

Trabajo de Fin de Grado

## Ingeniería en Tecnologías Industriales

# Captación y almacenaje de CO<sub>2</sub> del entorno industrial de Barcelona

### MEMORIA

**Autor:** Anna Román Rubio  
**Director:** Jordi Bou Serra  
**Convocatoria:** Enero 2022



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resumen

Las consecuencias del cambio climático son cada vez más evidentes y perjudiciales; una de las principales causas es el efecto invernadero provocado por las altas emisiones de gases, el cual conlleva al aumento de la temperatura del planeta. Por lo tanto, es necesario desarrollar nuevas tecnologías y aplicar políticas activas para reducir las emisiones.

Una de las tecnologías que se está empezando a implementar en Noruega, es la Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CAC). En este país han creado un gran proyecto, Longship, formado por Northern Lights que se encargará de almacenar de manera permanente el CO<sub>2</sub> capturado por las industrias.

En este trabajo se pretende dar a conocer el funcionamiento de Longship y Northern Lights; y aplicar sus ideas para la creación de una propuesta de un sistema de captura en Barcelona.

Para llevarlo a cabo, se han obtenido y analizado los inventarios de emisiones de España y de Barcelona. De esta manera se han seleccionado las industrias más contaminantes del entorno de Barcelona para capturar el CO<sub>2</sub>.

Finalmente, se ha calculado un presupuesto aproximado del sistema de captura en Barcelona considerando: la instalación de las plantas de captura y la planta de condensación, la implementación de tuberías para transportar el CO<sub>2</sub> (gas) captado hasta la planta de condensación; y el precio del alquiler de los barcos metaneros necesarios para transportar el CO<sub>2</sub> licuado a Noruega.



## Sumario

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>SUMARIO</b>	<b>5</b>
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACIO</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del proyecto.....	9
2.2. Motivación .....	9
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
3.1. Objetivos del proyecto .....	10
<b>4. SITUACIÓN POLÍTICA ACTUAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>11</b>
4.1. Acuerdo de París .....	11
4.2. COP26 .....	11
<b>5. EVOLUCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>14</b>
5.1. CO <sub>2</sub> equivalente: .....	14
5.2. Inventario nacional de emisiones de los últimos años.....	14
5.3. Inventario de emisiones territorial en el entorno de Barcelona .....	16
5.3.1. Emisiones RCDE del ámbito metropolitano de Barcelona .....	17
5.3.2. Emisiones RCDE de los municipios que más contaminan del ámbito metropolitano ..... de Barcelona.....	17
<b>6. CAC EN NORUEGA</b>	<b>22</b>
6.1. Longship.....	22
6.2. Northern Lights .....	24
6.3. Proyectos enlazados a Longship .....	25
6.3.1. Fortum Oslo Varme .....	25
6.3.2. Norcem.....	25
6.4. Captura y almacenamiento de CO <sub>2</sub> (CAC o CCS).....	26
6.4.1. Captura .....	26
6.4.2. Transporte y almacenamiento.....	29
<b>7. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CAPTURA DE CO<sub>2</sub> EN BARCELONA</b>	<b>32</b>
7.1. Selección de industrias.....	32
7.1.1. Escoger el método de captura .....	33
7.1.2. Lugar de instalación del sistema de captura .....	34
7.2. Transporte CO <sub>2</sub> (gas) .....	38

7.2.1.	Planta de condensación.....	38
7.2.2.	Desde las industrias hasta el puerto de Barcelona.....	38
7.3.	CO <sub>2</sub> licuado.....	42
7.4.	Transporte CO <sub>2</sub> (líquido).....	43
7.4.1.	Buque metanero.....	43
7.4.2.	Desde el puerto de Barcelona hasta Noruega.....	43
<b>8.</b>	<b>PLANIFICACIÓN TEMPORAL</b> .....	<b>45</b>
<b>9.</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>46</b>
9.1.	Coste del trabajo.....	46
9.2.	Presupuesto del proyecto.....	47
9.2.1.	Plantas.....	47
9.2.2.	Tuberías.....	48
9.2.3.	Buques metaneros.....	49
9.2.4.	Presupuesto total.....	49
<b>10.</b>	<b>ESTUDIO AMBIENTAL</b> .....	<b>51</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>52</b>
	<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>53</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>54</b>
	Referencias bibliográficas.....	54

# 1. Glosario

CAC: Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

CCS: Carbon Capture and Storage.

