

**Antonio Queralt Siles**

**Proyecto de viabilidad técnica y económica de las distintas tecnologías que hay disponibles en el mercado, para sustituir las energías fósiles por energías renovables en los sectores: industrial, transporte y servicios, de la provincia de Tarragona.**

**Trabajo Final de Máster**

**Dirigido por el Dr. Rodríguez Carabias, Joaquín Andrés**

**Máster en Ingeniería Industrial**



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona**

**2024**



# Índice

1	Introducción.....	5
1.1	Objeto .....	5
1.2	Alcance .....	5
1.3	Antecedentes .....	6
1.4	Normas y referencias.....	6
1.4.1	Disposiciones legales y normas .....	6
1.4.2	Programas de calculo .....	6
1.4.3	Plan de gestión de calidad aplicado .....	6
2	Consumo de energía fósil final en los distintos sectores.....	7
2.1	Sectores clave de consumo de energía fósil .....	7
2.1.1	Transporte .....	7
2.1.2	Industria .....	8
2.1.3	Residencial y servicios.....	8
2.2	Consumo de energía fósil en la provincia de Tarragona.....	14
2.2.1	Complejos industriales petroquímicos y químicos .....	14
2.2.2	Sector Transporte .....	19
2.2.3	Sector residencial .....	24
2.2.4	Sector servicios.....	28
3	Energías renovables disponibles en el mercado.....	31
3.1	Hidrogeno verde .....	31
3.1.1	Captación de la energía renovable.....	31
3.1.2	Electrólisis del agua .....	31
3.1.3	Purificación y almacenamiento.....	32
3.2	Energía Solar Fotovoltaica .....	32
3.2.1	Funcionamiento de la energía fotovoltaica .....	32
3.2.2	Componentes de un sistema fotovoltaico.....	33
3.2.3	Funcionamiento de una célula fotovoltaica.....	33
3.3	Energía Eólica.....	35
3.3.1	Funcionamiento y características de la energía eólica .....	35
3.4	Energía Hidroeléctrica.....	37
3.4.1	Funcionamiento de las centrales hidráulicas.....	37
3.5	Energía Solar Térmica de Concentración.....	40
3.6	Biometano.....	42
3.7	Aeroterminia .....	44
3.8	Tecnología calentadores eléctricos y tanques fríos y calientes de sales fundidas .....	45

4	Selección de la fuente de energía renovable más adecuada para sustituir a los combustibles fósil en cada uno de los sectores y subsectores .....	47
4.1	Sector transporte.....	47
4.1.1	Vehículos pesados.....	47
4.1.2	Turismos .....	49
4.2	Sector industrial .....	50
4.2.1	Rango de temperaturas inferiores a 150°C .....	50
4.2.2	Rango de temperatura entre 150°C y 400°C .....	52
4.2.3	Rango de temperatura superior a 400°C.....	52
4.3	Sector residencial y servicios .....	53
5	Alternativas para sustituir la energía fósil por energía renovable en la provincia de Tarragona .....	55
5.1	Consumo de energía fósil en el sector transporte .....	55
5.2	Consumo de energía fósil final en el sector Residencial y Servicios .....	56
5.3	Consumo de energía fósil final en sector industrial en Tarragona .....	58
5.4	Selección de la fuente de energía renovable más adecuada para sustituir a los combustibles fósil en cada uno de los sectores y subsectores de la provincia de Tarragona .....	60
5.4.1	Sector transporte .....	60
5.4.2	Sector residencial y servicios .....	63
5.4.3	Sector industrial .....	65
6	Balance económico .....	80
7	Conclusiones.....	82
8	Referencias .....	84
9	Anexos .....	89
9.1	Consumo de energía final sector residencial y servicios.....	89
9.1.1	Sector residencial .....	89
9.1.2	Sector servicios.....	90
9.2	Análisis DAFO.....	92
9.2.1	Sector transporte .....	92
9.2.2	Sector industrial .....	97
9.2.3	Sector residencial y servicios .....	103
9.3	Colectores solares Fresnel.....	107
9.3.1	Perfiles horarios de radiación en Tarragona.....	107
9.4	Fichas técnicas captadores solares .....	111
9.4.1	Captador solar térmico CSV SLIM 20 .....	111
9.4.2	Captador solar térmico de concentración FLT20 de SOLATOM.....	111

## 1 Introducción

### 1.1 Objeto

La creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado a gobiernos, empresas y comunidades de todo el mundo a buscar alternativas sostenibles a las energías fósiles. En este contexto, la transición hacia energías renovables se presenta como una solución esencial para mitigar los impactos ambientales negativos y fomentar un desarrollo sostenible en la sociedad.

Según las previsiones de la Unión Europea, para el año 2050 se habrán tenido que reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 90%<sup>[30]</sup>. El objetivo principal es evaluar de manera integral las opciones tecnológicas disponibles y su aplicabilidad específica en la región. Este proyecto busca proporcionar un análisis detallado que permita tomar decisiones informadas sobre la adopción de energías renovables, promoviendo así una transición eficiente y efectiva hacia un modelo energético más sostenible. La sustitución de las energías fósil pasa por aplicar las diferentes energías y tecnologías disponibles actualmente en el mercado, que en este caso son: Eólica, Solar Fotovoltaica, Solar Térmica, Aerotermia, Biometano y el Hidrógeno Verde.

El sector industrial de Tarragona es uno de los más importantes a nivel nacional, caracterizado por una fuerte presencia de industrias químicas, petroquímicas y energéticas. La transición a energías renovables en este sector no solo reduciría significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también podría mejorar la competitividad y sostenibilidad de las empresas locales.

Por otro lado, el sector del transporte, tanto de mercancías como de pasajeros, es otro gran consumidor de combustibles fósiles. La electrificación del transporte y el uso de biocombustibles y otras tecnologías renovables podrían transformar este sector, ofreciendo beneficios tanto económicos como ambientales.

Finalmente, el sector residencial y servicios juega un papel crucial en la economía local y tiene un gran potencial para adoptar soluciones energéticas sostenibles que no solo reduzcan las emisiones, sino que también mejoren la eficiencia energética y la resiliencia ante las fluctuaciones del mercado energético.

### 1.2 Alcance

El objetivo principal del trabajo es el estudio de la viabilidad técnica y económica de la sustitución de las energías fósil por energías renovables en la provincia de Tarragona en los sectores industrial, transporte, residencial y servicios. Se desarrollarán los siguientes apartados:

- Estudio de los consumos de energía final actual en la provincia de Tarragona para los diferentes sectores.
- Estudio de las diferentes energías/tecnologías renovables disponibles en el mercado.
- Valoración de la viabilidad de las diferentes energías renovables como sustitutas de las tecnologías actuales en los diferentes sectores.

- El alcance del sector transporte solo incluye el transporte por carretera (turismos, motocicletas, camiones, autobuses, etc.). Quedan fuera del alcance la aviación y la navegación domésticas por falta de valor de los consumos en estos subsectores.
- Valoración económica del coste añadido que supone hacer la transición energética en la provincia de Tarragona.

### **1.3 Antecedentes**

El proyecto se ha elaborado a partir de las condiciones iniciales siguientes:

- El proyecto se realizaría antes del año 2050, para poder cumplir con la reducción del 90% de las emisiones actuales de dióxido de carbono.
- Se presupone que la extensión de terreno para la implantación de los captadores solares para cubrir la demanda del sector en cuestión es suficiente con la disponible en la provincia de Tarragona.
- Se plantea la hipótesis que el consumo en el año 2050 será el mismo que el actual para no tener que hacer suposiciones inventadas.
- Se asume que toda la electricidad que se consumirá en el año 2050 vendrá de fuente renovable, no como actualmente que proviene en gran parte de procesos productivos que generan dióxido de carbono.
- Los aspectos legales quedan fuera del alcance del proyecto.

### **1.4 Normas y referencias**

#### **1.4.1 Disposiciones legales y normas**

Normas:

- UNE 157001 Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

#### **1.4.2 Programas de calculo**

En este proyecto se han utilizado los siguientes softwares de cálculo y diseño, ejecutados en Microsoft Windows:

- Microsoft Excel

#### **1.4.3 Plan de gestión de calidad aplicado**

No se aplica en este trabajo

## 2 Consumo de energía fósil final en los distintos sectores

La energía fósil, compuesta principalmente por petróleo (crudo y productos petrolíferos) y gas natural, ha sido durante mucho tiempo la columna vertebral del sistema energético mundial.

### 2.1 Sectores clave de consumo de energía fósil

Los sectores que dependen en gran medida de la energía fósil son fundamentales para el funcionamiento de la sociedad moderna y la economía global. A continuación, se examinan brevemente estos sectores:

#### 2.1.1 Transporte

El sector del transporte es uno de los mayores consumidores de energía fósil a nivel mundial. La mayoría de los vehículos utilizan gasolina o diésel derivados del petróleo como combustible. Esto incluye automóviles, camiones, aviones, barcos y trenes. La demanda de energía fósil en el transporte está influenciada por factores como el crecimiento económico, los precios del petróleo, las políticas gubernamentales y las preferencias del consumidor. Las tendencias actuales muestran un aumento en el desarrollo de tecnologías y la electrificación de vehículos como medidas para reducir la dependencia de los combustibles fósiles en este sector. En la Figura 1, podemos ver los gramos de CO<sub>2</sub> que se emite por pasajero y kilómetro de las diferentes modalidades de transporte<sup>[1]</sup>.

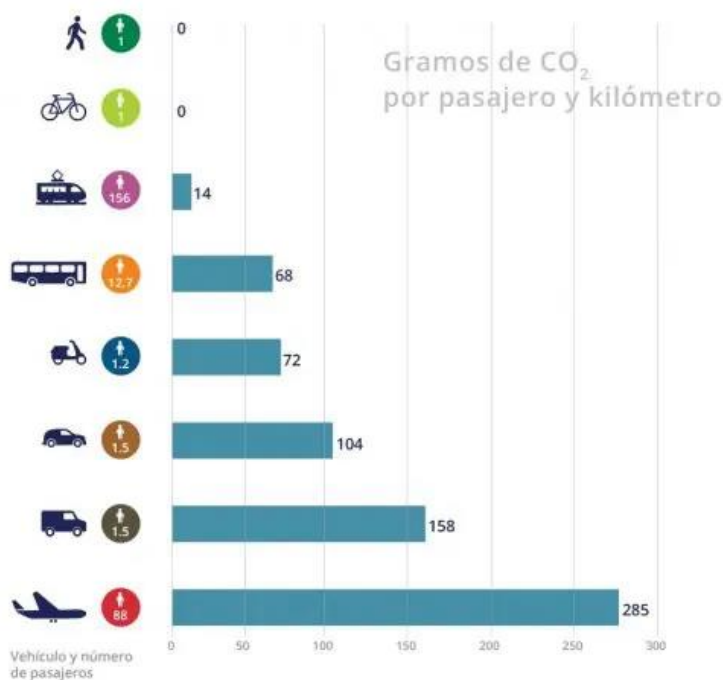


Figura 1. Gramos de CO<sub>2</sub> por pasajero y kilómetro de las diferentes modalidades de transporte en la actualidad.

### 2.1.2 Industria

La industria es otro sector importante en términos de consumo de energía fósil. Las actividades industriales como la fabricación, la minería, la agricultura y la construcción requieren una gran cantidad de energía, principalmente en forma de electricidad y calor. Los procesos industriales intensivos en energía, como la fundición de metales, la producción de cemento y la fabricación de productos químicos, dependen del carbón, el gas natural y el petróleo. La demanda de energía fósil en la industria está influenciada por factores como la actividad económica, la tecnología utilizada, las regulaciones ambientales y las prácticas de eficiencia energética.



Figura 2. Planta de producción industria petroquímica.

### 2.1.3 Residencial y servicios

El consumo de energía fósil en los sectores residencial y de servicios también es considerable a nivel nacional. En los hogares, la calefacción, la refrigeración, el agua caliente sanitaria (ACS) y el suministro eléctrico son las principales fuentes de consumo de energía fósil. En el sector de servicios, que incluye edificios comerciales, gubernamentales, educativos y de ocio, la demanda de energía eléctrica se debe principalmente a la calefacción, la refrigeración, la iluminación y las operaciones diarias. Una gran parte de esta energía eléctrica utilizada proviene de procesos con elevadas emisiones de CO<sub>2</sub>. Las tendencias de consumo en estos sectores están influenciadas por factores como el tamaño y la eficiencia de los edificios, los hábitos de consumo de energía, las políticas de eficiencia energética y los avances tecnológicos.

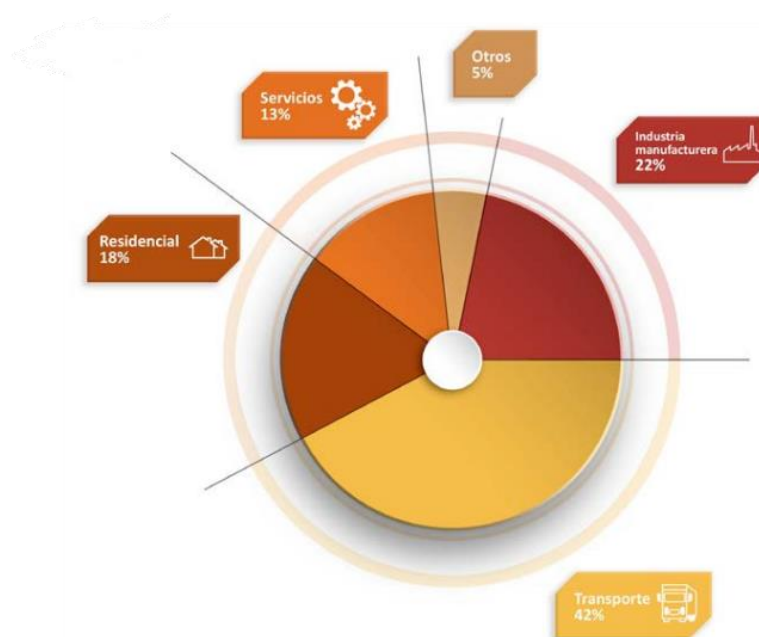


Figura 3. Estructura sectorial del consumo de energía final en España del año 2016.

En la Figura 3 se puede ver el cómo se distribuye el consumo de energía final en España en los diferentes sectores. El mayor consumo de energías fósiles es el transporte con un 42% del total, le sigue la industria manufacturera con un 22%. Por detrás se encuentra el sector residencial con un 18%. El último gran sector es el Servicios con un 13%. El porcentaje restante corresponde a la “otros” servicios con un consumo final de energía menor en comparación al resto.

Se puede apreciar que el sector transporte es el que mayor consumo de energía final tiene a nivel nacional, se considera necesario tratar de averiguar que modos de transporte hace que el consumo de energía final sea tan grande. En la Figura 4 se aprecia que el mayor consumo dentro del sector transporte es el transporte por carretera, con un 79,6% del consumo final de energía. Dentro de este grupo, los turismos son los que mayor consumo tienen por la gran abundancia de estos en la sociedad, alcanzando un 42,5%, le siguen los camiones y vehículos ligeros (VL) con un 32,3%. Los autobuses que representan un pequeño grupo con el 3,9%. Por último, las motocicletas con un 0,9%. El transporte aéreo tiene un consumo de energía final total del 17,7%, le sigue el marítimo con un 1,8%. Por último, tenemos el ferroviario con un 0,9%.

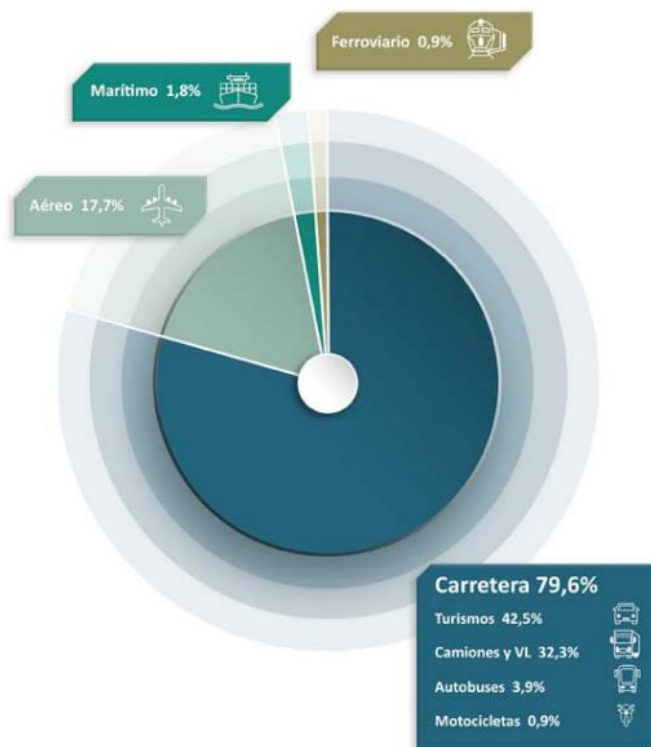


Figura 4. Estructura del consumo energético del sector del transporte por modos y tipos de vehículos del año 2016.

A continuación, en la Tabla 1, se pueden ver los consumos del año 2022 a nivel nacional para los diferentes sectores (industrial, transporte y servicios) <sup>[2]</sup>.

Tabla 1. Consumos de energía final de energía fósil en TWh del año 2022 en España para los diferentes sectores [2].

	Petróleo crudo y productos petrolíferos	Gases Licuados de Petróleo (GLP)	Gasolina de motor (sin fracción biofuel)	Otro queroseno	Gasóleo y diésel (sin fracción biofuel)	Fuelóleo	Coque de petróleo	Gas Natural	Consumo energía final por actividad (TWh/año)	Consumo energía final total por actividad (%)	
<b>Sector industrial</b>	Hierro y acero	0,355	0,0910	0	0	0,129	0,135	0	6,04	6,75	0,854
	Químico y petroquímico	0,579	0,0174	0	122·10 <sup>-6</sup>	0,379	0,182	0	19,3	20,5	2,59
	Metales no férreos	0,383	0,0151	0	316·10 <sup>-6</sup>	0,183	0,184	0	4,65	5,42	0,686
	Minerales no metálicos	11,0	0,730	0	0	1,13	0,442	8,70	21,2	43,2	5,47
	Equipos de transporte	0,132	0,0154	0	0	0,117	0	0	2,23	2,49	0,315
	Maquinaria	0,769	0,0998	0	0	0,645	0,0238	0	3,98	5,52	0,699
	Industrias extractivas	1,34	0,0223	0	0	1,29	0,0263	0	1,82	4,50	0,570
	Comida, bebidas y tabaco	2,82	0,435	0	0	1,81	0,584	0	10,5	16,1	2,04
	Pasta de papel, papel y artes gráficas	0,772	0,0101	0	0	0,461	0,301	0	6,78	8,32	1,05
	Madera y productos de madera	0,157	0,0064	0	0	0,132	0,0194	0	0,352	0,667	0,0840
	Construcción	5,52	0,0426	0,0196	0	5,18	0,277	0	2,87	13,9	1,76
	Productos textiles y cuero	0,187	0,0251	0	0	0,144	0,0177	0	1,32	1,69	0,214
	No especificado en otras partidas-Industria	0,296	0,0382	0	450·10 <sup>-6</sup>	0,231	0,0259	0	0,956	1,55	0,196
	<b>Consumo energía final Sector Industrial</b>	<b>2,09</b>	<b>0,133</b>	<b>1,70·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,100·10<sup>-3</sup></b>	<b>1,02</b>	<b>0,191</b>	<b>0,748</b>	<b>7,05</b>	<b>11,2</b>	<b>1,42</b>
	<b>Consumo energía final Sector Industrial (%)</b>	<b>18,7</b>	<b>1,19</b>	<b>1,52·10<sup>-2</sup></b>	<b>8,93·10<sup>-4</sup></b>	<b>9,11</b>	<b>1,71</b>	<b>6,68</b>	<b>62,9</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Sector transporte</b>	Ferrocarril	53,0·10 <sup>-3</sup>	0	0	0	53,0·10 <sup>-3</sup>	0	0	0,106	0,106	0,0130
	Carretera	267	0,121	5,82	0	20,8	0	0	0,246	294	37,2
	Aviación doméstica	2,50	0	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,316
	Navegación doméstica	1,10	0	8,50·10 <sup>-3</sup>	0	0,625	0,467	0	-	2,20	0,278
	Transporte por tuberías	0	0	0	0	0	0	0	0,103	0,103	0,0130
	No especificado en otras categorías-Transporte	26,4·10 <sup>-3</sup>	0	0,90·10 <sup>-3</sup>	0	25,6·10 <sup>-3</sup>	0	0	0	52,9·10 <sup>-3</sup>	7,00·10 <sup>-3</sup>
	<b>Consumo energía final Sector Transporte</b>	<b>304</b>	<b>0,121</b>	<b>5,83</b>	<b>0</b>	<b>21,5</b>	<b>0,467</b>	<b>0</b>	<b>0,349</b>	<b>332</b>	<b>42,0</b>
<b>Consumo energía final Sector Transporte (%)</b>	<b>91,6</b>	<b>3,64·10<sup>-2</sup></b>	<b>1,76</b>	<b>0</b>	<b>6,48</b>	<b>0,140</b>	<b>0</b>	<b>0,105</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	
<b>Otros sectores</b>	Comercio y servicios públicos	1,21	0,171	55,0·10 <sup>-3</sup>	0	0,972	16,3·10 <sup>-3</sup>	0	1,85	4,27	0,541
	Hogares	2,47	1,01	0	0	1,46	0	0	3,12	8,06	1,02
	Agricultura/silvicultura	2,02	56,4·10 <sup>-3</sup>	21,9·10 <sup>-3</sup>	0	1,94	2,00·10 <sup>-3</sup>	0	87,5·10 <sup>-3</sup>	4,13	0,523
	Pesca	0,249	0,200·10 <sup>-3</sup>	5,90·10 <sup>-3</sup>	0	0,243	0	0	10,5·10 <sup>-3</sup>	0,509	0,0640
	No especificado en otras categorías - Otros	66,4·10 <sup>-3</sup>	0	0,30·10 <sup>-3</sup>	0	8,10·10 <sup>-3</sup>	4,00·10 <sup>-2</sup>	0	10,0·10 <sup>-3</sup>	0,125	0,0160
<b>Consumo energía final total por tipo de energía (TWh/año)</b>	<b>607</b>	<b>3,04</b>	<b>11,8</b>	<b>988·10<sup>-6</sup></b>	<b>60,5</b>	<b>3,40</b>	<b>9,45</b>	<b>95,1</b>	<b>790</b>	<b>100</b>	
<b>Consumo energía final por tipo de energía (%)</b>	<b>76,8</b>	<b>0,385</b>	<b>1,49</b>	<b>0</b>	<b>7,66</b>	<b>0,430</b>	<b>1,20</b>	<b>12,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	

A continuación, en la Tabla 2, se pueden ver los consumos del año 2022 en Cataluña para los diferentes sectores (industrial, transporte y servicios) <sup>[3]</sup>.

Tabla 2. Consumos de energía final de energía fósil en GWh del año 2022 en Cataluña para los diferentes sectores <sup>[3]</sup>.

	Coque de petróleo	Fuelóleo	Gasolina y Gasóleo	Gases Refinería	Gases Licuados de Petróleo (GLP)	Gas Natural	Consumo energía final por actividad (GWh/año)	Consumo energía final total por actividad (%)	
Sector industrial	Alimentación, bebidas y tabaco	0	14,0	130	0	4,33·10 <sup>3</sup>	4,49·10 <sup>3</sup>	4,51	
	Otros productos minerales no metálicos	261	47,7	62,8	0	652	1,03·10 <sup>3</sup>	1,04	
	Artes gráficas	0	0	3,49	0	1,16	107	0,113	
	Cemento artificial	2,36·10 <sup>3</sup>	23,3	17,4	0	1,16	0	2,40·10 <sup>3</sup>	2,41
	Cuero y calzado	0	0	10,5	0	0	50,0	60,5	6,08·10 <sup>-2</sup>
	Extractivas no energéticas	0	0	213	0	1,16	106	320	0,322
	Madera, corcho y muebles de madera	0	1,16	20,9	0	2,33	25,6	50,0	5,03·10 <sup>-2</sup>
	Industria variada	0	0	1,16	0	1,16	6,98	9,30	9,35·10 <sup>-3</sup>
	Metalúrgica no férrea	0	0	14,0	0	1,16	395	411	0,413
	Pasta de papel, papel y cartón	0	5,82	22,1	0	2,33	2,51·10 <sup>3</sup>	2,54·10 <sup>3</sup>	2,55
	Químico y petroquímico	0	69,8	47,7	33,7	6,98	8,14·10 <sup>3</sup>	8,30·10 <sup>3</sup>	8,34
	Siderurgia y fundición férrea	2,33	0	9,30	0	2,33	754	768	0,772
	Textil y confección	0	4,65	8,14	0	1,16	715	729	0,733
	Transformado de caucho	0	0	1,16	0	1,16	59,3	61,6	6,19·10 <sup>-2</sup>
	Transformado metálico	0	0	93,0	0	25,6	1,06·10 <sup>3</sup>	1,18·10 <sup>3</sup>	1,19
	Transformados de plástico	0	0	19,8	0	6,98	293	320	0,322
	Cristal	0	0	5,82	0	2,33	1,13·10 <sup>3</sup>	1,14·10 <sup>3</sup>	1,15
	<b>Consumo energía final Sector Industrial (GWh/año)</b>	<b>2,62·10<sup>3</sup></b>	<b>166</b>	<b>680</b>	<b>33,7</b>	<b>88,4</b>	<b>20,3·10<sup>3</sup></b>	<b>23,9·10<sup>3</sup></b>	<b>-</b>
<b>Consumo energía final Sector Industrial (%)</b>	<b>11,0</b>	<b>0,695</b>	<b>2,85</b>	<b>0,141</b>	<b>0,370</b>	<b>84,9</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	
Sector transporte	Ferrocarril	0	0	20,9	0	0	20,9	2,10·10 <sup>-2</sup>	
	Carretera	0	0	53,8·10 <sup>3</sup>	0	223	57,2·10 <sup>3</sup>	57,5	
	<b>Consumo energía final Sector Transporte (GWh/año)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>53,8·10<sup>3</sup></b>	<b>0</b>	<b>223</b>	<b>57,2·10<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	
	<b>Consumo energía final Sector Transporte (%)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>94,1</b>	<b>0</b>	<b>0,390</b>	<b>0,647</b>	<b>-</b>	
Otros sectores	Comercio y servicios públicos	0	0	1,92·10 <sup>3</sup>	0	411	3,87·10 <sup>3</sup>	6,20·10 <sup>3</sup>	6,23
	Residencial	0	0	2,18·10 <sup>3</sup>	0	1,04·10 <sup>3</sup>	9,00·10 <sup>3</sup>	1,22·10 <sup>4</sup>	12,3
<b>Consumo energía final por tipo de energía (GWh/año)</b>		<b>5,25·10<sup>3</sup></b>	<b>333</b>	<b>58,6·10<sup>3</sup></b>	<b>33,7</b>	<b>1,76·10<sup>3</sup></b>	<b>33,5·10<sup>3</sup></b>	<b>99,5·10<sup>3</sup></b>	<b>100</b>
<b>Consumo energía final por tipo de energía (%)</b>		<b>5,28</b>	<b>0,335</b>	<b>58,9</b>	<b>3,39·10<sup>-2</sup></b>	<b>1,79</b>	<b>33,7</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

En la Tabla 1 y 2 se puede ver los consumos de energía final del año 2022 tanto a nivel nacional como en Cataluña respectivamente. El mayor consumo lo tenemos en el sector transporte, más concretamente en el transporte por carretera. Esta tendencia se repite tanto en Cataluña como en España.

## **2.2 Consumo de energía fósil en la provincia de Tarragona**

La provincia de Tarragona ha sido testigo de un crecimiento económico significativo en las últimas décadas, lo que ha llevado a un aumento en el consumo de energía, entre ellas de petróleo y gas natural <sup>[4]</sup>. Varias razones contribuyen a que Tarragona sea una de las principales consumidoras de energías fósiles en España.

### **2.2.1 Complejos industriales petroquímicos y químicos**

Tarragona alberga una variedad de instalaciones industriales, desde refinerías de petróleo hasta plantas petroquímicas y fábricas de productos químicos especializados. Estas instalaciones constituyen un componente vital de la economía de la región, pero también representan una demanda significativa de energía para su operación.

La industria petroquímica y química es conocida por ser intensiva en energía, ya que requiere grandes cantidades de calor y electricidad para llevar a cabo una variedad de procesos de fabricación. Desde la destilación de petróleo crudo hasta la síntesis de productos químicos complejos, cada etapa del proceso industrial demanda energía en forma de calor para reacciones químicas, así como electricidad para el funcionamiento de maquinaria y equipos.

Para satisfacer esta demanda energética, la industria petroquímica y química en Tarragona depende en gran medida de los combustibles fósiles, como el gas natural y el petróleo. Todos ellos son materia prima esencial en muchos procesos de producción química.

El consumo de energía fósil en la industria petroquímica y química de Tarragona conlleva importantes implicaciones ambientales, incluyendo la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. La combustión de combustibles fósiles contribuye al cambio climático y a la contaminación del aire, lo que puede tener efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente local.

Si bien la industria petroquímica y química de Tarragona enfrenta desafíos en términos de consumo de energía fósil y su impacto ambiental asociado, también presenta oportunidades para la innovación y la transición hacia formas más sostenibles de producción. La implementación de tecnologías más eficientes, la diversificación de fuentes de energía y la promoción de prácticas de producción más limpias son aspectos clave que pueden ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar su impacto ambiental.



Figura 5. Industria química y petroquímica en Tarragona.

En la Tabla 3, podemos ver los consumos de energía final para las diferentes energías fósiles utilizadas y actividades que se realizan en el sector industrial de la provincia de Tarragona. Los valores han sido extraídos del Instituto Catalán de la Energía (ICAEN)

Se aprecia claramente como el consumo de energía mayoritario de la provincia se destina al sector Químico y petroquímico. De la misma forma, el consumo de Gas Natural de la provincia de Tarragona en el sector industrial destaca por encima del resto.

Tabla 3. Consumo de energía final en GWh en el sector industrial en la provincia de Tarragona del año 2020 <sup>[3]</sup>.

	Coque de petróleo	Fueloil	Gas Natural	Gasoil	Gases Refinería	Gases Licuados de Petróleo (GLP)	Residuos NO renovables	Consumo energía final total por actividad (GWh/año)	Consumo energía final total por actividad (%)
Alimentación, bebidas y tabaco	0	4,65	399	15,1	0	3,49	0	422	4,91
Otros productos minerales no metálicos	0	9,30	89,6	6,98	0	0	0	106	1,23
Artes gráficas	0	0	1,16	0	0	0	1,60	2,76	0,032
Cemento artificial	588	6,98	0	1,16	0	0	176	772	8,98
Cuero y calzado	0	0	12,8	1,16	0	0	0	14,0	0,163
Extractivas no energéticas	0	0	3,49	34,9	0	0	0	38,4	0,447
Madera, corcho y muebles de madera	0	0	0	2,33	0	0	0	2,33	0,271
Industria variada	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metalúrgica no férrea	0	0	5,82	0	0	0	0	5,82	0,677
Pasta de papel, papel y cartón	0	0	519	4,65	0	1,16	0	525	6,10
Químico	0	64,0	5,44·10 <sup>3</sup>	17,4	33,7	0	487	6,05·10 <sup>3</sup>	70,3
Siderurgia y fundición férrea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Textil y confección	0	0	19,8	0	0	0	0	19,8	0,230
Transformados de caucho	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transformados metálicos	0	0	115	3,49	0	2,33	0	121	1,41
Transformados plásticos	0	0	12,8	2,33	0	2,33	0	17,5	0,203
Cristal	0	0	499	0	0	0	0	499	5,80
<b>Consumo energía final por tipo de energía (GWh/año)</b>	<b>588</b>	<b>84,9</b>	<b>7,12·10<sup>3</sup></b>	<b>89,5</b>	<b>33,7</b>	<b>9,31</b>	<b>662</b>	<b>8,60·10<sup>3</sup></b>	<b>100</b>
<b>Consumo energía final por tipo de energía (%)</b>	<b>6,84</b>	<b>0,987</b>	<b>82,8</b>	<b>1,04</b>	<b>0,392</b>	<b>0,108</b>	<b>7,70</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

En la Tabla 3, se recogen los consumos de energía final para las diferentes energías fósiles utilizadas y actividades que se realizan en el sector industrial de la provincia de Tarragona. Se aprecia claramente como el consumo de energía mayoritario se destina al sector Químico y petroquímico. De la misma forma, el consumo de Gas Natural de la provincia de Tarragona en el sector industrial destaca por encima del resto. En relación con lo que se comentaba antes tiene sentido, ya que Tarragona tiene un polo petroquímico muy importante a nivel nacional, lo que conlleva un gran consumo energético.

En la Figura 6, se muestra la evolución del consumo de energía final en el sector industrial en Cataluña desde el año 1990 al año 2019<sup>[3]</sup>. Esto ayudará a hacernos una idea de cómo puede ir evolucionando a lo largo de los años este consumo. El gráfico de la Figura 6, tiene en cuenta las siguientes formas de energía: carbón, productos petrolíferos, gas natural, energía eléctrica, residuos industriales no renovables y energías renovables empleadas en el sector industrial en Cataluña.

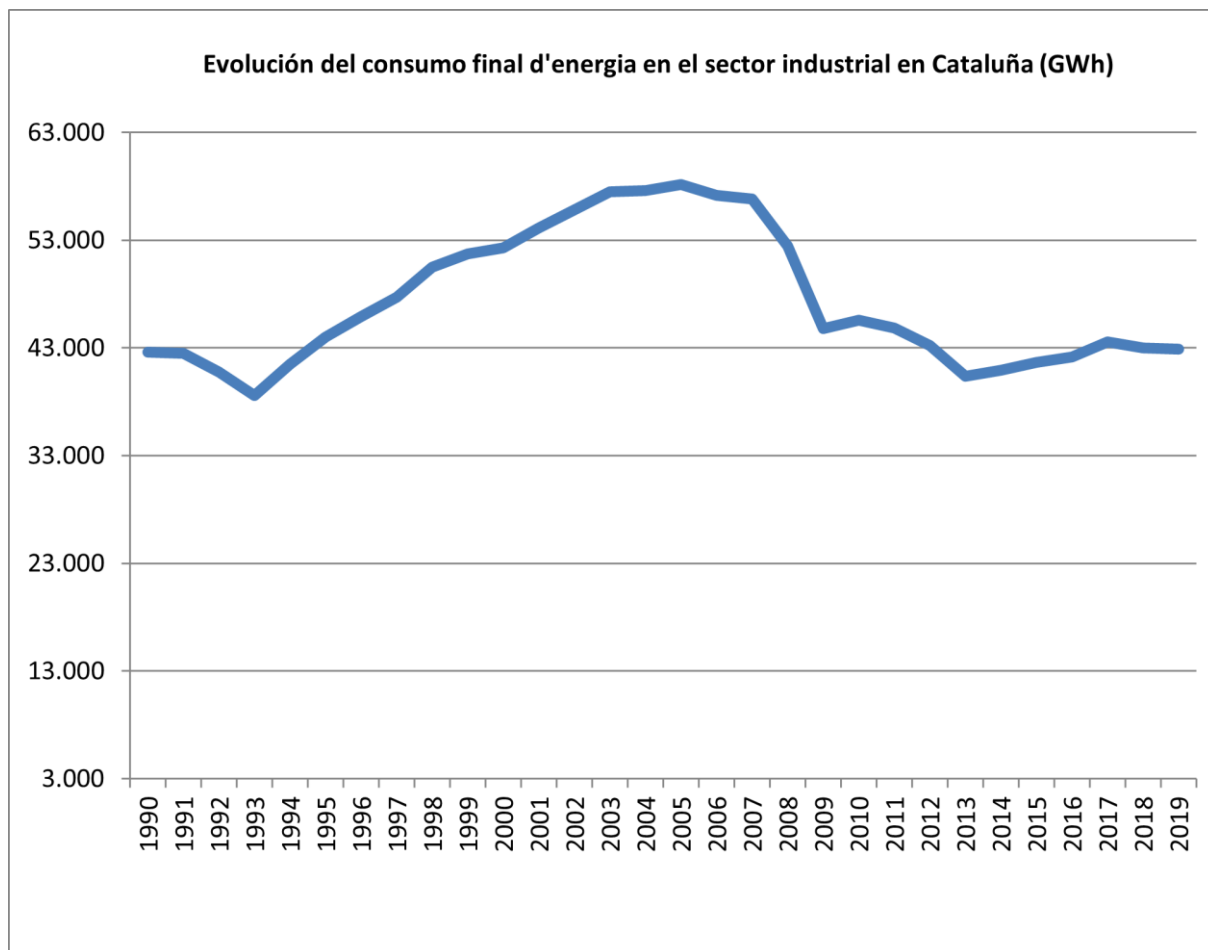


Figura 6. Evolución del consumo de energía final en el sector industrial en Cataluña del año 1990 al 2022.

Se puede observar que los mayores consumos de energía final en el sector industrial de Cataluña se han producido entre el 2000 y 2008. A partir de 2008, el consumo se ha mantenido en los mismos niveles que en 1990.

Por otro lado, lo más importante es determinar qué tipo de energía se está utilizando, por ello, en la Figura 7 se representa la evolución del peso de las diferentes fuentes de energía final del sector industrial en Cataluña entre los años 1990 y 2019 [3].

