se ha calculado el potencial económico de cada solución técnica dentro de cada sistema. Se considera pues a nivel de sistema cada solución cuyo análisis coste beneficio tenga un VAN positivo

Realizado el análisis para todos los sistemas se ha agrupado el potencial económico de cada solución técnica a nivel nacional. Los resultados obtenidos se muestran en detalle en el punto 8.

7.6. Potencial coste eficiente

A partir del potencial económico se ha optimizado, desde el punto de vista global, cuales son las mejores soluciones técnicas para cada sistema. Esta optimización se ha llevado a cabo a partir del ratio VAN/MWh por cada solución, dando prioridad a las tecnologías que tengan mayores ratios en cada sistema.

Realizado el análisis para todos los sistemas se ha agrupado el potencial costo-eficiente de cada solución técnica a nivel nacional. Los resultados obtenidos se muestran en detalle en el punto 9.

8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE POTENCIAL ECONÓMICO

A partir de la metodología explicada en el punto anterior se ha calculado el potencial económico de cada solución tecnológica para cada uno de los sistemas analizados. De forma agregada se muestra a continuación para cada recurso estudiado el potencial económico el técnico y el que se obtendría desde la óptica de un posible inversor.

Se incluye también para cada solución técnica la inversión asociada a la implementación de todos los proyectos que, de acuerdo con el punto 7 anterior, tienen un coste-beneficio positivo para el País, así como la inversión desde el punto de vista de un promotor. Estas inversiones han sido calculadas para cada solución técnica estudiada de manera separada, pero para los mismos sistemas objeto de estudio.

Para cada sistema se ha estudiado la posibilidad de satisfacer el mayor porcentaje posible de su demanda mediante cada una de las soluciones técnicas planteadas calculándose la inversión de cada una de estas alternativas.

La comparativa de los potenciales económicos globales (a nivel país) y del inversor ponen de manifiesto el peso que las externalidades consideradas pueden tener para cada solución técnica estudiada

Cabe destacar, por lo explicado anteriormente, que no tiene sentido físico la suma de potenciales o inversiones puesto que son soluciones alternativas para los mismos sistemas consumidores.

Es necesario insistir, tal y como ya se ha indicado anteriormente que los resultados obtenidos del estudio de potencial económico son muy sensibles a las hipótesis consideradas en su cálculo debido tanto a la amplitud del horizonte temporal considerado 2015-2050 como al elevado número de variables económicas y energéticas que intervienen en cada una de las alternativas consideradas. La propia evolución de la línea base añade incertidumbre a los resultados finales. En este sentido, el potencial económico no ha de ser entendido como un dato estático sino que necesariamente tiene que evolucionar y no solamente por la propia dinámica del cambio en las variables que lo determinan sino también por la adopción de las políticas adecuadas para su implementación.

Los resultados del potencial económico, a pesar de su sensibilidad con respecto a las variables consideradas han de ser considerados como una primera aproximación al conocimiento desagregado del potencial económico de calefacción y refrigeración eficientes en los diferentes sectores a nivel nacional y por tanto susceptible de mejora en base a ulteriores estudios focalizados en áreas concretas del territorio nacional.

8.1. Potencial técnico y económico de calor residual de industria

De los **402 sistemas** identificados con potencial técnico, **357** tienen potencial económico para el País, lo que supone **4,0 TWh** de calor y **0,1 TWh** de frío. La implementación de esta solución supondría el **1,0%** del total de la demanda de calor y un **0,2%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base.Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **178 M€.**

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al aprovechamiento de calor residual de industria.

Tabla 51: Potencial técnico y económico de calor residual de industria

Sector	Uso	Calor Residual de Industria Uso directo calor Frío máquina de absorción		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	18.955	16.369	16.340
	ACS	18.362	14.878	14.864
	Refrigeración	834	486	486
Sector terciario	*Calefacción*	185.635	149.570	148.883
	ACS	24.265	17.837	17.746
	Refrigeración	90.178	32.685	32.414
Sector Industrial	*Calefacción*	3.806.294	3.785.146	3.806.294
	Refrigeración	79.510	59.541	54.033
Total	*Calefacción*	**4.010.885**	**3.951.085**	**3.971.517**
	ACS	**42.627**	**32.714**	**32.609**
	Refrigeración	**170.522**	**92.712**	**86.933**

Inversión asociada a la ejecución del potencial económico (M€)	**178**	**174**

8.2. Potencial técnico y económico de calor residual de centrales térmicas

De los **157 sistemas** identificados con potencial técnico, **105** tienen potencial económico para el País, lo que supone **3,0 TWh** de calor y **0,2 TWh** de frío. La implementación de esta solución supondría el **0,7%** del total de la demanda de calor nacional y un **0,3%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base. Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **2.406 M€.**

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al aprovechamiento de calor residual de centrales térmicas.

Tabla 52: Potencial técnico y económico de calor residual de centrales térmicas

Sector	Uso	Calor Residual de Centrales Térmicas		
		Uso directo calor Frío máquina de absorción		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	138.944	126.024	74.775
	ACS	166.004	150.397	69.305
	Refrigeración	2.055	1.521	127
Sector terciario	*Calefacción*	1.424.302	1.303.734	587.331
	ACS	175.158	139.714	64.946
	Refrigeración	201.605	74.356	20.987
Sector Industrial	*Calefacción*	1.325.563	1.258.036	1.256.735
	Refrigeración	140.053	76.635	76.195
TOTAL	***Calefacción***	**2.888.809**	**2.687.795**	**1.918.840**
	ACS	**341.163**	**290.110**	**134.251**
	Refrigeración	**343.713**	**152.512**	**97.309**

Inversión asociada a la ejecución del potencial económico (M€)	**2.406**	**835**

8.3. Potencial técnico y económico de calor residual de plantas de valorización de residuos

De los **57 sistemas** identificados con potencial técnico, **34** tienen potencial económico para el País, lo que supone **1,5 TWh** de calor y **0,2 TWh** de frío. La implementación de esta solución supondría el **0,4 %** del total de la demanda de calor y un **0,3 %** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base. Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **279 M€.**

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al aprovechamiento de calor residual de plantas de valorización de residuos.