COP: Conference of the Parties (Conferencia de las Partes).

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC en inglés).

RCDE: Régimen de comercio de derechos de emisión.

AMB: Área Metropolitana de Barcelona.

UE: Unión Europea.

COP26: Conferencia anual del cambio climático de las Naciones Unidas, edición 26, Glasgow 2021.

CMP: Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol.

CMA: Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Paris Agreement.

PIB: Producto interior bruto.

NDC: Nationally Determined Contributions (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional).

LDCF: Least Developed Countries Fund (Fondo para los países menos desarrollados).

CO<sub>2</sub>-eq o CO<sub>2</sub>eq: Dióxido de Carbono equivalente.

PCA: Potencial de Calentamiento Atmosférico (GWP en inglés).

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

GSL: Gas Natural Licuado.

BECCS: Bioenergy with carbon capture and storage (Bioenergía con captura y almacenamiento de carbono).



## **2. Prefacio**

### **2.1. Origen del proyecto**

Todo empezó hace varios meses cuando quise investigar por internet qué se estaba haciendo para combatir el cambio climático. Existen muchas maneras para contribuir individualmente que son necesarias, pero no son suficientes. Quería encontrar algún método cuya implementación, a nivel industrial, tuviera una fuerte repercusión mundial para reducir el calentamiento global. De esta forma, acabé encontrando un proyecto de país en Noruega que estaba en desarrollo, llamado Northern Lights. Y así fue como descubrí la existencia de la aplicación para la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CAC o CCS por sus siglas en inglés).

### **2.2. Motivación**

Me acuerdo perfectamente de la primera vez que escuché hablar sobre el cambio climático. Estaba cursando educación primaria cuando vino una mujer a hacernos una charla sobre ello. Recuerdo que me conmovió mucho porque pensé que era el problema más grande que podía existir, y si no se solucionaba rápidamente, no habría vuelta atrás para corregir todo lo que habíamos hecho mal.

La mujer que nos hizo la charla nos explicó diferentes maneras que existían para combatirlo y pensé por qué no se estaban llevando a cabo. Me extrañó saber la poca importancia que le daba la sociedad, me di cuenta de que las personas lo pasaban por alto pensando que era un problema del futuro y que a ellos no les iba afectar.

Actualmente sigue siendo uno de los temas que más me importan y a medida que he ido cursando el grado de Ingeniería Industrial, me he dado cuenta de que me encantaría aportar algo, profesionalmente hablando, para combatir el cambio climático.

## 3. Introducción

### 3.1. Objetivos del proyecto

El principal objetivo de este proyecto consiste en averiguar cómo se podría realizar la captación de CO<sub>2</sub> en las industrias más contaminantes del entorno de Barcelona. Con el fin de enviarlo a Noruega, concretamente en la zona del mar del norte, dónde se está realizando este tipo de almacenamiento desde hace más de veinte años mediante la empresa Equinor.