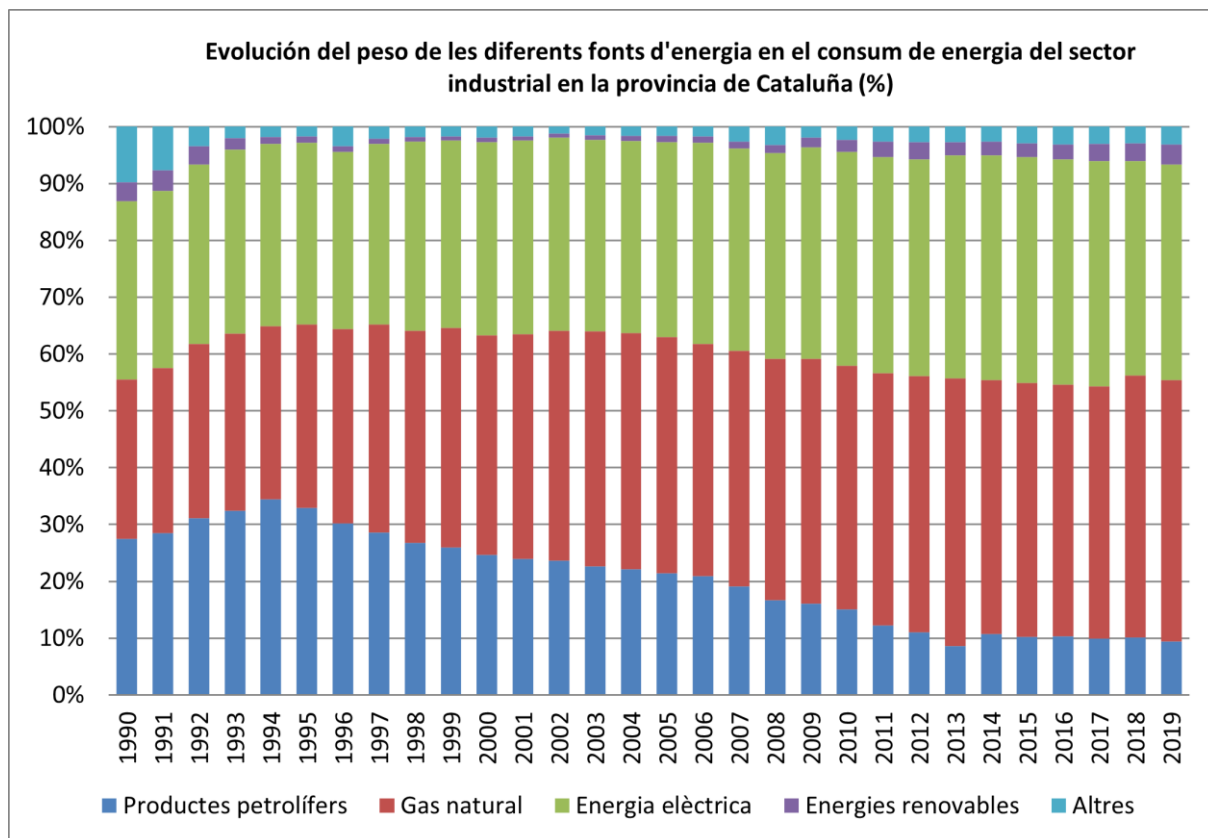


Figura 7. Evolución del peso de las diferentes fuentes de energía en el consumo de energía en el sector industrial en Cataluña del año 1990 al 2022.

Se puede apreciar como la utilización de productos petrolíferos ha ido disminuyendo progresivamente a lo largo de los años, desde un 28% hasta un 10% aproximadamente. Esta disminución ha implicado un aumento del uso del Gas Natural en el sector industrial, desde un 25% hasta un 43%. El consumo de energía eléctrica se ha mantenido constante a lo largo de los años en un valor de 35%. Las energías renovables aumentan su uso y se abren paso en el sector industrial a un ritmo lento, solo un 5% en el 2019.

### 2.2.2 Sector Transporte

La provincia de Tarragona se caracteriza por contar con una infraestructura de transporte terrestre bien desarrollada, lo que la convierte en un importante centro de actividad para el movimiento de pasajeros y mercancías.

Tarragona cuenta con una red de carreteras que conecta la provincia con otras regiones de España y Europa. Estas carreteras incluyen autopistas, autovías y carreteras secundarias, proporcionando acceso a áreas urbanas, industriales, comerciales y turísticas. La extensa red de carreteras facilita el movimiento de personas y mercancías dentro y fuera de la provincia, lo que contribuye al aumento del tráfico vehicular.

El aumento del tráfico de vehículos, tanto de pasajeros como de carga, es una característica distintiva del transporte terrestre en Tarragona. La movilidad de la población local, así como el transporte de bienes y productos a través de la provincia, dependen en gran medida de la utilización de vehículos de motor. Esta actividad de transporte genera una demanda constante de combustibles fósiles, como gasolina y diésel, para alimentar los motores de combustión interna de los vehículos.

El incremento del tráfico de vehículos en Tarragona contribuye directamente al consumo de combustibles fósiles en la provincia. Los automóviles, camiones y autobuses que circulan por las carreteras consumen grandes cantidades de gasolina y diésel, lo que se traduce en una demanda significativa de productos derivados del petróleo. Esta dependencia de los combustibles fósiles para el transporte terrestre es una de las principales razones del alto consumo de energía en la provincia.

En el estudio quedan excluidos los consumos de energía final de la aviación y la navegación domésticas por falta de datos oficiales actualizados acerca de estos subsectores. Solo se estudiarán las diferentes modalidades de transporte terrestre.



Figura 8. Diferentes tipos de transporte terrestre.

En la Tabla 4, se presentan los consumos de energía final del sector transporte en Cataluña en el año 2022.

Tabla 4. Consumo de energía final en GWh en el sector transporte en Cataluña del año 2022 <sup>[3]</sup>.

	Petróleo crudo y productos petrolíferos	Gases Licuados de Petróleo (GLP)	Gasolina de motor (sin fracción biofuel)	Gasóleo y diésel (sin fracción biofuel)	Fuelóleo	Gas Natural	Consumo energía final total por actividad (GWh/año)	Consumo energía final total por actividad (%)
<b>Ferrocarril</b>	-	0	0	20,9	0	0	20,9	0,0350
<b>Carretera</b>	5,29·10 <sup>3</sup>	223	12,2·10 <sup>3</sup>	41,6·10 <sup>3</sup>	0	370	59,7·10 <sup>3</sup>	99,5
<b>Transporte por tuberías</b>	0	0	0	0	0	203	203	0,383
<b>No especificado en otras categorías-Transporte</b>	52,0	0	2,00	51,0	0	0	105	0,175
<b>Consumo energía final por tipo de energía (MWh/año)</b>	<b>6,02·10<sup>3</sup></b>	<b>223</b>	<b>1,22·10<sup>4</sup></b>	<b>4,17·10<sup>4</sup></b>	<b>0</b>	<b>573</b>	<b>6,00·10<sup>4</sup></b>	<b>100</b>
<b>Consumo energía final por tipo de energía (%)</b>	<b>10,0</b>	<b>0,371</b>	<b>20,3</b>	<b>69,5</b>	<b>0</b>	<b>0,955</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

En la Tabla 4 podemos ver los consumos de energía final del sector transporte en Cataluña en el año 2022. Se tuvo un consumo de 11600 MWh/año. La mayor parte de este proviene del transporte por carretera que incluye, turismos, motocicletas, vehículos pesados, entre otros. Le sigue la aviación doméstica y la navegación.

En la Figura 9. se muestra la evolución del consumo de energía final en el sector transporte en Cataluña desde el año 1990 al año 2019 <sup>[3]</sup>. Esto ayudará a hacernos una idea de cómo puede ir evolucionando a lo largo de los años este consumo. El gráfico de la Figura 9, tiene en cuenta las siguientes formas de energía: carbón, productos petrolíferos, gas natural, energía eléctrica, residuos industriales no renovables y energías renovables empleadas en el sector transporte.

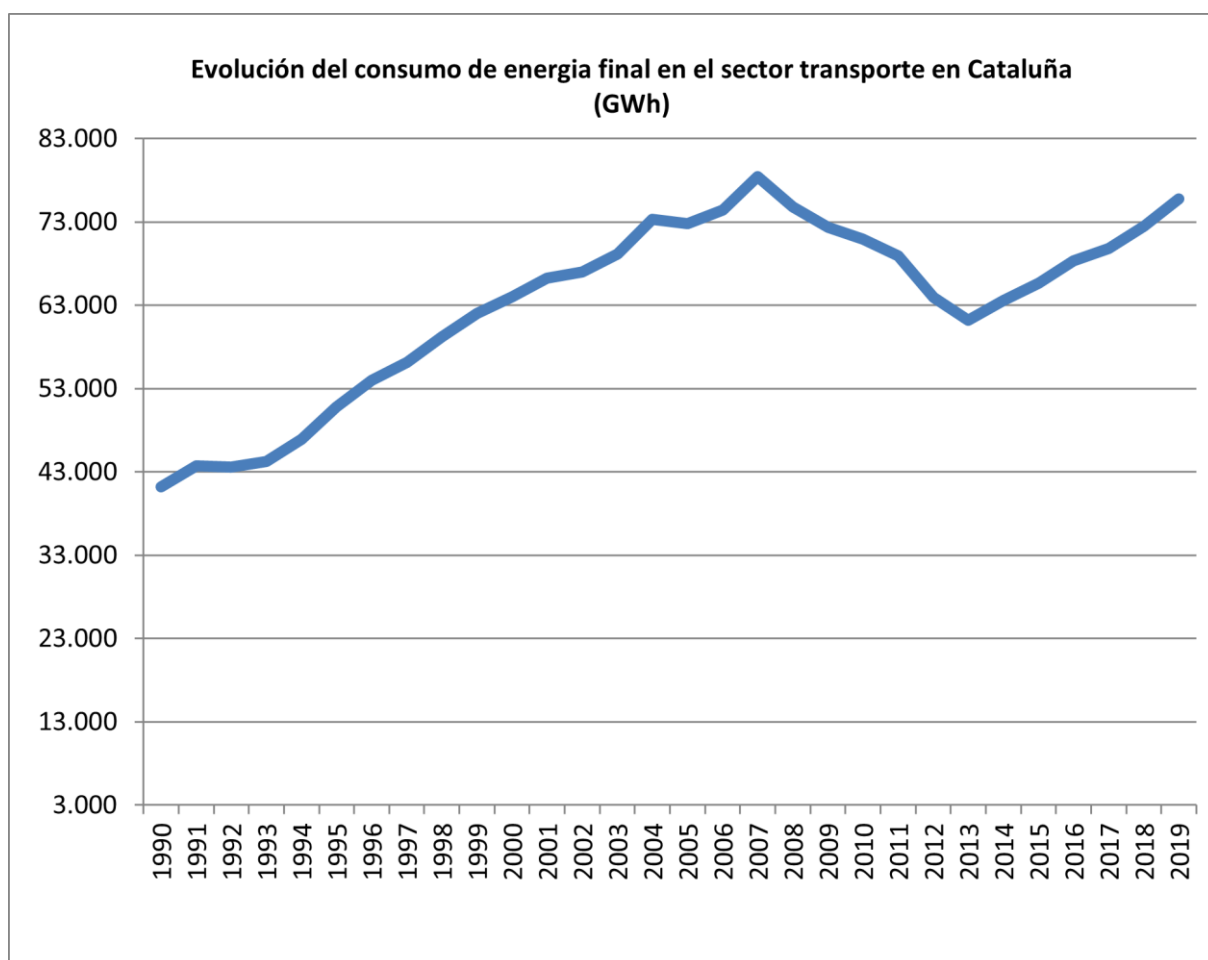


Figura 9. Evolución del consumo de energía final en el sector transporte en Catalunya del año 1990 al 2022.

Se puede observar como el consumo en el sector transporte de Cataluña ha tenido una tendencia ascendente a excepción de unos años de descenso (desde el 2007 al 2012).

Por otro lado, lo más importante es determinar qué tipo de energía se está utilizando, por ello, en la Figura 10 se representa la evolución del peso de las diferentes fuentes de energía final del sector transporte en Cataluña entre los años 1990 y 2019<sup>[3]</sup>.

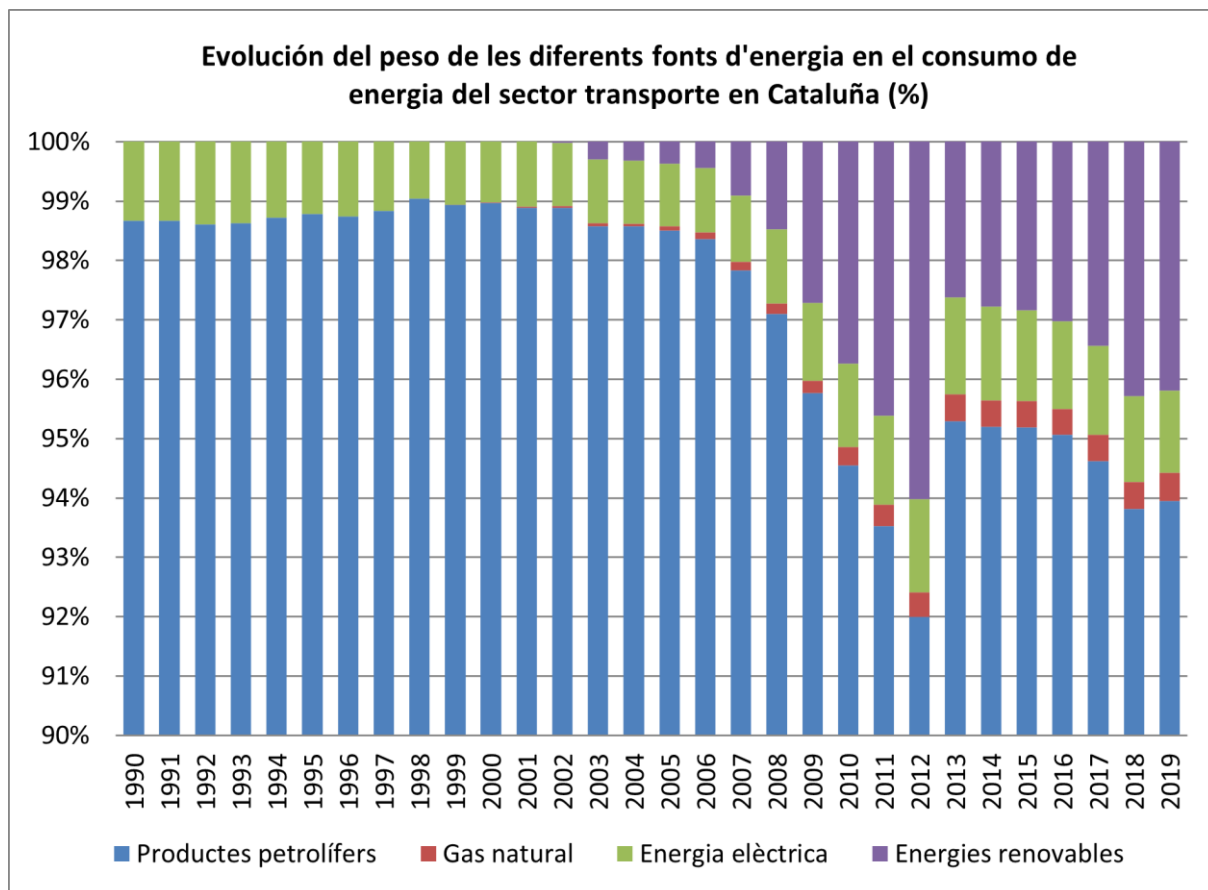


Figura 10. Evolución del peso de las diferentes fuentes de energía en el consumo de energía en el sector transporte en Cataluña desde el año 1990 al 2022.

En la Figura 10, se puede apreciar una tendencia extraña, donde el porcentaje en peso de energía renovable aumentó significativamente entre los años 2008 a 2012. Esto puede ser debido a que durante la crisis española que empezó en el año 2008, los consumos de productos petrolíferos disminuyeron considerablemente y los de energía renovable se mantuvieron constantes. Con lo cual, sin necesidad de aumentar el consumo de energía renovables, con una disminución del resto de tipos de energía, el porcentaje en peso de energías renovables se ve afectado, aumentando así su valor.

### 2.2.3 Sector residencial

El sector residencial desempeña un papel significativo en el consumo de energía final en la provincia de Tarragona. Este sector incluye viviendas unifamiliares, edificios de apartamentos, y otras instalaciones residenciales donde las personas viven y realizan actividades diarias.

La calefacción en invierno y la refrigeración en verano son las principales demandas de energía en el sector residencial de Tarragona. Debido al clima mediterráneo de la región, donde los inviernos son moderadamente fríos y los veranos son calurosos, muchas viviendas requieren sistemas de calefacción y aire acondicionado para mantener un ambiente confortable. Los sistemas de calefacción pueden funcionar aportando energía proveniente de fuentes fósil en forma de calor o energía eléctrica, mientras que, para el aire acondicionado, la demanda es puramente de electricidad.

El uso de iluminación artificial y electrodomésticos en los hogares también contribuye al consumo de energía en el sector residencial. La electricidad utilizada para alimentar luces, electrodomésticos de cocina, televisores, computadoras y otros dispositivos electrónicos representa una parte significativa del consumo de energía final en los hogares de Tarragona. Aunque muchos electrodomésticos son cada vez más eficientes energéticamente, el aumento en el número de dispositivos electrónicos en los hogares puede contrarrestar estos avances.

La producción de agua caliente sanitaria para uso doméstico, como duchas, lavadoras y lavavajillas, también requieren energía en forma de gas o electricidad. Los sistemas de calentamiento de agua, como calderas de gas o termos eléctricos, contribuyen al consumo de energía final en el sector residencial de Tarragona. La eficiencia energética de estos sistemas puede variar según la tecnología utilizada y el mantenimiento adecuado.



Figura 11. Representación del sector residencial.

En el apartado 9.1.1 de Anexos, vemos una tabla de los consumos de calefacción y de agua caliente sanitaria (ACS) del sector residencial desglosado por tipo de vivienda. A continuación, en la Tabla 5, se recogen los valores del consumo de energía final total de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción en el sector residencial en la provincia de Tarragona.

Tabla 5. Consumos energía final ACS y calefacción en la provincia de Tarragona en el sector residencial <sup>[5]</sup>.

<b>Consumo total energía final (GWh)</b>	
<b>Agua caliente sanitaria (ACS)</b>	53,9
<b>Calefacción</b>	112

Se puede ver como en la provincia de Tarragona, hay un consumo de calefacción muy superior a el consumo de agua caliente sanitaria pese a tener unas temperaturas relativamente suaves en invierno. El consumo de calefacción es del orden de 112 GWh/año, mientras que se han consumido 53,9 GWh/año de agua caliente sanitaria (ACS).

En la Figura 12, se muestra la evolución del consumo de energía final en el sector residencial en Cataluña desde el año 1990 al año 2019 <sup>[3]</sup>. Esto ayudará a hacernos una idea de cómo puede ir evolucionando a lo largo de los años este consumo. El gráfico de la Figura 12, tiene en cuenta las siguientes formas de energía: carbón, productos petrolíferos, gas natural, energía eléctrica, residuos industriales no renovables y energías renovables empleadas en el sector residencial.

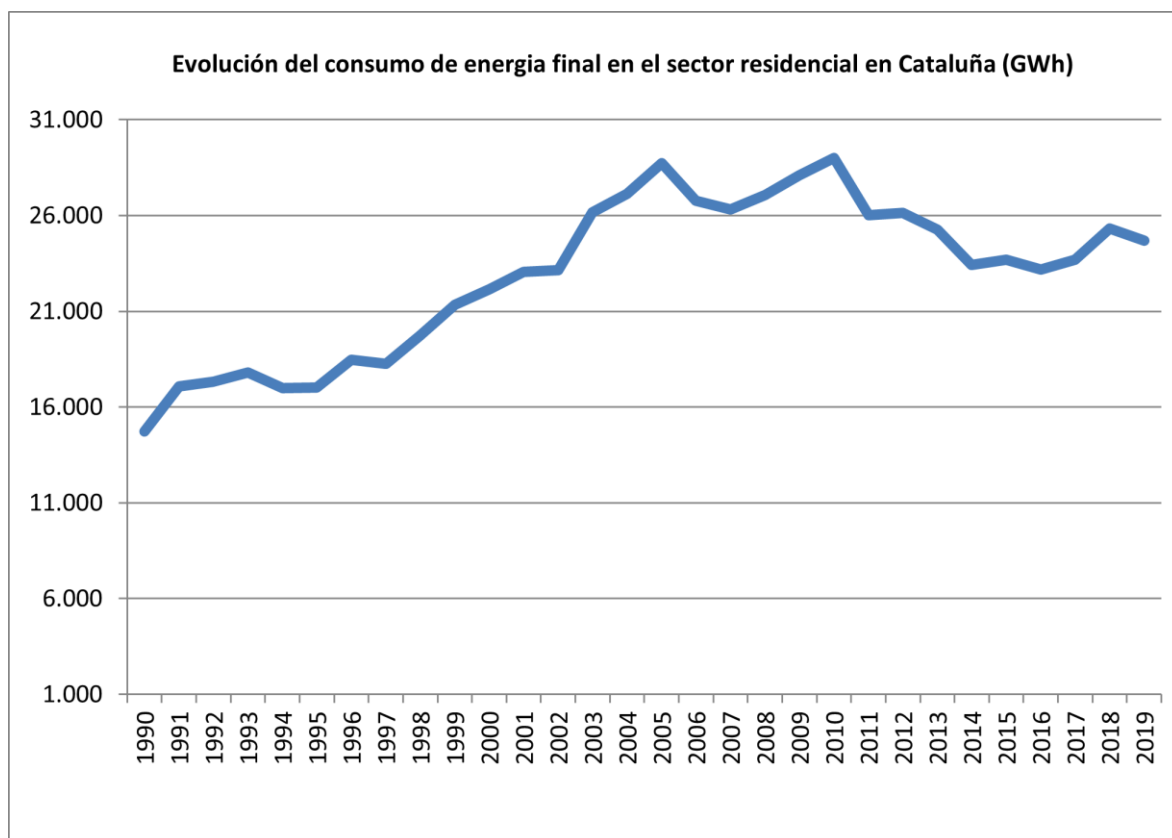


Figura 12. Evolución del consumo de energía final en el sector residencial en Catalunya del año 1990 al 2022.

Se puede apreciar como hubo un crecimiento elevado desde 17500 GWh hasta algo más de 29000 GWh en un periodo aproximado de 15 años. En la actualidad, el consumo se encuentra alrededor de 25000 GWh extraídos de la Figura 12.

Por otro lado, lo más importante es determinar qué tipo de energía se está utilizando, por ello, en la Figura 13 se representa la evolución del peso de las diferentes fuentes de energía final del sector residencial en Cataluña.

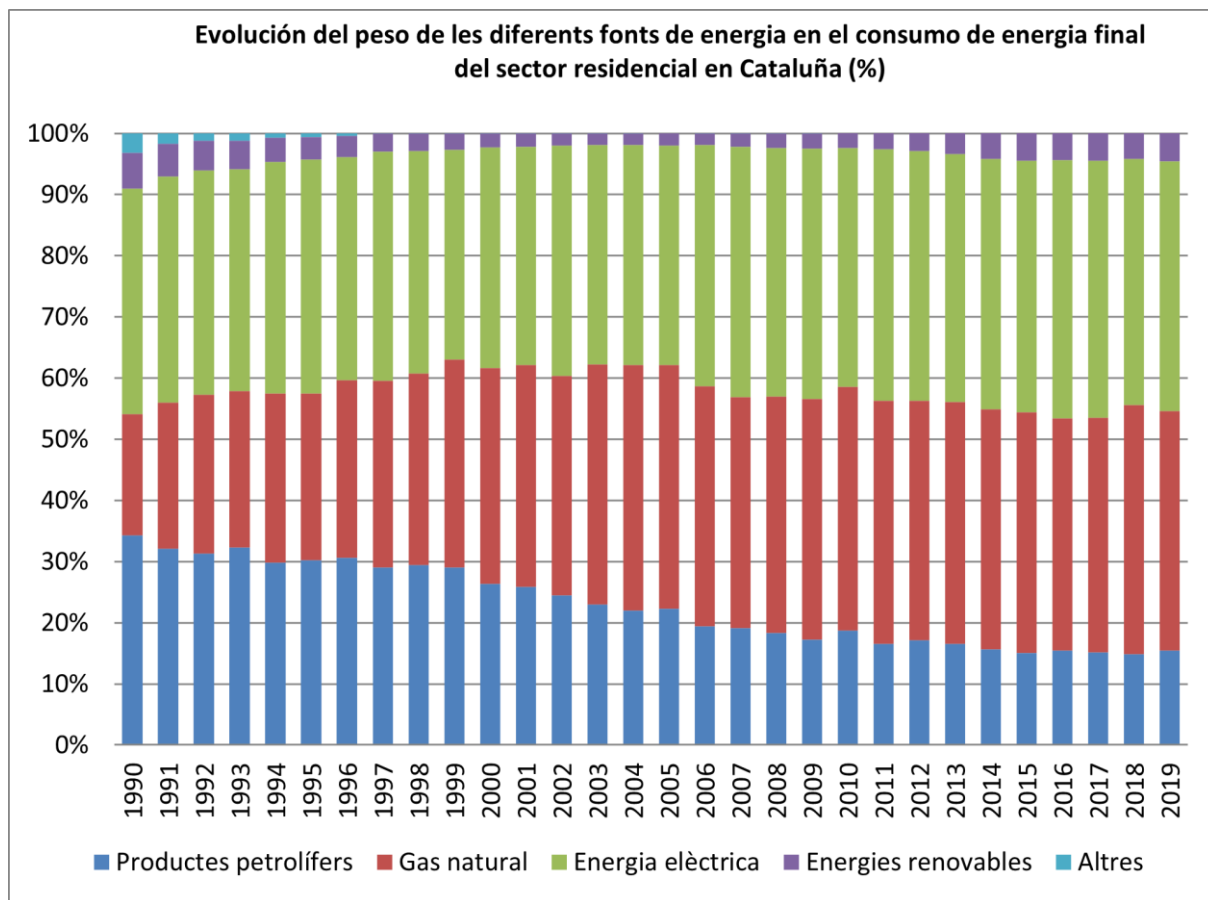


Figura 13. Evolución del peso de las diferentes fuentes de energía en el consumo de energía en el sector residencial en Cataluña desde el año 1990 al 2022.

En este caso, se puede ver como desde el año 1990 hasta la actualidad, el consumo de productos petrolíferos en el sector residencial ha ido decreciendo de un 30% hasta aproximadamente un 17%. Por otro lado, el gas natural ha ido aumentando su uso desde un 15% hasta un 35% aproximadamente. El consumo de energía eléctrica se ha mantenido constante durante este periodo. Las energías renovables poco a poco van ganando protagonismo en el sector residencial.

Los consumos de energía térmica del sector residencial de la provincia de Tarragona se encuentran en los más elevados de España. En el apartado 7.1 de Anexos se encuentran los consumos de energía final de la provincia de Tarragona del sector residencial para agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción.

## 2.2.4 Sector servicios

El sector servicios en la provincia de Tarragona abarca una amplia gama de actividades económicas, que van desde el comercio minorista y mayorista hasta la hostelería, el turismo, la educación, la salud, los servicios financieros y administrativos, entre otros.

Los edificios comerciales y de oficinas en Tarragona requieren energía para la iluminación, refrigeración y el funcionamiento de equipos y dispositivos electrónicos. La demanda de energía eléctrica y térmica en estos espacios proviene principalmente de la iluminación artificial, los sistemas de aire acondicionado, las computadoras, los equipos de impresión, los sistemas de refrigeración y otros dispositivos eléctricos utilizados en las operaciones diarias.

Los establecimientos comerciales, como tiendas, supermercados, mercados y almacenes, también contribuyen al consumo de energía en Tarragona. La iluminación de interiores y escaparates, los sistemas de refrigeración y congelación de productos, los sistemas de calefacción y aire acondicionado, y otros equipos eléctricos y electrónicos utilizados en las operaciones comerciales, representan una parte significativa del consumo de energía en el sector comercial.

La industria hotelera y de hostelería en Tarragona demanda una cantidad considerable de energía para la climatización de habitaciones, la producción de agua caliente sanitaria, la iluminación de interiores y exteriores, y el funcionamiento de equipos de cocina y lavandería. Además, las instalaciones turísticas como parques temáticos, restaurantes, bares y centros de ocio también consumen energía para sus operaciones diarias y servicios ofrecidos a los visitantes.

Los servicios de salud, como hospitales, clínicas y centros médicos, así como las instituciones educativas, como escuelas, colegios y universidades, también tienen demandas energéticas significativas. La iluminación de interiores, la climatización de espacios, la operación de equipos médicos y educativos, y otros servicios esenciales requieren energía eléctrica y térmica para su funcionamiento eficiente.

Los servicios administrativos y financieros, como oficinas gubernamentales, bancos, compañías de seguros, y despachos profesionales, también contribuyen al consumo de energía en Tarragona. La operación de equipos de oficina, sistemas informáticos, sistemas de seguridad, iluminación y climatización en estas instalaciones requiere energía eléctrica y térmica para su funcionamiento diario.

En el apartado 9.1.2 de Anexos encontramos los consumos de energía final de la provincia de Tarragona del sector servicios para agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción.

En la tabla 6, se recogen los valores del consumo de energía final total de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción en el sector residencial en la provincia de Tarragona.

Tabla 6. Resumen consumos energía final ACS y calefacción en la provincia de Tarragona en el sector servicios <sup>[5]</sup>.

	<b>Consumo total energía final (GWh)</b>
<b>Agua caliente sanitaria (ACS)</b>	14,1
<b>Calefacción</b>	12,6

Estos valores resultan ser pequeños si lo comparamos con los datos extraídos del Instituto Catalán de la Energía (ICAEN), reflejados en la Tabla 6 debido a que IDAE no tiene en cuenta varias áreas de gran consumo como son el turismo o la educación, únicamente tiene en cuenta el comercio, las oficinas y hospitales.

En la Figura 14, se muestra la evolución del consumo de energía final en el sector residencial en Cataluña desde el año 1990 al año 2019<sup>[3]</sup>. Esto ayuda a hacerse una idea de cómo puede ir evolucionando a lo largo de los años este consumo. El gráfico de la Figura 14, tiene en cuenta las siguientes formas de energía: carbón, productos petrolíferos, gas natural, energía eléctrica, residuos industriales no renovables y energías renovables empleadas en el sector servicios.

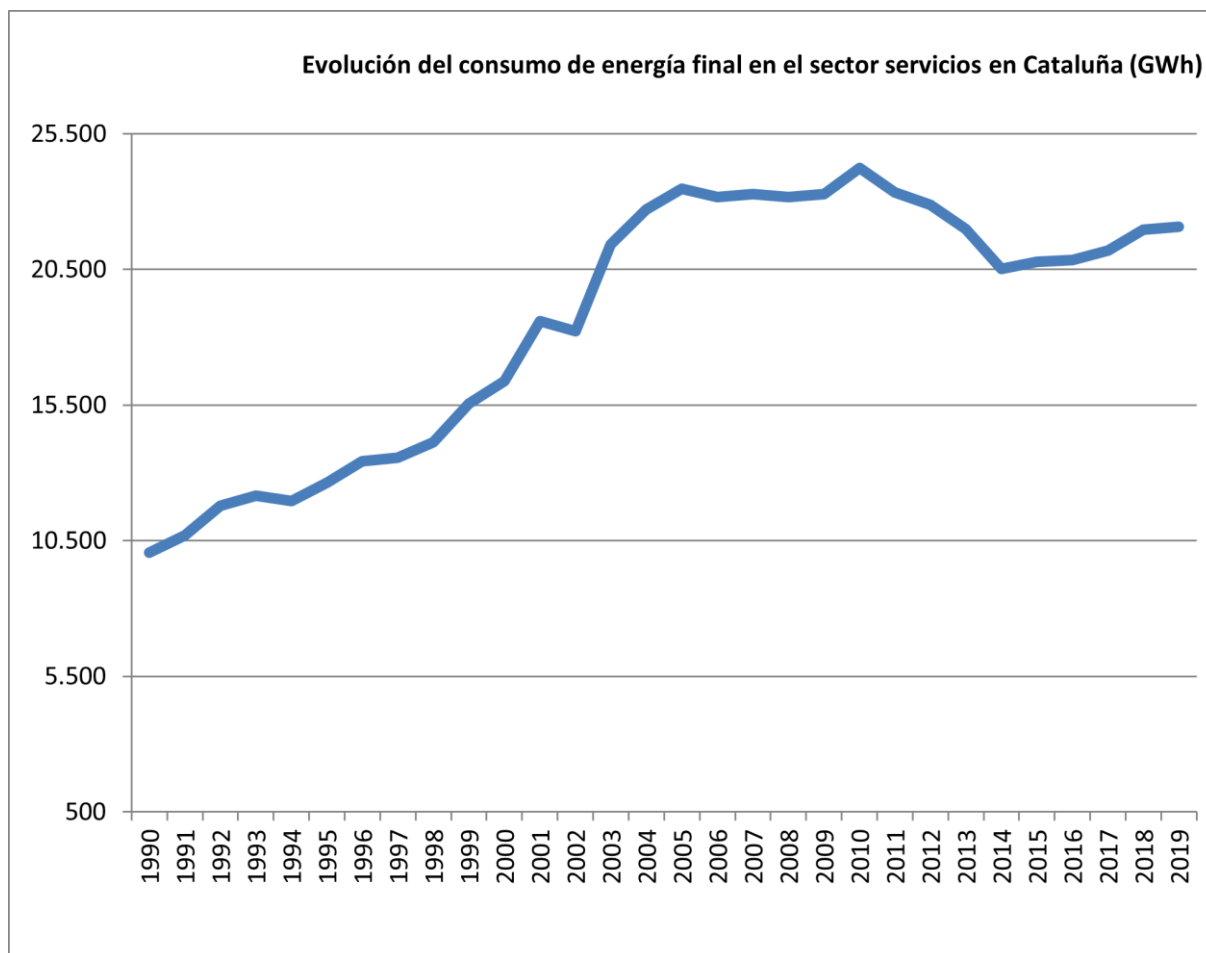


Figura 14. Evolución del consumo de energía final en el sector servicios en Catalunya del año 1990 al 2022.

Se puede apreciar como hubo un crecimiento elevado desde 10500 GWh hasta algo más de 23000 GWh en un periodo aproximado de 13 años. En la actualidad, el consumo se encuentra alrededor de 22000 GWh extraídos de la Figura 14.

Por otro lado, lo más importante es determinar qué tipo de energía se está utilizando, por ello, en la Figura 15 se representa la evolución del peso de las diferentes fuentes de energía final del sector servicios en Cataluña.

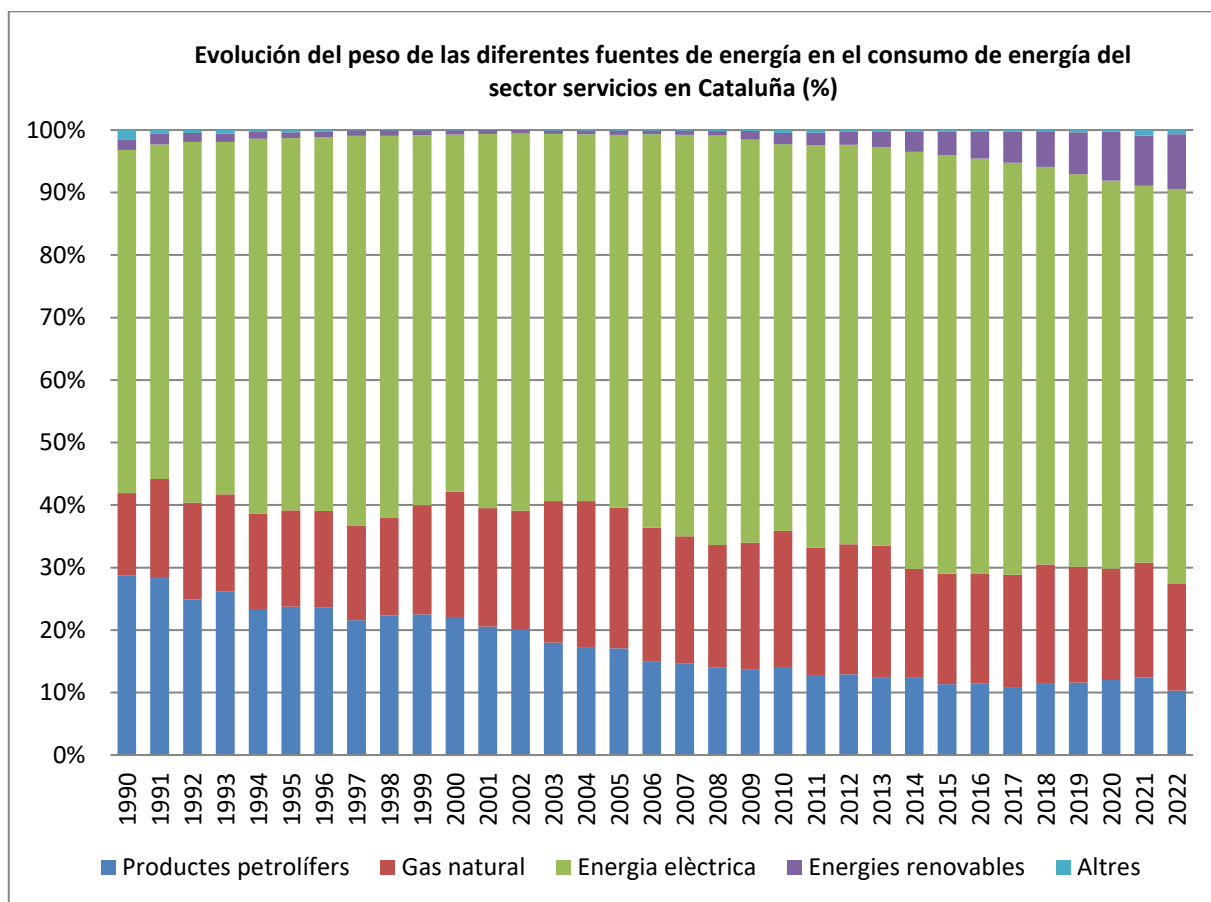


Figura 15. Evolución del peso de las diferentes fuentes de energía en el consumo de energía en el sector servicios en Cataluña desde el año 1990 al 2022.

A continuación, en la Tabla 7 se recogen los consumos de energía final total en la provincia de Tarragona, teniendo en cuenta todos los sectores estudiados anteriormente: sector industrial, sector transporte, sector residencial y sector servicios.

Tabla 7. Resumen consumo totales en la provincia de Tarragona.