Tabla 53: Potencial técnico y económico de calor residual de plantas de valorización de residuos

Sector	Uso	Calor Residual Plantas Valorización Residuos		
		Uso directo calor Frío máquina de absorción		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	14.395	10.089	7.706
	ACS	14.412	7.685	4.218
	Refrigeración	1.142	529	179
Sector terciario	*Calefacción*	318.994	178.216	113.136
	ACS	34.848	22.914	14.494
	Refrigeración	143.259	41.732	21.818
Sector Industrial	*Calefacción*	1.287.618	1.276.475	1.276.473
	Refrigeración	119.546	107.976	107.976
TOTAL	***Calefacción***	**1.621.007**	**1.464.780**	**1.397.315**
	ACS	**49.259**	**30.599**	**18.712**
	Refrigeración	**263.948**	**150.237**	**129.973**

Inversión asociada a la ejecución del potencial económico (M€)	**279**	**183**

8.4. Potencial técnico y económico de Geotermia

De los **146 sistemas** identificados con potencial técnico, **144** tienen potencial económico para el País, lo que supone **1,1 TWh** de calor y **0,3 TWh** de frío. La implementación de esta solución supondría el **0,3%** del total de la demanda de calor y un **0,6 %** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base. Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **280 M€.**

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al aprovechamiento de geotermia.

Tabla 54: Potencial técnico y económico de geotermia

Sector	Uso	Geotermia		
		Uso directo calor Frío máquina de absorción		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	24.609	24.609	24.609
	ACS	31.631	31.631	31.631
	Refrigeración	2.172	2.172	2.172
Sector terciario	*Calefacción*	343.293	332.374	330.274
	ACS	48.749	48.113	48.028
	Refrigeración	237.720	228.491	225.754
Sector Industrial	*Calefacción*	649.592	649.592	649.592
	Refrigeración	92.061	92.061	92.061
Total	***Calefacción***	**1.017.494**	**1.006.575**	**1.004.476**
	ACS	**80.381**	**79.744**	**79.659**
	Refrigeración	**331.954**	**322.725**	**319.988**

Inversión asociada a la ejecución del potencial económico (M€)	**280**	**277**

8.5. Potencial técnico y económico de energía solar para producción de ACS

De los **1.357 sistemas** identificados con potencial técnico, **1.355** tienen potencial económico para el País, lo que supone **6,0 TWh** de calor. La implementación de esta solución supondría el **14,7%** del total de la demanda de agua caliente sanitaria ó un **1,5%** del total de la demanda de calor nacional respecto al año base. Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **12.161 M€.**

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al uso de energía solar para la producción de ACS.

Tabla 55: Potencial técnico y económico de energía solar para ACS[7]

Sector	Uso	Energía Solar		
		ACS con captadores solares		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	-	-	-
	ACS	3.118.787	3.103.487	271.221
	Refrigeración	-	-	-
Sector terciario	*Calefacción*	-	-	-
	ACS	2.911.104	2.910.638	1.032.222
	Refrigeración	-	-	-
Total	***Calefacción***			
	ACS	**6.029.892**	**6.014.125**	**1.303.443**
	Refrigeración			

Inversión asociada a la ejecución del potencial económico (M€)	**12.161**	**2.340**

[7] *Se ha considerado un efecto escala en las inversiones debido al mayor tamaño de las instalaciones centralizadas respecto de las individuales. No obstante hay que advertir que el potencial económico desde el punto de vista del inversor es muy sensible al tamaño de la inversión, un aumento del 10% en la misma puede dar como resultado un potencial nulo.*

8.6. Potencial técnico y económico de Biogás

De los **266 sistemas** identificados con potencial técnico, **263** tienen potencial económico para el País, lo que supone **2,6 TWh** de calor y **0,7 TWh** de frío. La implementación de esta solución supondría el **0,6%** del total de la demanda de calor y un **1,3%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base. Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **1.417 M€**.

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al uso de biogás.

Tabla 56: Potencial técnico y económico de biogás

Sector	Uso	Biogás Calor Frío máquina de absorción		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	115.924	115.622	105.128
	ACS	80.256	79.778	70.113
	Refrigeración	5.261	5.223	4.148
Sector terciario	*Calefacción*	1.305.273	1.302.025	1.085.249
	ACS	148.861	148.728	133.584
	Refrigeración	569.416	567.751	498.285
Sector Industrial	*Calefacción*	921.047	921.047	908.410
	Refrigeración	119.963	119.963	119.129
Total	***Calefacción***	**2.342.244**	**2.338.694**	**2.098.787**
	ACS	**229.117**	**228.506**	**203.698**
	Refrigeración	**694.639**	**692.937**	**621.562**

Inversión asociada a la ejecución del potencial económico (M€)	**1.417**	**1.096**

8.7. Potencial técnico y económico de Biomasa

De los **1.845 sistemas** identificados con potencial técnico, **1.714** tienen potencial económico para el País, lo que supone **30,0 TWh** de calor y **5,1 TWh** de frío. La implementación de esta solución supondría el **7,3%** de la demanda de calor y un **9,8%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base. Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **13.502 M€.**

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al uso de biomasa.