Para poder llevar a cabo con éxito este proyecto, es necesario cumplir los siguientes objetivos:

- Averiguar cuál es la situación actual con el cambio climático, tanto a nivel político como a nivel social.
- Investigar la evolución del cambio climático en los últimos años y cuáles son sus predicciones.
  - Obtener el inventario de emisiones de los últimos años a nivel nacional.
  - Obtener el inventario de emisiones, más reciente, de las industrias más contaminantes del entorno de Barcelona.
- Realizar un buen estudio de los proyectos Longship y Northern Lights.
  - Averiguar los diferentes proyectos que engloban el principal.
  - Investigar de qué manera realizan la CAC
    - Método de captura
    - Método de transporte
    - Método de almacenaje
- Realizar una propuesta de un sistema de captura en Barcelona, que esté enlazado con Northern Lights para poder transportar el CO<sub>2</sub> y entregarlo para su almacenamiento.
  - Cómo y dónde se podría captar en Barcelona.
  - Cómo se podría transportar hasta Noruega.

## 4. Situación política actual del Cambio Climático

### 4.1. Acuerdo de París

El acuerdo de París [1] es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante. Se acordó por 196 Partes en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. La COP es la conferencia de las Partes, la cumbre anual que realiza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), un tratado que cuenta con 197 Partes (196 países y la UE). Por primera vez, casi todos los países del mundo asumieron un compromiso legalmente vinculante para reducir las emisiones.

Sus objetivos acordados fueron [2], [3]:

- Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2°C en comparación con los niveles preindustriales.
- Limitar el aumento a 1,5°C para reducir significativamente los riesgos y los impactos del cambio climático.
- Llegar al punto máximo de las emisiones globales lo antes posible, teniendo en cuenta que esto llevará más tiempo para los países en desarrollo.
- Empezar reducciones rápidas usando la mejor ciencia posible, con el fin de alcanzar un equilibrio entre las emisiones y las absorciones en la segunda mitad del siglo.

### 4.2. COP26

La COP26 [4] es la edición 2021 de la conferencia anual del cambio climático de las Naciones Unidas, se llama así porque es la 26a reunión de las Partes.

La conferencia de este año se ha realizado en Glasgow. Tiene lugar después de dos años en los que no ha sido posible reunirse presencialmente y debe resolver todos los temas de las agendas que estaban previstos para 2020, como los del 2021, con el objetivo de tratar de asegurar que el proceso de la CMNUCC se vea retrasado lo menos posible debido a la pandemia.

El 13 de noviembre de 2021 finalizó la COP26. Todos los países acordaron el pacto climático de Glasgow para mantener el objetivo del 1,5°C y finalizar los componentes pendientes del Acuerdo de París.

Las decisiones que han tenido lugar en Glasgow se han regido por los tres tratados climáticos de la ONU: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP), el Protocolo de Kioto (CMP) y el Acuerdo de París (CMA).

Los resultados de la COP26 [5], [6] se clasifican en los siguientes aspectos:

- **Mitigación**

- Asegurar las emisiones cero netas (net-zero): más del 90% del PIB mundial está ahora cubierto por compromisos *net-zero*.
- 153 países han propuesto nuevos objetivos de emisiones para 2030 (NDC).
- Los países han acordado volver el próximo año con nuevos compromisos reforzados y un nuevo programa climático de la ONU sobre la ambición de mitigación. Han finalizado el Reglamento de París.

Para cumplir con estos objetivos exigentes, la Presidencia ha impulsado compromiso para alejarse de la energía del carbón, detener y revertir la deforestación, reducir las emisiones de metano y acelerar el cambio a vehículos eléctricos.

- **Adaptación, pérdidas y daños**

Se han aumentado los esfuerzos para hacer frente a los impactos climáticos:

- Actualmente, 80 países están cubiertos por Comunicaciones de Adaptación o Planes Nacionales de Adaptación para aumentar la preparación ante los riesgos climáticos.
- Se ha acordado *The Glasgow - Sharm el-Sheikh Work Programme* sobre el objetivo global de adaptación. El cual impulsará las acciones de adaptación.
- Se han comprometido unas cantidades de financiación jamás vistas para la adaptación, incluido el compromiso de duplicar en 2022 los niveles de financiación del 2019.
- Los países han anunciado nuevas asociaciones para mejorar el acceso a la financiación, incluso para los países indígenas.