<b>Consumo total energía final (TWh/año)</b>	
<b>Petróleo y derivados</b>	7,85
<b>Gas Natural</b>	8,48
<b>Electricidad</b>	4,27
<b>Total</b>	20,6

### 3 Energías renovables disponibles en el mercado

En la actualidad, la búsqueda de fuentes de energía sostenibles y respetuosas con el medio ambiente es una prioridad global debido a los desafíos asociados con el cambio climático, la escasez de recursos naturales y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, las energías renovables han emergido como una solución viable y prometedora para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y alcanzar el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles para el año 2050 en un 90% [30].

Las energías renovables, también conocidas como energías limpias o verdes, se caracterizan por su capacidad para ser obtenidas de recursos naturales que se renuevan de forma continua o son inagotables a escala humana. Estas fuentes de energía ofrecen una serie de ventajas, como la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, la mitigación de los impactos ambientales negativos y la creación de empleo en el sector de las energías renovables.

En este contexto, es fundamental comprender y explorar las diversas opciones de energías renovables disponibles en el mercado actualmente, así como su potencial, sus aplicaciones y sus implicaciones para el futuro energético sostenible.

Para este proyecto, son objeto de estudio algunas de las energías renovables además de algunas tecnologías que nos ayudarían a dar un gran paso de la transición energética en la provincia de Tarragona. A continuación, se explica el proceso productivo de cada una de ellas.

#### 3.1 Hidrogeno verde

El hidrógeno verde se produce a través de un proceso llamado electrólisis del agua, que utiliza electricidad proveniente de origen renovable para descomponer el agua ( $H_2O$ ) en hidrógeno ( $H_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ) [6].

##### 3.1.1 Captación de la energía renovable

La primera etapa del proceso implica la captación de energía renovable, que puede ser solar, eólica e hidráulica para alimentar la electrólisis. En el caso de la energía solar, se utilizan paneles solares para convertir la luz solar en electricidad. En el caso de la energía eólica, se utilizan turbinas eólicas para convertir la energía cinética del viento en electricidad.

##### 3.1.2 Electrólisis del agua

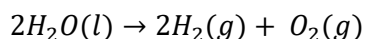
El proceso de electrólisis se puede resumir en tres pasos principalmente.

###### 3.1.2.1 Electrólisis con celdas de electrodos

La electricidad renovable se utiliza para alimentar celdas electrolíticas que contienen un electrolito (generalmente agua con un electrolito disuelto) y dos electrodos (un ánodo y un cátodo) separados por una membrana permeable a iones.

###### 3.1.2.2 Descomposición del agua

Cuando se aplica una corriente eléctrica a través del agua, se produce la descomposición del agua en sus componentes básicos: hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo. La reacción química se representa de la siguiente manera:



### 3.1.2.3 Separación y recolección de gases

El hidrógeno gaseoso ( $H_2$ ) generado en el cátodo se recoge y se purifica, mientras que el oxígeno gaseoso ( $O_2$ ) generado en el ánodo también se recoge y se puede utilizar para otros fines, como la soldadura o la síntesis química.

### 3.1.3 Purificación y almacenamiento

El hidrógeno producido a través de la electrólisis del agua puede contener impurezas, por lo que se somete a un proceso de purificación para obtener hidrógeno de alta pureza. El hidrógeno purificado se almacena en tanques o se convierte en formas de almacenamiento más densas, como hidruros metálicos o líquidos orgánicos, para su posterior transporte y uso. La Figura 16 representa claramente como es el proceso productivo de hidrogeno verde mediante el proceso de electrólisis del agua.

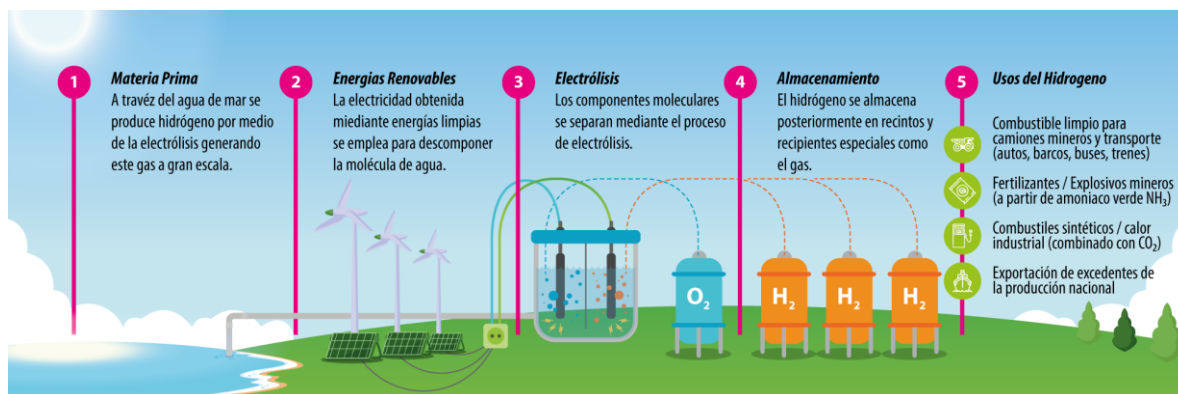


Figura 16. Etapas productivas hidrogeno verde.

## 3.2 Energía Solar Fotovoltaica

### 3.2.1 Funcionamiento de la energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y limpia que utiliza la radiación solar para producir electricidad. Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica [7].

Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia, entre un 18 % y un 20 % de media. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16 % y el 17,5 %. Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones (eficiencia media de entre un 8 % y un 9 %) pero también un precio menor. En la Figura 17 podemos ver una infografía del funcionamiento de una planta fotovoltaica.

### 3.2.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

Los principales componentes del sistema fotovoltaico con los siguientes.

#### 3.2.2.1 Células fotovoltaicas

Se trata de un dispositivo electrónico que convierte la energía procedente de la radiación solar que llega a la tierra en forma de luz (fotones) en energía eléctrica (electrones) gracias al efecto fotoeléctrico. Están formadas principalmente por dos elementos:

- **Material semiconductor:** El silicio es el más común debido a su abundancia y propiedades adecuadas. Puede ser monocristalino, policristalino o amorfo.
- **Junta PN:** La célula fotovoltaica se construye con dos capas de material semiconductor dopado de diferente manera: una capa tipo P (positiva) y una capa tipo N (negativa). En la junta PN, los electrones y huecos se separan, creando un campo eléctrico que facilita el movimiento de cargas.

#### 3.2.2.2 Módulos fotovoltaicos

Los módulos son conjuntos de células fotovoltaicas conectadas en serie y/o en paralelo para aumentar la tensión y la corriente generadas. Están encapsulados para protegerlos de las condiciones ambientales.

#### 3.2.2.3 Inversores

Los inversores convierten la corriente continua (CC) producida por los módulos en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los sistemas eléctricos.

### 3.2.3 Funcionamiento de una célula fotovoltaica

El funcionamiento de una célula fotovoltaica se basa en el efecto fotovoltaico, un proceso que permite la conversión de la luz solar en electricidad. Este proceso ocurre en varias etapas clave dentro del material semiconductor de la célula, típicamente silicio, aunque otros materiales como los perovskitas también están siendo investigados y utilizados. A continuación, se describe detalladamente el funcionamiento de una célula fotovoltaica.

1. **Absorción de fotones:** Cuando la luz solar incide sobre la superficie de una célula fotovoltaica, los fotones, que son partículas de luz con energía, penetran en el material semiconductor. La energía de estos fotones debe ser suficiente para liberar electrones del semiconductor. Esta energía se mide en electronvoltios (eV) y debe ser mayor que la banda prohibida del material, que es la diferencia de energía entre la banda de valencia (donde los electrones están normalmente) y la banda de conducción (donde los electrones pueden moverse libremente).
2. **Generación de Pares Electrón-Hueco:** Al absorber un fotón con suficiente energía, un electrón del material semiconductor gana energía suficiente para saltar de la banda de valencia a la banda de conducción, dejando detrás un hueco en la banda de valencia. Este proceso crea un par electrón-hueco. El electrón ahora es libre de moverse dentro del material semiconductor, mientras que el hueco representa la ausencia de un electrón y puede ser considerado como una carga positiva móvil.

3. **Separación de cargas:** La estructura de la célula fotovoltaica incluye una unión PN, que se forma al juntar dos tipos de semiconductores: uno dopado con átomos que proporcionan electrones adicionales (tipo N) y otro dopado con átomos que crean huecos adicionales (tipo P). En la región de la unión, se establece un campo eléctrico interno debido a la difusión de electrones y huecos a través de la unión. Este campo eléctrico es crucial, ya que actúa para separar los electrones y los huecos generados por la absorción de fotones. Cuando un par electrón-hueco es creado cerca de la unión PN, el campo eléctrico interno empuja al electrón hacia el lado tipo N y al hueco hacia el lado tipo P. Este movimiento de cargas genera una separación efectiva de cargas dentro de la célula, estableciendo una diferencia de potencial eléctrico entre los dos lados de la unión.
4. **Flujo de corriente:** Para aprovechar la energía generada, los extremos de la célula fotovoltaica se conectan a un circuito externo. Los electrones, moviéndose a través del material tipo N, alcanzan el contacto metálico en la superficie de la célula y fluyen a través del circuito externo. Al hacer esto, proporcionan energía eléctrica utilizable antes de regresar a la célula fotovoltaica en el lado tipo P. Simultáneamente, los huecos en el material tipo P se mueven hacia el contacto en la parte posterior de la célula, completando el circuito interno de la célula. La corriente eléctrica generada de esta manera es una corriente continua (CC). Sin embargo, la mayoría de los dispositivos y redes eléctricas utilizan corriente alterna (CA). Por lo tanto, un inversor se usa para convertir la corriente continua producida por la célula fotovoltaica en corriente alterna.



Figura 17. Funcionamiento de una planta fotovoltaica.

### 3.3 Energía Eólica

La energía eólica es aquella que se obtiene a partir de la fuerza del viento a través de un aerogenerador que transforma la energía cinética de las corrientes de aire en energía eléctrica. El proceso de extracción se realiza principalmente gracias al rotor, que transforma la energía cinética en energía mecánica, y al generador, que transforma dicha energía mecánica en eléctrica [8]. Hablamos de una energía renovable, eficiente, madura y segura clave para la transición energética y la descarbonización de la economía.

#### 3.3.1 Funcionamiento y características de la energía eólica

Para aprovechar la energía cinética del viento y convertirla en energía eléctrica, es necesario, tal y como ya hemos comentado, el uso de un aerogenerador. El óptimo aprovechamiento de estos gigantes (suelen tener entre 80 y 120 metros de altura) depende de la fuerza del viento. Por ello, los parques eólicos, que agrupan un gran número de aerogeneradores y hacen posible la obtención de esta energía en grandes cantidades, deben implantarse en lugares donde la presencia del viento sea predominante.

Los aerogeneradores han de orientarse en la dirección del viento. A partir de ahí, la fuerza de las corrientes de aire pondrá en funcionamiento las tres principales partes del aerogenerador:

- **El rotor:** compuesto por tres palas y el buje que las une, su función es captar la fuerza del viento y convertirla en energía mecánica de rotación.
- **La multiplicadora:** unida al motor mediante un eje, su función es elevar la velocidad de giro de 30 revoluciones por minuto (rpm) a 1500 rpm.
- **El generador:** este elemento se encarga de convertir la energía mecánica de rotación en energía eléctrica.

Cada uno de los aerogeneradores que componen un parque eólico están unidos entre sí por cables subterráneos que llevan la energía eléctrica a una subestación transformadora. De ahí es transportada a los hogares, las fábricas o las escuelas, entre otros, a través de las redes de distribución de las distintas compañías eléctricas. En la Figura 18, podemos ver los diferentes componentes de un aerogenerador.

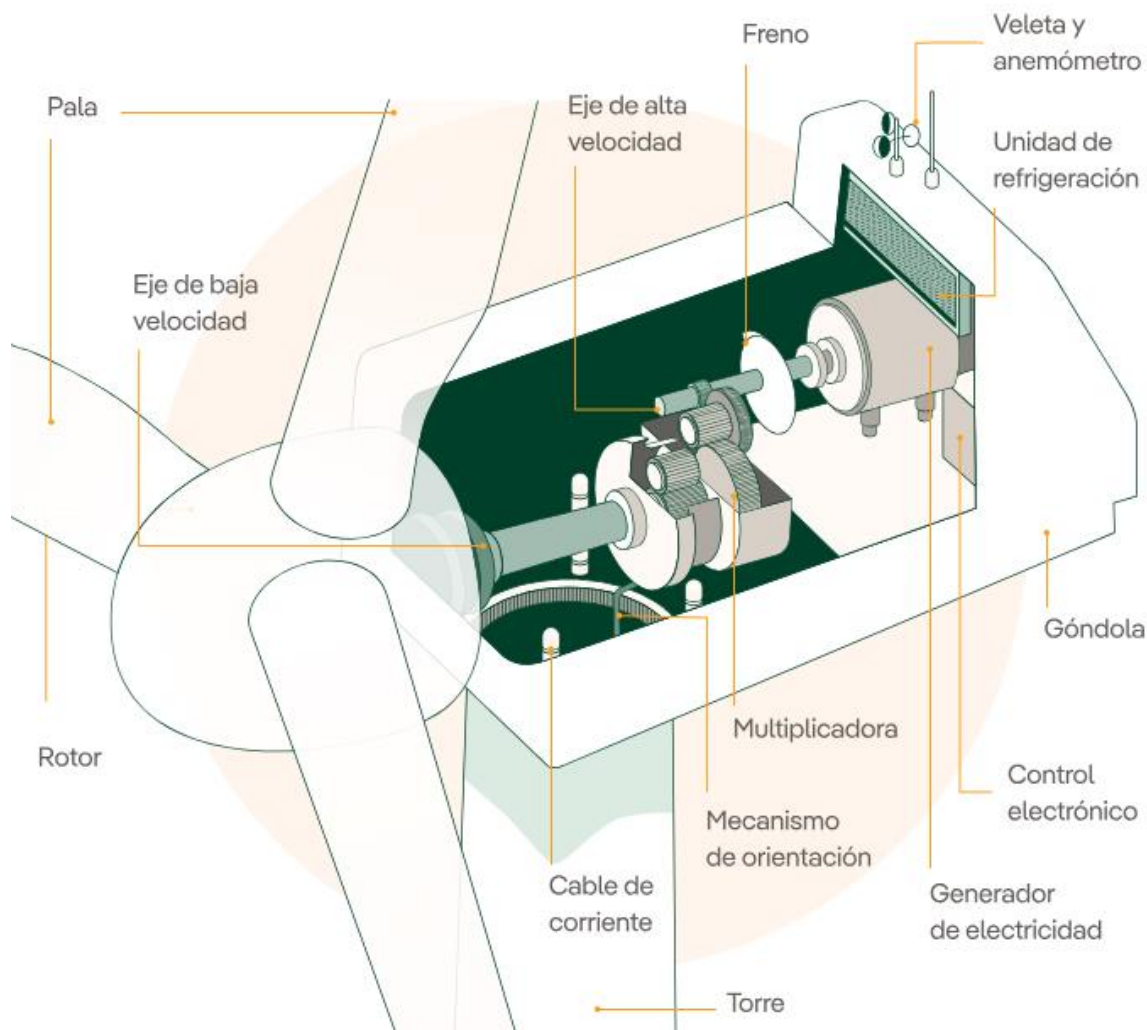


Figura 18. Partes de un aerogenerador.

### 3.4 Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es aquella que se genera al transformar la fuerza del agua en energía eléctrica [9]. Para aprovechar dicha fuerza, se construyen grandes infraestructuras hidráulicas capaces de extraer el máximo potencial de este recurso renovable, libre de emisiones y autóctono.

#### 3.4.1 Funcionamiento de las centrales hidráulicas

Las centrales hidráulicas pueden ser convencionales, y reversibles o de bombeo. Las convencionales solo trabajan en modo generación, y el funcionamiento es el siguiente: el agua fluye del embalse situado en una cota superior a la cota de la turbina, y hace girar la turbina; la turbina transforma la energía hidráulica del agua, en energía mecánica y hace girar el generador; el generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica. En la Figura 19, se muestra el proceso de transformación de energía hidráulica en energía eléctrica en una central hidráulica.

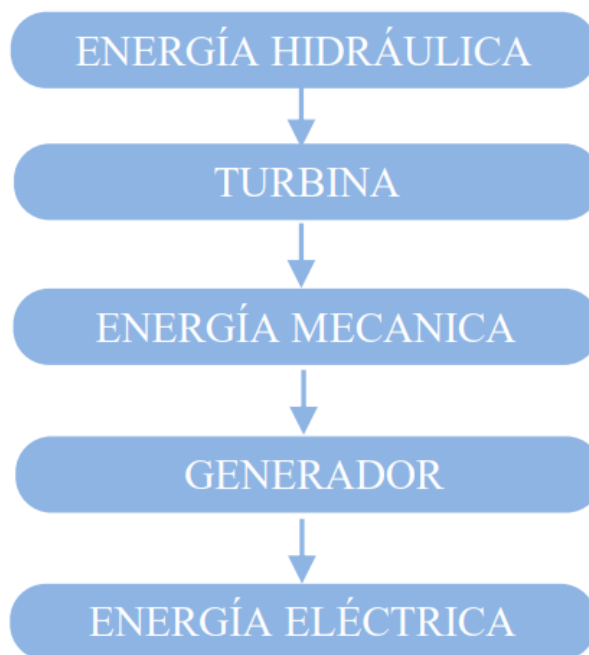


Figura 19. Proceso de transformación de la E. Hidráulica en E. Eléctrica en una central hidráulica trabajando en modo generación.

Las centrales reversibles o de bombeo, pueden trabajar en modo generación y en modo bombeo, y hay dos tipos, las de bombeo puro, y las de bombeo mixto. En las de bombeo puro, es necesario bombear previamente agua desde el depósito inferior al depósito superior, para posteriormente generar energía eléctrica. En las de bombeo mixto, se puede producir energía eléctrica con o sin bombeo previo.

Las de bombeo mixto, pueden trabajar como una central hidráulica convencional, pero también tienen la posibilidad de trabajar en modo bombeo y almacenar energía eléctrica en forma de energía potencial, subiendo agua de un embalse situado en una cota inferior a otro situado en una cota superior.

El funcionamiento de las centrales de bombeo es el siguiente: cuando la generación de energía eléctrica es inferior a la demanda, las centrales trabajan en modo generación y el funcionamiento es como el de una central convencional descrito anteriormente; cuando la generación de energía eléctrica es superior a la demanda, las centrales trabajan en modo bombeo; el motor eléctrico transforma el exceso de energía eléctrica generada, en energía mecánica que hace girar la bomba, la bomba transforma la energía mecánica en energía hidráulica, y sube agua de un embalse situada en una cota inferior, a otro embalse situado en una cota superior, donde se almacena la energía eléctrica en energía hidráulica, en forma de energía potencial. En la Figura 20, se muestra el proceso de transformación de energía eléctrica en energía hidráulica en una central de bombeo trabajando en modo bombeo

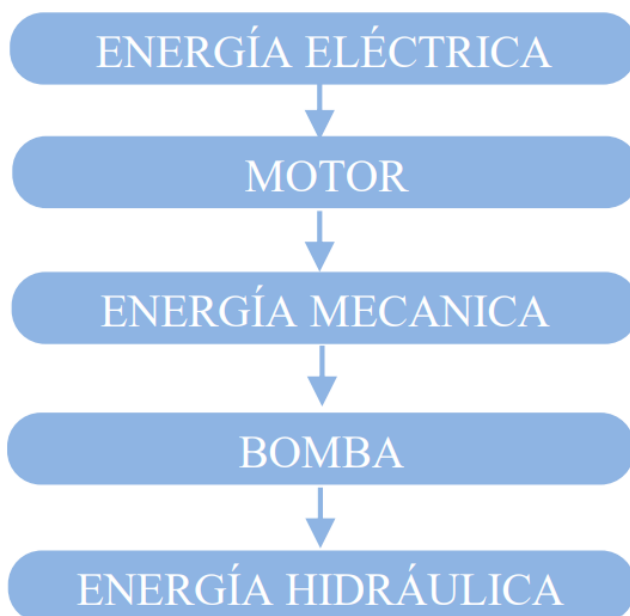


Figura 20. Proceso de transformación de E. Eléctrica en E. Hidráulica en una central hidráulica trabajando en modo bombeo.

A continuación, en la Figura 21, se muestra un esquema simplificado de una central de bombeo puro.

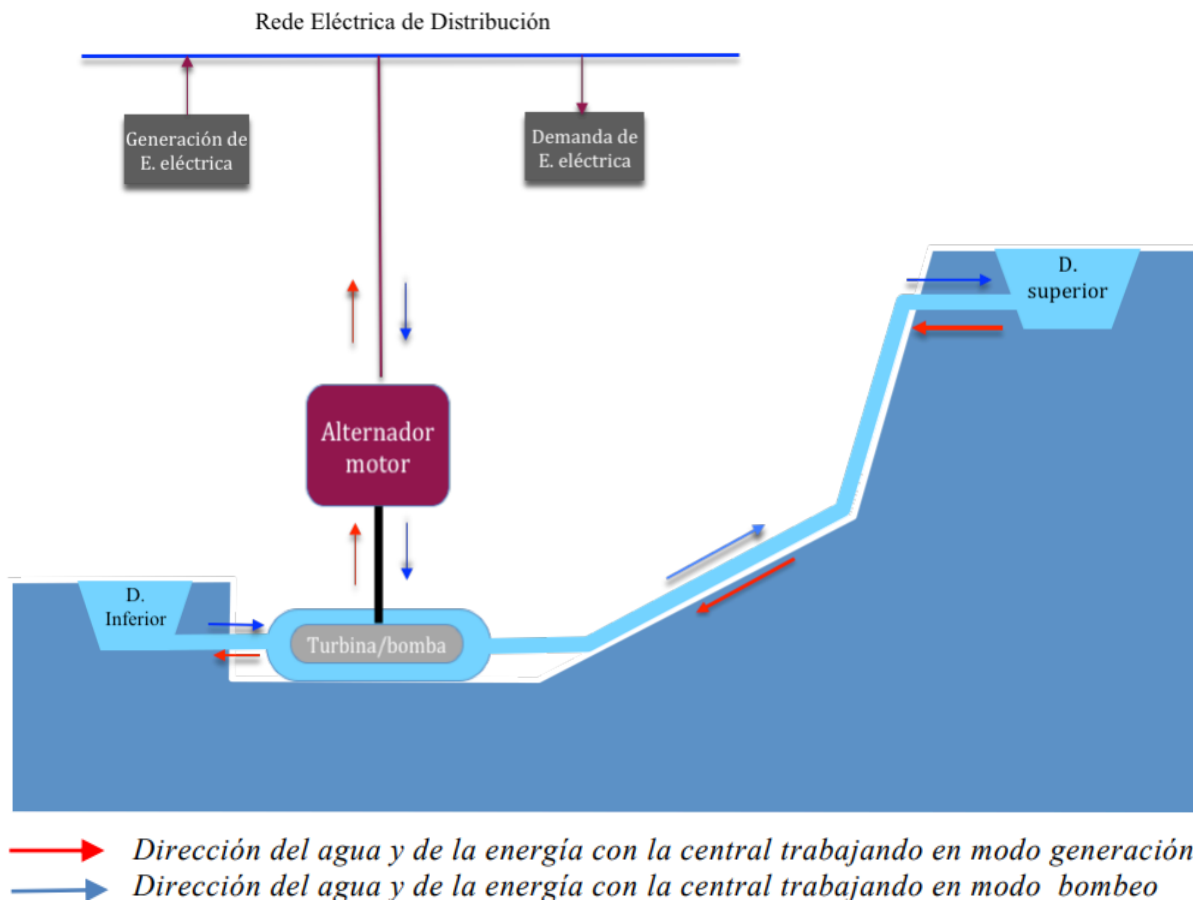


Figura 21. Esquema simplificado de una central reversible de bombeo puro.

El alternador/motor, es un equipo eléctrico reversible, que puede trabajar como generador o como motor. Cuando la central trabaja en modo generación, trabaja como alternador, transforma la energía mecánica en energía eléctrica, y suministra dicha energía a la red eléctrica de distribución.

Cuando la central trabaja en modo bombeo, trabaja como motor, consume energía eléctrica de la red eléctrica de distribución, la transforma en energía mecánica y hace girar la bomba.

La turbina/bomba, es un equipo mecánico reversible, que puede trabajar como turbina o como bomba. Cuando la central trabaja en modo generación, trabaja en modo turbina, transforma la energía potencial del agua, en energía mecánica, y hace girar el alternador.

Cuando la central trabaja en modo bombeo, trabaja como bomba, pasa agua del depósito inferior al depósito superior, y transforma la energía mecánica en energía hidráulica, en forma de energía potencial.

El funcionamiento de las centrales de bombeo mixto es idéntico a las de bombeo puro. Lo que diferencia a ambas centrales, es lo siguiente: las de bombeo puro trasvasan agua entre dos depósitos situados en cotas diferentes; las de bombeo mixto, trasvasan agua del embalse de un río situado en una cota superior, al embalse de otro río situado en una cota inferior, y viceversa. Las de bombeo mixto también tienen la posibilidad de trabajar como una

central convencional con el caudal del río de la cota superior. A continuación, en la Figura 22 se representa el funcionamiento de una central hidroeléctrica de bombeo mixto.

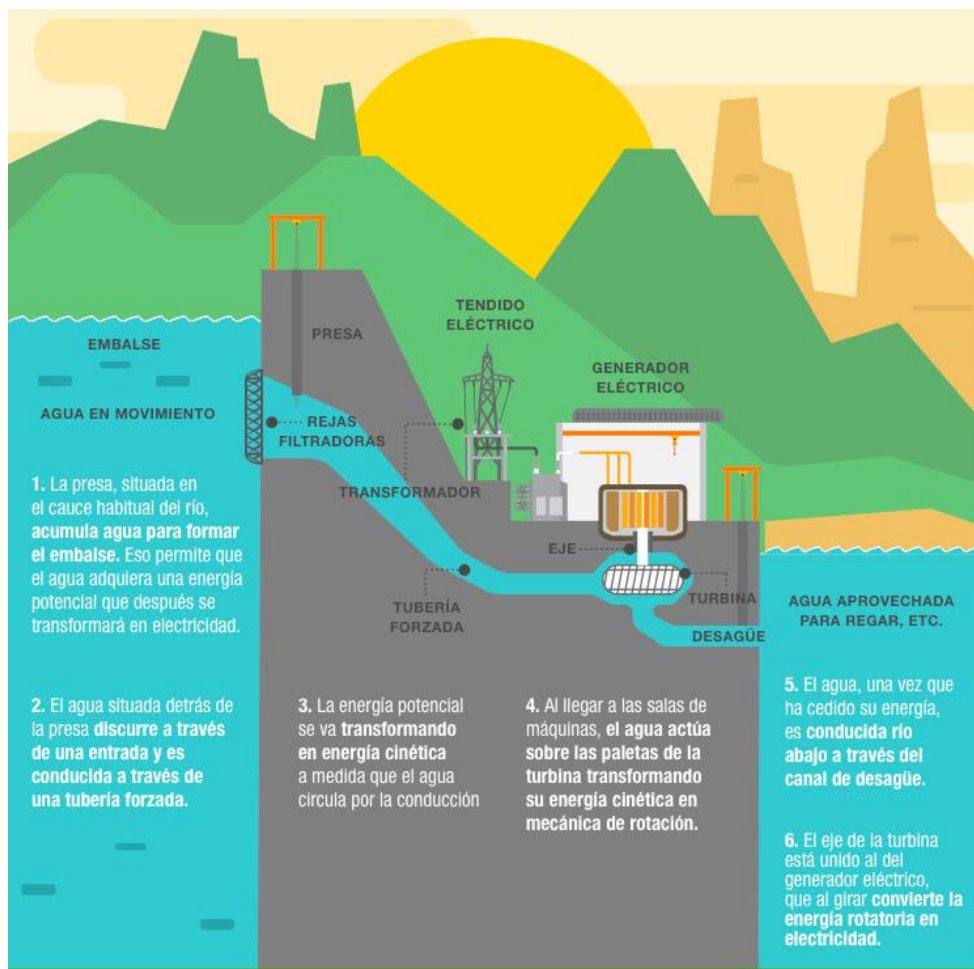


Figura 22. Funcionamiento de una central hidroeléctrica de bombeo mixto.

### 3.5 Energía Solar Térmica de Concentración

La energía termo-solar de concentración (*Concentrated Solar Power, CSP*) emplea espejos o lentes para concentrar la luz solar en una pequeña superficie. La energía eléctrica es producida cuando la luz concentrada calienta a un fluido, que a su vez calienta el vapor de agua que impulsa una turbina y un generador transforma esa energía en electricidad. Las dos tecnologías más conocidas son:

- **Centrales de torre central:** donde un conjunto de heliostatos (espejos planos) concentran el calor del sol en un punto (receptor en la parte superior de una torre). El fluido que circula por el receptor absorbe la radiación solar.

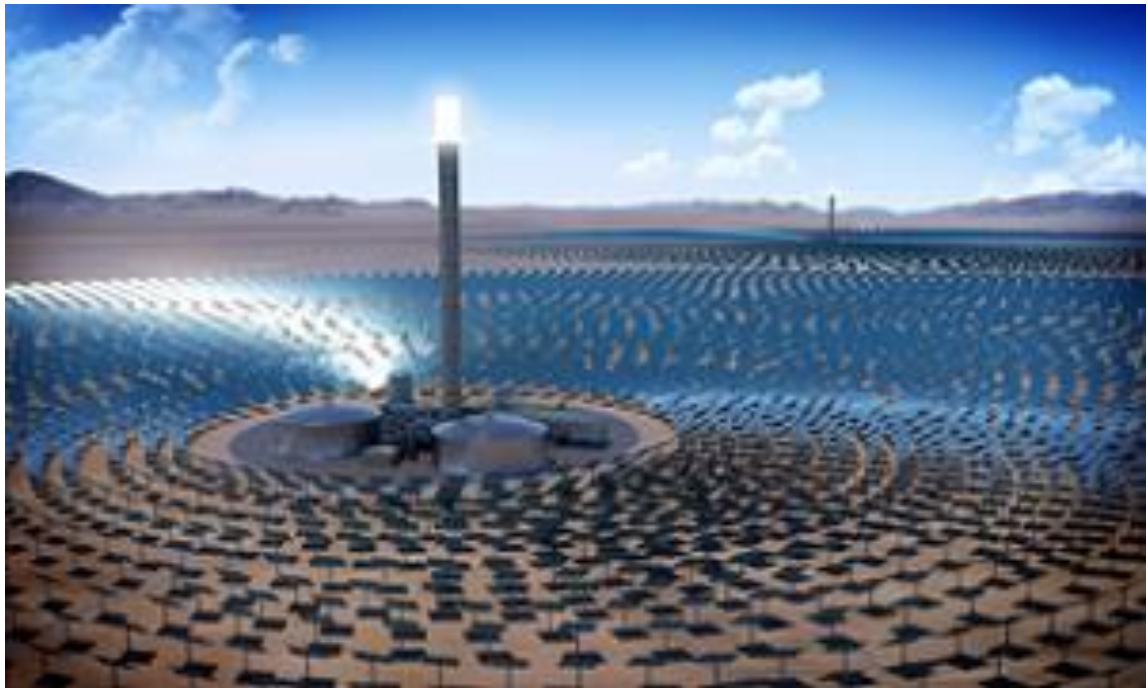


Figura 23. Ejemplo de centrales de torre central.

- **Centrales cilindro-parabólicas:** donde hileras de reflectores con sección parabólica focalizan la luz solar en los tubos colectores por los que circula el fluido de transferencia de calor.

Para conseguir una tecnología competente es necesario instalar un sistema de almacenamiento del calor obtenido durante las horas de sol. Para ello, actualmente se está abriendo el campo de las sales fundidas como fluido de almacenamiento y como fluido de transferencia de calor, las cuales sustituyen el actual fluido de transferencia de calor (aceite térmico) que alcanza temperaturas máximas limitadas y que posee elevada toxicidad.

El reto que conlleva el empleo de las sales fundidas es la necesidad de utilizar materiales que resistan a los fenómenos de corrosión asociados. Por ello, se necesitará sustituir los materiales que estarán en contacto con estos fluidos, así como incorporar tanques de almacenamiento.



Figura 24. Ejemplo de central cilindro-parabólica.

### 3.6 Biometano

El biometano es un gas renovable que se obtiene a partir de la purificación del biogás, producido mediante la digestión anaeróbica de materia orgánica <sup>[12]</sup>. Este gas se compone principalmente de metano y dióxido de carbono, junto con trazas de otros gases. Una vez purificado, el biometano tiene una composición y propiedades similares al gas natural fósil, lo que lo convierte en una alternativa sostenible y versátil.

El proceso de producción de biogás comienza con la digestión anaeróbica, donde la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno en varias etapas. Primero, durante la hidrólisis, los materiales orgánicos complejos como carbohidratos, proteínas y lípidos se descomponen en compuestos más simples como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos. Luego, en la acidogénesis, estas moléculas simples son convertidas por bacterias acidogénicas en ácidos grasos volátiles, alcoholes, dióxido de carbono y amoníaco. En la siguiente etapa, la acetogénesis, los ácidos grasos volátiles y otros compuestos orgánicos son transformados en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por bacterias acetogénicas. Finalmente, durante la metanogénesis, las arqueas metanogénicas convierten el acetato, el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano y dióxido de carbono.

El biogás crudo resultante contiene típicamente entre 50 y 70 por ciento de metano y entre 30 y 50 por ciento de dióxido de carbono, además de trazas de otros gases como sulfuro de hidrógeno, amoníaco y vapor de agua. Para convertir el biogás en biometano, es necesario purificarlo eliminando estos componentes no deseados. La desulfuración es uno de los primeros pasos, en el cual se eliminan los compuestos de azufre mediante adsorción en carbón activado o lavado químico. A continuación, se elimina el dióxido de carbono utilizando métodos como la absorción física o química, adsorción por oscilación de presión (PSA) o membranas selectivas que separan el CO<sub>2</sub> del metano. El vapor de agua se retira mediante condensación o adsorción en desecantes, y otros contaminantes traza, como los siloxanos y el amoníaco, se eliminan mediante procesos específicos de adsorción o filtración.

Una vez purificado, el biometano contiene entre 90 y 99 por ciento de metano y menos del uno por ciento de dióxido de carbono, con trazas mínimas de otros contaminantes. Esta composición hace que el biometano sea similar al gas natural convencional, permitiendo su utilización en diversas aplicaciones. Puede ser inyectado en la red de distribución de gas natural, proporcionando una fuente de energía renovable que se puede utilizar para calefacción, cocción y otros usos residenciales e industriales. Además, el biometano es un combustible adecuado para vehículos de gas natural, reduciendo significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. También puede ser utilizado en generadores y plantas de cogeneración para producir electricidad y calor simultáneamente, y como fuente de energía limpia en procesos industriales que requieren gas natural.

El biometano ofrece varias ventajas. Es una fuente de energía renovable producida a partir de residuos orgánicos, lo que contribuye a la gestión sostenible de estos residuos. Al reemplazar los combustibles fósiles, el biometano reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. Su versatilidad permite su uso en todas las aplicaciones del gas natural convencional, y su producción a partir de residuos orgánicos agrega valor a estos materiales de desecho. Sin embargo, la producción de biometano también enfrenta desafíos, como el alto costo de purificación y la infraestructura especializada necesaria, la disponibilidad limitada de materia orgánica para su producción y la generación de algunos contaminantes durante su producción y uso, aunque en menor medida que los combustibles fósiles.

El biometano es una solución prometedora para la transición hacia una economía de energía renovable. Su producción a partir de residuos orgánicos no solo proporciona una fuente de energía limpia, sino que también contribuye a la gestión sostenible de residuos. Los avances tecnológicos en la purificación y uso del biometano están haciendo que esta fuente de energía sea cada vez más viable y atractiva a nivel global.

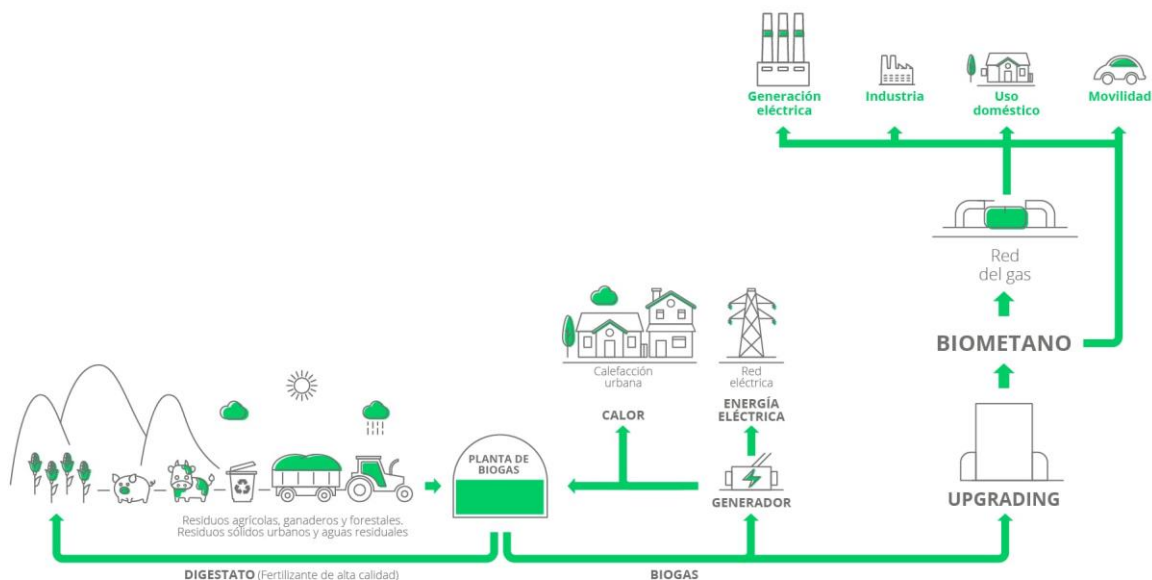


Figura 25. Diagrama de flujo de producción del biometano <sup>[11]</sup>.