Tabla 57: Potencial técnico y económico de biomasa

Sector	Uso	Biomasa		
		Calor Frío máquina de absorción		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	1.581.037	1.487.669	696.841
	ACS	988.240	860.513	393.242
	Refrigeración	57.715	43.345	18.201
Sector terciario	*Calefacción*	11.171.175	9.621.113	4.814.544
	ACS	960.325	851.517	471.907
	Refrigeración	4.065.736	3.004.266	2.053.352
Sector Industrial	*Calefacción*	17.160.984	17.160.806	16.942.176
	Refrigeración	2.075.913	2.053.407	2.019.839
Total	***Calefacción***	**29.913.197**	**28.269.588**	**22.453.561**
	ACS	**1.948.565**	**1.712.029**	**865.149**
	Refrigeración	**6.199.365**	**5.101.018**	**4.091.393**

Inversión asociada a la ejecución del potencial económico (M€)	**13.502**	**6.217**

8.8. Potencial técnico y económico de Cogeneración

De los **858 sistemas** identificados con potencial técnico, **592** tienen potencial económico para el País, lo que supone una potencia eléctrica de cogeneración de alta eficiencia de **3.677 MWe** y la generación de **11,2 TWh** de calor y **0,8 TWh** de frío. La implementación de esta solución supondría el **2,7%** del total de la demanda de calor y un **1,6%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base. Para ello, la inversión asociada a la ejecución de todos los proyectos económicamente viables supondría un total de **4.315 M€.**

En la siguiente tabla se indican los resultados del potencial técnico y económico, desde el punto de vista del país y de un posible inversor, asociados al uso de cogeneración.

Tabla 58: Potencial técnico y económico de cogeneración

Sector	Uso	Gas Natural Calor de cogeneración Frío máquina de absorción		
		Potencial técnico (MWh)	Potencial Económico País (MWh)	Potencial Económico Inversor (MWh)
Sector residencial	*Calefacción*	2.319.687	688.397	106.550
	ACS	1.365.233	433.821	101.755
	Refrigeración	32.302	8.058	6
Sector terciario	*Calefacción*	15.681.419	6.568.728	849.619
	ACS	1.234.956	641.940	88.674
	Refrigeración	2.317.438	827.430	66.820
Sector Industrial	*Calefacción*	9.544.438	2.826.748	0
	Refrigeración	592.346	0	0
Total	***Calefacción***	**27.545.544**	**10.083.872**	**956.169**
	ACS	**2.600.189**	**1.075.762**	**190.429**
	Refrigeración	**2.942.087**	**835.488**	**66.827**

Inversión asociada a la ejecución del potencial (M€)	**4.315**	**357**

9. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS POTENCIAL COSTE EFICIENTE

A partir de la metodología explicada en el punto siete, se ha calculado el potencial coste eficiente tanto a nivel nacional como para cada sector de demanda. Este análisis considera que cada sistema estudiado satisface su demanda energética priorizando las soluciones tecnológicas que tienen los mejores ratios VAN/MWh empezando por la de mayor ratio, después por la siguiente y así sucesivamente hasta completar la demanda del sistema. Evidentemente si el potencial técnico de la mejor solución es suficiente para satisfacer la demanda del sistema, esta solución sería la única que aparecía en dicho sistema como solución coste eficiente.

El potencial coste eficiente maximiza por tanto el VAN a nivel país al considerar que la demanda energética se satisface con aquellas soluciones que tienen los mejores ratios VAN/MWh.

A continuación en la Tabla 59 se muestran los resultados, obtenidos del estudio de los sistemas seleccionados, agregados a nivel nacional para cada solución técnica así como las inversiones correspondientes a los proyectos necesarios para disponer de dicho potencial. También se indica en el punto 9.1 el porcentaje de la demanda nacional referida al año base que pueden satisfacer las tecnologías estudiadas.

En los apartados 9.2, 9.3, 9.4 se muestran los datos de potencial obtenido para cada solución tecnológica dentro de cada uno de los sectores estudiados (residencial, terciario, industrial), así como el porcentaje de la demanda sectorial de los sistemas analizados que es capaz de satisfacer cada tecnología.

9.1. Potencial coste eficiente a nivel nacional

A continuación se muestran los datos obtenidos de potencial coste eficiente de cada solución técnica analizada y para todos los sectores consumidores así como su aporte respecto de la demanda de los sistemas analizados y la inversión asociada.

Tabla 59: Potencial coste eficiente nacional

Uso	Demanda sistemas analizados (GWh)	Demanda nacional año base (GWh)
Calefacción y ACS	135.728	408.019
Refrigeración	24.609	51.818

Solución	Uso	Potencial C.Eficiente (GWh)	Aporte Sistemas Analizados	Inversión (M€)
Calor residual de industria	*Calefacción y ACS*	3.966	2,9%	175
	Refrigeración	91	0,4%	
Calor residual de Centrales Térmicas	*Calefacción y ACS*	2.977	2,2%	2.405
	Refrigeración	152	0,6%	
Calor residual Plantas de valorización RSU	*Calefacción y ACS*	1.490	1,1%	276
	Refrigeración	150	0,6%	
Geotermia	*Calefacción y ACS*	1.064	0,8%	271
	Refrigeración	320	1,3%	
Solar	*Calefacción y ACS*	5.739	4,2%	11.608
	Refrigeración	-	-	
Biogás	*Calefacción y ACS*	2.562	1,9%	1.413
	Refrigeración	693	2,8%	
Biomasa	*Calefacción y ACS*	29.780	21,9%	13.288
	Refrigeración	5.087	20,7%	
Cogeneración	*Calefacción y ACS*	8.005	5,9%	2.805
	Refrigeración	508	2,1%	

La implementación de todo el potencial coste eficiente generaría **56 TWh** de calor y **7 TWh** de frío, lo que supondría el **13,6 %** de la demanda de calor y un **13,5 %** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional en el año base, con una inversión total asociada de **32.242 M€**

9.2. Potencial coste eficiente en el sector residencial

A continuación se muestran los datos obtenidos de potencial coste eficiente de cada solución técnica analizada para el sector residencial así como su aporte respecto de la demanda de los sistemas analizados.