- **Finanzas**

- Los países desarrollados han propuesto el objetivo de financiamiento climático de 100 mil millones de dólares para alcanzarlo en 2023.
- 34 países y cinco instituciones financieras públicas dejarán de dar apoyo internacional al sector energético de combustibles fósiles el próximo año.
- Los países desarrollados se han comprometido a una financiación significativamente mayor a fondos vitales como el fondo para países menos desarrollados (LFCF).

- **Colaboración**

- Los avances de Glasgow acelerarán la colaboración entre los gobiernos, las empresas y la sociedad civil para lograr los objetivos climáticos más rápidamente.
- Los consejos colaborativos y los diálogos sobre energía, vehículos eléctricos, transporte y productos básicos ayudarán a cumplir los compromisos.
- En la COP26 se ha finalizado el Reglamento de París, acordado el “marco de transparencia mejorado” (informes comunes de emisiones y apoyo), un nuevo mecanismo y estándares para los mercados internacionales de carbono y unos plazos comunes para los objetivos de reducción de emisiones.

## 5. Evolución del Cambio Climático

### 5.1. CO<sub>2</sub> equivalente:

Es necesario explicar el significado del CO<sub>2</sub> equivalente, ya que todos los datos de los inventarios de emisiones están hechos en esta unidad de medida.

Una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente [7] corresponde a la cantidad ponderada de potencial de calentamiento atmosférico (PCA o GWP por sus siglas en inglés) de un gas.

El PCA [7] es una medida relativa del efecto de calentamiento atmosférico de un gas. Indica la cantidad de calor atrapado por una tonelada de un gas en relación con la cantidad de calor atrapado por una tonelada de CO<sub>2</sub>. El grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) eligió el CO<sub>2</sub> como gas de referencia, es decir, con un valor de PCA de 1.

Para encontrar las toneladas de CO<sub>2</sub>-eq de un gas, se multiplica la masa del supuesto gas (en toneladas) por su PCA (*ec 5.1*) [7].

$$\text{CO}_2\text{-eq} = \text{masa (T)} \times \text{PCA} \quad (5.1)$$

### 5.2. Inventario nacional de emisiones de los últimos años

Es necesario saber cómo está afectando el cambio climático a lo largo de los años. Se ha considerado que la mejor manera para conocer su evolución es mediante el análisis de los inventarios de emisiones. Para ello, se ha usado el informe de inventario nacional de gases de efecto invernadero [8].

En la tabla 1 aparece la evolución desde el 1990 hasta el 2019 con dos tipos de valores: las kilotoneladas de CO<sub>2</sub>-eq emitidas cada año y sus respectivas variaciones en función del 1990. En el periodo del 2005 fue cuando hubo más emisiones, aumentó un 52,4% respecto a los 15 años anteriores; ha sido el aumento más exagerado de los últimos años, se puede comprobar que a partir de entonces se empezó a reducir ese aumento progresivamente hasta los tiempos actuales. En 2019 se consiguió llegar a sólo una variación del 8,0% más de emisiones respecto 1990.

	1990	2005	2010	2015	2018	2019
<b>CO<sub>2</sub>-eq (kt)</b>	<b>290.001</b>	<b>442.075</b>	<b>357.876</b>	<b>336.995</b>	<b>333.250</b>	<b>314.529</b>
Variación % vs. 1990	100,0 %	152,4 %	123,4 %	116,2 %	114,9 %	108,5 %

Tabla 1: Evolución del agregado de emisiones (cifras en kt CO<sub>2</sub>-eq). [8].

En la figura 1 se pueden visualizar todas las variaciones en cada año, con sus subidas y bajadas, donde se puede apreciar que el mayor pico, visto anteriormente en el periodo del 2005, fue concretamente en 2007 con un aumento del 53,9%.