### 3.7 Aerotermia

La aerotermia es una tecnología que utiliza la energía contenida en el aire ambiente para producir calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Esta energía se obtiene mediante bombas de calor aerotérmicas, sistemas altamente eficientes y sostenibles. Su funcionamiento se basa en el ciclo de refrigeración de compresión de vapor, similar al utilizado en los sistemas de aire acondicionado y refrigeradores. El proceso comienza con la evaporación, donde un fluido refrigerante absorbe el calor del aire exterior, incluso a bajas temperaturas, lo que provoca la evaporación del refrigerante, transformándolo de líquido a gas. Posteriormente, el refrigerante en estado gaseoso es comprimido por un compresor, aumentando su presión y temperatura. A continuación, el refrigerante caliente y a alta presión pasa por el condensador, donde cede su calor al agua del sistema de calefacción o al aire interior, condensándose y volviendo a su estado líquido. Finalmente, el refrigerante líquido a alta presión pasa por una válvula de expansión, donde su presión y temperatura disminuyen antes de regresar al evaporador, completando así el ciclo.

Un sistema de aerotermia consta de varios componentes clave. La unidad exterior contiene el evaporador y el compresor, encargándose de extraer el calor del aire exterior. La unidad interior alberga el condensador, transfiriendo el calor al sistema de calefacción, agua caliente sanitaria o refrigeración del edificio. El fluido refrigerante es el medio que transporta el calor entre la unidad exterior y la unidad interior, mientras que la válvula de expansión regula el flujo del refrigerante y su cambio de presión y temperatura. El intercambiador de calor transfiere el calor del refrigerante al agua o aire del sistema, y el controlador gestiona el funcionamiento del sistema, ajustando la temperatura y la presión del refrigerante para optimizar la eficiencia.

El sistema puede funcionar en diferentes modos. En modo calefacción, el sistema extrae calor del aire exterior y lo transfiere al agua del sistema de calefacción, que puede ser utilizado en radiadores, suelos radiantes o *fan coils*. En modo refrigeración, el ciclo de refrigeración se invierte, extrayendo el calor del interior del edificio y expulsándolo al exterior. En la producción de agua caliente sanitaria, el calor extraído del aire exterior se utiliza para calentar el agua sanitaria.

La aerotermia presenta varias ventajas. Las bombas de calor aerotérmicas pueden alcanzar coeficientes de rendimiento superiores a 4, lo que significa que, por cada unidad de energía eléctrica consumida, el sistema puede generar más de cuatro unidades de calor. Utiliza una fuente de energía renovable y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con los sistemas de calefacción convencionales basados en combustibles fósiles. Además, un solo sistema puede proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, simplificando la instalación y el mantenimiento. A largo plazo, los sistemas aerotérmicos pueden reducir significativamente los costos de energía.

Existen varias consideraciones técnicas importantes para la aerotermia. Es crucial dimensionar adecuadamente el sistema según las necesidades de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria del edificio para maximizar la eficiencia y el confort. La aerotermia se puede combinar con otras tecnologías renovables, como la energía solar fotovoltaica, para mejorar aún más la sostenibilidad y reducir los costos operativos. Aunque los sistemas aerotérmicos requieren menos mantenimiento que las calderas de combustibles fósiles, es importante realizar revisiones periódicas para asegurar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil del equipo.

La aerotermia es adecuada para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo residencial, comercial e industrial. En viviendas unifamiliares y edificios de apartamentos, puede proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria de manera eficiente. Oficinas, tiendas y edificios comerciales pueden utilizar aerotermia para reducir costos de energía y mejorar la eficiencia energética. Incluso en algunos procesos industriales, la aerotermia puede ser utilizada para calefacción de espacios y producción de agua caliente.

En resumen, la aerotermia es una tecnología eficiente y sostenible que aprovecha la energía del aire ambiente para proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Aunque tiene un costo inicial elevado y su eficiencia puede variar con las condiciones climáticas, la aerotermia ofrece numerosas ventajas, como alta eficiencia, sostenibilidad, versatilidad y ahorro económico a largo plazo. La correcta planificación y mantenimiento de estos sistemas pueden maximizar sus beneficios y contribuir significativamente a la reducción de la huella de carbono.

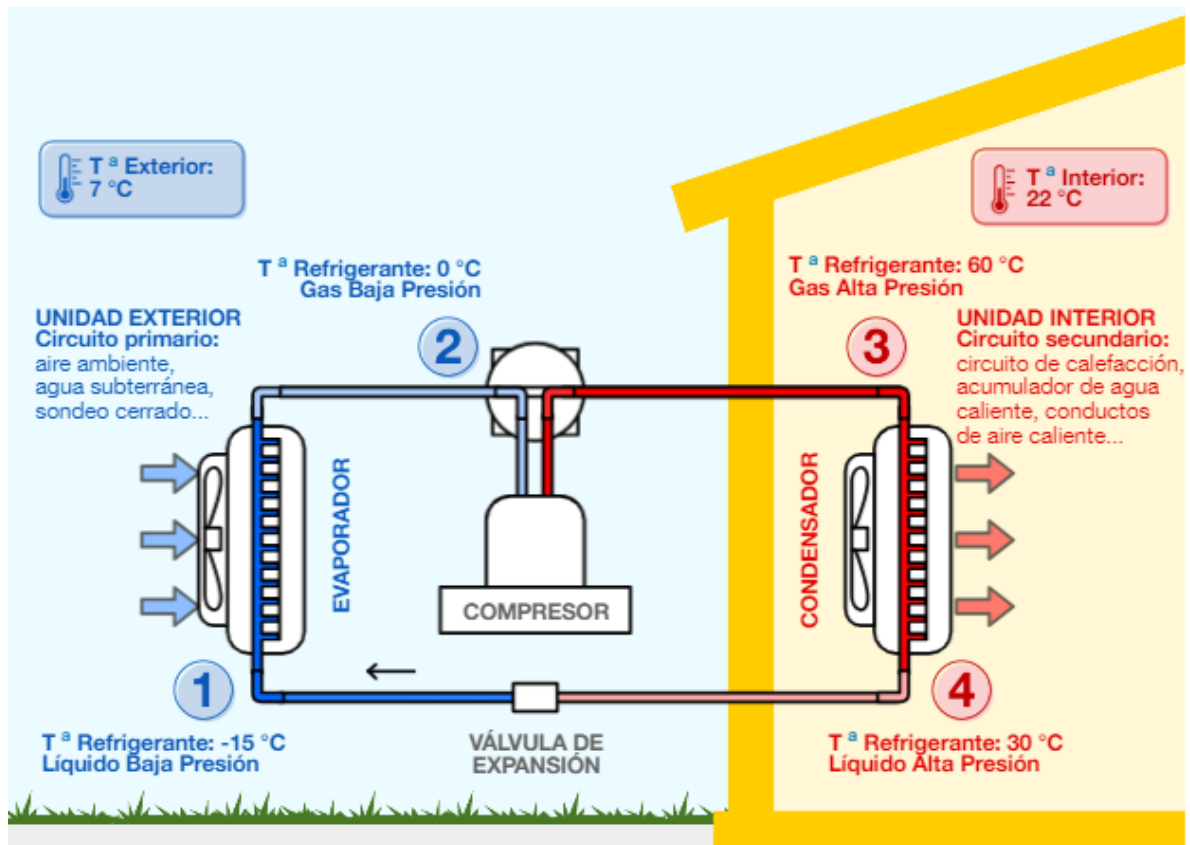


Figura 26. Diferentes etapas del proceso de producción de energía mediante aerotermia <sup>[13]</sup>.

### 3.8 Tecnología calentadores eléctricos y tanques fríos y calientes de sales fundidas

Se trata de una tecnología innovadora, basada en tecnologías existentes y probadas. La tecnología de calentadores eléctricos y tanques de sales fundidas de la empresa *Build to Zero* ofrece una solución avanzada y eficiente para cubrir las necesidades térmicas de diversas aplicaciones industriales, llegando hasta aplicaciones de demanda térmica de  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los

calentadores eléctricos están diseñados para convertir la máxima cantidad de energía eléctrica en calor útil, con un control preciso de la temperatura y un diseño modular que facilita su instalación y escalabilidad, además de requerir un mantenimiento mínimo y garantizar un funcionamiento seguro gracias a sus avanzados sistemas de protección. Por otro lado, los tanques de sales fundidas proporcionan una capacidad de almacenamiento térmico altamente eficiente de hasta 12 horas, operando a temperaturas extremadamente altas adecuadas para procesos industriales intensivos, y pueden ser calentados utilizando electricidad de fuentes renovables, lo que permite integrar estos sistemas en estrategias de energía limpia. Con una alta capacidad de calor y durabilidad, los tanques de sales fundidas son ideales para almacenar energía térmica generada durante períodos de baja demanda y liberarla durante picos de consumo, mejorando la eficiencia energética y estabilizando redes eléctricas, lo que los convierte en una solución robusta para industrias que requieren un suministro constante y fiable de calor.

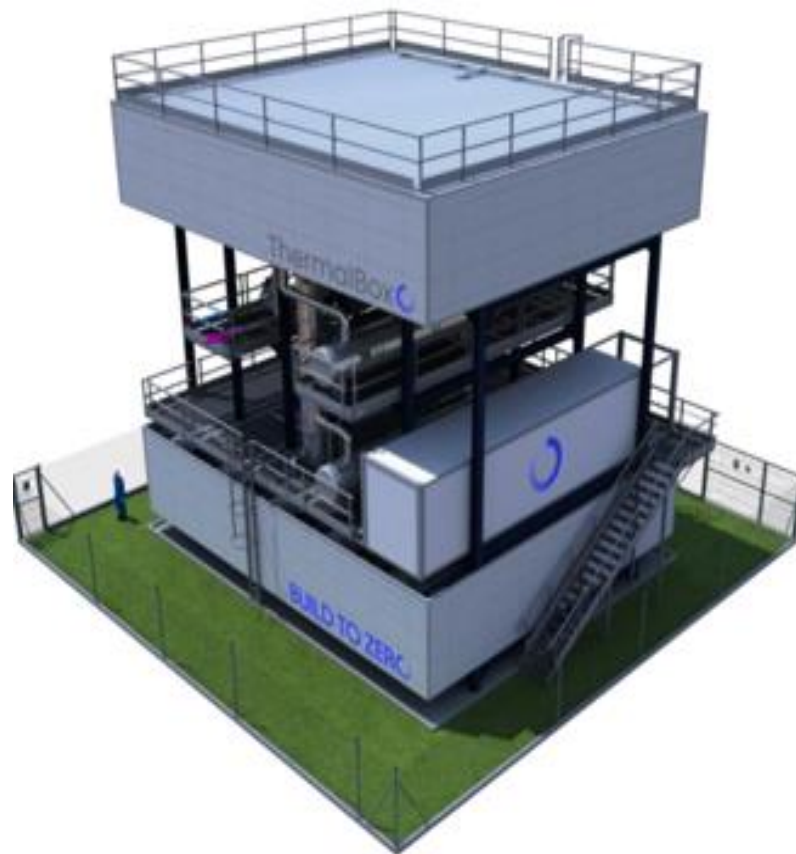


Figura 27. Representación de la tecnología de calentadores eléctricos y tanques de almacenamiento en sales fundidas <sup>[14]</sup>.

## **4 Selección de la fuente de energía renovable más adecuada para sustituir a los combustibles fósil en cada uno de los sectores y subsectores**

Dado que el proyecto de sustituir las energías renovables en la provincia de Tarragona no es un caso de estudio independiente, lo más razonable es que esté integrado dentro de un proyecto nacional de transición energética. Para ello, se parte de varios supuestos. El primero de ellos es que todo el biometano producido en Tarragona, junto con el producido a nivel nacional (con un potencial de 163TWh/año, equivalente al 45% del consumo de gas natural), se inyectarán en la red actual de gas natural. Una parte de este biometano se utilizaría para sustituir los combustibles fósiles en la provincia de Tarragona, suministrándose directamente a través de la red de gas natural. El segundo supuesto del que partimos es que las plantas fotovoltaicas que se instalen en la provincia de Tarragona para generar energía eléctrica necesaria para sustituir los combustibles fósiles de dicha provincia estarán conectadas a la red eléctrica de distribución (RED). La energía eléctrica necesaria para reemplazar a los combustibles fósiles de dicha provincia será tomada de la RED. Esta energía de RED tiene que ser toda de origen renovable.

### **4.1 Sector transporte**

Para determinar que fuente de energía renovable es más adecuada para sustituir las energías fósiles actuales, nos basamos en la información obtenida del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). En la Figura 4, se muestran los consumos según tipología de energía fósil empleada, así como para los diferentes tipos de transporte.

Dado que en este proyecto se limita al transporte por carretera, las energías fósiles a sustituir son el gasoil y la gasolina utilizado tanto en los turismos como en los vehículos pesados, que incluyen camiones, autobuses y vehículos ligeros (VL). Teniendo en cuenta que los turismos y los vehículos pesados tienen características muy diferentes en cuanto a recorrido y peso, se estudiaran de manera independiente.

#### **4.1.1 Vehículos pesados**

Estos vehículos se caracterizan por tener unos requerimientos energéticos superiores al de los turismos debido a su elevado peso. Asumiendo que la densidad energética (KWh/kg) de las baterías actuales no es suficiente para realizar largos recorridos con vehículos pesados como camiones, autobuses y vehículos ligeros, cuyo consumo representa el 45,4% del consumo total del transporte por carretera según la Figura 4, las alternativas más viables para sustituir a las energías fósiles por energías renovables son el hidrogeno verde y el biometano.

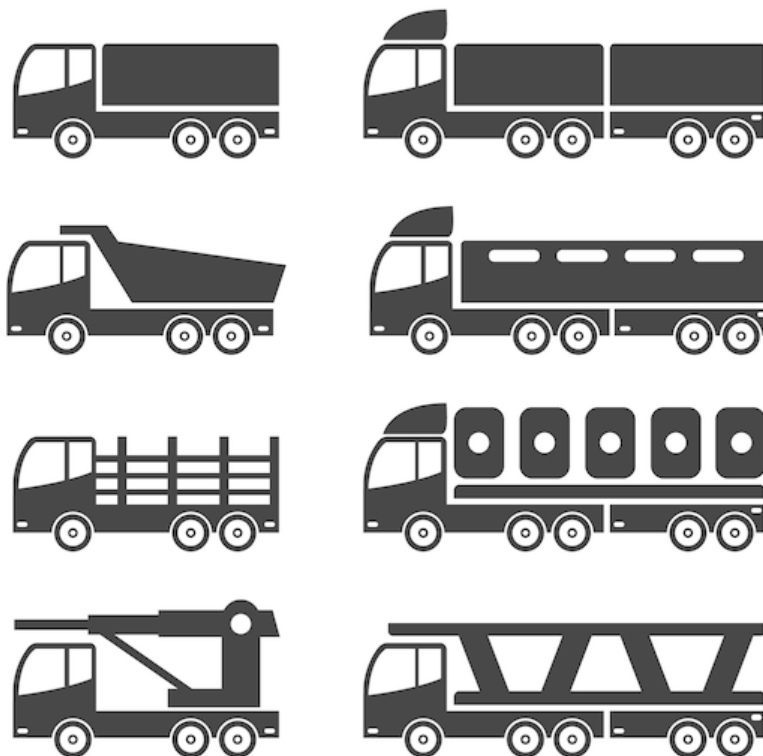


Figura 28. Diferentes tipos de vehículos pesados.

El Biometano presenta importantes ventajas respecto al Hidrogeno Verde como hemos podido ver en el análisis DAFO del apartado 9.2.1.1.. Lo más importante es la inversión que hay que realizar en los nuevos vehículos pesados. Con la utilización de Biometano no es necesario cambiar la flota de vehículos, es suficiente con adaptar los motores de combustión interna (MCI) para poder sustituir el gasoil/gasolina por biometano, que es una modificación relativamente económica y sencilla.

También se tiene la adaptación de la estructura de las gasolineras actuales, que para que puedan suministrar biometano hay que hacer pequeñas modificaciones como adaptar los depósitos actuales para que puedan almacenar biometano y sustituir los surtidores actuales por surtidores de biometano. La explotación y mantenimiento de las nuevas estaciones de servicio, sería muy similar a la de las estaciones actuales.

Por otro lado, si se opta por la utilización de Hidrógeno Verde, se necesitaría sustituir los motores de combustión interna (MCI) por pilas de Hidrógeno Verde. Esta alternativa es más complicada y costosa en varios aspectos. El primero es que esta sustitución se tiene que realizar gradualmente, a medida que los vehículos pesados lleguen al final de su vida útil y sean reemplazados por otros nuevos, lo que puede ralentizar de manera considerable el proceso de transición energética. Otro aspecto para tener en cuenta es la distribución del Hidrogeno Verde desde el punto de producción hasta las futuras hidrogeneras, dado que actualmente no hay un hidroducto de interconexión en la red Nacional, lo cual implica una gran inversión en este aspecto. Finalmente, el mantenimiento de una hidrogenera es más costoso de una estación de servicio de biometano.

Una vez se tiene el análisis DAFO realizado para el Hidrogeno Verde y el Biometano, podemos dar una valoración precisa comparando ambas alternativas. Teniendo en cuenta que el biometano se puede inyectar directamente a la red de Gas Natural sin necesidad de realizar cambios y que la red de gas natural está distribuida por todo el territorio nacional, lo hacen ser una alternativa muy favorable. Conectar la red de Gas Natural a las gasolineras no es complicado, por lo que el Biometano es la energía renovable más fácil de aplicar para cubrir la demanda actual de energía térmica final en los vehículos de transporte pesados.

#### 4.1.2 Turismos

Los turismos son los vehículos por carretera que mayor porcentaje de consumo, según la Figura 4, representan el 53,5%. Para poder ver cuáles son las alternativas para sustituir las fuentes energéticas de origen fósil actuales por energías renovables, asumimos que todo el potencial de biometano a nivel nacional (163 TWh/año) <sup>[15]</sup>, es utilizado para cubrir las necesidades energéticas del transporte pesado.

Dicho esto, se plantean las dos alternativas que tenemos para sustituir los combustibles fósiles en los turismos:

- a) Sustituir los vehículos impulsados por motor de combustión interna (MCI) por vehículos eléctricos de batería (BEV), cuyas baterías se recargan con energía eléctrica generada por plantas de energía renovable.
- b) Sustituir los vehículos impulsados por motor de combustión interna, por vehículos impulsados por pilas de Hidrógeno Verde.

Los vehículos eléctricos de baterías presentan una serie de ventajas que los hacen sobreponerse a los turismos impulsados por Hidrógeno verde. Para empezar, en términos de infraestructuras, las estaciones de carga de BEV están en constante expansión con una red creciente red de estaciones de carga pública y privadas, mientras que las estaciones de reabastecimiento de Hidrógeno Verde son limitadas y requieren grandes inversiones para su desarrollo y expansión.

La autonomía actual de los BEV es más limitada que las de los turismos impulsados por Hidrógeno Verde actualmente, pero está en proceso de desarrollo y en los años siguientes se verá claramente aumentada. Por otro lado, los vehículos eléctricos de batería tienen una mayor eficiencia energética en la conversión de electricidad a movimiento, el Hidrogeno Verde por otro lado, tiene una menor eficiencia debido a las pérdidas en la producción, almacenamiento y conversión del hidrógeno en electricidad.

Otro punto que destacar es el coste. Por un lado, el coste inicial de los vehículos eléctricos de baterías es más barato que los vehículos impulsados por Hidrógeno Verde. Asimismo, el costo operativo de los vehículos eléctricos de batería es más barato y con menos requisitos de mantenimiento que los vehículos impulsados por Hidrógeno Verde, ya que es una tecnología relativamente nueva y poco explorada, a medida que el coste disminuya y avance la tecnología, aumentará la producción por lo que el precio disminuirá y será competitivo con otras tecnologías.

Otro argumento que es interesante estudiar es el factor mercado y la adopción de cada una de las tecnologías en el mercado. Actualmente existe una mayor masa de población que utiliza vehículos eléctricos de baterías, con una gran variedad de modelos disponibles en el mercado, mientras que hay muy pocos vehículos en el mercado que utilicen tecnología basada en Hidrógeno verde. También los vehículos eléctricos de batería están mucho más

asentados en materia de apoyo gubernamental, teniendo así amplios incentivos y políticas de apoyo para la adopción de vehículos eléctricos. Por otro lado, las tecnologías de Hidrogeno Verde tiene un apoyo creciente pero menos extendido que para los BEV, con incentivos y proyectos piloto en desarrollo.

## 4.2 Sector industrial

En este sector, existe una amplia variedad de aplicaciones que requieren diferentes rangos de temperatura para satisfacer la demanda de calor. Como podemos ver en la Figura 29, la demanda de calor en la industria representa el 74% de la demanda del consumo de energía final. De esta demanda total de calor, el 30% de la demanda se concentra en temperaturas inferiores a 150°C, el 22% en el rango de 150°C a 400°C y el 48% a temperaturas superiores a 400°C.

### EL CALOR SOLAR INDUSTRIAL COMPENSA

El consumo final de energía térmica en el sector industrial es mayor que el consumo de electricidad a nivel mundial. Sin embargo, se habla mucho más de la electricidad.

#### GRAN DEMANDA DE CALOR EN LA INDUSTRIA A NIVEL GLOBAL

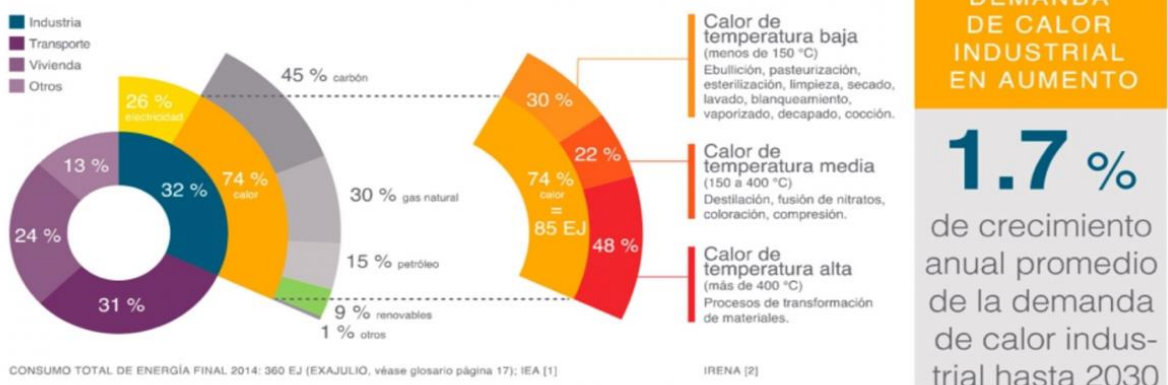


Figura 29. Demanda de calor en la industria a nivel global.

Dicho esto, en función del rango de temperatura y de las tecnologías que hay en el mercado, para seleccionar el tipo de fuente y de tecnología más adecuada en cada rango de temperatura, aplicamos los siguientes criterios.

### 4.2.1 Rango de temperaturas inferiores a 150°C

Estos rangos de temperatura los utilizan mayoritariamente en el sector textil, agroalimentario, industria del papel entre otros. En la Tabla 8 se exponen los rangos de temperatura que se requiere en algunos sectores industriales.

Tabla 8. Rangos de temperatura que es requerida en algunos sectores industriales.

Sector industrial	Unidad de operación	Rango de temperaturas (°C)
<b>Agroalimentario</b>	Secado	30-90
	Lavado	60-90
	Pasteurización	60-80
	Tratamiento térmico	40-60
<b>Bebidas</b>	Lavado	60-80
	Esterilizante	60-90
	Pasteurización	60-70
<b>Industria del papel</b>	Cocinar y secar	60-80
	Agua para la caldera	60-90
<b>Tratamiento superficial de metal</b>	Tratamiento, electrodeposición, etc.	30-90
<b>Ladrillos y bloques</b>	Curación	60-140
<b>Industria textil</b>	Blanqueamiento	60-100
	Teñido	70-90
	Lavado	40-80
<b>Todos los sectores industriales</b>	Pre calentamiento del agua de alimentación de la caldera	30-100
	Enfriamiento solar industrial	55-180
	Calefacción de edificios de fábrica	30-80

Para demandas de calor a temperaturas inferiores a 150°C, se proponen varios sistemas que podría cubrir la demanda. Se propone cubrir aquellas actividades que requieran temperaturas hasta 90°C con aerotermia (alimentados con energía eléctrica generada con energías renovables) ya que esta tecnología presenta numerosas ventajas para actividades a baja temperatura. Por otro lado, para aquellas actividades con una demanda de calor entre 90°C y 150°C, se cubriría con captadores solares térmicos. Para aquellas actividades donde no se puedan aplicar equipos de aerotermia o captadores solares térmicos, se optará por la utilización de calderas eléctricas.

Actualmente hay bombas de calor de CO<sub>2</sub> para aerotermia de algunos fabricantes como MITSUBISHI, que pueden producir agua caliente hasta 80-90°C. Los captadores solares térmicos pese a ser una tecnología muy utilizada, presenta un problema de espacio, se necesitan grandes extensiones de terreno para poder construir parques solares térmicos.

#### 4.2.2 Rango de temperatura entre 150°C y 400°C

Este rango de temperaturas es ampliamente utilizado por varias actividades en el sector industrial. Algunas de ellas son actividades de destilación, fusión de nitratos, procesos de coloración, así como en procesos de compresión.

Para demandas de calor a temperaturas entre 150°C y 400°C, se propone la utilización de energía solar térmica de concentración debido a las numerosas ventajas que tiene sobre el resto de las tecnologías para las actividades entre 150°C y 400°C. Cuando técnicamente no se pueda utilizar la energía solar térmica de concentración, se aplicará la tecnología de la empresa *Built to Zero* basada en calentadores eléctricos y tanques de sales fundidas. En caso de no poder poner este tipo de tecnología, sería conveniente la utilización de calentadores eléctricos convencionales o calderas eléctricas.

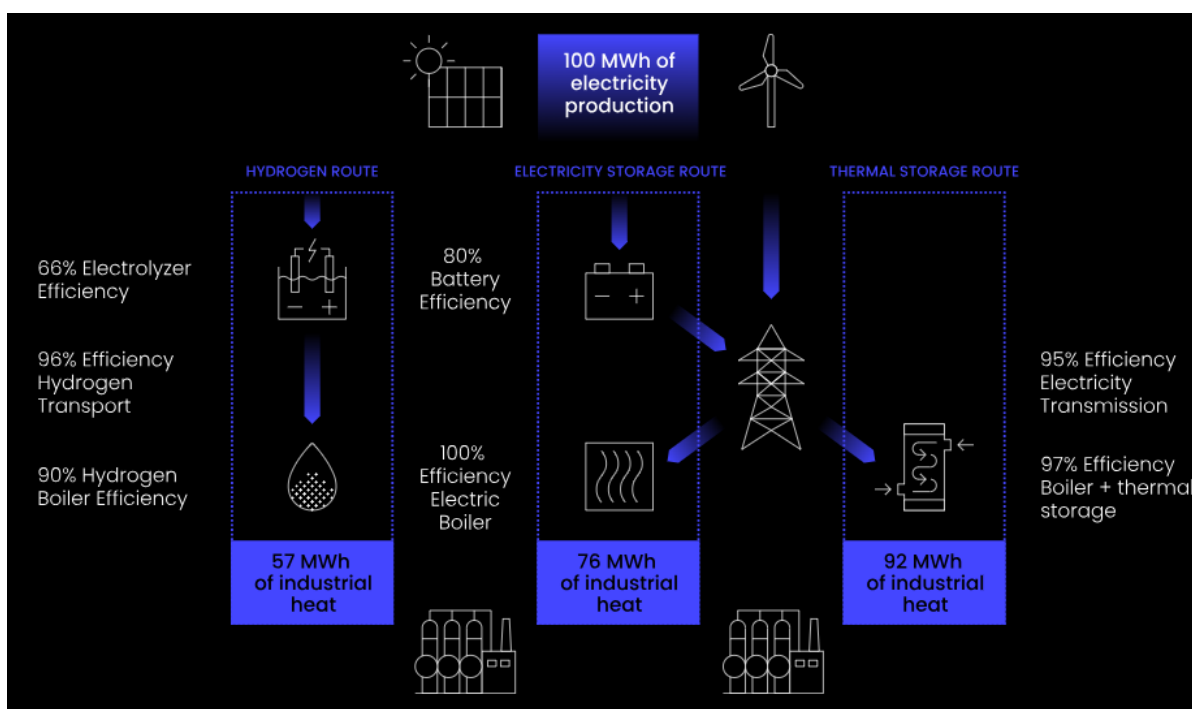


Figura 30. Comparativa de las eficiencias de las diferentes tecnologías de producción de energía.

#### 4.2.3 Rango de temperatura superior a 400°C

Las actividades con rangos de temperatura de trabajo superiores a 400°C son bastante comunes en la industria en la actualidad. Estas son el 48% del total de las actividades según la Figura 29. Algunos de los sectores industriales que demandan estos rangos de temperatura son:

- **Fundición de metales:** Para fundir metales tales como el hierro, el acero y el aluminio, se requieren temperaturas de hasta 1700°C. Los procesos de templado, recocinado y cementación requieren temperaturas entre 400°C y 1200°C para mejorar las propiedades mecánicas de los metales.
- **Industria cerámica:** La cocción de ladrillos, azulejos y vajillas, requiere temperaturas de hasta 1200°C para obtener la dureza y resistencia deseadas en los productos cerámicos. La fusión del vidrio se realiza a temperaturas entre 1.500°C y 1.700°C.

- **Industria química:** Diversas reacciones químicas requieren altas temperaturas para su desarrollo. Para el craqueo de hidrocarburos se utilizan temperaturas de hasta 800°C para convertir el petróleo crudo en productos combustibles y petroquímicos.
- **Industria del cemento:** El Clinker, componente principal del cemento, se produce a temperaturas de hasta 1450°C.
- **Incineración de residuos:** La incineración de residuos peligrosos se realiza a temperaturas superiores a 850°C para garantizar la destrucción completa de los contaminantes.

Estas son solo algunos de los sectores industriales que requieren temperaturas de trabajo superiores a 400°C para poder llevar a cabo sus actividades, existen muchos otros que no se han mencionado.

Con las tecnologías que hay actualmente disponibles en el mercado, las únicas fuentes de energía renovable que pueden cubrir la demanda de calor superiores a 400°C, son el Biometano y la energía eléctrica generada con energías renovables, a través del vector de Hidrógeno Verde.

Anteriormente se ha comentado que el Biometano ofrece ventajas significativas sobre el Hidrógeno Verde como alternativa a los combustibles fósiles en vehículos pesados, por lo que la prioridad del Biometano es cubrir la demanda en dicho sector.

Asumiendo que los motores de combustión interna (MCI) alimentados con Biometano tienen el mismo rendimiento que los alimentados con gasoil/gasolina, si nos centramos en el caso concreto de España, para sustituir el gasoil de toda la flota de vehículos pesados del transporte de carretera, y el utilizado en el transporte marítimo interior y los barcos de pesca, se necesitará del orden de 130TWh/año de Biometano, que es el consumo energético actual de gasoil/gasolina para estos tipos específicos de transporte.

Dado que el potencial de Biometano estimado en España es de 163TWh/año, si le damos la prioridad a su aplicación para transporte pesado por su gran cantidad de ventajas comparándolo con el resto de las alternativas, el Hidrógeno Verde se posiciona como la única alternativa viable para cubrir la demanda de calor a temperaturas superiores a 400°C.

### 4.3 Sector residencial y servicios

Tanto en el sector residencial como en el sector servicios, se asume que el consumo total de energía fósil final se destina principalmente a calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Para llevar a cabo esta transición energética a energías de origen renovable, se proponen dos opciones como claras candidatas. Estas son:

- a) Sustituir los combustibles fósiles actuales (principalmente gas natural y productos petrolíferos), por un sistema de Aerotermia.
- b) Sustituir las calderas actuales de gas natural/gasoil, por calderas eléctricas alimentadas por energía eléctrica de origen renovable.

La aerotermia presenta una serie de ventajas si lo comparamos con las calderas eléctricas, la primera es el elevado coeficiente de rendimiento (COP), que tiene un valor de 4, lo que significa, que, por cada 1 kW de potencia suministrada, se extraen 4 kW de potencia

de refrigeración, lo cual es muy positivo, ya que obtenemos con poca potencia mucho rendimiento. Las calderas eléctricas por otro lado también tienen un rendimiento elevado, del orden del 95%, pero en comparación con los sistemas de aerotermia, se le tienen que suministrar una gran cantidad de energía, por lo que lo convierten en una opción mucho menos atractiva.

Por consiguiente, siempre que técnicamente sea viable, se optará por sistemas de aerotermia, mientras que para casos aislados donde la opción de la aerotermia no sea viable técnicamente, se recurrirá a la opción de las calderas eléctricas.

## 5 Alternativas para sustituir la energía fósil por energía renovable en la provincia de Tarragona

Para determinar qué energías renovables son más adecuadas para sustituir las energías fósiles, es necesario conocer el consumo actual de energía fósil final en los distintos sectores. Esto incluye los consumos en el sector del transporte por carretera, la demanda actual en el sector residencial y de servicios, así como el consumo en el sector industrial, requerido en los diferentes rangos de temperatura.

### 5.1 Consumo de energía fósil en el sector transporte

Dado que no se dispone de información específica sobre el consumo de energía fósil final en el sector de transporte, hemos tomado como referencia los datos disponibles en la página web del Instituto Catalán de la Energía (ICAEN) para este sector en Cataluña. Se ha asumido que el consumo por habitante (KWh/habitante y año) en la provincia de Tarragona es similar al consumo promedio en Cataluña. De esta forma se pueden obtener valores que se acercarán a los valores reales.

El consumo de energía fósil final en la provincia de Tarragona, lo determinamos aplicando la siguiente expresión:

$$C.E.F.P.Tarragona = C.E.F.Cataluña \cdot [M.hPTa/M.hCa] \quad (1)$$

Siendo:

- **C.E.F.P. Tarragona:** Consumo energía fósil final en la provincia de Tarragona.
- **C.E.F Cataluña:** Consumo de energía fósil final en Cataluña.
- **M.hPTa:** Millones de habitantes en la provincia de Tarragona <sup>[17]</sup>.
- **M.hCa:** Millones de habitantes en Cataluña <sup>[16]</sup>.

Actualmente en Cataluña hay una población de aproximadamente 7,8 millones de habitantes. En la provincia de Tarragona habitan únicamente 822.000 habitantes del total de Cataluña, lo que supone un 10,5% aproximadamente.

En consumo de energía fósil final de la provincia de Tarragona, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$C.E.F.P.Tarragona = C.E.F.Cataluña \cdot 0,105 \quad (2)$$

Los valores estimados para los consumos de energía fósil final en Tarragona para el sector transporte por carretera se recogen en la Tabla 9. Estos valores han sido calculados a partir de los consumos de energía fósil final en Cataluña, reflejados en la Tabla 2. Y, multiplicando dicho valor por el coeficiente de población de la provincia de Tarragona.

Tabla 9. Valores estimados del balance de las fuentes de energías fósiles que cubrieron la demanda de energía fósil final en el transporte por carretera de la provincia de Tarragona (Año 2022).

Consumo de E. Final en el transporte por carretera	Petróleo y productos petrolíferos (Ktep/año)	Gas Natural (Ktep/año)	Consumo total de E. Fósil final	
			Ktep/año	GWh/año
<b>Turismos: 53,57%</b>	287	1,79	287	3·33·10 <sup>3</sup>
<b>Camiones y vehículos ligeros (VL): 40,5%</b>	215	1,37	216	2,52·10 <sup>3</sup>
<b>Autobuses: 4,86%</b>	25,8	0,16	26,0	302
<b>Motocicletas: 1,13%</b>	2,86	0,038	6,05	70,4
<b>Consumo total</b>	531	3,36	535	<b>6,27·10<sup>3</sup></b>

Se ha obtenido un consumo de energía final total en la provincia de Tarragona de 6270 GWh/año. Esta es la demanda de energía que requiere ser sustituida por energías de origen renovable.

## 5.2 Consumo de energía fósil final en el sector Residencial y Servicios

Dado que tampoco se dispone de información específica sobre el consumo de energía fósil final en el sector residencial y servicios, se ha tomado como referencia los datos disponibles en la página web del Instituto Catalán de la Energía (ICAEN) para este sector en Cataluña. Se ha asumido igual que en el caso anterior que el consumo por habitante (KWh/habitante y año) en la provincia de Tarragona es similar al consumo promedio en Cataluña. De esta forma se pueden obtener valores que se acercarán a los valores reales.

El consumo de energía fósil final en la provincia de Tarragona se determinará aplicando la siguiente expresión:

$$C.E.F.P.Tarragona = C.E.F.Cataluña \cdot [M.hPTa/M.hCa] \quad (3)$$

Siendo:

- **C.E.F.P. Tarragona:** Consumo energía fósil final en la provincia de Tarragona.
- **C.E.F Cataluña:** Consumo de energía fósil final en Cataluña.
- **M.hPTa:** Millones de habitantes en la provincia de Tarragona <sup>[17]</sup>.
- **M.hCa:** Millones de habitantes en Cataluña <sup>[16]</sup>.

Igual que se ha expuesto en el apartado anterior, en la provincia de Tarragona reside el 10,5% de la población total de Cataluña.

En consumo de energía fósil final de la provincia de Tarragona, lo podemos calcular mediante la siguiente expresión:

$$C.E.F.P.Tarragona = C.E.F.Cataluña \cdot 0,105 \quad (4)$$

Los valores estimados para los consumos de energía fósil final en Tarragona para el sector residencial y servicios se recogen en la tabla 10. Estos valores han sido calculados a partir de los consumos de energía fósil final en Cataluña, reflejados en la Tabla 2. Y, multiplicando dicho valor por el coeficiente de población de la provincia de Tarragona.

Tabla 10. Valores estimados del balance de las fuentes de energías fósiles que cubrieron la demanda de energía fósil final en el sector residencial, servicios y primario de la provincia de Tarragona (Año 2022)

Consumo de E. Final en el transporte por carretera	Petróleo y productos petrolíferos (Ktep/año)	Gas Natural (Ktep/año)	Consumo total de E. Fósil final		% en peso del consumo de los sectores
			Ktep/año	GWh/año	
<b>Sector residencial</b>	29,1	81,3	110	1284	60,6
<b>Sector servicios</b>	21,0	34,9	56,0	651	30,7
<b>Sector primario</b>	15,7	0,2	15,9	185	8,70
<b>Consumo total</b>	65,8	117	182	<b>2,12·10<sup>3</sup></b>	<b>100</b>

Se ha obtenido un consumo de energía final total en la provincia de Tarragona de 2120 GWh/año. Esta es la demanda de energía que requiere ser sustituida por energías de origen renovable.