Tabla 60: Potencial coste-eficiente de cada solución técnica en el sector residencial

Uso	Demanda sistemas analizados (GWh)	Demanda nacional año base (GWh)
Calefacción y ACS	9.433	102.567
Refrigeración	189	2.231

Solución	Uso	Potencial C.Eficiente (GWh)	Aporte Sistemas Analizados
Calor residual de industria	*Calefacción y ACS*	31	0,3%
	Refrigeración	0	0,3%
Calor residual de Centrales Térmicas	*Calefacción y ACS*	276	2,9%
	Refrigeración	2	0,8%
Calor residual Plantas de valorización RSU	*Calefacción y ACS*	18	0,2%
	Refrigeración	1	0,3%
Geotermia	*Calefacción y ACS*	56	0,6%
	Refrigeración	2	1,2%
Solar	*Calefacción y ACS*	2.996	31,8%
	Refrigeración	-	-
Biogás	*Calefacción y ACS*	195	2,1%
	Refrigeración	5	2,8%
Biomasa	*Calefacción y ACS*	2.347	24,9%
	Refrigeración	43	22,9%
Cogeneración	*Calefacción y ACS*	904	9,6%
	Refrigeración	6	3,4%

La implementación del potencial coste eficiente en el sector residencial generaría **6,8 TWh** de calor y **0,1 TWh** de frío, lo que supone el **6.7%** del total de la demanda de calor y un **2,7%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional del sector residencial en el año base.

9.3. Potencial coste eficiente en el sector terciario

A continuación se muestran los datos obtenidos de potencial coste eficiente de cada solución técnica analizada para el sector terciario así como su aporte respecto de la demanda de los sistemas analizados.

Tabla 61: Potencial coste-eficiente de cada solución técnica en el sector terciario

Uso	Demanda sistemas analizados (GWh)	Demanda nacional año base (GWh)
Calefacción y ACS	46.555	93.194
Refrigeración	14.561	28.409

Solución	Uso	Potencial C.Eficiente (GWh)	Aporte Sistemas Analizados
Calor residual de industria	*Calefacción y ACS*	165	0,4%
	Refrigeración	32	0,2%
Calor residual de Centrales Térmicas	*Calefacción y ACS*	1.443	3,1%
	Refrigeración	74	0,5%
Calor residual Plantas de valorización RSU	*Calefacción y ACS*	196	0,4%
	Refrigeración	42	0,3%
Geotermia	*Calefacción y ACS*	360	0,8%
	Refrigeración	226	1,6%
Solar	*Calefacción y ACS*	2.743	5,9%
	Refrigeración	-	-
Biogás	*Calefacción y ACS*	1.447	3,1%
	Refrigeración	567	3,9%
Biomasa	*Calefacción y ACS*	10.337	22,2%
	Refrigeración	2.991	20,5%
Cogeneración	*Calefacción y ACS*	4.275	9,2%
	Refrigeración	502	3,4%

La implementación del potencial coste eficiente en el sector terciario generaría **21,0 TWh** de calor y **4,4 TWh** de frío, lo que supone el **22,5%** del total de la demanda de calor y un **15,6%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional del sector terciario en el año base.

9.4. Potencial coste eficiente en el sector industria

A continuación se muestran los datos obtenidos de potencial coste eficiente de cada solución técnica analizada para el sector industria así como su aporte respecto de la demanda de los sistemas analizados.

Tabla 62: Potencial coste eficiente de cada solución técnica en el sector industrial

Uso	Demanda sistemas analizados (GWh)	Demanda nacional año base (GWh)
Calefacción y ACS	79.740	212.259
Refrigeración	9.860	21.179