### 5.3 Consumo de energía fósil final en sector industrial en Tarragona

Para la obtención del consumo de energía fósil final en el sector industrial de la provincia de Tarragona, se ha consultado la información disponible en la página web del Instituto Catalán de Energía (ICAEN).

En la Tabla 11, se muestran distintas fuentes que cubrieron la demanda de energía fósil final en el sector industrial en la provincia de Tarragona.

Tabla 11. Tipo de energías fósiles que cubrieron la demanda de energía final del sector industrial de la provincia de Tarragona.

Forma de energía	Consumo de energía fósil final 2020		Consumo de energía fósil final 2020 (%)
	Ktep/año	GWh/año	
<b>Carbón</b>	0	0	0
<b>Coque de petróleo</b>	50,6	588	6,87
<b>Fueloil</b>	7,28	84,7	0,990
<b>Gas Natural</b>	612	7,12·10 <sup>3</sup>	83,2
<b>Gasoil</b>	7,59	88,3	1,03
<b>Gases de refinería</b>	2,90	33,7	0,390
<b>Gases Licuados de Petróleo (GLP)</b>	0,890	10,4	0,120
<b>Residuos industriales no renovables</b>	57,0	663	7,75
<b>Consumo Total</b>	<b>738</b>	<b>8,56·10<sup>3</sup></b>	<b>100</b>

Como podemos observar en la Tabla 11, la gran parte del consumo del sector industrial en la provincia de Tarragona es de Gas Natural, con un 83,2% del total. Le siguen los residuos industriales no renovables con un 7,75% y el Coque de petróleo con un 6,87%.

Por otro lado, se tiene que ver la distribución de los consumos por temperatura para las diferentes actividades que se desarrollan en el sector industrial. Para ello, en la Tabla 12, los consumos de los diferentes subsectores que tenemos en la industria de la provincia de Tarragona.

Tabla 12. Tipo de energías fósiles que cubrieron la demanda de energía fósil final de los distintos subsectores de la industria de la provincia de Tarragona.

	Coque de petróleo	Fueloil	Gas Natural	Gasoil	Gases Refinería	Gases Licuados de Petróleo (GLP)	Residuos NO renovables	Consumo energía final total por actividad (GWh/año)	Consumo energía final total por actividad (%)	Temperatura estimada de la demanda de calor
<b>Alimentación, bebidas y tabaco</b>	0	4,65	399	15,1	0	3,49	0	422	4,91	Menor de 150°C
<b>Otros productos minerales no metálicos</b>	0	9,30	89,6	6,98	0	0	0	106	1,23	Menor de 150°C
<b>Artes gráficas</b>	0	0	1,16	0	0	0	1,60	2,76	32,0·10 <sup>-3</sup>	Menor de 150°C
<b>Cemento artificial</b>	588	6,98	0	1,16	0	0	176	772	8,98	1500°C
<b>Cuero y calzado</b>	0	0	12,8	1,16	0	0	0	14,0	0,163	Menor de 150°C
<b>Extractivas no energéticas</b>	0	0	3,49	34,9	0	0	0	38,4	0,447	Menor de 150°C
<b>Madera, corcho y muebles de madera</b>	0	0	0	2,33	0	0	0	2,33	0,271	Menor de 150°C
<b>Industria variada</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
<b>Metalúrgica no férrica</b>	0	0	5,82	0	0	0	0	5,82	0,677	150°C-400°C
<b>Pasta de papel, papel y cartón</b>	0	0	519	4,65	0	1,16	0	525	6,10	150°C-400°C
<b>Químico</b>	0	64,0	5,44·10 <sup>3</sup>	17,4	33,7	0	487	6,05·10 <sup>3</sup>	70,3	Mayor de 400°C
<b>Siderurgia y fundición férrica</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
<b>Textil y confección</b>	0	0	19,8	0	0	0	0	19,8	0,230	Menor de 150°C
<b>Transformados de caucho</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
<b>Transformados metálicos</b>	0	0	115	3,49	0	2,33	0	121	1,41	Mayor de 400°C
<b>Transformados plásticos</b>	0	0	12,8	2,33	0	2,33	0	17,5	0,203	150°C-400°C
<b>Cristal</b>	0	0	499	0	0	0	0	499	5,80	1500°C-1700°C
<b>Consumo energía final por tipo de energía (MWh/año)</b>	<b>588</b>	<b>84,9</b>	<b>7,12·10<sup>3</sup></b>	<b>89,5</b>	<b>33,7</b>	<b>9,31</b>	<b>662</b>	<b>8,60·10<sup>3</sup></b>	<b>100</b>	-
<b>Consumo energía final por tipo de energía (%)</b>	<b>6,84</b>	<b>0,987</b>	<b>82,8</b>	<b>1,04</b>	<b>0,392</b>	<b>0,108</b>	<b>7,70</b>	-	-	-

Como se puede ver en la Tabla 12, el sector con un mayor consumo de energía fósil final es el sector químico con un 70,3% del consumo total de la provincia de Tarragona. Este dato no sorprende dado el gran polo petroquímico que tiene Tarragona. Dentro del consumo del sector químico tenemos que el 90% de este consumo es de Gas Natural.

Otros sectores con un gran consumo de energía final es el sector del cemento artificial con un 8,98% del consumo total. El sector del papel y cartón tiene un consumo de 6,10% y el del vidrio con un 5,80%. Para estos subsectores citados, prácticamente la totalidad de los consumos proviene del Gas Natural.

## 5.4 Selección de la fuente de energía renovable más adecuada para sustituir a los combustibles fósil en cada uno de los sectores y subsectores de la provincia de Tarragona

En este apartado se expone la demanda de energía renovable que se necesita para cubrir la totalidad del consumo de los diferentes sectores en la provincia de Tarragona.

### 5.4.1 Sector transporte

#### 5.4.1.1 Transporte pesado por carretera

Dado que el consumo estimado de los vehículos pesados de la provincia de Tarragona es de  $2,82 \cdot 10^3$  GWh/año, valor reflejado en la Tabla 9. Asumiendo que el rendimiento de los Motores de Combustión Interna (MCI) alimentados por Biometano es el mismo que los alimentados con gasoil, se necesitaría una producción de Biometano de  $2,82 \cdot 10^3$  GWh/año.

Por otro lado, también se puede optar por la pila de hidrógeno verde como posible tecnología para sustituir los combustibles fósiles en los vehículos pesados. Para poder determinar la energía eléctrica necesaria para generar Hidrogeno Verde, se aplican las siguientes expresiones.

En primer lugar, se necesita averiguar la energía útil aplicada a la rueda en los motores de combustión interna actuales. El rendimiento " $\eta$  T.rueda MCI" se estima sobre un 28% del total de energía entregada. Para calcular la energía de la rueda en los MCI se aplica la siguiente fórmula.

$$\text{Energía rueda en los MCI} = \text{Consumo vehiculo pesado} * \eta \text{ T.rueda MCI} \quad (5)$$

$$\text{Energía rueda en los MCI} = 2,82 \cdot 10^3 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \cdot 0,28 = 790 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (6)$$

Una vez se tiene la energía útil que aprovecha la rueda, se puede calcular la cantidad de Hidrógeno Verde que se necesita generar y aportar a la pila para cubrir la demanda. Para ello, se aplica la siguiente expresión:

$$H_2 \text{ necesario} = \frac{\text{Energía rueda en los MCI}}{\eta P.H_2(T.rueda)} \quad (7)$$

Donde la energía rueda en los MCI es el valor que se ha calculado anteriormente y “ $\eta_{P.H2}(T.rueda)$ ” es el rendimiento útil que le llega a la rueda. Este tiene un valor aproximado de 45%. Por lo tanto:

$$H_2 \text{ necesario} = \frac{790}{0,45} = 1,76 \cdot 10^3 \frac{GWh}{\text{año}} \quad (8)$$

Una vez se tiene la energía necesaria para aportar a la pila y cubrir la demanda de la provincia de Tarragona, se necesita saber a partir del rendimiento del electrolizador, que cantidad de energía se tiene que aportar para cubrir la demanda actual. Para ello, se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Energía Eléctrica para Generar el } H_2 = \frac{H_2 \text{ necesario}}{\eta \text{ Electro}} \quad (9)$$

Donde el “ $H_2$  necesario” es el valor calculado en la anterior ecuación y el rendimiento del electrolizador se estima de aproximadamente 64% [18].

$$\text{Energía Eléctrica para Generar el } H_2 = \frac{1,76 \cdot 10^3 \frac{GWh}{\text{año}}}{0,64} = 2,75 \cdot 10^3 \frac{GWh}{\text{año}} \quad (10)$$

Por lo que se obtiene que, para cubrir la demanda de todos los vehículos pesados de la provincia de Tarragona con Hidrógeno Verde, el consumo de energía eléctrica de los electrolizadores sería del orden de  $2,75 \cdot 10^3$  GWh/año.

#### 5.4.1.2 Turismos

Asumiendo que todo el potencial de Biometano a nivel nacional se utiliza para cubrir la demanda de los vehículos pesados, para cubrir la demanda actual en los turismos del orden de  $3,33 \cdot 10^3$  GWh/año (Según Tabla 9), tenemos dos opciones, según si optamos por reemplazar los vehículos actuales con motores de combustión interna (MCI) por vehículos de batería (BEV) o bien por vehículos impulsados por pilas de Hidrógeno Verde.

- Vehículos de batería (BEV)

Igual que se ha realizado con los vehículos pesados, se calcula la energía útil que se transmite a la rueda para generar trabajo mediante la siguiente expresión:

$$\text{Energía rueda en los MCI} = \text{Demanda actual} \cdot \eta \text{ T.rueda MCI} \quad (11)$$

Siendo la demanda actual  $3,33 \cdot 10^3$  y “ $\eta$  T.rueda MCI” el rendimiento de la energía aportada al motor. Este valor se estima de aproximadamente 28%.

$$\text{Energía rueda en los MCI} = 3,33 \cdot 10^3 \frac{GWh}{\text{año}} \cdot 0,28 = 932 \frac{GWh}{\text{año}} \quad (12)$$

Una vez se tiene la energía útil de trabajo del turismo, se puede calcular la energía eléctrica necesaria para aportar a las baterías mediante la siguiente expresión:

$$\text{Energía } E. \text{ para cargar las baterías} = \frac{\text{Energía rueda en los MCI}}{\eta \text{ Trueda BEV} \cdot \eta \text{ Carga.Bateria}} \quad (13)$$

La “Energía rueda en los MCI” es el valor que hemos calculado previamente. El rendimiento de transmisión a la rueda en los vehículos de baterías (BEV) se estima del 81% ( $\eta$  Trueda BEV) <sup>[19]</sup> y el rendimiento de las baterías de dichos vehículos es del 95% ( $\eta$  Carga.Bateria). Por lo tanto, se obtiene:

$$\text{Energía } E. \text{ para cargar las baterías} = \frac{932 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{0,81 \cdot 0,95} = 1,21 \cdot 10^3 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (14)$$

- Hidrógeno Verde

De la misma forma, para determinar la energía eléctrica que es necesaria generar para los turismos con pilas de Hidrogeno verde, se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Energía rueda en los MCI} = \text{Demanda actual} \cdot \eta \text{ T.rueda MCI} \quad (15)$$

Siendo la demanda actual  $3 \cdot 33 \cdot 10^3$  y “ $\eta$  T.rueda MCI” el rendimiento de la energía aportada al motor. Este valor se estima de aproximadamente 28%.

$$\text{Energía rueda en los MCI} = 3,33 \cdot 10^3 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \cdot 0,28 = 932 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (16)$$

Una vez se tiene la energía útil que se necesita la rueda, se puede calcular la cantidad de Hidrogeno Verde que se necesita aportar a la pila.

$$H_2 \text{ necesario} = \frac{\text{Energía rueda en los MCI}}{\eta P.H2(T.rueda)} \quad (17)$$

Donde la energía rueda en los MCI es el valor que se ha calculado anteriormente y “ $\eta P.H2(T.rueda)$ ” es el rendimiento útil que le llega a la rueda. Este tiene un valor aproximado de 45% <sup>[20]</sup>. Por lo tanto, se obtiene:

$$H_2 \text{ necesario} = \frac{932 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{0,45} = 2,07 \cdot 10^3 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (18)$$

Una vez se tiene la energía necesaria para aportar a la pila y cubrir la demanda de la provincia de Tarragona, se necesita saber a partir del rendimiento del electrolizador, que cantidad de energía se tiene que aportar para cubrir la demanda actual. Para ello, se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Energía Eléctrica para Generar el } H_2 = \frac{H_2 \text{ necesario}}{\eta \text{ Electro}} \quad (19)$$

Donde el “H<sub>2</sub> necesario” es el valor calculado en la anterior ecuación y el rendimiento del electrolizador ( $\eta$  Electro) se estima de aproximadamente 64%. Por lo que se tiene:

$$\text{Energía Eléctrica para Generar el } H_2 = \frac{2,07 \cdot 10^3 \frac{GWh}{año}}{0,64} = 3,23 \cdot 10^3 \frac{GWh}{año} \quad (20)$$

Por lo que se obtiene que, para cubrir la demanda de todos los vehículos de la provincia de Tarragona con Hidrógeno Verde, se tiene que aportar a los electrolizadores  $3,23 \cdot 10^3$  GWh/año de energía eléctrica.

Analizando los resultados entre estas dos opciones (BEV e Hidrógeno Verde) podemos ver claramente que el rendimiento de los vehículos de batería (BEV) es muy superior a la del vehículo de pila de Hidrógeno Verde. El Hidrógeno Verde tiene una gran ventaja respecto a los vehículos de batería (BEV), como es la posibilidad de hacer grandes recorridos sin la necesidad de repostar. Los repostajes en los vehículos de pila de Hidrógeno Verde son significativamente más rápidos que en los vehículos de batería. No obstante, en la actualidad ya hay vehículos de batería que ofrecen unas prestaciones muy competitivas, alcanzando autonomías de hasta 500/600 kilómetros sin la necesidad de repostar, así como un tiempo de carga completa de la batería de 14 minutos, lo que los hace ser muy competitivos con otras tecnologías. Con esta autonomía y tiempos de repostaje, se cubren las necesidades de un porcentaje muy alto de usuarios de turismos.

#### 5.4.2 Sector residencial y servicios

En el sector residencial y servicios se plantean varias alternativas. Asumiendo que todo el potencial de Biometano a nivel nacional se utiliza para sustituir los combustibles fósiles en los vehículos pesados, la única alternativa viable para sustituir los combustibles fósiles por energías renovables en el sector es la energía eléctrica generada con fuentes renovable. Esta energía se emplearía para alimentar calderas de Hidrógeno Verde, sistemas de aerotermia o calderas eléctricas.

Como se puede ver en la Tabla 10, el consumo actual de energía fósil del sector residencial y servicios en la provincia de Tarragona es de 2120 GWh/año, cuya demanda se tendrá que cubrir con energías de fuentes renovables.

- **Hidrógeno Verde**

Esta opción presenta una serie de inconvenientes que la hacen ser una alternativa poco favorable con comparación con otras. Dado que se plantea extremadamente difícil adaptar la red de gas natural para suministrar Hidrógeno Verde a las calderas instaladas en viviendas, hoteles, hospitales, centros comerciales, etc. y considerando que el rendimiento energético global de las calderas de hidrógeno es de alrededor 65%, mientras que el de un sistema de calderas eléctricas es del orden de 95% y el coeficiente de rendimiento (COP) de los sistemas de aerotérmica es aproximadamente 4 [21], se puede ver como las calderas de Hidrógeno no se presentan como una alternativa viable.

- **Aerotermia**

Como se ha comentado anteriormente, la aerotermia se plantea como una de las opciones más favorables para que se pueda acometer la transición energética en el sector residencial y servicios. Para poder calcular la energía eléctrica que se necesita para cubrir la demanda de energía eléctrica por aerotermia, se aplican las siguientes expresiones:

$$E. \text{ útil aplicada en sis de calefacción y ACS} = \text{Consumo} \cdot \eta \text{ Cal. GN} \quad (21)$$

Donde, el “Consumo” es el consumo de energía en el sector residencial y Servicios, con un valor de 2120 GWh/año, mientras que “ $\eta$  Cal. GN” es el rendimiento energético de las calderas de gas natural, con un valor del 86%.

$$E. \text{ útil aplicada en sis de calefacción y ACS} = 2120 \cdot 0.86 = 1823 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (22)$$

Una vez se tiene la energía útil aplicada a los sistemas de calderas de gas natural, se calcula la energía eléctrica a partir del coeficiente de rendimiento (COP) de la aerotermia.

$$E. E. \text{ para sustitir los CF} = \frac{E. \text{ útil aplicada en sis de calefacción y ACS}}{COP} \quad (23)$$

$$E. E. \text{ para sustitir los CF} = \frac{1823 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{4} = 456 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (24)$$

Por lo tanto, se necesitan 456 GWh/año de energía eléctrica de fuente renovable para poder cubrir la demanda actual del sector residencial y servicios de la provincia de Tarragona.

- **Calderas eléctricas**

Para poder calcular la energía eléctrica que se necesita para cubrir la demanda de energía eléctrica por caldera eléctrica, se aplican las siguientes expresiones:

$$E. \text{ útil aplicada en sis de calefacción y ACS} = \text{Consumo} \cdot \eta \text{ Cal. GN} \quad (25)$$

Donde, el “Consumo” es el consumo de energía en el sector residencial y Servicios, con un valor de 2120 GWh/año, mientras que “ $\eta$  Cal. GN” es el rendimiento energético de las calderas de gas natural.

$$E. \text{ útil aplicada en sis de calefacción y ACS} = 2120 \cdot 0.86 = 1823 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (26)$$

Una vez tenemos la energía útil aplicada a los sistemas de calderas de gas, se calcula la energía eléctrica necesaria a través del rendimiento de las calderas eléctricas que es 95%.

$$E. E. \text{ sustitir los combustibles fosiles} = \frac{E. \text{ útil aplicada a cal. y ACS}}{\eta \text{ Cal. eléctrica}} \quad (27)$$

$$E. E. \text{ sustitir los combustibles fosiles} = \frac{1823 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{0.95} = 1919 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (28)$$

Analizando los resultados de las opciones analizadas anteriormente (Hidrógeno Verde, aerotermia y calderas eléctricas), podemos ver como el Hidrógeno Verde es la opción menos atractiva por la dificultad de implantación en las instalaciones existentes. La opción del sistema de aerotermia tiene un rendimiento energético muy superior al de las calderas eléctricas. Sustituir las calderas actuales de gas natural/gasóleo por sistemas de aerotermia es relativamente sencillo y económico. Una ventaja que hace destacar a la aerotermia es que el mismo equipo puede suministrar calefacción en invierno y refrigeración en verano.

Por todo lo comentado anteriormente, siempre que la complejidad técnica lo permita, se aplicarán sistemas de aerotermia. Cabe destacar que la sustitución de calderas de gas natural o gasóleo por sistemas de aerotermia se está realizando con éxito en edificios existentes. Además, actualmente, los nuevos bloques de viviendas ya se están construyendo con sistemas de aerotermia incorporados.

Las calderas eléctricas quedarían limitadas a casos específicos donde no se pueda aplicar la aerotermia.

### 5.4.3 Sector industrial

Para determinar qué energías renovables son más adecuadas para sustituir a los combustibles fósiles en este sector, se toma como referencia la información extraída del Instituto Catalán de la Energía (ICAEN), recogida en la Tabla 11, asumiendo que esta energía es utilizada para cubrir la demanda de calor del sector industrial de la provincia de Tarragona.

Haciendo un análisis muy simple de los consumos se observa que el 83,2% del total pertenece a la demanda de gas natural, le sigue los residuos industriales NO renovables con el 7,15%. Después se tiene el coque de petróleo con un 6,87% del total, el resto, prácticamente tienen consumos inferiores al 1%.

Si se asume que la forma de eliminar los residuos NO renovables es utilizarlos para la producción de cemento artificial y como combustible en la industria química y que el coque de petróleo continúa aplicándose en las aplicaciones actuales por la dificultad de sustitución por una energía alternativa. Se puede considerar que el gas natural es prácticamente el único combustible fósil que hay que sustituir por energía renovable.

Por otro lado, analizando los datos de la Tabla 3, se aprecia el consumo de los diferentes subsectores de la industria de la provincia de Tarragona. Se aprecia como la industria química es la que predomina, con un 70,3%, le sigue la producción de cemento artificial con un 8,98%. El sector del papel y el cartón va en tercer lugar con un 6,1% del consumo total, mientras que el vidrio supone un 5,80%. Por último, se tiene el subsector de la alimentación, tabaco y bebida con un peso de 4,91%. Con estas actividades comentadas, tenemos que representan aproximadamente el 96% del consumo actual, con lo que el resto se puede considerar despreciable.

Para determinar la tecnología más adecuada para reemplazar los combustibles fósiles por energías renovables, se toma como referencia el rango de temperatura de la demanda de calor y se divide en tres grupos:

- Demanda de calor a temperatura inferior a 150°C: este rango puede ser cubierto con sistemas de aerotermia y solar térmica de baja temperatura (paneles solares térmicos).
- Demanda de calor a temperatura entre 150°C y 400°C: este rango puede ser cubierto con solar térmica de concentración y calentadores eléctricos.
- Demanda de calor superior a 400°C: este rango solo puede ser cubierto con Hidrógeno Verde y biometano.

Tomando como referencia la demanda de calor y los rangos de temperatura estimados en la Tabla 11, se ha determinado la demanda total de calor en cada rango de temperatura. En la Tabla 13 se indican estos valores y la tecnología considerada más adecuada para sustituir los combustibles fósiles por energías renovables en cada rango de temperatura.

Tabla 13. Consumo de energía fósil en cada rango de temperatura y tecnologías propuestas para reemplazar los combustibles fósiles por Energías Renovables en la provincia de Tarragona.

Rango de Temperatura	Consumos Actuales de E. Fósiles		Tecnologías aplicables en cada uno de los rangos de temperatura
	GWh/año	%	
Menor de 150°C	605	7,0	- Aerotermia - Solar térmica alta temperatura
Entre 150°C y 400°C	547	6,4	- Solar térmica de concentración - Calentadores eléctricos
Mayor de 400°C	7,43·10 <sup>3</sup>	86,6	- Hidrógeno Verde
<b>Total</b>	<b>8,51·10<sup>3</sup></b>	<b>100,0</b>	

#### 5.4.3.1 Tecnologías para aplicar en el rango de temperaturas inferiores a 150°C

Se asume que el 50% de la demanda se produce a una temperatura inferior a 90°C, mientras que el 50% restante corresponde a una temperatura entre 90°C y 150°C. Para las temperaturas inferiores a 90°C, se propone la implementación de sistemas de aerotermia, y para las temperaturas comprendidas entre 90°C y 150°C, se sugiere el uso de captadores solares térmicos.

- **Aerotermia**

Una bomba de calor de aerotermia funciona transfiriendo el calor del aire exterior a un espacio interior, mediante intercambio térmico. La unidad exterior de la bomba de calor posee un ventilador que impulsa un caudal de aire del exterior a través de una batería de intercambio denominada comúnmente como evaporador. La aerotermia se plantea como una de las opciones más favorables para que se pueda acometer la transición energética en aquellas actividades del sector industrial. Los equipos actuales de aerotermia están preparados para que el agua del circuito aire-agua alcance un alto rango de temperatura de hasta 90°C lo que no supone un impedimento para los radiadores convencionales.

Para poder calcular la energía eléctrica que se necesita para cubrir la demanda de energía eléctrica por aerotermia, se aplican las siguientes expresiones:

$$E. \text{ útil generada} = \text{Consumo} \cdot \eta \text{ Cal. GN} \quad (29)$$

Donde, el “Consumo” es el consumo de energía en aquellas actividades del sector industrial, con un valor de 302,5 GWh/año, extraído de la Tabla 13, y teniendo en cuenta que la aerotermia representa el 50% del consumo total de las actividades del sector industrial con

demanda de energía menor de 150°C mientras que “ $\eta$  Cal. gas” es el rendimiento energético de las calderas de Gas Natural, con un valor de 86% [22].

$$E. \text{ útil generada} = 302,5 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \cdot 0.86 = 261 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (30)$$

Una vez se tiene la energía útil aplicada a los sistemas de calderas de gasoil, se calcula la energía eléctrica a partir del coeficiente de rendimiento (COP) de la aerotermia, siendo su valor 4:

$$E. E. \text{ para sustitir los CF} = \frac{E. \text{ útil aplicada en sis de calefacción y ACS}}{\text{COP}} \quad (31)$$

$$E. E. \text{ para sustitir los combustibles fosiles} = \frac{261 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{4} = 65 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (32)$$

Por lo tanto, se necesitan 65 GWh/año de energía eléctrica de fuente renovable para poder cubrir la demanda actual de las actividades del sector industrial con una demanda de calor de hasta 150°C de la provincia de Tarragona con aerotermia.

- **Solar térmica de alta temperatura**

La energía solar térmica se presenta como una de las alternativas para poder generar energía limpia para aplicación directa en aquellas actividades del sector industrial con rangos de temperatura inferior a 150°C. En 2015, alrededor de 150 sistemas solares térmicos en industria a gran escala fueron documentados en todo el mundo, desde 0,35 MWth (500 m<sup>2</sup>) hasta 27,5 MWth (39300 m<sup>2</sup>). Sin embargo, existe un gran potencial para desarrollos de mercados basados en innovaciones. Para poder calcular la energía eléctrica que se necesita para cubrir la demanda de energía eléctrica por captadores solares, aplicamos las siguientes expresiones:

$$E. \text{ útil generada} = \text{Consumo} \cdot \eta \text{ Cal. GN} \quad (33)$$

Donde, el “Consumo” es el consumo de energía en aquellas actividades del sector industrial, con un valor de 302,5 GWh/año, extraído de la Tabla 13, y teniendo en cuenta que la energía solar de baja temperatura representa el 50% del consumo total de las actividades del sector industrial con demanda de energía menor de 150°C, mientras que “ $\eta$  Cal. GN” es el rendimiento energético de las calderas de gas natural, con un valor de 86%.

$$E. \text{ útil generada} = 302,5 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \cdot 0.86 = 261 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (34)$$

Ahora se puede calcular la energía que se necesita generar con los captadores solares a partir de la siguiente expresión:

$$E. \text{Solar. sustitir los combustibles fosiles} = \frac{E. \text{útil generada}}{\eta \text{ Captador solar}} \quad (35)$$

Donde la eficiencia energética media de los captadores solares es del 70% aproximadamente, aunque actualmente ya hay algunos que alcanzan valores máximos del 80%. De esta manera, si se tuviese una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, se tendría un aprovechamiento medio de 700 W/m<sup>2</sup>, consiguiendo una potencia máxima de unos 800W/m<sup>2</sup>.

$$E. \text{Solar. sustitir los combustibles fosiles} = \frac{261 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{0,70} = 373 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (36)$$

Sabiendo esto, podemos calcular el número de captadores que se necesita para conseguir producir dicha potencia. Para ello, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Número captadores solares} = \frac{\text{Demanda anual total}}{\text{Energía gen.por 1 captador anualmente}} \quad (37)$$

En primer lugar, se calcula la energía que genera anualmente un captador, para ello, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Ener. gen. 1 captador anualmente} = \text{Potencia} \cdot n^{\circ} \text{horas sol anual} \cdot \eta \text{ Captador solar} \quad (38)$$

La potencia unitaria de un captador solar térmico del modelo seleccionado (CSV SLIM 20) es de 300W.

Las horas de sol no son las mismas durante todos los días del año, dependen directamente de la irradiancia del sol, de las horas de sol pico diarias. Ese valor de irradiancia en condiciones estándar de medida es de 1000 W/m<sup>2</sup>. Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP.

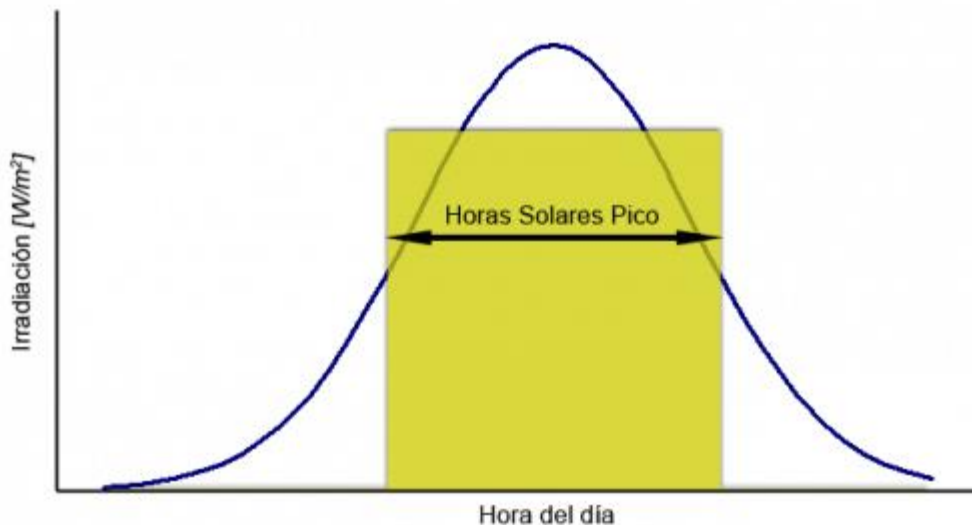


Figura 31. Diagrama de la irradiación solar en función de la hora del día.

Por otro lado, en la Tabla 14. podemos ver las horas de sol anual en cada una de las provincias de Cataluña.

Tabla 14. Horas solar pico en Cataluña <sup>[23]</sup>.

Provincia	Horas de sol (h)	HSP
Barcelona	2.453	5,4
Girona	2.800	4,12
Lleida	3.031	5,59
Tarragona	2.820	5,47

Se tiene que el valor de las horas solar anual en la provincia de Tarragona es de 2820 horas.

Si se recurre a la ficha técnica del captador solar modelo CSV SLIM 20 recogida en el apartado 9.4.1. de Anexos se aprecia que este captador tiene un rendimiento del 70%. Ahora que se tienen todos los datos necesarios para calcular la energía que genera un único captador solar anualmente.

$$E_{\text{ener. gen. 1 captador anualmente}} = 0,3 \text{ kW} \cdot 2820 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 846 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \quad (39)$$

Se tiene que cada captador del modelo CSV SLIM 20 genera en la provincia de Tarragona aproximadamente 846 kWh/año, por lo que, con la siguiente extensión, se puede calcular el número de captadores solares:

$$\text{Número captadores solares} = \frac{373 \cdot 10^6 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{846 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}} = 440899 \text{ captadores} \quad (40)$$

Finalmente se han obtenido que para cubrir la demanda energética del sector industrial con temperaturas de hasta 150°C con energía solar de baja temperatura se necesitan aproximadamente 440899 captadores solares.

Una vez se tiene el número de captadores se puede calcular la superficie aproximada que tendría el parque solar que cubra esta demanda. La superficie para poder implantar estos captadores solares se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Superficie total} = \text{Superficie unitaria} \cdot \text{Número total captadores} \quad (41)$$

La superficie unitaria para el modelo específico seleccionado son las presentadas en la Tabla 15. Para más información, ver en el apartado 9.4.1 de Anexos la ficha técnica del captador solar térmico seleccionado.

Tabla 15. Dimensiones captador solar modelo CSV SLIM 20

<b>Ancho (mm)</b>	956
<b>Largo (mm)</b>	2056
<b>Perfil del bastidor (mm)</b>	49
<b>Superficie unitaria bruta (m<sup>2</sup>)</b>	<b>1,97</b>

Con estos datos resulta que la superficie unitaria de un solo captador solar es de 1,93 m<sup>2</sup>. Con la ecuación número 42, se calcula la superficie total necesaria para la implantación de los captadores solares.

$$\text{Superficie total} = 1,97 \cdot 440899 = 868571 \text{ m}^2 = 87 \text{ hectáreas} \quad (42)$$

Por lo tanto, para cubrir la demanda de calor de las actividades del sector industrial con una demanda de calor inferior a 150°C se necesitarían 440899 captadores solares, que ocuparían una superficie de aproximadamente 87 hectáreas.

Dado que la generación se produce en las horas pico solares del día, mientras que la demanda es a lo largo del día, dicha energía se tiene que almacenar para optimizar el uso de la energía y no tener sobrante no utilizado.

#### 5.4.3.2 Tecnologías para aplicar en el rango de temperaturas comprendidas en el rango 150°C a 400°C

- **Solar térmica de concentración**

Para el rango de temperaturas de entre 150°C y 400°C, la energía solar térmica de concentración se plantea como una de las alternativas más atractivas en el mercado. Para poder calcular la energía eléctrica que se necesita para cubrir la demanda de energía eléctrica por captadores solares de concentración, se aplican las siguientes expresiones:

$$E. \text{útil} = C.E.F \cdot \eta \text{ Cal. GN} \quad (43)$$

Donde, el "C.E.F" es el consumo de energía en aquellas actividades del sector industrial, con un valor de 547 GWh/año, extraído de la Tabla 13, mientras que " $\eta$  Cal. GN" es el rendimiento energético de las calderas de gas natural, con un valor de 86%.

$$E. \text{útil generada} = 547 \cdot 0.86 = 470 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (44)$$

Para cubrir la demanda de energía térmica para las actividades del sector industrial con demanda de energía térmica entre 120°C y 400°C, se opta por los colectores solares Fresnel. El colector Fresnel se basa en una serie de líneas de espejos, receptor primario, que concentran el reflejo directo del sol sobre un colector estático, que consiste en un tubo de vacío de alta eficiencia atravesado por un fluido caloportador, el cual mediante una transferencia térmica se encarga del traspaso del calor al medio consumidor conectado al colector.

Estos colectores pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre 150°C y 400°C, por lo que son adecuados para cubrir una parte importante de la demanda de calor del sector industrial en Tarragona. Mediante esta tecnología se pueden producir desde agua caliente hasta vapor sobrecalentado en función de la demanda de energía térmica que se requiera.

Los colectores Fresnel tienen una eficiencia óptica de entre 60-70%. La eficiencia térmica por otro lado puede variar de entre el 40-60%, variando según las condiciones de operación y el diseño del sistema. Esto da lugar a una eficiencia global que puede variar entre el 25-35%.

Teniendo esto, se puede calcular el número de captadores solares que se necesitan para cubrir la demanda de las actividades con demanda térmica de entre 150°C y 400°C en el sector industrial. Para realizar el cálculo, se toma como referencia el colector FLT20 de la empresa SOLATOM. Este colector de concentración solar está diseñado para generar calor a alta temperatura en procesos industriales de pequeñas y medianas empresas. El FLT20 se suministra en módulos de 6 metros que se pueden unir unos con otros para obtener la potencia/energía deseada.

Los módulos necesarios para suministrar 470 GWh/año, dependen de la radiación solar del lugar donde se instalan, y también hay que tener en cuenta como se adapta la generación horaria de energía térmica a la demanda de dicha energía. La adaptación de la generación a la demanda se puede hacer con sistemas de almacenamiento de energía térmica, con apoyo de calderas eléctricas.

Para optimizar el sistema de almacenamiento, dimensionamos el colector para que su capacidad de generación (GWh/año) sea la óptima para nuestra demanda. Al aumentar la capacidad de generación del colector, disminuye la capacidad requerida de almacenamiento y la energía que tenemos que aportar con las calderas, pero también habrá una parte de su capacidad de generación que no podemos aprovechar. En la Figura 32 se muestra el sistema utilizado por SOLATOM para combinar colectores con calderas de apoyo, que pueden ser eléctricas o de gas natural.

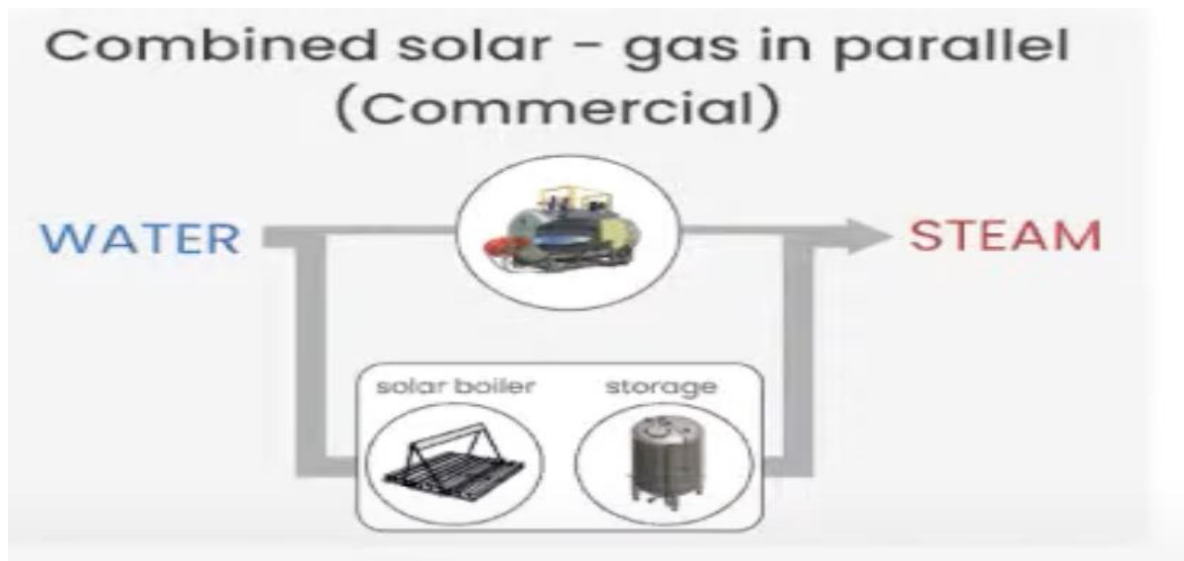


Figura 32. Sistema utilizado por SOLATOM para combinar colectores con calderas de gas natural y calderas eléctricas.

Dado que no se cuenta con datos específicos sobre la demanda horaria de energía térmica en los distintos procesos del sector industrial, y considerando que el 90% del consumo de energía térmica en el rango de temperatura de 150°C a 400°C se concentra en el sector petroquímico. Para realizar los balances horarios que nos permitan determinar el almacenamiento necesario para un ciclo diario y ajustar la generación a la demanda, asumimos que la demanda de energía térmica es constante entre las 08:00 y las 20:00 horas, todos los días del año. Esta simplificación permite realizar los balances horarios necesarios para determinar el sistema de adaptación de generación a la demanda. La Figura 33 ilustra los perfiles horarios asumidos para el desarrollo del Trabajo Fin de Máster.

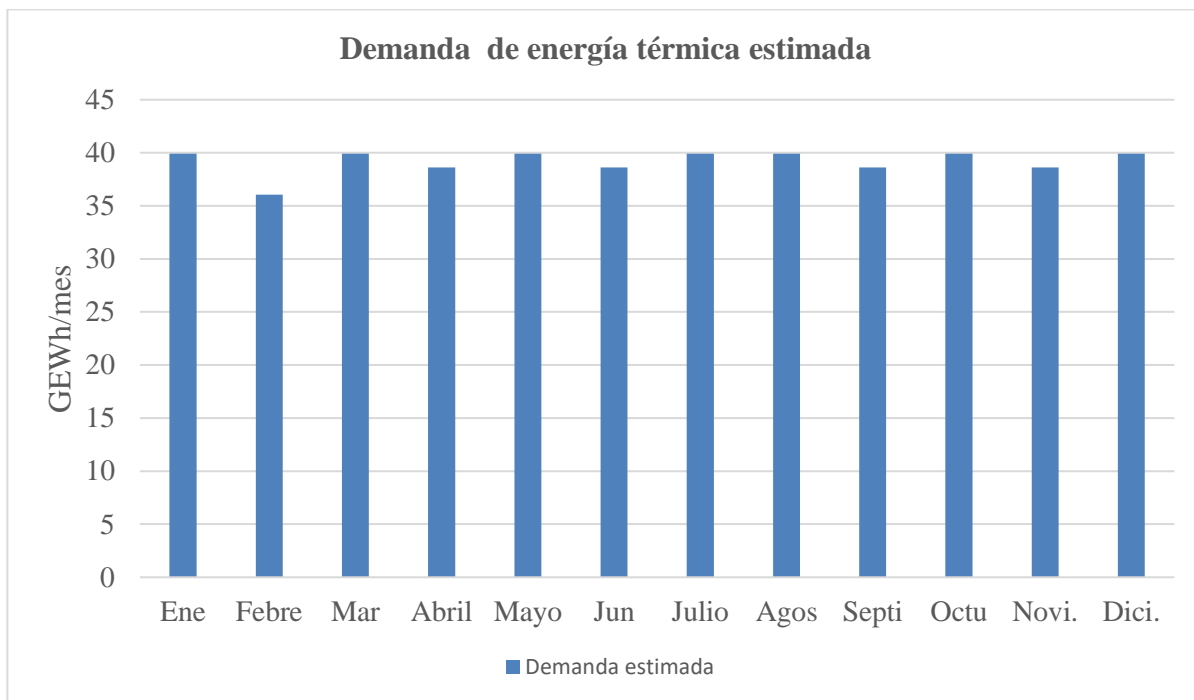


Figura 33. Perfiles de demanda asumidos para desarrollar el TFM.

La generación de energía térmica mediante captadores solares es dependiente del perfil de radiación solar disponible en la zona. Para producir 470 GWh/año con colectores solares, el perfil mensual de generación, expresado en GWh/mes, se muestra en la Figura 34.

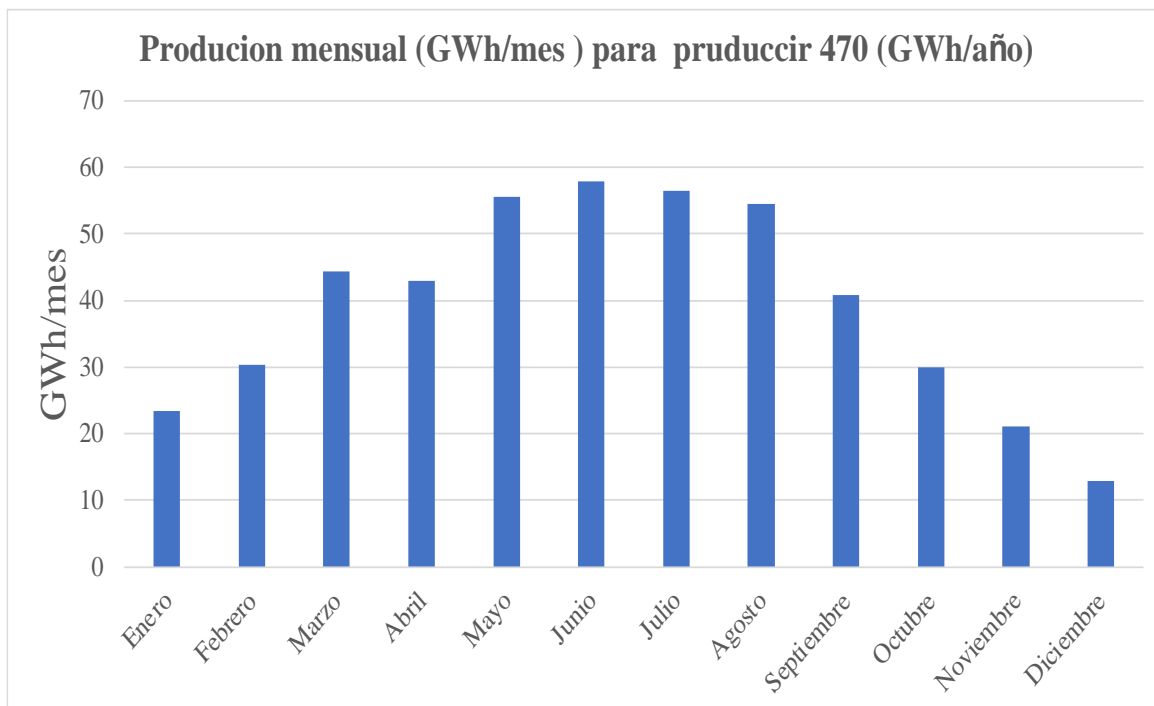


Figura 34. Producción mensual para producir 470 GWh/año.

En el caso concreto de Tarragona, la demanda total de 470 GWh/año se distribuye en varios puntos de consumo. No obstante, al no contar con datos específicos para cada punto, para el desarrollo del trabajo, se asume que toda la demanda se concentra en un solo punto. Si se tiene en cuenta que colector FLT20 tomado como referencia es modular, la extrapolación de los valores obtenidos a los diferentes puntos de consumo resulta relativamente sencilla.

Para calcular la cantidad de módulos FLT20 necesarios para satisfacer la demanda, se utilizan las siguientes formulas:

$$N.M.C.S = \frac{E.util \frac{GWh}{año}}{E.G.M.FLT20 \text{ GWh/año}} \quad (45)$$

Donde:

E.S.C.S = Suministro colector Solar.

N. M. C. S = N.º de Módulos de Colectore Solares

E.G.M. FLT20 = Energía generada por el módulo FLT20 de SOLATON

Dado que la energía media generada por un módulo FLT20 es de 0,022 GWh/año, el número de módulos FLT20 necesarios para generar 470 GWh/año se calcula de la siguiente forma:

$$N.M.C.S = \frac{470 \frac{GWh}{año}}{0,022 \text{ GWh/año}} = 21.364 \text{ unidades} \quad (46)$$

En la Figura 35 se muestra el perfil mensual de generación de energía térmica con 21.364 módulos FLT20, así como el perfil de demanda de energía térmica estimada para la industria de Tarragona, en el rango de temperatura de 150°C a 400°C.

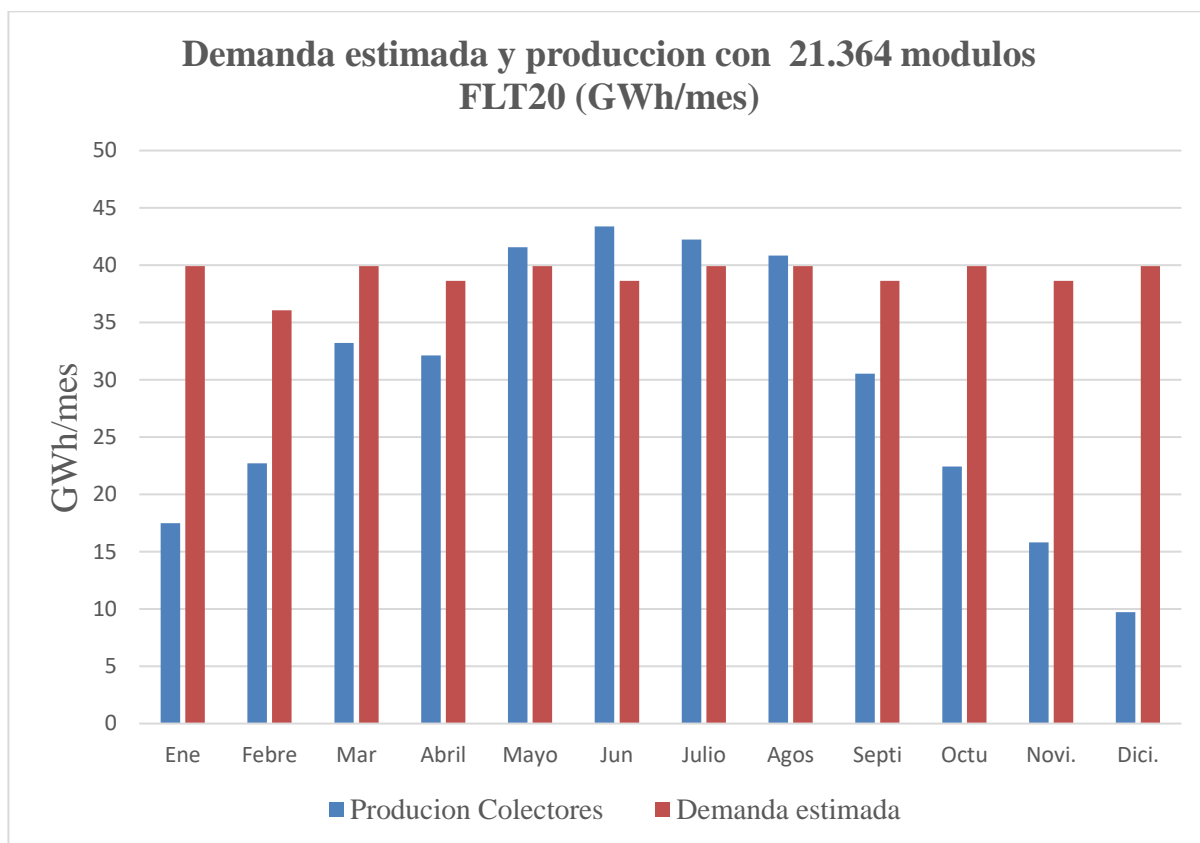


Figura 35. Perfil de generación de E. térmica con 21.300 módulos FLT 20, y demanda E. térmica estimada.

Para optimizar las inversiones, es fundamental encontrar un equilibrio entre diversos factores: las inversiones necesarias, la capacidad de generación que no se puede aprovechar, la energía que se debe aportar mediante sistemas de apoyo y la capacidad de almacenamiento requerida. En este contexto, se proponen las siguientes opciones:

- **Opción A:** Generación con Colectores Solares - 470 GWh/año

Para implementar esta opción, se necesitarían 21.364 módulos FLT20. La capacidad de generación no aprovechable sería del 16.3%, mientras que el apoyo de las calderas contribuiría igualmente con un 16.3%. Además, se requeriría una capacidad de almacenamiento de 0.13 GWh.

- **Opción B:** Aprovechamiento Completo de la Energía Térmica que se puede generar con los Colectores Solares.

Si se decide aprovechar toda la capacidad de generación de los colectores solares, el número de módulos FLT 20 se limitaría a 14.500, produciendo un total de 320 GWh al año. En este escenario, el suministro adicional requerido de las calderas de apoyo sería de 150,8 GWh anuales, lo que equivaldría al 33,8% de la producción total. La capacidad de almacenamiento necesaria para cubrir esta demanda sería de 0,14 GWh.

- **Opción C:** Suministro total de energía térmica mediante colectores solares (470 GWh/año)

Si se opta por esta solución, se necesitarían instalar 27.270 módulos FLT 20, los cuales tienen una producción estimada de 600 GWh/año. Esto implicaría un excedente de capacidad de 176,8 GWh/año, lo que representa un 29,5% de la producción total. Además, sería necesario complementar el suministro con calderas de apoyo, que cubrirían un adicional de 46,8 GWh/año, equivalente al 0,1% del total requerido. La capacidad de almacenamiento necesaria para este sistema sería de 0,19 GWh.

- **Opción D:** Generación de un 75% de la demanda anual (352 GWh/año) mediante colectores solares.

En esta opción, se requerirán 16.000 módulos FLT 20 para cubrir el 75% de la demanda anual. La capacidad de generación no utilizada alcanzará los 9.62 GWh/año, lo que representa un 2.73% del total. Para complementar el suministro, se utilizarán calderas de apoyo, las cuales proporcionarían 127.61 GWh/año, equivalentes al 27.15% de la demanda. Además, será necesario disponer de una capacidad de almacenamiento de 0.16 GWh.

De las cuatro opciones planteadas, la opción D presenta ciertas ventajas. El número de módulos FLT 20 se reduce en 5.330 unidades respecto a la opción A y en 11.270 unidades en comparación con la opción C. Además, el aporte de las calderas disminuye en un 7% en relación con la opción B.

Si optamos por la opción D, los 128 GWh/año que deben ser generados con calderas pueden producirse mediante calderas eléctricas alimentadas con energía renovable o utilizando calderas de gas natural. En caso de elegir calderas de gas natural, su consumo (148,43 GWh/año) representaría solo el 1% del consumo de energías fósiles en la provincia de Tarragona en el año 2020."

- **Tecnología calentadores eléctricos**

Por otro lado, se tienen los calentadores eléctricos basados en tecnología de almacenaje en sales fundidas, patentado por la empresa *Built To Zero*. Estos se presentan como una opción muy prometedora para aquellas actividades del sector industrial que requieran demanda térmica en temperaturas de entre 150°C y 400°C. La principal ventaja de esta tecnología es la posibilidad de poder almacenar la energía térmica. Se aplicaría en aquellos casos donde técnicamente no sea posible emplear la tecnología de captadores solares térmicos de concentración.

Para poder calcular la energía eléctrica que se necesita para cubrir la demanda de energía eléctrica de los calentadores eléctricos, se aplican las siguientes expresiones:

$$E. \text{ útil generada} = \text{Consumo} \cdot \eta \text{ Cal. GN} \quad (47)$$

Donde, el "consumo" es el consumo de energía en aquellas actividades del sector industrial, con un valor de 547 GWh/año, extraído de la Tabla 13, mientras que "η Cal. GN" es el rendimiento energético de las calderas de gas natural, con un valor de 86%.

$$E. \text{ útil generada} = 547 \cdot 0.86 = 470 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (48)$$

Una vez se conoce la demanda de energía útil de este sector, se puede calcular la energía eléctrica que se tiene que suministrar a los calentadores eléctricos para producirla. Para ello, aplicamos la siguiente expresión:

$$E. E. \text{ sustitir los combustibles fosiles} = \frac{E. \text{ útil generada}}{\eta \text{ Calentador eléctrico}} \quad (49)$$

Donde la energía útil generada la hemos calculado anteriormente y el término “ $\eta$  Calentador eléctrico” corresponde al rendimiento de los calentadores eléctricos de la empresa *Built To Zero*. En este caso, tiene una eficiencia eléctrica en la transmisión del 95% y una eficiencia del calentador y el almacenaje del 97%, por lo que tiene una eficiencia total de aproximadamente un 92%.

$$E. E. \text{ sustitir los combustibles fosiles} = \frac{470}{0,92} = 511 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (50)$$

Una vez se han estudiado ambas alternativas, podemos determinar que siempre que sea posible se optará por la utilización de captadores solares térmicos de concentración, ya que con esta tecnología aunque presenta desventajas como la gran cantidad de extensión que se necesita para la implantación de parques solares, no requiere de aporte energético inicial, ya que toda la energía que genera la obtiene del sol, mientras que los calentadores de la empresa *Built To Zero*, requieren de un aporte de energía. Por lo tanto, siempre que sea posible recurriremos a los captadores solares de concentración y para determinados casos donde no sea posible recurriremos a calentadores eléctricos.

#### 5.4.3.3 Tecnologías para aplicar en el rango de temperaturas superiores a 400°C

En la provincia de Tarragona, la actividad industrial se basa principalmente en el subsector químico. La gran mayoría de actividades de este sector requieren demandas de calor por encima de 400°C. Para temperaturas tan altas, únicamente el Hidrógeno Verde se presenta como una alternativa viable. Actualmente en este rango de temperaturas se utiliza Gas Natural, por lo que el Biometano sería una alternativa adecuada. Pero, como hemos comentado anteriormente, todo el potencial de generación de Biometano es utilizado para los vehículos pesados, por lo que la única alternativa viable es el Hidrogeno Verde.

- **Hidrógeno Verde**

La demanda de energía eléctrica para las actividades con una demanda de calor superior a 400°C, como se puede ver en la Tabla 13, es de  $7,43 \cdot 10^3$  GWh/año. Con este dato se puede calcular la energía que debemos aportar al electrolizador mediante la siguiente expresión:

$$\text{Energía Eléctrica para Generar el } H_2 = \frac{\text{Demanda energética}}{\eta_{\text{Electro}}} \quad (51)$$

Siendo la “demanda energética” el consumo de energía de las actividades con demanda de calor superior a 400°C del sector industrial de la provincia de Tarragona y el “ $\eta$  Electro” la eficiencia del electrolizador, con un valor de aproximadamente 64%.

$$\text{Energía Eléctrica para Generar el } H_2 = \frac{7,43 \cdot 10^3}{0,64} = 11,6 \cdot 10^3 \frac{\text{GWh}}{\text{año}} \quad (52)$$

Para poder cubrir la demanda de energía eléctrica de este sector, se requiere aportar  $11,6 \cdot 10^3$  GWh/año. Esta energía se tomará de red eléctrica nacional, pero si se quisiera producir dicha energía en la provincia de Tarragona, se podría producir a partir de captadores solares fotovoltaicos.

$$P.P.S.F.V = \frac{\text{Demanda de E.Eléctrica } \left(\frac{\text{GWh}}{\text{año}}\right)}{\left(\frac{\text{GWh}}{\text{año}}\right)/\text{GWins}} \quad (53)$$

Donde:

**P.P.S.F.V:** Potencia de Plantas Solar Fotovoltaica

Dado que de la información obtenida de red eléctrica se sabe que la producción anual de  $1 \text{ GW}_{\text{ins}}$  es de 1611 GWh/año, la potencia requerida es la siguiente:

$$P.P.S.F.V = \frac{11,6 \cdot 10^3 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}}{1611 \frac{\text{GWh}}{\text{GW ins}}} = 7,2 \text{ GWins} \quad (54)$$

Tenemos entonces que para cubrir la demanda de energía del sector industrial para consumos por encima de 400°C, se necesitan instalar alrededor  $7,2 \text{ GW}_{\text{ins}}$  de potencia solar fotovoltaica.

## 6 Balance económico

Para el análisis de la viabilidad económica se realiza una comparativa de los costes actuales, sistema basado en consumo de energías fósiles y el coste de energía que tendremos en el año 2050, una vez se realice la transición energética en la provincia de Tarragona. Para ello, en la Tabla 16, se presentan los consumos de energía totales y el coste por unidad de energía de las energías utilizadas actualmente en la provincia de Tarragona.

El coste medio de 1 litro de gasoil/gasolina ronda 1,5€. Sabiendo que a partir de 1 litro de Gasoil se pueden generar de media 10KWh, tenemos, que cada kilovatio-hora que producimos tiene un coste de 0,15 €/KWh. El precio actual del Gas Natural varia constantemente, pero el precio actual ronda los 0,044€/kWh. Finalmente, el fueloil tiene un precio de 0,96€/L. Sabiendo que a partir de 1 litro de Fueloil se pueden generar de media 10KWh, tenemos, que cada kilovatio-hora que producimos tiene un coste de 0,096 €/KWh

Tabla 16. Consumo de energía y coste de la energía actualmente en la provincia de Tarragona.

	Consumo energía final (KWh/año)	Coste (€/KWh)	Coste Total (€)
<b>Vehículos pesados</b>	2,82·10 <sup>9</sup>	0,15	4,23·10 <sup>8</sup>
<b>Turismos</b>	3,33·10 <sup>9</sup>	0,15	5,00·10 <sup>8</sup>
<b>Calefacción y ACS</b>	2,12·10 <sup>9</sup>	0,044	9,33·10 <sup>7</sup>
<b>Gas Natural sector industrial</b>	7,12·10 <sup>9</sup>	0,044	3,13·10 <sup>8</sup>
<b>Gasoil sector industrial</b>	1,38·10 <sup>9</sup>	0,15	2,07·10 <sup>8</sup>
<b>Fueloil en el sector industrial</b>	84,7·10 <sup>6</sup>	0,096	8,13·10 <sup>6</sup>
<b>Total</b>	-	-	<b>1,54·10<sup>9</sup></b>

Se aprecia como actualmente, cubrir la demanda energética en la provincia de Tarragona con las energías fósil que se emplean actualmente, tiene un coste de 1,54·10<sup>9</sup>€.

Por otro lado, realizando la aproximación de que el consumo energético en el año 2050 será el mismo que el que hay actualmente, así como el coste de las energías no variará a lo largo de los años, en la Tabla 17, se presentan los consumos energéticos totales del año 2050 así como el coste por unidad de energía. El precio del Biometano será muy similar al precio del Gas Natural en la actualidad, por lo que se considera que será igual. El Hidrógeno Verde tendrá un coste de 0,043 €/kWh. En cuanto a la energía térmica destinada a los captadores solares térmicos de baja temperatura (inferior a 150°C), tiene un coste aproximado de 20 €/MW. Finalmente, se asume que el precio de la energía eléctrica es el mismo que actualmente, por lo que será de aproximadamente 0,126 €/kWh.

Tabla 17. Consumo de energía y costes de la energía en el año 2050.

	Sector aplicado	Consumo energía final (KWh/año)	Coste (€/KWh)	Coste Total (€)
<b>Biometano</b>	Vehículos pesados	$2,82 \cdot 10^9$	0,044	$1,24 \cdot 10^8$
<b>Hidrógeno Verde</b>	Sector industrial ( $T > 400^\circ\text{C}$ )	$7,43 \cdot 10^9$	0,043	$3,19 \cdot 10^8$
<b>Energía térmica</b>	Sector industrial ( $T < 150^\circ\text{C}$ )	$3,73 \cdot 10^8$	0,02	$7,46 \cdot 10^6$
	Sector residencial - Aerotermia	$4,56 \cdot 10^8$	0,126	$5,75 \cdot 10^7$
<b>Energía eléctrica</b>	Turismos	$1,21 \cdot 10^9$	0,126	$1,52 \cdot 10^8$
	Sector industrial ( $T < 150^\circ\text{C}$ )	$6,5 \cdot 10^7$	0,126	$8,19 \cdot 10^6$
<b>Captadores Fresnel</b>	Sector industrial ( $150^\circ\text{C} < T < 400^\circ\text{C}$ )	$3,52 \cdot 10^8$	0,04	$1,41 \cdot 10^7$
<b>Total</b>		-	-	<b><math>6,82 \cdot 10^8</math></b>

Considerando que la demanda del año 2050 será la misma que la actual, el coste anual total de las energías renovables será de  $6,82 \cdot 10^8$  €. Sabiendo que el coste actual de las energías fósil de la Tabla 16, es de  $1,54 \cdot 10^9$  €, implica una disminución del coste de  $8,58 \cdot 10^8$  €, que representa una disminución del 55,7% respecto a el coste actual.

## 7 Conclusiones

Una vez finalizado el estudio preliminar de viabilidad técnica y económica de las diferentes tecnologías disponibles en el mercado para sustituir las energías fósiles por energías renovables en los sectores industrial, transporte y servicios de la provincia de Tarragona, se concluye que técnicamente es viable la transición energética en la provincia de Tarragona con las diferentes tecnologías y recursos que tenemos en la actualidad.

En el sector industrial, se ha llegado a la conclusión que no solo bastaría con un único tipo de energía/tecnología, sino que por el amplio rango de temperaturas que se emplean en este sector, tiene que ser una combinación de varias. Para las actividades por debajo de 150°C, se plantean dos alternativas: la aerotermia y los captadores solares térmicos de alta temperatura. La aerotermia cubriría la demanda hasta 90°C (siendo está el 50% del consumo total), necesitando generar 65 GWh/año. Los captadores solares de baja temperatura cubrirían la demanda de 90°C a 150°C (asumiendo que representa el 50% restante), necesitando generar 373 GWh/año con dicha tecnología. Utilizar la energía solar térmica como alternativa a las calderas eléctricas, reduce el flujo de energía a través de la red de distribución, lo que, a su vez, disminuiría la necesidad de redimensionar la red eléctrica nacional. Para las actividades con demanda de temperatura entre 150°C y 400°C, se plantea la posibilidad de utilizar captadores solares de concentración. Utilizando esta tecnología, se necesitarían generar 470 GWh/año. Finalmente, para actividades por encima de 400°C, el Hidrógeno Verde se plantea como la única opción viable, dado que todo el potencial de Biometano se explota en el sector transporte. El consumo de Hidrógeno Verde en este sector industrial sería de 7430 GWh/año, y para suministrar esta cantidad de Hidrogeno Verde, se requieren 11600 GWh/año aproximadamente.

En el proceso de transición energética del sector transporte, es fundamental desarrollar al máximo el potencial de Biometano disponible en España (163 TWh/año). Su aplicación en vehículos pesados, como alternativa al Hidrogeno Verde, podría reducir el consumo de energía eléctrica en 2740 GWh/año en la provincia de Tarragona y en 119 TWh/año a nivel nacional. Esta disminución de la demanda de energía eléctrica reduciría de manera significativa el flujo de energía a través de la red de distribución, lo que, a su vez, disminuiría la necesidad de redimensionar dicha red para adaptarla a la nueva demanda eléctrica. Además, la producción de Biometano jugará un papel crucial en la eliminación de residuos tanto del sector ganadero como de la industria alimentaria y agrícola. Las fracciones sólidas resultantes del proceso de digestión anaerobia se transforman en un fertilizante orgánico de gran valor para la agricultura.

Por otro lado, para los turismos, la alternativa más adecuada es la sustitución de los motores de combustión interna (MCI) por vehículos de baterías (BEV). Este cambio presenta una serie de retos, como la optimización de los tiempos de carga de los vehículos, la necesidad de aumentar la capacidad de las baterías y por supuesto, la gestión de los residuos como baterías una vez se ha llegado al final de la vida útil de las mismas. La movilidad eléctrica, aunque avanza más lentamente de lo deseado, está dando pasos importantes. Con la información disponible, se puede considerar que lograr una movilidad 100% eléctrica en las ciudades será una realidad en un futuro próximo. Como ejemplo, la ciudad de Zaragoza ya cuenta con 112 autobuses eléctricos en circulación, ha autorizado la compra de otros 40, y se ha fijado el objetivo de que toda su flota de autobuses sea 100% eléctrica<sup>[33]</sup>. En los próximos años veremos sin duda un gran cambio en estos aspectos que nos acercarán mucho más a la realidad que se espera cumplir en el año 2050.

En el sector residencial y servicios, se plantea como la mejor opción la aerotermia. Es importante destacar que la aerotermia es una tecnología madura y ampliamente probada.

Actualmente, los nuevos edificios ya se diseñan con el objetivo de cubrir la demanda de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) utilizando sistemas de aerotermia. Asimismo, cabe resaltar que existe una amplia experiencia en la sustitución de calderas de gasoil o gas natural por sistemas de aerotermia, tanto en viviendas como en centros comerciales, siendo este proceso de sustitución sencillo y eficiente. Puesto que, en determinadas situaciones, por motivos técnicos o económicos no siempre será la opción más viable, las calderas eléctricas continuarán siendo una tecnología muy utilizada.

Para conseguir que la transición energética sea viable, se deberá adaptar y mejorar la red eléctrica española, ya que el consumo de energía eléctrica se prevé que se duplique para el año 2050 <sup>[34]</sup>. El camino hacia un sistema energético descarbonizado requiere una expansión significativa de la red, soluciones para su congestión y nuevos modelos de negocio para adaptarse a la creciente demanda de electricidad y la generación a partir de energía eólica y solar.

Por supuesto, se deberán adaptar las infraestructuras de repostaje actuales por estaciones de servicio de Biometano y lugares de carga los vehículos de baterías (BEV). El hidroduto también es un reto que plantearse en los próximos años, para poder transportar el Hidrogeno Verde generado y abastecer a los diferentes puntos de servicio. El Biometano se inyectaría directamente en la red de Gas Natural actual por lo que no presenta un problema.

Finalmente, uno de los puntos más importantes a focalizar en los próximos años es la concienciación de la sociedad, que usualmente ofrece resistencia al cambio. El reto está en convencer a la sociedad para aplicar políticas de sostenibilidad a nivel nacional de modo progresivo. Es vital promover la formación y concienciación de la sociedad y los trabajadores en relación con las nuevas tecnologías renovables, para facilitar la transición. El punto más delicado reside en el desembolso que puede suponer la adquisición de turismos con baterías en vez de los actuales vehículos o en la utilización de aerotermia y calderas eléctricas en lugar de calderas de Gas Natural o Gasoil. Se recomienda fortalecer las políticas de apoyo a las energías renovables, incluyendo incentivos fiscales, subsidios a la innovación tecnológica y el desarrollo de infraestructuras necesarias. Lanzar políticas de ayuda económica para realizar esta transición es una opción para facilitar a la sociedad que se pueda acometer este cambio tan drástico. Por supuesto que no es un cambio que se vaya a realizar de un día para el otro, pero poco a poco debemos enfocarnos en mirar hacia el futuro. A medida que pasen los años, las tecnologías emergentes estudiadas estarán más desarrolladas, por lo que, a nivel económico, el desembolso bajará considerablemente, haciendo la transición energética más competitiva.

## 8 Referencias

[1] Consumo CO2 por pasajero diferentes modalidades de transporte. Recuperado el 10 de abril de 2024.

Disponible en: [https://www.autopista.es/noticias-motor/que-medio-de-transporte-contamina-mas-coche-autobus-avion-barco\\_155360\\_102.html#:~:text=Sin%20duda%2C%20son%20uno%20de,y%20158%20gramos%20las%20furgonetas](https://www.autopista.es/noticias-motor/que-medio-de-transporte-contamina-mas-coche-autobus-avion-barco_155360_102.html#:~:text=Sin%20duda%2C%20son%20uno%20de,y%20158%20gramos%20las%20furgonetas).

[2] Balance energético anuales España. Recuperado el 7 marzo de 2024.

Disponible en: <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/estudios-informes-y-estadisticas/estadisticas-y-balance-energetico>

[3] Balance energético de Cataluña por años (1990-2022). Recuperado el 20 abril de 2024.

Disponible en: [https://icaen.gencat.cat/es/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc\\_energetic/index.html](https://icaen.gencat.cat/es/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energetic/index.html)

[4] Consumo de la industria química de Tarragona. Recuperado el 5 de abril de 2024.

Disponible en: <https://www.mintur.gob.es/es-es/GabinetePrensa/NotasPrensa/2024/Paginas/Hereu-visita-Tarragona.aspx#:~:text=Tarragona%20acoge%20el%20polo%20petroqu%C3%ADmico,el%2050%25%20de%20toda%20Catalu%C3%B1a>.

[5] Evaluación del potencial de climatización con energía solar térmica en edificios. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Recuperado el 25 de mayo de 2024.

[6] Hidrogeno Verde. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>

[7] Energía solar fotovoltaico. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

[8] Energía eólica. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>

[9] Energía hidroeléctrica. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-hidroelectrica>

[10] Energía solar térmica de concentración. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-plantas-de-concentracion-solar-materiales,-recubrimientos-y-fluidos-de-almacenamiento-nuevos-disenos>

[11] Ventajas del biometano. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://www.gasrenovable.org/tipos-gas-renovable/biometano/>

[12] Proceso productivo del biometano. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://geniabioenergy.com/como-se-obtiene-el-biometano/>

[13] Proceso productivo de la energía mediante la aerotermia. Recuperado el 14 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-aerotermia-y-bombas-de-calor>

[14] Calentadores eléctricos Built To Zero. Recuperado el 20 de mayo de 2024.

Disponible en: <https://buildtozero.es/>

[15] Estudio de la capacidad de producción de biometano en España. Recuperado el 13 de marzo de 2024.

Disponible en: <https://estudio-biometano.sedigas.es/wp-content/uploads/2023/01/sedigas-informe-potencial-biometano-2023-resumen-ejecutivo.pdf>

[16] Datos de población en Cataluña. Recuperado el 30 de mayo de 2024.

Disponible en: [https://datacommons.org/place/nuts/ES51?utm\\_medium=explore&mprop=count&popt=Person&hl=es](https://datacommons.org/place/nuts/ES51?utm_medium=explore&mprop=count&popt=Person&hl=es)

[17] Datos de población en Tarragona. Recuperado el 30 de mayo de 2024.

Disponible en: [https://datacommons.org/place/nuts/ES514?utm\\_medium=explore&mprop=count&popt=Person&hl=es](https://datacommons.org/place/nuts/ES514?utm_medium=explore&mprop=count&popt=Person&hl=es)

[18] Rendimiento electrolizador. Recuperado el 15 de junio de 2024.

Disponible en:

<https://eshidrogeno.com/consumo-electrolizador/#:~:text=En%20promedio%2C%20la%20eficiencia%20de,2%20kW%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica.>

[19] Funcionamiento vehículos eléctricos. Ventajas y desventajas de los BEV. Recuperado el 20 de junio de 2024.

Disponible en: <https://woltio.com/coche-electrico-funcionamiento/>

[20] Características vehículo propulsado por Hidrógeno Verde. Recuperado el 20 de junio de 2024.

Disponible en: <https://www.recargacocheselectricos.com/el-coche-electrico-frente-al-coche-de-hidrogeno-estudio-tecnico-el-coche-electrico-de-baterias-quimicas-sera-mas-viable-que-el-coche-de-hidrogeno-en-el-futuro/>

[21] Sistemas de aerotermia. Recuperado el 21 de junio de 2024.

Disponible en: <https://www.sistema-aerotermia.com/rendimiento.html#:~:text=RENDIMIENTO%20DE%20LA%20AEROTERMIA,300%25%20y%20el%20400%25.>

[22] Calderas de Gasoil. Recuperado el 22 de junio de 2024.

Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79552/An%E1lisis+comparativo+de+la+eficiencia+energ%E9tica+en+calderas+para+viviendas.pdf?sequence=1>

[23] Horas solar pico en Cataluña. Recuperado el 30 de junio de 2024.

Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/horas-de-sol-en-espana/>

[24] Captador solar térmico seleccionado. Recuperado el 30 de junio de 2024.

Disponible en: [https://www.aunadistribucion.com/uploads/renovables/fichas-tecnicas/145521\\_captadores.pdf](https://www.aunadistribucion.com/uploads/renovables/fichas-tecnicas/145521_captadores.pdf)

[25] Coste Gas Natural. Recuperado el 15 de julio de 2024.

Disponible en: <https://www.naturclima.energy/precio-gas-natural/>

[26] Coste Petróleo y derivados. Recuperado el 15 de julio de 2024.

Disponible en: <https://www.energias-renovables.com/panorama/valor-y-precio-de-los-combustibles-20180814>

[27] Coste Electricidad. Recuperado el 15 de julio de 2024.

Disponible en: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>

- [28] Coste Biometano y Hidrogeno Verde del año 2050. Recuperado el 15 de julio de 2024. Disponible en: [https://www.elespanol.com/invertia/empresas/energia/20231113/biometano-hidrogeno-gas-natural-industria-no-solo-precio-importa-sostenible-sobrecoste/808169619\\_0.html](https://www.elespanol.com/invertia/empresas/energia/20231113/biometano-hidrogeno-gas-natural-industria-no-solo-precio-importa-sostenible-sobrecoste/808169619_0.html)
- [29] Precio instalación panel solar fotovoltaico. Recuperado el 5 de septiembre de 2024. Disponible en: <https://www.labodegasolar.com/blogs/blog/cuanto-cuesta-la-instalacion-de-paneles-solares#:~:text=Para%20el%20consumo%20promedio%20de,4%20y%2012%20paneles%20solares.>
- [30] Plazo estrategia de descarbonización para el año 2050. Recuperado el 15 de marzo de 2024. Disponible en: <https://www.idae.es/noticias/el-gobierno-aprueba-la-estrategia-de-descarbonizacion-largo-plazo-que-marca-la-senda-para#:~:text=El%20documento%20permitir%C3%A1%20que%20Espa%C3%B1a,2eq%20emidas%20en%202050.>
- [31] Precio del captador solar vertical CSV SLIM. Recuperado el 5 de agosto de 2024. Disponible en: <https://www.gasfriocalor.com/placa-solar-cabel-vertical-csv-slim-25?srsltid=AfmBOopejziXrvyjwoy6HvEJq8qtAW5dPkuOeVJGYqxjiZsLZU0LFjBY>
- [32] Precio del Biometano. Recuperado el 10 de agosto de 2024. Disponible en: <https://biometano.es/economia-de-biometano/>
- [33] Movilidad eléctrica en Zaragoza. Recuperado el 29 de agosto de 2024. Disponible en: <https://www.zaragoza.es/sede/servicio/noticia/328094>
- [34] Previsión red eléctrica nacional año 2050. Recuperado el 29 de agosto de 2024. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/demanda-electrica-mundial-duplicara-2050/>

**Antonio Queralt Siles**

**Proyecto de viabilidad técnica y económica de las distintas tecnologías que hay disponibles en el mercado, para sustituir las energías fósiles por energías renovables en los sectores: industrial, transporte y servicios, de la provincia de Tarragona.**

**Trabajo Final de Máster**

**Dirigido por el Dr. Rodríguez Carabias, Joaquín Andrés**

**Máster en Ingeniería Industrial**



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona**

**2024**

## 9 Anexos

### 9.1 Consumo de energía final sector residencial y servicios

En este apartado se recogen los consumos de energía final en el sector residencial y servicios de la provincia de Tarragona.