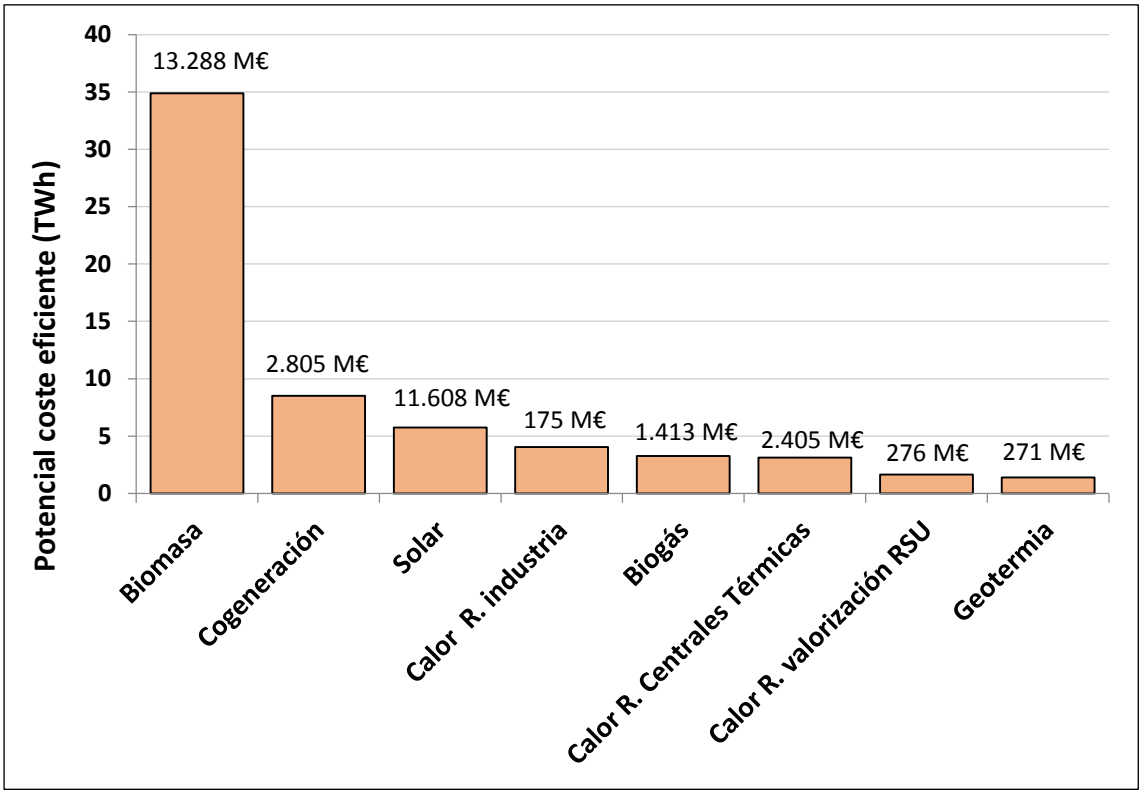
Solución	Uso	Potencial C.Eficiente (GWh)	Aporte Sistemas Analizados
Calor residual de industria	*Calefacción y ACS*	3.770	4,7%
	Refrigeración	59	0,6%
Calor residual de Centrales Térmicas	*Calefacción y ACS*	1.258	1,6%
	Refrigeración	77	0,8%
Calor residual Plantas de	*Calefacción y ACS*	1.276	1,6%
	Refrigeración	108	1,1%
Geotermia	*Calefacción y ACS*	649	0,8%
	Refrigeración	92	0,9%
Biogás	*Calefacción y ACS*	920	1,2%
	Refrigeración	120	1,2%
Biomasa	*Calefacción y ACS*	17.096	21,4%
	Refrigeración	2.053	20,8%
Cogeneración	*Calefacción y ACS*	2.827	3,5%
	Refrigeración	0	0,0%

La implementación del potencial coste eficiente en el sector industria generaría **27,8 TWh** de calor y **2,5 TWh** de frío , lo que supone el **13,1%** del total de la demanda de calor y un **11,8%** de la demanda de frío ambos referidos al total nacional del sector industrial en el año base.

9.5. Conclusiones

Si los datos de la Tabla 59 los ordenamos de acuerdo con la energía que potencialmente puede suministrar cada una de las soluciones analizadas, obtenemos el siguiente grafico en el que se aprecia claramente la importancia que determinados recursos energéticos pueden tener en la cobertura de la demanda energética nacional desde el punto de vista térmico.

Ilustración 61: Potencial coste eficiente e inversión de las soluciones técnicas estudiadas



Se observa en la ilustración superior que la biomasa es el recurso que con las soluciones técnicas propuestas podría satisfacer un mayor porcentaje de la demanda, pudiendo llegar a suministrar 34.868 GWh con una inversión asociada de 13.288 M€.

En segundo lugar sería la cogeneración la siguiente solución técnica que más demanda podría satisfacer, pudiendo llegar a los 8.514 GWh y suponiendo una inversión de 2.805 M€.

La energía solar presenta un potencial térmico de 5.739 GWh, lo que la coloca en el tercer lugar. La inversión asociada para el aprovechamiento de este potencial es de 11.608 M€.

El siguiente recurso que presenta mayor potencial es el aprovechamiento del calor residual de industria que puede aportar 4.057 GWh con una inversión asociada de 175 M€.

Las tecnologías asociadas al uso de biogás y de calor residual de centrales térmicas presentan unos potenciales muy similares, de 3.255 y 3.130 GWh y con unas inversiones asociadas de 1.413 y 2.405 M€ respectivamente.

El aprovechamiento de calor residual de plantas de valorización de residuos presenta un potencial de 1.641 GWh y la inversión asociada asciende a 276 M€.

Por último la Geotermia presenta un potencial de 1.385 GWh con una inversión asociada de 271 M€.

Por otro lado, también hay que señalar que los resultados obtenidos del estudio de potencial son muy sensibles a las hipótesis consideradas en su cálculo debido tanto a la amplitud del horizonte temporal considerado 2015-2050 como al elevado número de variables económicas y energéticas que intervienen en cada una de las alternativas consideradas. La propia evolución de la línea base añade incertidumbre a los resultados finales. En este sentido, el potencial no ha de ser entendido como un dato estático sino que necesariamente tiene que evolucionar y no solamente por la propia dinámica del cambio en las variables que lo determinan sino también por la adopción de las políticas adecuadas para su implementación.

No obstante lo anterior, es importante resaltar que la metodología adoptada será de gran ayuda en los procesos futuros de planificación energética ya que facilitará la toma de decisiones en la optimización de los recursos económicos empleados.

ANEXOS

ANEXO I. Fuentes de información y recopilación de datos utilizados

A continuación se detallan las principales fuentes de información, oficiales y privadas, a las que ha sido necesario recurrir para el desarrollo del presente informe.

1. El Catastro Inmobiliario

El Catastro Inmobiliario es un registro administrativo dependiente del MINHAP (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas), regulado por el Texto Refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario[8], en el que constan los inmuebles urbanos, rústicos y aquellos de características especiales.

2. Instituto Nacional de Estadística (INE)

El Instituto Nacional de Estadística es un organismo autónomo de carácter administrativo adscrito al MINECO (Ministerio de Economía y Competitividad). Se rige por la Ley 12/1989, de 9 de mayo, de la Función Estadística Pública (LFEP), que regula la actividad estadística para fines estatales (la cual es competencia exclusiva del Estado). Dicho organismo es el encargado de realización de las operaciones estadísticas de gran envergadura (censos demográficos y económicos, cuentas nacionales, estadísticas demográficas y sociales, indicadores económicos y sociales, coordinación y mantenimiento de los directorios de empresas, formación del Censo Electoral...).