#### 9.1.1 Sector residencial

A continuación, se muestran los consumos de energía final en la provincia de Tarragona del sector residencial para agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción.

Tabla 24. Consumo total de energía final para ACS en la provincia de Tarragona.

	Tipología de edificio	ACS (KWh/m <sup>2</sup> )	Superficie útil (m <sup>2</sup> )	Consumo total ACS (GWh)
<b>Vivienda unifamiliar</b>	-	18,9	1,44·10 <sup>4</sup>	0,272
<b>Bloques de viviendas (plurifamiliares)</b>	RP022	25,3	4,82·10 <sup>5</sup>	12,2
	RP024	23,2	4,82·10 <sup>5</sup>	12,2
	RP052	22,6	4,22·10 <sup>5</sup>	10,9
	RP054	21,8	4,22·10 <sup>5</sup>	9,20
	RP058	21,3	4,22·10 <sup>5</sup>	8,99
	RP084	21,3	2,51·10 <sup>4</sup>	5,35
	RP088	21,0	2,51·10 <sup>4</sup>	0,527
	RP128	20,8	3,16·10 <sup>3</sup>	6,57·10 <sup>-2</sup>
<b>Consumo total ACS</b>				<b>53,9</b>

Tabla 25. Consumo total de energía final para calefacción en la provincia de Tarragona.

	Tipología de edificio	Calefacción (KWh/m <sup>2</sup> )	Superficie útil (m <sup>2</sup> )	Consumo total Calefacción (GWh)
<b>Vivienda unifamiliar</b>	-	58,8	1,44·10 <sup>4</sup>	0,847
<b>Bloques de viviendas (plurifamiliares)</b>	RP022	55,5	4,82·10 <sup>5</sup>	26,8
	RP024	52,2	4,82·10 <sup>5</sup>	25,2
	RP052	48,3	4,22·10 <sup>5</sup>	20,4
	RP054	44,9	4,22·10 <sup>5</sup>	18,9
	RP058	42,8	4,22·10 <sup>5</sup>	18,1
	RP084	43,1	2,51·10 <sup>4</sup>	1,08
	RP088	41,0	2,51·10 <sup>4</sup>	1,03
	RP128	40,1	3,16·10 <sup>3</sup>	0,127
<b>Consumo total calefacción</b>				<b>112</b>

Las tipologías de edificio para residencias unifamiliares y plurifamiliares vienen definidas a continuación:

Tabla 26. Definición de la tipología de edificio

	Tipología de edificio	Superficie (m <sup>2</sup> )	Número de plantas
<b>Residencial unifamiliar</b>	<b>RU021</b>	100	2
	<b>RP022</b>	200	2
<b>Residencial plurifamiliar</b>	<b>RP024</b>	400	2
	<b>RP052</b>	200	5
	<b>RP054</b>	400	5
	<b>RP058</b>	800	5
	<b>RP084</b>	400	8
	<b>RP088</b>	800	8
	<b>RP128</b>	800	12

### 9.1.2 Sector servicios

A continuación, se muestran los consumos de energía final en la provincia de Tarragona del sector servicios para agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción.

Tabla 27. Consumo total de ACS en la provincia de Tarragona.

	Tipología de edificio	ACS (KWh/m <sup>2</sup> )	Superficie útil (m <sup>2</sup> )	Consumo total ACS (GWh)
<b>Oficinas</b>	<b>OF052</b>	5,75	5,18·10 <sup>4</sup>	0,125
	<b>OF054</b>	6,61	5,18·10 <sup>4</sup>	0,342
	<b>OF058</b>	4,30	5,18·10 <sup>4</sup>	0,223
	<b>OF084</b>	4,39	1,27·10 <sup>4</sup>	5,58·10 <sup>-2</sup>
	<b>OF088</b>	4,12	1,27·10 <sup>4</sup>	5,23·10 <sup>-2</sup>
	<b>OF128</b>	3,99	4,13·10 <sup>3</sup>	1,65·10 <sup>-2</sup>
<b>Centros comerciales</b>	<b>CC010</b>	1,44	2,72·10 <sup>4</sup>	3,92·10 <sup>-2</sup>
	<b>CC015</b>	1,32	-	-
	<b>CC019</b>	-	-	-
<b>Hospitales</b>	<b>H0033</b>	4,87	9,61·10 <sup>5</sup>	4,68
	<b>H0075</b>	4,45	9,61·10 <sup>5</sup>	4,28
	<b>H0078</b>	4,41	9,61·10 <sup>5</sup>	4,24
<b>Consumo total ACS</b>				<b>14,1</b>

Tabla 28. Consumo total de Calefacción en la provincia de Tarragona.

	Tipología de edificio	Calefacción (KWh/m <sup>2</sup> )	Superficie útil (m <sup>2</sup> )	Consumo total Calefacción (KWh)
Oficinas	OF052	8,36	5,18·10 <sup>4</sup>	0,433
	OF054	5,58	5,18·10 <sup>4</sup>	0,289
	OF058	3,74	5,18·10 <sup>4</sup>	0,194
	OF084	4,91	1,27·10 <sup>4</sup>	6,24·10 <sup>-2</sup>
	OF088	3,10	1,27·10 <sup>4</sup>	3,94·10 <sup>-2</sup>
	OF128	2,77	4,14·10 <sup>3</sup>	1,15·10 <sup>-2</sup>
Centros comerciales	CC010	20,9	2,72·10 <sup>4</sup>	0,568
	CC015	20,2	-	-
	CC019	0	-	-
Hospitales	H0033	7,66	9,61·10 <sup>5</sup>	7,36
	H0075	2,01	9,61·10 <sup>5</sup>	1,93
	H0078	1,74	9,61·10 <sup>5</sup>	1,67
<b>Consumo total calefacción</b>				<b>12,6</b>

Las tipologías de edificio para oficinas, centros comerciales y hospitales vienen definidas a continuación:

Tabla 29. Definición de la tipología de edificio para el sector servicios.

	Tipología de edificio	Superficie (m <sup>2</sup> )	Número de plantas
Oficinas	OF052	200	5
	OF054	400	5
	OF058	800	5
	OF084	400	8
	OF088	800	8
	OF128	800	12
Centros comerciales	CC010	15000	1
	CC015	50000	1
	CC019	100000	1
Hospitales	H0033	2500	3
	H0075	50000	7
	H0078	80000	7

## 9.2 Análisis DAFO

En estos apartados se exponen los análisis cualitativos DAFO realizados a la hora de valorar las diferentes tecnologías como candidatas a reemplazar los combustibles fósiles que se emplean actualmente.

### 9.2.1 Sector transporte

A continuación, se muestran los diagramas DAFO para la sustitución de los combustibles fósiles por alternativas renovables tanto en vehículos pesados como en turismos.

#### 9.2.1.1 Vehículos pesados

Para poder analizar la adecuabilidad del Hidrógeno Verde y del Biometano como sustituto del petróleo, se examinarán las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de cada uno de ellos por separado. En el análisis DAFO, se exploran sus características clave como combustible para el transporte y cómo estas se traducen en factores internos y externos que afectan su adopción y desarrollo en el ámbito del transporte. En la Tabla 30 se muestra el análisis DAFO comparativo del Hidrógeno Verde y el Biometano en el sector transporte como sustitutos del petróleo en vehículos pesados.

Tabla 30. Análisis DAFO comparativo sobre el uso del Hidrógeno Verde y Biometano en el sector transporte como alternativas al petróleo en vehículos pesados.

DEBILIDADES	
Hidrógeno Verde	Biometano
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Infraestructura Insuficiente:</b> La infraestructura para la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno aún está en desarrollo y no es tan extendida como la de los combustibles fósiles.</li> <li>- <b>Costos Elevados:</b> Tanto la producción de hidrógeno verde como la tecnología de celdas de combustible son actualmente costosas en comparación con los combustibles fósiles y las baterías eléctricas.</li> <li>- <b>Eficiencia Energética:</b> El proceso de producción de hidrógeno, especialmente a partir de electrólisis, y su conversión en energía utilizable en celdas de combustible, tiene pérdidas de eficiencia.</li> <li>- <b>Almacenamiento y Transporte:</b> El hidrógeno tiene desafíos significativos en términos de almacenamiento y transporte debido a su baja densidad volumétrica y su alta inflamabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Disponibilidad Limitada:</b> La producción de biometano depende de la disponibilidad de materia prima orgánica, que puede no ser suficiente para satisfacer una demanda masiva en el sector de transporte pesado.</li> <li>- <b>Costos de Producción:</b> La producción de biometano puede ser más costosa que los combustibles fósiles tradicionales y requiere inversiones iniciales significativas en infraestructuras de producción y purificación.</li> <li>- <b>Desafíos Logísticos:</b> El almacenamiento y transporte del biometano requieren infraestructura especializada, lo que puede ser un reto en áreas donde esta no está desarrollada.</li> </ul>
AMENAZAS	

Hidrógeno Verde	Biometano
<p>- <b>Competencia de Tecnologías Alternativas:</b> Otras tecnologías como las baterías de alta capacidad, el biometano y los combustibles sintéticos también están avanzando rápidamente y pueden competir con el hidrógeno.</p> <p>- <b>Regulación y Seguridad:</b> Las normativas de seguridad estrictas debido a la alta inflamabilidad del hidrógeno pueden incrementar los costos operativos y de infraestructura.</p> <p>- <b>Aceptación del Mercado:</b> La adopción del hidrógeno por parte de los consumidores y la industria del transporte pesado puede ser lenta debido a la inercia de las infraestructuras y tecnologías existentes.</p>	<p>- <b>Competencia de Otros Combustibles:</b> El biometano enfrenta competencia de otras tecnologías de combustibles limpios, como el hidrógeno y los combustibles eléctricos, que también están evolucionando rápidamente.</p> <p>- <b>Regulación y Normativas:</b> Las regulaciones estrictas sobre emisiones y seguridad pueden aumentar los costos operativos y de cumplimiento para los productores y usuarios de biometano.</p> <p>- <b>Aceptación del Mercado:</b> La adopción del biometano por parte de los operadores de transporte pesado puede ser lenta debido a la familiaridad y la infraestructura establecida para los combustibles fósiles.</p>
<b>FORTALEZAS</b>	
Hidrógeno Verde	Biometano
<p>- <b>Alta Densidad Energética:</b> El hidrógeno tiene una densidad energética por unidad de masa significativamente mayor que las baterías eléctricas, lo que permite mayores autonomías.</p> <p>- <b>Emisiones Cero:</b> Cuando se utiliza en celdas de combustible, el hidrógeno produce solo agua como subproducto, eliminando las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.</p> <p>- <b>Abundancia de Recursos:</b> El hidrógeno puede ser producido a partir de diversas fuentes, incluyendo el agua, mediante procesos como la electrólisis, que pueden utilizar energías renovables.</p> <p>- <b>Reducción de la Dependencia del Petróleo:</b> Fomentar el uso de hidrógeno contribuye a diversificar las fuentes de energía y reducir la dependencia del petróleo.</p>	<p>- <b>Reducción de Emisiones:</b> El biometano es un combustible limpio que produce significativamente menos emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes en comparación con el diésel.</p> <p>- <b>Sostenibilidad:</b> El biometano se produce a partir de residuos orgánicos y desechos agrícolas, contribuyendo a la economía circular y reduciendo los desechos.</p> <p>- <b>Compatibilidad con Infraestructura Existente:</b> Los vehículos pesados pueden ser adaptados para funcionar con biometano con relativamente pocas modificaciones, y puede utilizarse la infraestructura existente de gas natural.</p> <p>- <b>Disponibilidad Local:</b> El biometano puede ser producido localmente a partir de fuentes de residuos orgánicos, reduciendo la dependencia de importaciones de combustibles fósiles y mejorando la seguridad energética.</p>
<b>OPORTUNIDADES</b>	
Hidrógeno Verde	Biometano
<p>- <b>Avances Tecnológicos:</b> La mejora continua en tecnologías de producción,</p>	<p>- <b>Incentivos Gubernamentales:</b> Las políticas de apoyo, subsidios y regulaciones</p>

<p>almacenamiento y celdas de combustible puede reducir costos y mejorar la eficiencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Incentivos Gubernamentales:</b> El apoyo de políticas públicas, subsidios y regulaciones favorables pueden acelerar la adopción del hidrógeno como combustible.</li> <li>- <b>Creciente Demanda de Energías Limpias:</b> La creciente conciencia y demanda de soluciones de transporte sostenibles impulsan la inversión en hidrógeno.</li> <li>- <b>Integración con Energías Renovables:</b> La producción de hidrógeno verde puede aprovechar excedentes de energías renovables como solar y eólica, contribuyendo a la estabilización de las redes eléctricas.</li> </ul>	<p>favorables para combustibles renovables pueden impulsar la adopción del biometano.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Creciente Demanda de Energías Limpias:</b> La creciente conciencia ambiental y la presión por reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> impulsan la demanda de alternativas sostenibles al petróleo.</li> <li>- <b>Desarrollo Tecnológico:</b> Innovaciones en la producción y purificación de biometano pueden mejorar su viabilidad económica y eficiencia.</li> <li>- <b>Proyectos de Colaboración:</b> Las asociaciones entre sectores público y privado pueden facilitar la implementación de infraestructuras necesarias para la producción y distribución de biometano.</li> </ul>
--	---

Este análisis DAFO ofrece una visión exhaustiva de los factores que influyen en la viabilidad del biometano como alternativa al petróleo en vehículos pesados, subrayando tanto sus beneficios como los obstáculos presentes en el sector del transporte pesado.

### 9.2.1.2 Turismos

Para poder analizar la adecuabilidad de los vehículos eléctricos de batería y aquellos propulsados por pilas de Hidrógeno Verde, como sustituto del petróleo, se examinarán las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de cada uno de ellos por separado. En el análisis DAFO, exploraremos sus características clave como combustible para el transporte y cómo estas se traducen en factores internos y externos que afectan su adopción y desarrollo en el ámbito del transporte. En la Tabla 31 se muestra el análisis DAFO sobre el uso de vehículos eléctricos de batería en el sector transporte como sustituto del petróleo en turismos.

Tabla 31. Análisis DAFO comparativo sobre el uso Vehículos eléctricos de batería (BEV) e Hidrógeno Verde en el sector transporte como alternativas al petróleo en vehículos pesados.

<b>DEBILIDADES</b>	
<b>Vehículos eléctricos de batería (BEV)</b>	<b>Hidrógeno Verde</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Autonomía Limitada:</b> A pesar de los avances, la autonomía de los BEV sigue siendo inferior a la de los vehículos de combustión interna, lo que puede ser una limitación para viajes largos.</li> <li>- <b>Tiempo de Carga:</b> Los tiempos de recarga de las baterías son significativamente más largos en comparación con el repostaje de combustibles fósiles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Infraestructura Limitada:</b> La infraestructura para la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno es todavía escasa y requiere grandes inversiones para su desarrollo y expansión.</li> <li>- <b>Alto Costo de Producción:</b> La producción de hidrógeno verde mediante electrólisis es actualmente más cara que la producción de combustibles fósiles y otros combustibles alternativos.</li> </ul>

<p>- <b>Costo Inicial:</b> El precio de compra de un VE es generalmente más alto que el de un vehículo de combustión interna, aunque esto se está equilibrando con el tiempo gracias a las economías de escala y los incentivos gubernamentales.</p> <p>- <b>Infraestructura de Carga:</b> La infraestructura de carga, aunque en expansión, no es tan extensa ni tan accesible como la red de estaciones de servicio de combustibles fósiles.</p>	<p>- <b>Eficiencia Energética:</b> Los procesos de producción, almacenamiento y conversión de hidrógeno en energía utilizable en celdas de combustible tienen pérdidas de eficiencia.</p> <p>- <b>Desafíos en el Almacenamiento:</b> El hidrógeno es difícil de almacenar y transportar debido a su baja densidad volumétrica y su alta inflamabilidad, lo que requiere soluciones tecnológicas avanzadas y seguras.</p>
<b>AMENAZAS</b>	
<b>Vehículos eléctricos de batería (BEV)</b>	<b>Hidrógeno Verde</b>
<p>- <b>Competencia de Tecnologías Alternativas:</b> Otras tecnologías, como el hidrógeno y los combustibles sintéticos, también están avanzando y pueden competir con los BEV.</p> <p>- <b>Escasez de Materiales:</b> La disponibilidad limitada de materiales críticos para baterías, como el litio, cobalto y níquel, puede afectar la producción y aumentar los costos.</p> <p>- <b>Volatilidad del Mercado:</b> Las fluctuaciones en el precio de la electricidad y las posibles nuevas regulaciones sobre las energías renovables pueden impactar negativamente la adopción de BEV.</p> <p>- <b>Resistencia del Consumidor:</b> La percepción de limitaciones en autonomía, tiempos de carga y la falta de infraestructura puede ralentizar la aceptación general de los BEV.</p>	<p>- <b>Competencia de Tecnologías Alternativas:</b> Los vehículos eléctricos de batería y otras tecnologías de combustibles limpios también están avanzando rápidamente, representando una competencia significativa.</p> <p>- <b>Disponibilidad de Recursos:</b> La disponibilidad y el acceso a fuentes de energía renovable para la producción de hidrógeno verde pueden ser limitados en algunas regiones.</p> <p>- <b>Volatilidad de Precios:</b> Las fluctuaciones en los costos de producción de hidrógeno verde pueden afectar su competitividad frente a otros combustibles.</p> <p>- <b>Regulaciones y Normativas:</b> Las estrictas normativas de seguridad y los requisitos regulatorios pueden aumentar los costos y la complejidad operativa para la adopción del hidrógeno verde.</p>
<b>FORTALEZAS</b>	
<b>Vehículos eléctricos de batería (BEV)</b>	<b>Hidrógeno Verde</b>
<p>- <b>Reducción de Emisiones:</b> Los vehículos eléctricos por batería (BEV) no emiten gases de escape, lo que contribuye a la reducción de la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero.</p> <p>- <b>Eficiencia Energética:</b> Los motores eléctricos son más eficientes que los motores de combustión interna, lo que se traduce en un menor consumo de energía.</p> <p>- <b>Menores Costes Operativos:</b> Los VE tienen menores costes de mantenimiento y funcionamiento, ya que poseen menos</p>	<p>- <b>Emisiones Cero:</b> Los vehículos impulsados por hidrógeno verde solo emiten vapor de agua, contribuyendo significativamente a la reducción de la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero.</p> <p>- <b>Rápido Tiempo de Reabastecimiento:</b> Los turismos de hidrógeno pueden ser recargados en pocos minutos, similar al tiempo necesario para repostar un vehículo de combustión interna, superando una de las</p>

<p>componentes móviles y el precio de la electricidad es más estable y, a menudo, más bajo que el de los combustibles fósiles.</p> <p>- <b>Innovación y Tecnología:</b> Los avances continuos en la tecnología de baterías están aumentando la autonomía y reduciendo el tiempo de carga, mejorando la viabilidad de los BEV.</p>	<p>principales limitaciones de los vehículos eléctricos de batería.</p> <p>- <b>Alta Densidad Energética:</b> El hidrógeno tiene una densidad energética superior a la de las baterías, lo que permite una mayor autonomía sin aumentar significativamente el peso del vehículo.</p> <p>- <b>Flexibilidad de Producción:</b> El hidrógeno verde puede ser producido a partir de diversas fuentes renovables, como la energía solar y eólica, aprovechando los excedentes y contribuyendo a la estabilidad de la red eléctrica.</p>
<p><b>OPORTUNIDADES</b></p>	
<p><b>Vehículos eléctricos de batería (BEV)</b></p>	<p><b>Hidrógeno Verde</b></p>
<p>- <b>Incentivos Gubernamentales:</b> Las políticas de apoyo, subsidios y exenciones fiscales para BEV pueden incentivar su adopción masiva.</p> <p>- <b>Creciente Demanda de Energías Limpias:</b> El aumento de la conciencia ambiental y la presión para reducir las emisiones de carbono están impulsando la demanda de BEV.</p> <p>- <b>Avances en Tecnología de Baterías:</b> Innovaciones en materiales y tecnologías de baterías pueden mejorar la autonomía, reducir el tiempo de carga y disminuir los costos.</p> <p>- <b>Desarrollo de Infraestructura:</b> La expansión continua de la red de carga pública y la integración de tecnologías de carga rápida mejoran la viabilidad de los BEV para un uso más amplio.</p>	<p>- <b>Políticas de Apoyo e Incentivos:</b> Las políticas gubernamentales, subsidios y regulaciones favorables pueden acelerar la adopción del hidrógeno verde como combustible para turismos.</p> <p>- <b>Avances Tecnológicos:</b> Las mejoras continuas en tecnologías de producción, almacenamiento y celdas de combustible pueden reducir costos y aumentar la eficiencia.</p> <p>- <b>Creciente Demanda de Soluciones Limpias:</b> La mayor conciencia y demanda de alternativas sostenibles al petróleo impulsan la inversión y el desarrollo en el sector del hidrógeno verde.</p> <p>- <b>Integración con Renovables:</b> La producción de hidrógeno verde puede aprovechar excedentes de energías renovables, facilitando una economía energética más equilibrada y sostenible.</p>

Este análisis DAFO ofrece una visión detallada de los factores que influyen en la viabilidad del hidrógeno verde y los vehículos eléctricos de batería (BEV) como sustitutos del petróleo en los turismos, destacando tanto sus ventajas como los desafíos que enfrenta en el sector del transporte.

## 9.2.2 Sector industrial

### 9.2.2.1 Rango de temperaturas inferiores a 120°C

Para poder valorar como de adecuadas son estas tecnologías, vamos a examinar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de cada uno de ellos por separado. En el análisis DAFO, exploraremos sus características clave de la Aerotermia y de los captadores solares térmicos. En la Tabla 32 se muestra el análisis DAFO del de la Aerotermia y los captadores solares de baja temperatura como posible tecnología para cubrir las necesidades de las actividades industriales con demanda de calor inferior a 150°C.

Tabla 32. Análisis DAFO comparativo sobre el uso Aerotermia y captadores solares de baja temperatura en el sector industrial para actividades con demanda de calor inferior a 150°C.

DEBILIDADES	
Aerotermia	Captadores solares de baja temperatura
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Dependencia Climática:</b> La eficiencia de los sistemas aerotérmicos puede disminuir en climas extremadamente fríos, lo que podría requerir sistemas de apoyo adicionales.</li> <li>- <b>Alta Inversión Inicial:</b> Los costos iniciales de instalación y adquisición de equipos pueden ser elevados, lo que puede representar una barrera para su adopción en pequeñas y medianas empresas.</li> <li>- <b>Necesidad de Espacio:</b> Requiere espacio exterior para la instalación de unidades de intercambio de calor, lo que puede ser un problema en instalaciones con espacio limitado.</li> <li>- <b>Rendimiento Variable:</b> La eficiencia puede variar según las condiciones atmosféricas, lo que puede afectar la previsibilidad del rendimiento energético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Dependencia de la Radiación Solar:</b> El rendimiento de los captadores solares térmicos depende directamente de la disponibilidad de radiación solar, lo que puede limitar su efectividad en regiones con baja insolación o en días nublados.</li> <li>- <b>Alta Inversión Inicial:</b> Los costos de instalación de los sistemas solares térmicos pueden ser elevados, lo que puede representar una barrera para su adopción, especialmente en pequeñas y medianas empresas.</li> <li>- <b>Necesidad de Espacio:</b> Requieren una cantidad significativa de espacio para la instalación de los paneles solares, lo que puede ser un desafío en instalaciones industriales con espacio limitado.</li> <li>- <b>Eficiencia Variable:</b> La eficiencia de los captadores puede variar significativamente con la temperatura de operación y la calidad del diseño e instalación del sistema.</li> </ul>
AMENAZAS	
Aerotermia	Captadores solares de baja temperatura
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Competencia de Otras Tecnologías:</b> Otras tecnologías renovables, como la geotermia y la solar térmica, también están avanzando y pueden ser competidores directos.</li> <li>- <b>Volatilidad de los Precios de la Electricidad:</b> Los costos de operación de los sistemas aerotérmicos están sujetos a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Competencia de Otras Tecnologías:</b> Tecnologías alternativas, como la geotermia, la biomasa y los sistemas de cogeneración, también están avanzando y pueden competir directamente con la energía solar térmica de concentración.</li> <li>- <b>Volatilidad de los Precios de Materiales:</b> La fluctuación en los precios de los materiales necesarios para la construcción y</li> </ul>

<p>los precios de la electricidad, que pueden fluctuar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Barreras Regulatorias:</b> Las normativas y procesos de certificación pueden ser complicados y varían entre regiones, lo que puede dificultar la implementación.</li> <li>- <b>Resistencia al Cambio:</b> Las industrias pueden ser reacias a adoptar nuevas tecnologías debido a la falta de familiaridad y la preferencia por sistemas de calor convencionales.</li> </ul>	<p>mantenimiento de los sistemas CSP puede afectar su viabilidad económica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Barreras Regulatorias y Logísticas:</b> Las normativas y procesos de certificación pueden ser complejos y varían entre regiones, lo que puede dificultar la implementación y el cumplimiento de los sistemas CSP.</li> <li>- <b>Resistencia al Cambio:</b> Las industrias pueden ser reacias a adoptar nuevas tecnologías debido a la falta de familiaridad y la preferencia por sistemas de calor convencionales y ya amortizados.</li> </ul>
<b>FORTALEZAS</b>	
<b>Aeroterminia</b>	<b>Captadores solares de baja temperatura</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Eficiencia Energética Alta:</b> La aeroterminia es una tecnología altamente eficiente, capaz de generar más energía de la que consume al extraer calor del aire exterior.</li> <li>- <b>Reducción de Emisiones de CO2:</b> Al utilizar una fuente de energía renovable, la aeroterminia contribuye significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.</li> <li>- <b>Costos Operativos Bajos:</b> A pesar de los costos iniciales de instalación, los costos operativos son bajos debido al aprovechamiento de una fuente de energía gratuita (el aire exterior).</li> <li>- <b>Versatilidad:</b> La tecnología puede ser utilizada tanto para calefacción como para refrigeración, ofreciendo una solución integral para las necesidades térmicas.</li> <li>- <b>Fácil Integración:</b> Las bombas de calor aerotérmicas pueden integrarse fácilmente en sistemas existentes y combinarse con otras fuentes de energía renovable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Sostenibilidad Ambiental:</b> Los captadores solares térmicos utilizan energía solar, una fuente renovable, lo que contribuye a la reducción de emisiones de CO2 y otros gases contaminantes.</li> <li>- <b>Ahorro Energético:</b> Permiten reducir el consumo de combustibles fósiles, lo que puede resultar en importantes ahorros económicos a largo plazo.</li> <li>- <b>Fiabilidad y Bajo Mantenimiento:</b> Los sistemas de captadores solares térmicos tienen una vida útil larga y requieren un mantenimiento relativamente bajo en comparación con otras tecnologías de generación de calor.</li> <li>- <b>Compatibilidad con Sistemas Existentes:</b> Pueden integrarse fácilmente en los sistemas de calefacción y producción de calor ya existentes en las instalaciones industriales.</li> </ul>
<b>OPORTUNIDADES</b>	
<b>Aeroterminia</b>	<b>Captadores solares de baja temperatura</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Incentivos y Subvenciones:</b> Los gobiernos están ofreciendo cada vez más incentivos y subsidios para la adopción de tecnologías renovables, lo que puede reducir los costos iniciales.</li> <li>- <b>Conciencia Ambiental:</b> El creciente enfoque en la sostenibilidad y la reducción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Incentivos y Subvenciones:</b> Los gobiernos y organismos internacionales están ofreciendo incentivos y subsidios para la adopción de tecnologías renovables, lo que puede reducir significativamente los costos iniciales.</li> </ul>

<p>de huella de carbono impulsa la demanda de soluciones energéticas limpias.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Innovación Tecnológica:</b> Los avances en tecnología de bombas de calor y refrigerantes ecológicos pueden mejorar la eficiencia y reducir los costos.</li> <li>- <b>Regulaciones Medioambientales:</b> Las normativas cada vez más estrictas sobre emisiones y eficiencia energética pueden impulsar la adopción de aerotermia como una alternativa viable a las fuentes de calor tradicionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Creciente Conciencia Ambiental:</b> La creciente preocupación por el cambio climático y la sostenibilidad está impulsando la demanda de soluciones energéticas limpias y renovables en el sector industrial.</li> <li>- <b>Avances Tecnológicos:</b> Las mejoras continuas en el diseño y la eficiencia de los captadores solares térmicos pueden aumentar su viabilidad y reducir los costos de instalación y operación.</li> <li>- <b>Regulaciones Medioambientales:</b> Las normativas cada vez más estrictas sobre emisiones y eficiencia energética pueden impulsar la adopción de captadores solares térmicos como una alternativa viable a los combustibles fósiles.</li> </ul>
--	--

Este análisis DAFO proporciona una visión detallada de los factores que afectan la viabilidad de los captadores solares térmicos y la aerotermia en el sector industrial para actividades con demanda de calor hasta 150°C, destacando tanto sus ventajas como los desafíos que enfrenta.

### 9.2.2.2 Rango de temperaturas de entre 150°C a 400°C

Para poder valorar como de adecuada es esta tecnología, vamos a examinar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de esta. En el análisis DAFO, exploraremos sus características clave de la energía solar térmica de concentración. En la Tabla 33 se muestra el análisis DAFO de la energía solar térmica de concentración como posible tecnología para cubrir las necesidades de las actividades industriales con demanda de calor de entre 150°C a 400°C.

Tabla 33. Análisis DAFO comparativo sobre el uso de la energía térmica de concentración y calentadores eléctricos de la empresa “Built to Zero” en el sector industrial para actividades con demanda de calor entre 150°C y 400°C.

DEBILIDADES	
Energía Térmica de Concentración	Calentadores eléctricos “Built to Zero”
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Alta Inversión Inicial:</b> Los costos de instalación y desarrollo de infraestructuras para sistemas CSP son elevados, lo que puede ser una barrera significativa para su adopción.</li> <li>- <b>Dependencia Climática:</b> La eficiencia de los sistemas CSP depende de la radiación solar, lo que puede limitar su efectividad en días nublados o en regiones con baja insolación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Altos Costos de Inversión Inicial:</b> La instalación de infraestructura para almacenamiento en sales fundidas requiere una inversión significativa, lo que puede ser una barrera para su adopción.</li> <li>- <b>Complejidad Técnica:</b> La gestión y mantenimiento de sistemas de sales fundidas pueden ser complejos, requiriendo personal especializado y aumentando los costos operativos.</li> </ul>

Proyecto de viabilidad técnica y económica de las distintas tecnologías que hay disponibles en el mercado, para sustituir las energías fósiles por energías renovables en los sectores: industrial, transporte y servicios, de la provincia de Tarragona

<p>- <b>Requerimiento de Espacio:</b> Los sistemas CSP requieren grandes extensiones de terreno para la instalación de los espejos o helióstatos, lo que puede ser un desafío en áreas industriales con espacio limitado.</p> <p>- <b>Complejidad Técnica:</b> La instalación y operación de sistemas CSP son técnicamente complejas, lo que requiere de personal especializado y puede incrementar los costos de mantenimiento.</p>	<p>- <b>Requerimientos Espaciales:</b> Los sistemas de almacenamiento en sales fundidas requieren grandes espacios para la instalación de los tanques, lo que puede ser un desafío en instalaciones con limitaciones de espacio.</p> <p>- <b>Dependencia de Fuentes de Energía Externas:</b> Aunque compatibles con energías renovables, los sistemas de sales fundidas necesitan una fuente de energía confiable para calentar las sales, lo que puede depender de la infraestructura eléctrica local.</p>
<b>AMENAZAS</b>	
<b>Energía Térmica de Concentración</b>	<b>Calentadores eléctricos “Built to Zero”</b>
<p>- <b>Competencia de Otras Tecnologías:</b> Tecnologías alternativas, como la geotermia, la biomasa y los sistemas de cogeneración, también están avanzando y pueden competir directamente con la energía solar térmica de concentración.</p> <p>- <b>Volatilidad de los Precios de Materiales:</b> La fluctuación en los precios de los materiales necesarios para la construcción y mantenimiento de los sistemas CSP puede afectar su viabilidad económica.</p> <p>- <b>Barreras Regulatorias y Logísticas:</b> Las normativas y procesos de certificación pueden ser complejos y varían entre regiones, lo que puede dificultar la implementación y el cumplimiento de los sistemas CSP.</p> <p>- <b>Resistencia al Cambio:</b> Las industrias pueden ser reacias a adoptar nuevas tecnologías debido a la falta de familiaridad y la preferencia por sistemas de calor convencionales y ya amortizados.</p>	<p>- <b>Competencia de Otras Tecnologías:</b> Otras soluciones de almacenamiento térmico y tecnologías energéticas alternativas, como baterías de alta capacidad y biomasa, pueden competir directamente con las sales fundidas.</p> <p>- <b>Volatilidad de los Precios de Materiales:</b> Las fluctuaciones en los precios de los materiales necesarios para la fabricación y mantenimiento de sistemas de sales fundidas pueden afectar los costos operativos y de instalación.</p> <p>- <b>Desafíos Regulatorios:</b> Las normativas y regulaciones relacionadas con el manejo y almacenamiento de materiales a altas temperaturas pueden ser estrictas, creando barreras para la implementación.</p> <p>- <b>Resistencia al Cambio:</b> Las industrias que utilizan métodos tradicionales de generación de calor pueden mostrar resistencia a adoptar nuevas tecnologías debido a la familiaridad con los sistemas existentes y las inversiones ya realizadas.</p>
<b>FORTALEZAS</b>	
<b>Energía Térmica de Concentración</b>	<b>Calentadores eléctricos “Built to Zero”</b>
<p>- <b>Alta Eficiencia en Temperaturas Elevadas:</b> La energía solar térmica de concentración (CSP) es altamente eficiente para generar calor en el rango de 120°C a 400°C, lo que la hace adecuada para una amplia variedad de procesos industriales.</p>	<p>- <b>Alta Capacidad de Almacenamiento Térmico:</b> Las sales fundidas tienen una alta capacidad de almacenamiento de energía térmica, permitiendo un suministro continuo y fiable de calor en el rango de 120°C a 400°C.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Reducción de Emisiones:</b> Al utilizar energía solar, se reduce la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.</li> <li>- <b>Abundante Fuente de Energía:</b> La energía solar es una fuente renovable y abundante, especialmente en regiones con alta radiación solar, lo que asegura un suministro de energía constante y predecible.</li> <li>- <b>Estabilidad de Costos Operativos:</b> Una vez instalada, la tecnología CSP tiene costos operativos relativamente bajos, ya que la fuente de energía (solar) es gratuita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Eficiencia Energética:</b> La alta capacidad térmica de las sales permite una absorción y liberación eficiente de energía, mejorando el rendimiento energético de los procesos industriales.</li> <li>- <b>Estabilidad Térmica:</b> Las sales fundidas pueden operar a temperaturas elevadas sin descomponerse, lo que las hace ideales para aplicaciones industriales de alta temperatura.</li> <li>- <b>Compatibilidad con Energías Renovables:</b> Esta tecnología puede ser calentada utilizando fuentes de energía renovable como solar o eólica, facilitando la integración en sistemas de energía limpia y reduciendo la huella de carbono.</li> <li>- <b>Durabilidad:</b> Los sistemas de almacenamiento en sales fundidas son duraderos y resistentes a la corrosión, garantizando una larga vida útil y menor necesidad de mantenimiento.</li> </ul>
<b>OPORTUNIDADES</b>	
<b>Energía Térmica de Concentración</b>	<b>Calentadores eléctricos “Built to Zero”</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Creciente Demanda de Energía Limpia:</b> La creciente preocupación por el cambio climático y la sostenibilidad está impulsando la demanda de tecnologías de energía limpia y renovable en el sector industrial.</li> <li>- <b>Incentivos y Subvenciones:</b> Los gobiernos y organismos internacionales están ofreciendo incentivos y subsidios para la adopción de tecnologías renovables, lo que puede reducir significativamente los costos iniciales de los sistemas CSP.</li> <li>- <b>Avances Tecnológicos:</b> Las mejoras continuas en la tecnología de concentración solar y en los materiales de almacenamiento térmico pueden aumentar la eficiencia y reducir los costos de los sistemas CSP.</li> <li>- <b>Regulaciones Medioambientales:</b> Las normativas cada vez más estrictas sobre emisiones y eficiencia energética pueden impulsar la adopción de CSP como una alternativa viable a los combustibles fósiles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Aumento de la Demanda de Energías Limpias:</b> La creciente necesidad de reducir emisiones de carbono y adoptar tecnologías sostenibles impulsa la demanda de soluciones como el almacenamiento en sales fundidas.</li> <li>- <b>Incentivos y Subvenciones Gubernamentales:</b> Los gobiernos están ofreciendo incentivos y subsidios para la implementación de tecnologías de energía renovable, lo que puede ayudar a reducir los costos iniciales de instalación.</li> <li>- <b>Innovaciones Tecnológicas:</b> Los avances continuos en tecnología de almacenamiento térmico pueden mejorar la eficiencia y reducir los costos, haciendo la tecnología de sales fundidas más accesible y viable.</li> <li>- <b>Colaboraciones y Alianzas:</b> Asociaciones con otras empresas e instituciones pueden facilitar la adopción y optimización de la tecnología, promoviendo su integración en el sector industrial.</li> </ul>

Este análisis DAFO proporciona una visión integral de los factores que influyen en la viabilidad de la tecnología de almacenamiento en sales fundidas de energía térmica y la energía térmica de concentración para cubrir las necesidades térmicas de actividades industriales con demanda de calor entre 150°C y 400°C, destacando sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en el contexto actual.

### 9.2.2.3 Rango de temperatura superior a 400°C

Para poder valorar como de adecuada es esta tecnología, vamos a examinar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del Hidrógeno Verde en el sector industrial para demandas de calor superiores a 400°C. En el análisis DAFO, exploraremos sus características clave del Hidrógeno Verde. En la Tabla 34 se muestra el análisis DAFO del Hidrógeno Verde como posible tecnología para cubrir las necesidades de las actividades industriales con demanda de calor superior a 400°C.