Del INE se ha extraído información que completa los datos ofrecidos por el Catastro. Es el caso, por ejemplo, del número de viviendas principales, secundarias y vacías de España. El Catastro no recoge la ocupación de las viviendas por lo que si se aplicara el mismo ratio de demanda térmica en todas las viviendas, se estaría mayorando la demanda de dicho sector. Los datos del INE permiten la aplicación de un correctivo relacionado con la ocupación por zona climática.

3. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)

El IDAE es un organismo adscrito al Ministerio de Industria, Energía y Turismo a través de la Secretaría de Estado de Energía, de quien depende organizativamente y de quien se ha obtenido la siguiente información.

- Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final. (2011)

- Evaluación del potencial de energía solar térmica y fotovoltaica derivado del cumplimiento del Código Técnico de la Edificación. Informe Final. (2011)
- Boletín de Estadísticas de Cogeneración (2013)
- Balances de Energía Final (2013)
- Detalle de consumos del sector residencial/hogares (2013)
- Detalle de consumos del sector servicios (2013)
- Seguimientos Energéticos Sectoriales

4. PRTR-España (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes)

El PRTR es un registro donde se pone a disposición pública información sobre las emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo de las sustancias contaminantes y datos de transferencias de residuos de las principales industrias y otras fuentes puntuales y difusas, de acuerdo a lo establecido en la legislación internacional (Protocolo de Kiev y Convenio de Aarhus), europea (Reglamento E-PRTR) y nacional (Real Decreto 508/2007 y modificaciones posteriores).

Puede consultarse información a nivel de complejo industrial o agregado por sectores de actividad, sustancias contaminantes, tipo de residuo y ámbito geográfico. Para cada instalación del registro se proporciona, entre otros datos: nombre de la industria, código de la actividad industrial, localización, sector industrial, año y emisiones contaminantes.

5. CITL (Community Independent Transaction Log)

Contiene información sobre el sistema de comercio de emisiones de cada Estado Miembro de la UE (EU ETS). En él se registran todas las transacciones de emisiones contaminantes llevadas a cabo por industrias puntuales de cada país y se puede acceden a información agregada por país, por sector y por año. Para cada instalación del registro se proporciona, entre otros datos: nombre de la industria, código de la actividad industrial, sector industrial, localización, año y emisiones.

6. MINETUR (Ministerio de Industria, Energía y Turismo)

Las instalaciones de producción de energía eléctrica están inscritas en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, donde se reflejan las condiciones de cada instalación y, en especial, su respectiva potencia. Se ha extraído información del Registro de Instalaciones del Régimen retributivo Específico y del Registro de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica.

- Registro de Instalaciones del Régimen Retributivo Específico**.** Incluye información sobre las instalaciones de producción a partir de fuentes de energía renovables,

cogeneración de alta eficiencia y residuos. En él, figura el nombre de la instalación, localización, potencia eléctrica, fecha de puesta en marcha y la tipología de instalación.

- Registro de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica. Incluye información sobre las instalaciones de producción de energía eléctrica que no sea a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración de alta eficiencia o residuos. En él, figura el nombre de la instalación, localización, potencia eléctrica, fecha de puesta en marcha y la tipología de instalación.

7. IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se creó en 1988 con la finalidad de proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

Se ha consultado el *Vol.3 Procesos industriales y uso de productos* de la publicación "*Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*" de donde se ha extraído información sobre procesos industriales de diferentes sectores en los que existen emisiones de CO_2 que no sean debidas a procesos de combustión.

8. Parámetros de eficiencia de referencia

Para la determinación de las demandas térmicas tanto en instalaciones con sistemas de cogeneración como en instalaciones convencionales se han considerado los parámetros de referencia de eficiencia energética publicados en los documentos siguientes:

- Real Decreto 413/2014 de 6 de Junio de 2014.En él se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. De éste RD se obtiene información sobre las condiciones de eficiencia energética exigidas a las instalaciones de cogeneración (Anexo XIV).
- Decisión de Ejecución de la Comisión de 19 de Diciembre de 2011 (2011/877/UE). Contiene los valores de referencia de la eficiencia armonizados para la producción por separado de calor y electricidad con lo dispuesto en la Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y el Consejo, y por la que se deroga la Decisión 2007/74/CE de la Comisión.

9. Fuentes consultadas para el sector servicios

Para la caracterización de las demandas térmicas del Sector Servicios las fuentes consultadas han sido procedentes de Ministerios como el de Fomento o el de Sanidad y de algunas fuentes privadas como AENA. A continuación se detallan las fuentes consultadas:

- Catálogo Nacional de Hospitales Españoles-2013 (MSSSI). Contiene información sobre Centros Hospitalarios de todo el territorio nacional incluyendo, entre otros datos, el nombre, la dirección, número de camas y tipología de centro.

- Inventario Energético de los Edificios de la Administración General del Estado (MINETUR). Contiene un listado con todos los Edificios de la Administración General del Estado donde se facilita información sobre su tipología, ubicación, superficie, consumos energéticos y calificación energética.

- Código Técnico de la Edificación (CTE) – Documento Básico HE. En él se establecen los procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía en las edificaciones. De él se ha extraído información sobre los valores de temperatura media del agua fría por provincia, zonas climáticas, etc.

- Climas de Referencia - Ministerio de Fomento. Incluye una descripción de los parámetros que caracterizan los climas de referencia del DB HE. En él se definen las solicitaciones exteriores de cálculo para un año tipo a través de una serie de parámetros (temperatura, humedad, radiación solar…), representativos de cada zona climática.

- Tráfico de pasajeros, operaciones y carga en los Aeropuertos Españoles (AENA). Contiene un registro de todos los aeropuertos españoles y el número de operaciones realizadas a lo largo de 2013.

ANEXO II. Usos del catastro

Tabla 63. Usos de suelo

CODIIGO	USO DEL CATASTRO	ZONA CLIMÁTICA
A	Almacenamiento	-
AAL	Almacén	-
AAP	Almacén (Aparcamiento)	-
AES	Almacén (Estacionamiento)	-
BCR	Caseta riego	-
BCT	Caseta transformación	-
BIG	Instalaciones ganaderas	X
CCR	Comercio Carnicería	X
CSP	Comercio Supermercado	X
JAM	Almazaras	X
JAS	Aserraderos	X
JBD	Bodegas	X
JCH	Champiñoneras	X
YJD	Jardín privado 100%	-
YPO	Porche 100%	-
YSP	Soportal 50%	-
YOU	Obras de urbanización	-
YTD	Terraza descubierta 100%	-
YTZ	Terraza cubierta 100%	-
ZBE	Balsas, estanques	-
M	Suelo sin edificar	-
JGR	Granjas	X
JIN	Invernaderos	X
I	Industria	X
IAG	Industria-Agropecuaria	X
IAL	Industria-Alimentación	X
IAR	Industria-Agrícola	X
IBB	Industria-Bebida	X
IBR	Industria-Barro	X
ICN	Industria-Construcción	X
ICT	Industria-Cantera - (Minas)	X
IEL	Industria-Electricidad	X
IIM	Industria-Química	X

CODIIGO	USO DEL CATASTRO	ZONA CLIMÁTICA
IMD	Industria-Madera	X
IMN	Industria-Manufacturada	X
IMT	Industria-Metálica	X
IMU	Industria-Maquinaria	X
IPL	Industria-Plásticos	X
IPP	Industria-Papel	X
IPS	Industria-Pesca	X
IPT	Industria-Petróleo	X
ITB	Industria-Tabaco	X
ITX	Industria-Textil	X
IVD	Industria-Vidrio	X
111	Viviendas colectivas de carácter urbano; edificación abierta	✓
112	Viviendas colectivas de carácter urbano; en manzana cerrada	✓
113	Viviendas colectivas de carácter urbano; garajes, trasteros y locales en estructura	✓
121	Viviendas unifamiliares de carácter urbano; edificación aislada o pareada	✓
122	Viviendas unifamiliares de carácter urbano; en línea o manzana cerrada	✓
123	Viviendas unifamiliares de carácter urbano; garajes y porches en planta baja	X
131	Edificación rural; uso exclusivo de vivienda	✓
132	Edificación rural; anexos	X
211	Naves de fabricación y almacenamiento; fabricación en una planta	X
212	Naves de fabricación y almacenamiento; fabricación en varias plantas	X
213	Naves de fabricación y almacenamiento; almacenamiento	X
221	Garajes y aparcamientos; garajes	X
222	Garajes y aparcamientos; aparcamientos	X
231	Servicios de transporte; estaciones de servicio	✓
232	Servicios de transporte; estaciones	X
311	Edificio exclusivo; oficinas múltiples	✓
312	Edificio exclusivo; oficinas unitarias	✓
321	Edificio mixto; unido a viviendas	✓
322	Edificio mixto; unido a industria	✓
331	Banca y seguros; en edificio exclusivo	✓
332	Banca y seguros; en edificio mixto	✓

CODIIGO	USO DEL CATASTRO	ZONA CLIMÁTICA
411	Comercios en edificio mixto; locales comerciales y talleres	✓
412	Comercios en edificio mixto; galerías comerciales	✓
421	Comercios en edificio exclusivo; en una planta	✓
422	Comercios en edificio exclusivo; en varias plantas	✓
431	Mercados y supermercados; mercados	✓
432	Mercados y supermercados; hipermercados y supermercados	✓
511	Cubiertos; deportes varios	✓
512	Cubiertos; piscinas	✓
521	Descubiertos; deportes varios	X
522	Descubiertos; piscinas	X
531	Auxiliares; vestuarios, depuradoras, calefacción, etc.	✓
541	Espectáculos deportivos; estadios, plazas de toros	X
542	Espectáculos deportivos; hipódromos, canódromos, velódromos, etc.	X
611	Espectáculos varios; cubiertos	✓
612	Espectáculos varios; descubiertos	X
621	Bares musicales discotecas; en edificio exclusivo.	✓
622	Bares musicales discotecas; unido a otros usos	✓
631	Cines y teatros; cines	✓
632	Cines y teatros; teatros	✓
711	Con residencia; hoteles, hostales, moteles	✓
712	Con residencia; aparta-hoteles, bungalows	✓
721	Sin residencia; restaurantes	✓
722	Sin residencia; bares y cafeterías	✓
731	Exposiciones y reuniones; casinos y clubs sociales	✓
732	Exposiciones y reuniones; exposiciones y congresos	✓
811	Sanitarios con camas; sanatorios y clínicas	✓
812	Sanitarios con camas; hospitales	✓
821	Sanitarios varios; ambulatorios y consultorios	✓
822	Sanitarios varios; balnearios, casas de baños	✓
831	Beneficios y asistencia; con residencia (asilos, residencias, etc.)	✓
832	Beneficios y asistencia; sin residencia (comedores, clubs,	✓