Tabla 34. Análisis DAFO del Hidrógeno Verde como posible tecnología para cubrir las necesidades de las actividades industriales con demanda de calor superior a 400°C.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Costos de Producción:</b> Actualmente, la producción de hidrógeno verde es más costosa en comparación con otras fuentes de energía debido a los altos costos de electrólisis y la infraestructura necesaria.</li> <li>- <b>Eficiencia Energética:</b> La eficiencia total del ciclo de producción de hidrógeno verde, desde la generación de electricidad renovable hasta su conversión en calor, puede ser inferior a la de otras tecnologías directas de uso de electricidad.</li> <li>- <b>Infraestructura de Almacenamiento y Distribución:</b> La infraestructura para el almacenamiento y distribución de hidrógeno está en desarrollo, lo que puede limitar su adopción a corto plazo.</li> <li>- <b>Seguridad:</b> El hidrógeno es altamente inflamable, lo que requiere estrictas medidas de seguridad para su almacenamiento y manejo, aumentando los costos y la complejidad operativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Competencia de Otras Tecnologías:</b> Tecnologías alternativas como la electrificación directa, la biomasa y las energías solares térmicas de alta temperatura pueden competir con el hidrógeno verde en aplicaciones industriales.</li> <li>- <b>Volatilidad de los Precios de la Electricidad:</b> La producción de hidrógeno verde depende de la disponibilidad y el costo de la electricidad renovable, que puede ser volátil en algunos mercados.</li> <li>- <b>Desafíos Regulatorios y Logísticos:</b> Las regulaciones estrictas y los desafíos logísticos relacionados con el almacenamiento y transporte de hidrógeno pueden retrasar su adopción en el sector industrial.</li> <li>- <b>Riesgos de Seguridad:</b> Los riesgos asociados con el manejo y almacenamiento del hidrógeno, como explosiones e incendios, pueden generar preocupaciones y resistencia entre los usuarios industriales.</li> </ul>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Alta Densidad Energética:</b> El hidrógeno verde tiene una alta densidad energética, lo que permite generar grandes cantidades de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Políticas y Regulaciones Favorables:</b> Los gobiernos están implementando políticas y ofreciendo incentivos para fomentar el uso de hidrógeno verde, lo que</li> </ul>

<p>calor, superando los 400°C, necesario para muchos procesos industriales pesados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Sostenibilidad Ambiental:</b> La producción de hidrógeno verde, a través de la electrólisis del agua utilizando energía renovable, no emite CO<sub>2</sub>, contribuyendo significativamente a la reducción de la huella de carbono.</li> <li>- <b>Versatilidad de Uso:</b> Puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones industriales, desde la producción de acero y cemento hasta la refinación de petróleo y la fabricación de productos químicos.</li> <li>- <b>Almacenamiento y Transporte:</b> El hidrógeno puede ser almacenado y transportado a grandes distancias, lo que permite su uso en ubicaciones industriales alejadas de las fuentes de energía renovable.</li> <li>- <b>Compatibilidad con Tecnologías Existentes:</b> Puede integrarse en sistemas de calefacción y generación de calor existentes, reduciendo la necesidad de nuevas inversiones en infraestructura.</li> </ul>	<p>puede reducir los costos y acelerar su adopción.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Innovación y Desarrollo Tecnológico:</b> Los avances en tecnologías de electrólisis y almacenamiento pueden reducir los costos y aumentar la eficiencia de la producción de hidrógeno verde.</li> <li>- <b>Creciente Demanda de Energía Limpia:</b> La transición global hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles está aumentando la demanda de hidrógeno verde en múltiples sectores industriales.</li> <li>- <b>Colaboración Internacional:</b> Las iniciativas y proyectos de colaboración internacional pueden acelerar el desarrollo de la infraestructura necesaria y la adopción del hidrógeno verde a nivel global.</li> </ul>
--	--

Este análisis DAFO proporciona una visión integral de los factores que afectan la viabilidad del Hidrógeno Verde para cubrir las necesidades de calor superior a 400°C en el sector industrial. A pesar de los desafíos, sus fortalezas y oportunidades lo posicionan como una tecnología prometedora para la transición hacia una economía baja en carbono.

### 9.2.3 Sector residencial y servicios

Para poder analizar la adecuabilidad de la Aerotermia y de las calderas eléctricas alimentadas por energía eléctrica renovable como sustitutos de las energías fósil que se utilizan actualmente, se estudiarán las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de cada uno de ellos por separado. En el análisis DAFO, exploraremos sus características como alternativas a utilizar en el sector residencial y servicios. En la tabla 31 se muestra el análisis DAFO sobre el uso de Aerotermia en el sector residencial y servicios como sustituto del gas natural y productos petrolíferos utilizados actualmente.

Tabla 35. Análisis DAFO comparativo sobre el uso de la energía térmica de concentración y calentadores eléctricos de la empresa “Built to Zero” en el sector industrial para actividades con demanda de calor inferior a 150°C.

<b>DEBILIDADES</b>	
<b>Aeroterminia</b>	<b>Caldera eléctrica</b>
<p>- <b>Altos Costos de Instalación:</b> La inversión inicial para la instalación puede ser significativa, lo cual puede desincentivar a algunos propietarios de viviendas y gestores de edificios de servicios.</p> <p>- <b>Eficiencia Dependiente del Clima:</b> La eficiencia puede disminuir en climas extremadamente fríos, lo que puede requerir sistemas de apoyo adicionales para mantener el confort térmico en residencias y edificios de servicios.</p> <p>- <b>Requiere Espacio para la Unidad Exterior:</b> La instalación de una unidad exterior puede ser un desafío en edificios residenciales con espacio limitado o restricciones arquitectónicas.</p> <p>- <b>Mantenimiento Especializado:</b> Aunque el mantenimiento no es frecuente, requiere técnicos especializados, lo que puede aumentar los costos de operación y mantenimiento para propietarios de viviendas y gestores de edificios.</p>	<p>- <b>Dependencia de la Electricidad:</b> El funcionamiento de las calderas eléctricas depende completamente de la disponibilidad y el costo de la electricidad, lo cual puede ser una limitación en áreas con tarifas eléctricas elevadas o suministro inestable.</p> <p>- <b>Altos Costos Operativos:</b> Aunque son eficientes, el costo de la electricidad puede hacer que los costos operativos sean más altos en comparación con otras fuentes de energía como el gas natural, afectando el presupuesto de hogares y negocios.</p> <p>- <b>Capacidad Limitada:</b> Las calderas eléctricas pueden no ser adecuadas para edificios de gran tamaño o con alta demanda de calefacción, ya que pueden requerir un sistema eléctrico más robusto que el disponible en instalaciones residenciales y de servicios estándar.</p> <p>- <b>Impacto de la Red Eléctrica:</b> Un aumento significativo en el uso de calderas eléctricas podría incrementar la demanda en la red eléctrica, lo que podría resultar en problemas de capacidad y estabilidad de la red, especialmente en áreas densamente pobladas.</p>
<b>AMENAZAS</b>	
<b>Aeroterminia</b>	<b>Caldera eléctrica</b>
<p>- <b>Competencia de Otras Tecnologías:</b> Otras soluciones de calefacción y refrigeración, como las bombas de calor geotérmicas y los sistemas solares térmicos, pueden competir directamente con la aeroterminia en el sector residencial y de servicios.</p> <p>- <b>Volatilidad de Precios de la Electricidad:</b> La eficiencia de los sistemas de aeroterminia depende de los costos de electricidad, y cualquier aumento significativo en los precios de la electricidad puede afectar su viabilidad económica.</p>	<p>- <b>Competencia de Otras Tecnologías:</b> Las soluciones de calefacción y agua caliente basadas en gas natural, bombas de calor y sistemas solares térmicos pueden competir directamente con las calderas eléctricas en el sector residencial y de servicios.</p> <p>- <b>Volatilidad de Precios de la Electricidad:</b> La eficiencia de los sistemas de calderas eléctricas depende de los costos de electricidad, y cualquier aumento significativo en estos precios puede afectar su viabilidad económica, disuadiendo a potenciales usuarios.</p>

<p>- <b>Desafíos Regulatorios:</b> Las regulaciones y normativas específicas relacionadas con la instalación de sistemas de aerotermia pueden ser complejas y variar según la región, lo que podría retrasar la adopción.</p> <p>- <b>Resistencia al Cambio:</b> La resistencia al cambio por parte de los consumidores, que están acostumbrados a los sistemas de calefacción y refrigeración tradicionales, puede ser una barrera para la adopción de la aerotermia en el sector residencial y de servicios.</p>	<p>- <b>Desafíos Regulatorios:</b> Las regulaciones y normativas específicas relacionadas con el uso de electricidad para calefacción pueden ser complejas y variar según la región, lo que podría retrasar la adopción de calderas eléctricas en algunos mercados.</p> <p>- <b>Resistencia al Cambio:</b> La resistencia al cambio por parte de los consumidores acostumbrados a sistemas de calefacción y agua caliente tradicionales puede ser una barrera para la adopción de calderas eléctricas en el sector residencial y de servicios.</p>
<b>FORTALEZAS</b>	
<b>Aerotermia</b>	<b>Caldera eléctrica</b>
<p>- <b>Alta Eficiencia Energética:</b> La aerotermia aprovecha la energía del aire exterior, permitiendo generar más energía térmica que la energía eléctrica consumida, alcanzando coeficientes de rendimiento (COP) altos, lo cual es ideal para calefacción y refrigeración en hogares y edificios de servicios.</p> <p>- <b>Sostenibilidad Ambiental:</b> Utiliza una fuente de energía renovable y contribuye a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, ayudando a hogares y edificios de servicios a cumplir con objetivos de sostenibilidad y reducción de huella de carbono.</p> <p>- <b>Versatilidad:</b> Los sistemas de aerotermia pueden proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS), ofreciendo una solución integral para el sector residencial y de servicios.</p> <p>- <b>Reducción de Costos Operativos:</b> A pesar de una inversión inicial alta, los costos operativos son bajos debido a la alta eficiencia del sistema y al uso de energía gratuita del aire exterior.</p> <p>- <b>Fácil Integración:</b> Los sistemas de aerotermia pueden integrarse con sistemas de calefacción y refrigeración existentes, así como con otras tecnologías renovables como paneles solares fotovoltaicos, beneficiando tanto a residencias como a edificios de servicios.</p>	<p>- <b>Alta Eficiencia Energética:</b> Las calderas eléctricas convierten casi el 100% de la energía eléctrica en calor, lo que las hace extremadamente eficientes y adecuadas para calefacción y suministro de agua caliente en hogares y edificios de servicios.</p> <p>- <b>Instalación Sencilla:</b> Comparadas con otras calderas que requieren sistemas de ventilación o almacenamiento de combustible, las calderas eléctricas son más fáciles y rápidas de instalar, beneficiando a propietarios de viviendas y gestores de edificios de servicios.</p> <p>- <b>Mantenimiento Reducido:</b> La ausencia de componentes de combustión reduce significativamente la necesidad de mantenimiento y aumenta la vida útil del equipo, lo que es ideal para usuarios residenciales y del sector servicios.</p> <p>- <b>Funcionamiento Silencioso:</b> Las calderas eléctricas operan silenciosamente, una característica valiosa en entornos residenciales y de servicios donde el ruido puede ser una preocupación.</p> <p>- <b>Compatibilidad con Energías Renovables:</b> Pueden ser alimentadas por electricidad generada a partir de fuentes renovables, lo que las convierte en una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente para hogares y edificios de servicios.</p>

Proyecto de viabilidad técnica y económica de las distintas tecnologías que hay disponibles en el mercado, para sustituir las energías fósiles por energías renovables en los sectores: industrial, transporte y servicios, de la provincia de Tarragona

<b>OPORTUNIDADES</b>	
<b>Aerothermia</b>	<b>Caldera eléctrica</b>
<p>- <b>Creciente Demanda de Soluciones Sostenibles:</b> El aumento de la conciencia ambiental y las políticas gubernamentales que fomentan el uso de energías renovables impulsan la demanda de tecnologías como la aerothermia en el sector residencial y de servicios.</p> <p>- <b>Incentivos y Subvenciones:</b> Los gobiernos están ofreciendo subvenciones e incentivos fiscales para la instalación de sistemas de aerothermia, lo que puede reducir significativamente los costos iniciales para los consumidores residenciales y del sector servicios.</p> <p>- <b>Innovación y Desarrollo Tecnológico:</b> Los avances en la tecnología de bombas de calor y la eficiencia de los sistemas de aerothermia pueden mejorar aún más su rendimiento y reducir los costos de instalación y operación.</p> <p>- <b>Aumento del Precio de los Combustibles Fósiles:</b> El incremento en los precios de combustibles fósiles hace que la aerothermia sea una alternativa más atractiva desde el punto de vista económico para residencias y edificios de servicios.</p>	<p>- <b>Transición hacia Energías Renovables:</b> Con el aumento en la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, las calderas eléctricas pueden contribuir a una mayor adopción de tecnologías limpias en el sector residencial y de servicios, apoyando las metas de sostenibilidad.</p> <p>- <b>Subvenciones e Incentivos Gubernamentales:</b> Los programas de incentivos y subsidios gubernamentales para tecnologías energéticamente eficientes pueden reducir los costos iniciales y operativos de las calderas eléctricas, facilitando su adopción en hogares y edificios de servicios.</p> <p>- <b>Desarrollo Tecnológico:</b> Los avances en tecnologías de almacenamiento de energía y gestión de la demanda pueden mejorar la viabilidad y eficiencia de las calderas eléctricas, haciendo que sean una opción más atractiva para el sector residencial y de servicios.</p> <p>- <b>Incremento de Precios de Combustibles Fósiles:</b> Un incremento en los precios de combustibles fósiles puede hacer que las calderas eléctricas sean una alternativa más competitiva en términos de costos operativos, impulsando su adopción en el sector residencial y de servicios.</p>

Este análisis DAFO proporciona una visión integral de los factores que influyen en la viabilidad de la tecnología de la aerothermia y calderas eléctricas para cubrir las necesidades energéticas en el sector residencial y de servicios, destacando sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en el contexto actual.

### **9.3 Colectores solares Fresnel**

En este apartado se recoge la información relevante del cálculo de los colectores Fresnel de la energía solar de concentración.

#### **9.3.1 Perfiles horarios de radiación en Tarragona**

A continuación, en la Tabla 36 se muestra con el porcentaje de radiación mensual para cada hora del día en Tarragona.

Tabla 36. Perfil horario de radiación solar en Tarragona en porcentaje (%).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,48	0,30	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,05	1,04	1,77	1,85	1,51	1,14	0,61	0,01	0,00	0,00
9	0,00	0,44	2,54	3,90	4,39	4,40	4,06	3,86	3,73	3,36	1,16	0,00
10	4,71	5,27	6,26	6,85	7,34	7,25	6,88	6,95	7,29	7,44	6,91	5,74
11	9,39	9,32	9,62	9,65	9,94	9,65	9,37	9,70	10,25	10,72	10,87	10,50
12	13,07	12,39	12,32	11,87	11,71	11,43	11,34	11,78	12,56	13,32	14,28	14,09
13	15,19	14,46	14,05	13,10	12,79	12,56	12,61	13,10	13,67	14,58	16,06	16,17
14	16,60	14,93	13,54	13,03	12,91	12,60	12,94	13,16	13,71	14,34	15,98	16,78
15	15,20	14,48	13,35	12,55	11,84	11,49	11,85	12,26	12,65	13,52	14,49	15,53
16	13,24	12,64	11,54	10,89	10,17	10,16	10,41	10,53	10,60	11,03	11,38	12,51
17	9,53	9,68	8,89	8,63	7,97	8,24	8,52	8,43	8,10	7,74	7,76	8,53
18	3,07	5,74	5,66	5,58	5,41	5,70	5,94	5,65	5,01	3,76	1,11	0,14
19	0,00	0,65	2,16	2,61	2,78	3,13	3,25	2,87	1,79	0,18	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,29	0,68	0,93	0,94	0,55	0,02	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Partiendo de los perfiles horarios de radiación en Tarragona por horas recogido en la Tabla 36, obtenemos la siguiente tabla donde se resume el porcentaje de radiación mensual en Tarragona.

Tabla 37. Resumen perfil radiación solar en Tarragona en porcentaje mensual.

<b>Radiación solar en Tarragona (%)</b>	
<b>Enero</b>	4,96
<b>Febrero</b>	6,45
<b>Marzo</b>	9,43
<b>Abril</b>	9,13
<b>Mayo</b>	11,8
<b>Junio</b>	12,3
<b>Julio</b>	12,0
<b>Agosto</b>	11,6
<b>Septiembre</b>	8,67
<b>Octubre</b>	6,38
<b>Noviembre</b>	4,49
<b>Diciembre</b>	2,76

En la Figura 33 se puede ver el perfil de generación de energía térmica con los colectores LFT20 para cada mes del año.

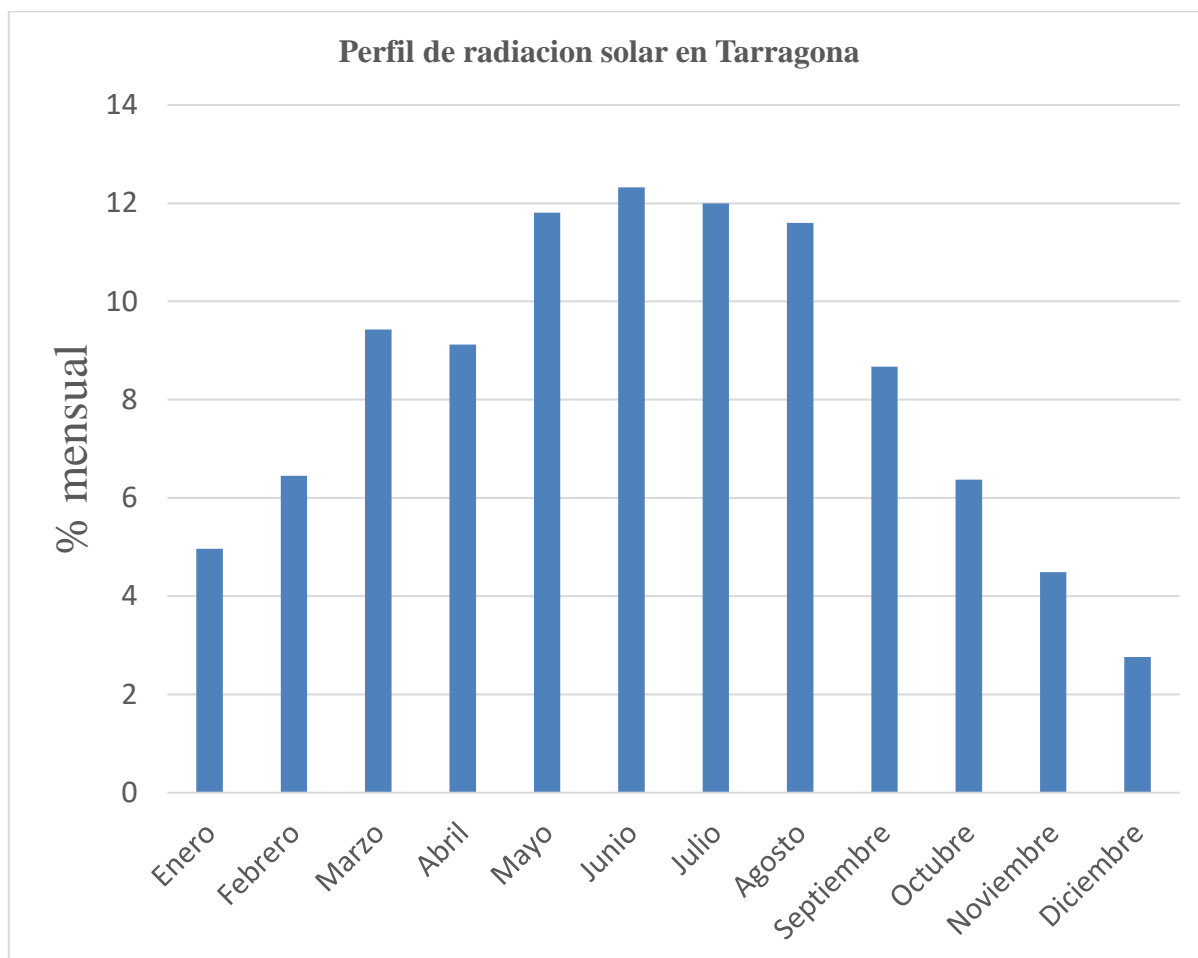


Figura 36. Producción de energía térmica mensual.

## **9.4 Fichas técnicas captadores solares**

### **9.4.1 Captador solar térmico CSV SLIM 20**

### **9.4.2 Captador solar térmico de concentración FLT20 de SOLATOM**

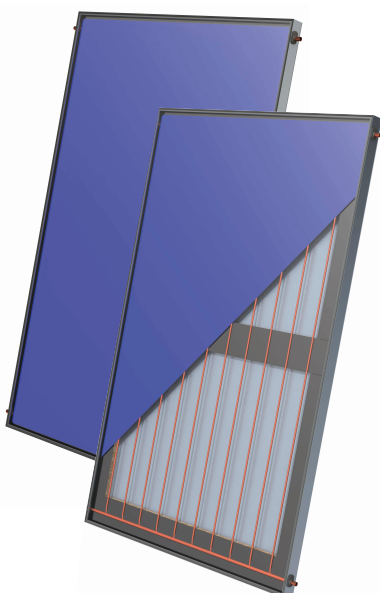
#### **9.4.1 Captador solar térmico CSV SLIM 20**

A continuación, se presenta la ficha técnica del captador CSV SLIM 20 de la empresa CABEL.

### 3. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

#### 3.1. CAPTADORES SOLARES

##### PANEL/CAPTADOR SOLAR CSV SLIM vertical

**NUEVO**


Captador que cuenta con un absorbedor de aluminio tratado al vacío con selectivo PVD y un espesor de 0.40 mm, ofreciendo una absorptancia del 95 % emitancia 5%; y un vidrio solar templado liso y extra claro, con un bajo contenido en hierro extraclaro con un espesor de 3,2 mm y una transmitancia solar del 91%.

Cuenta con aislamiento politérmico en poliuretano de 20 mm de espesor y recubrimiento metálico +20 mm en lana de vidrio. Incluye un circuito de cobre normalizado en arpa soldado por láser con doble cordón para una máxima duración.

Además, todos los captadores equipan cuatro tomas laterales mediante tubo de cobre en 18 mm para conexiones tipo sambra, lo que facilita enormemente la conexión entre ellos para formar cualquier tipo de configuración, y ahorrar costes en elementos de conexión.

Ref. artículo	Descripción	PVR €
423004	Panel captador CSV SLIM 20	474,00
423011	Panel captador CSV SLIM 25	528,00

MODELO	CSV SLIM 20	CSV SLIM 25
Código	423004	423011
Colocación	VERTICAL	
Área apertura	m <sup>2</sup>	1.88
Área absorbedor	m <sup>2</sup>	1.83
Alto	mm	2056
Ancho	mm	956
Fondo	mm	49
Área bruta	m <sup>2</sup>	1.97
Peso en vacío	kg	24.5
Volumen de fluido	l	1.09
Régimen de presiones	bar	Presión de prueba: 20 bar Presión máx. de trabajo: 10 bar
Rango de caudales	l/h·m <sup>2</sup>	30.0 - 115.0
Tª Estancamiento	°C	200.3
Potencia pico (G=1000W/m <sup>2</sup> )	W	1498
Curva respecto		Área bruta
Rendimiento óptico	%	75.50
Pérdidas K1	W/ m <sup>2</sup> ·K	3.726
Pérdidas K2	W/ m <sup>2</sup> ·K	0.016

##### ESTRUCTURA PARA CAPTADOR CSV SLIM vertical



Estructuras fabricadas con angulares de acero galvanizado DX51 tratado para climas adversos, proporcionando una gran resistencia a ambientes marinos y corrosivos.

Ref. artículo	Descripción	PVR €
423325	Estructura de Panel captador CSV SLIM 20	108,00
423349	Estructura de dos Paneles captadores CSV SLIM 20	126,00
423363	Esstructura de tres Paneles captadores CSV SLIM 20	196,00

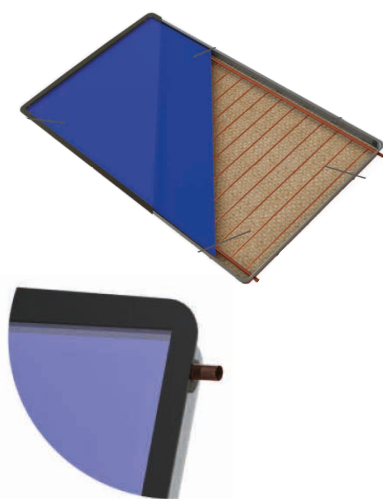
Ref. artículo	Descripción	PVR €
423332	Estructura de Panel captador CSV SLIM 25	108,00
423356	Estructura de dos Paneles captadores CSV SLIM 25	126,00
423370	Esstructura de tres Paneles captadores CSV SLIM 25	196,00

### 3. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

#### 3.1. CAPTADORES SOLARES

##### PANEL/CAPTADOR SOLAR CSH PREMIUM horizontal

NUEVO



Captador con carcasa monocasco que cuenta con un absorbedor de aluminio naval tratado al vacío con con selectivo PVD y un espesor de 0,40 mm, ofreciendo una absorptancia del 95 % emitanca 5%; y un vidrio solar templado liso y extra claro, con un bajo contenido en hierro extraclaro con un espesor de 3,2 mm y una transmitancia solar del 91%.

Cuenta con aislamiento térmico en fibra de vidrio de 60 mm de espesor. Incluye un circuito de cobre normalizado en arpa soldado por láser con doble cordón para una máxima duración.

Además, todos los captadores equipan cuatro tomas laterales mediante tubo de cobre en 18 mm para conexiones tipo sambra, lo que facilita enormemente la conexión entre ellos para formar cualquier tipo de configuración, y ahorrar costes en elementos de conexión.

Ref. artículo	Descripción	PVR €
423028	Panel captador CSH PREMIUM 22	666,00
423035	Panel captador CSH PREMIUM 26	745,00

MODELO	CSH PREMIUM 22	CSH PREMIUM 26
Código	423028	423035
Colocación	HORIZONTAL	
Área apertura	m <sup>2</sup> 2.00	2.33
Área absorbedor	m <sup>2</sup> 2.00	2.33
Alto	mm 1069	1234
Ancho	mm 2089	
Fondo	mm 98	
Área bruta	m <sup>2</sup> 2.22	2.58
Peso en vacío	kg 31.5	39.8
Volumen de fluido	l 1.54	1.66
Régimen de presiones	bar	Presión de prueba: 20 bar Presión máx. de trabajo: 10 bar
Rango de caudales	l/h·m <sup>2</sup> 30.0 - 115.0	
Tª Estancamiento	°C 214.8	
Potencia pico (G=1000W/m <sup>2</sup> )	W 1544	1799
Curva respecto		Área bruta
Rendimiento óptico	% 69.9	
Pérdidas K1	W/ m <sup>2</sup> ·K 3.401	
Pérdidas K2	W/ m <sup>2</sup> ·K 0.013	

##### ESTRUCTURA PARA CAPTADOR SOLAR CSH PREMIUM horizontal



Estructuras fabricadas con angulares de acero galvanizado DX51 tratado para climas adversos, proporcionando una gran resistencia a ambientes marinos y corrosivos.

Ref. artículo	Descripción	PVR €
423387	Estructura de Panel captador CSH PREMIUM 22	104,00
423394	Estructura de Panel captador CSH PREMIUM 26	104,00



#### **9.4.2 Captador solar térmico de concentración FLT20 de SOLATOM**

A continuación, se presenta la ficha técnica del captador FLT20 de la empresa SOLATOM.

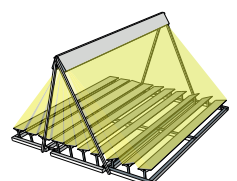
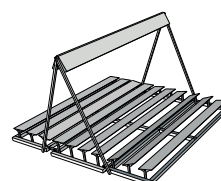
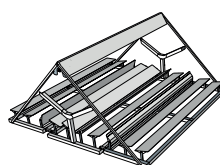
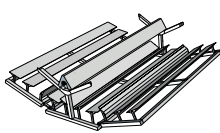
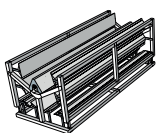
# FLT 20

## Colector Solar Fresnel Lineal

El FLT20 SOLATOM es un colector de concentración solar diseñado para generar calor a alta temperatura en procesos industriales de pequeñas y medianas empresas. El FLT20 es suministrado en módulos de 6 metros que están conectados los unos a los otros para obtener la potencia/energía deseada.

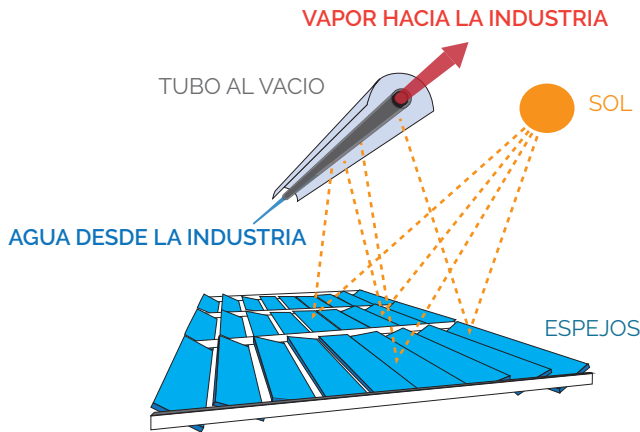


Pre-assembled solar solution for heat demand in **SMEs**



# Aplicación en PYMEs

El colector FLT20 utiliza espejos que siguen el sol, concentrando los rayos en un tubo de vacío por el cual circula un fluido térmico. Una vez que el fluido ha alcanzado las condiciones de diseño (presión y temperatura), es suministrado a la red de la industria.



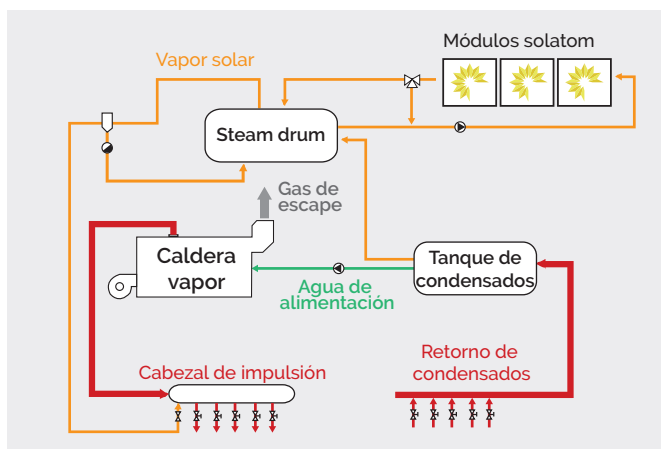
Temperatura: Desde: 80°C Hasta: 300°C  
 Presión: Hasta 30 bar  
 Fluido: Vapor, agua y fluido térmico

Sector Industrial	Proceso térmico
Alimentación y bebidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pasteurización</li> <li>Cocinado</li> <li>Secado</li> <li>Limpieza</li> <li>Pelado</li> <li>Fritura</li> <li>Evaporación</li> </ul>
Textil	<ul style="list-style-type: none"> <li>Teñido</li> <li>Decoloración</li> <li>Lavado</li> </ul>
Químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tratamiento térmico</li> <li>Esterilización</li> <li>Destilación</li> </ul>
Papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secado pasta papelera</li> </ul>
Tratamiento de aguas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secado de fangos</li> </ul>
Lavandería industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calandrado</li> <li>Lavado</li> </ul>

## Tipos de integración

Dependiendo del tipo de proceso, el módulo FLT20 puede conectarse en paralelo o en serie con el sistema convencional instalado actualmente en la industria.

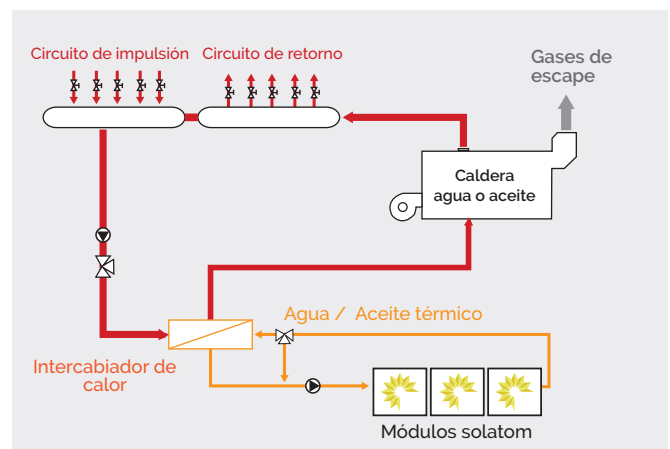
Generación solar de vapor (conexión en paralelo)



### Ejemplo: Industria cárnica

Los módulos FLT20 se alimentan con el retorno de los condensados, que genera vapor saturado a la misma presión que la caldera convencional. El vapor se integra directamente en la red del cliente.

Incremento de la temperatura de retorno (conexión en serie)



### Ejemplo: Lavandería Industrial

Los FLT20 se usan para incrementar la temperatura del fluido en el retorno del proceso, antes de que vuelva a ser introducido en la caldera.

# El colector solar

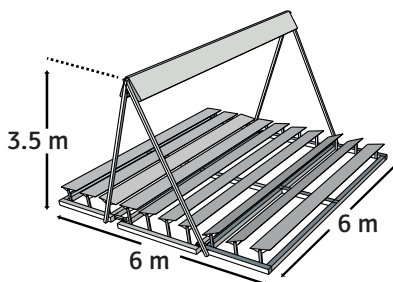
Los módulos FLT20 se pre-ensamblan en fábrica, para a continuación ser transportados. Una vez situados están listos para conectados.



Una vez dispuestos, los módulos se conectan usando una solución “plug and play”.



## Datos técnicos



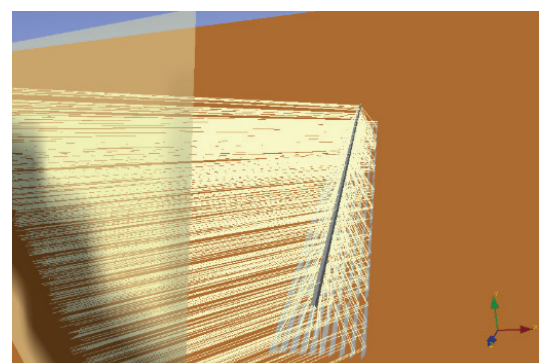
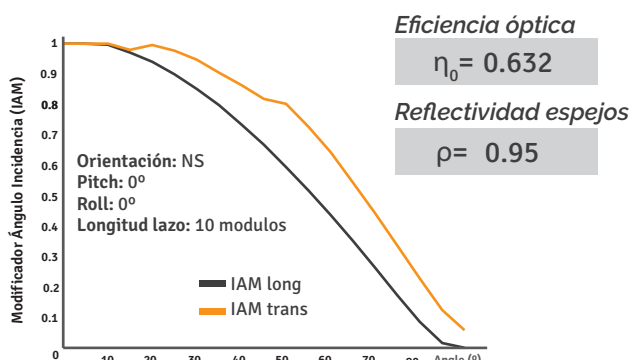
- Espejos templados de alta reflectividad con control individual de tracking
- Reflector secundario
- Tubo de vacío con recubrimiento selectivo
- Monitorización de la producción energética

Datos para 1 módulo

Potencia entregada*	14.5 kWt
Apertura neta de espejos	26.4 m <sup>2</sup>
Superficie necesaria	36 m <sup>2</sup>
Peso específico (relativo al área del colector)	26 kg/m <sup>2</sup>
Max. velocidad de viento en operación	70 km/h
Max. velocidad viento (en protección)	150 km/h
Vida útil	20 años

\*Condiciones de referencia: DNI=900 W/m<sup>2</sup>, T<sub>entrada</sub>=150°C, T<sub>salida</sub>=180°C, T<sub>amb</sub>=30°C, θ<sub>trans</sub>=15°, θ<sub>long</sub>=0°

## Rendimiento óptico



Para más información sobre el rendimiento óptico del colector, rogamos la solicite en [info@solatom.com](mailto:info@solatom.com)

# Cómo empiezo?

SOLATOM se ocupará de todo el ciclo de vida del proyecto. Asesoramiento inicial, desarrollo del producto, transporte e integración con la industria y O&M.



## Cálculo inicial con ReSSSPI (Gratis y totalmente on-line)

Desarrollo  
de proyecto

Transporte &  
Integración

O&M y  
monitorización

ReSSSPI permite a los usuarios, sin experiencia previa en energía solar, a desarrollar simulaciones de detalle de proyectos solares térmicos.

- 1) Visita [www.ressspi.com](http://www.ressspi.com) y crea un usuario
- 2) Crea una simulación
- 3) Introduce los **datos** de la industria que quieres simular:

Location of the project	Temperature inlet & outlet boiler
Annual demand of thermal energy	Outlet pressure of the boiler
Working hours during typical day	Working days during the week
Heat transfer fluid used (steam/water/oil)	Current price of fossil fuel

- 4) Simula de manera **automática** o manual (sólo expertos)
- 5) Obtén el rendimiento energético y económico en 30 seg.

**ReSPI** EL  
Simulador Solar  
para Procesos Industriales  
[www.ressspi.com](http://www.ressspi.com)

## Referencias



UCIII,  
Madrid (España)

MARGALIDA,  
Girona (España)

SOLPINTER,  
Almería (España)

DADELOS,  
Valencia (España)

NATURAL CORK,  
Badajoz (España)

MAGTEL,  
Sevilla (España)

■ En operación ■ En construcción ■ En desarrollo

- 🔥 Aceite térmico
- 💧 Agua presurizada
- 🌬️ Aire caliente
- 💧 Vapor



ITC,  
Canarias (España)



HERMA,  
Caceres (España)



SOLPINVAP,  
Castellón (España)



C/ Pedro Duque, 7, 46022 Valencia,  
Spain

Tel: (+34) 691 902 188  
[info@solatom.com](mailto:info@solatom.com) - [www.solatom.com](http://www.solatom.com)