CODIIGO	USO DEL CATASTRO	ZONA CLIMÁTICA
	guarderías, etc.)	
911	Culturales con residencia; internados	✓
912	Culturales con residencia; colegios mayores	✓
921	Culturales sin residencia; facultades, colegios, escuelas	✓
922	Culturales sin residencia; bibliotecas y museos	✓
931	Religiosos; conventos y centros parroquiales	✓
932	Religiosos; iglesias y capillas	✓
1011	Histórico-artísticos; monumentales	X
1012	Histórico-artísticos; ambientales o típicos	X
1021	De carácter oficial; administrativos	✓
1022	De carácter oficial; representativos	✓
1031	De carácter especial; penitenciarios, militares y varios	✓
1032	De carácter especial; obras urbanización interior	✓
1033	De carácter especial; campings	X
1034	De carácter especial; campos de golf	X
1035	De carácter especial; jardinería	X
1036	De carácter especial; silos y depósitos para sólidos (m3)	X
1037	De carácter especial; depósitos líquidos (m3)	X
1038	De carácter especial; depósitos gases (m3)	X

Donde:

✓ Diferente consumo térmico entre zonas climáticas

X Mismo consumo térmico independientemente de la zona climática

- Sin consumo térmico

ANEXO III. Correspondencia de la zona térmica del CTE con las zonas climáticas contempladas en el SES

Tabla 64. Correspondencia entre zona térmica del CTE[9] con zona climática de SES

Zona Climática SES	Provincia	Zona Climática CTE
Atlántico Norte	Pontevedra	C1
	La Coruña	C1
	Lugo	D1
	Oviedo	D1
	Santander	C1
	Bilbao	C1
	San Sebastián	D1
Mediterráneo	Málaga	A3
	Cádiz	A3
	Las Palmas	α3
	Tenerife	α3
	Almería	A4
	Castellón	B3
	Murcia	B3
	Mallorca	B3
	Tarragona	B3
	Valencia	B3
	Sevilla	B4
	Alicante	B4
	Córdoba	B4
	Huelva	A4
	Barcelona	C2
	Girona	D2
	Granada	C3
	Jaén	C4

Zona Climática SES	Provincia	Zona Climática CTE
Continental	Soria	E1
	Ávila	E1
	Burgos	E1
	León	E1
	Madrid	D3
	Guadalajara	D3
	Ciudad Real	D3
	Albacete	D3
	Lleida	D3
	Zaragoza	D3
	Huesca	D2
	Logroño	D2
	Salamanca	D2
	Segovia	D2
	Teruel	D2
	Valladolid	D2
	Zamora	D2
	Palencia	D1
	Pamplona	D1
	Vitoria	D1
	Badajoz	C4
	Cáceres	C4
	Toledo	C4
	Orense	D2
	Cuenca	D2

[9] *Para cada una de las provincias españolas se ha tomado la zona climática de la capital de provincia, según el "Apéndice B. Zonas Climáticas", del CTE.*

ANEXO IV. Superficies desagregadas por zona climática y uso de suelo en función del Catastro

Tabla 65. Superficie puntual m2

Uso de suelo	Atlántico Norte	Continental	Mediterráneo
1	-	72.161	1.092
4	293.370	1.096.771	808.741
5	1.494.941	3.105.579	5.543.425
12	2.193.924	6.842.593	8.078.924
13	10.873	144.724	121.011
14	-	104.157	720
15	60.194	946.211	402.697
16	192.197	1.428.462	692.531
17	341.409	1.416.424	2.066.240
18	1.308.035	1.399.974	4.613.985
19	31.539	105.600	56.986
20	168.368	1.192.004	544.641
21	675	33.497	57.367
22	16.060	204.293	404.872
23	83.163	344.845	350.441
24	163.758	436.668	1.404.927
25	41.669	71.484	18.717
26	72.858	146.453	64.127
27	395.723	158.720	1.239.995
28	92.205	142.394	84.830
29	18.618	1.157.406	369.353
30	735.356	702.313	2.123.336
31	74.138	814.473	265.001
32	488	62.252	3.680
33	41.115	251.119	288.970
34	16.006	-	-
35	70	7.585	326.557
36	-	-	10.085
37	1.280	68.056	56.245
38	77.583	213.290	152.688
39	-	5.019	493
40	2.193.924	6.841.077	8.064.164

Tabla 66. Superficie difusa m2

Uso de suelo	Atlántico Norte	Continental	Mediterráneo
2	196.660.565	466.525.103	753.465.626
3	122.585.982	401.140.426	595.373.591
4	12.451.538	40.788.860	43.343.950
5	24.603.608	41.806.409	91.458.782
6	2.199.705	6.662.749	10.966.761
7	634.194	950.826	783.632
8	4.754.315	3.111.636	1.681.525
9	1.019.087	4.845.289	5.484.907
10	5.810.917	19.012.912	47.405.326
11	4.897.923	13.922.551	17.019.164
12	1.824.401	8.602.014	7.108.182
13	1.984.538	4.510.556	4.859.776
14	2.056.406	7.620.642	5.481.302
15	17.090.395	42.825.445	47.502.319
16	1.422.050	8.774.615	8.154.927
17	537.508	3.789.820	3.810.616
18	32.075.124	59.173.649	101.467.936
19	9.687.859	22.983.323	9.317.244
20	2.465.314	12.577.607	7.650.626
21	548.745	12.973.184	2.758.263
22	371.593	3.593.268	1.666.536
23	297.007	509.584	1.008.962
24	1.450.893	3.103.566	3.251.023
25	275.957	989.550	270.439
26	8.199.579	3.588.988	3.427.622
27	2.199.290	1.363.087	1.710.796
28	2.504.598	5.140.832	4.058.485
29	1.129.039	15.693.839	16.568.924
30	5.768.762	9.580.395	5.148.995
31	2.939.708	4.508.453	9.385.826
32	346.580	808.725	737.019
33	240.253	993.279	793.018
34	714.991	74.891	207.341
35	486.609	707.302	2.059.367
36	70.892	256.462	107.709
37	888.433	1.574.576	2.187.917
38	179.126	359.279	396.004
39	44.306	152.654	108.528