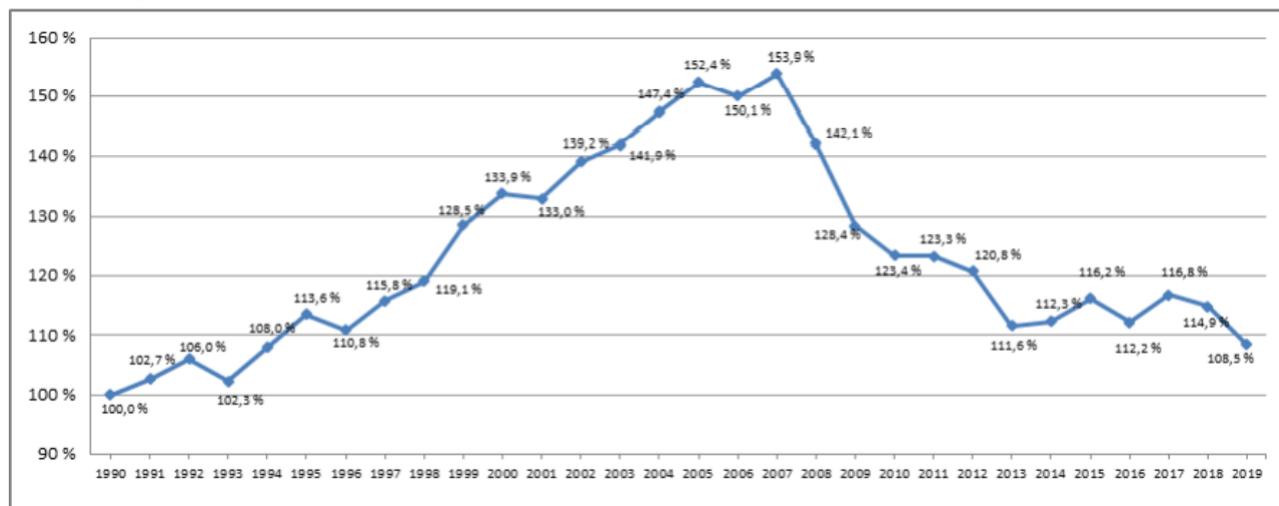


Figura 1: Variación relativa del agregado de emisiones respecto a 1990 (año 1990 = 100%). [8].

En los dos años transcurridos entre el 2007 y el 2009 hubo una bajada en picado de emisiones, reduciendo así un 25,5% de variación. Y desde el 2009 hasta el 2019 se puede observar una disminución progresiva, pero con subidas y bajadas.

Es necesario diferenciar los dos tipos de emisiones que se nombran en los inventarios:

- Emisiones difusas: son las emisiones no localizadas, es decir, las que no salen de una chimenea y por este motivo son difíciles de controlar.
- Emisiones RCDE (Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE): son las emisiones localizadas de gases de efecto invernadero.

Según el propio documento en 2019 [8]: el CO<sub>2</sub> supuso un 80,0% de las emisiones totales de efecto invernadero; las emisiones contempladas en el régimen de comercio de derechos de emisiones de la Unión Europea (RCDE) fueron del 34,8% y las de los sectores difusos generaron un 65,2%.

Después de haber hecho este análisis, se puede concluir que, a nivel nacional, se tomó conciencia del gran

aumento que se estaba produciendo y se llevaron a cabo medidas para reducir las emisiones. Ya que el aumento de emisiones produce mayor efecto invernadero; y, en consecuencia, provocan mayor calentamiento global, dando lugar al aumento del cambio climático.

### 5.3. Inventario de emisiones territorial en el entorno de Barcelona

Para poder analizar concretamente la evolución del cambio climático en Barcelona, se obtuvo el propio inventario de emisiones del entorno de Barcelona [9]. En este inventario, aparecen exclusivamente las emisiones que provienen de las industrias más contaminantes.

En la siguiente gráfica (figura 2) se puede observar las emisiones totales de Barcelona diferenciadas entre las emisiones difusas y las RCDE desde el 2005 hasta el 2018:

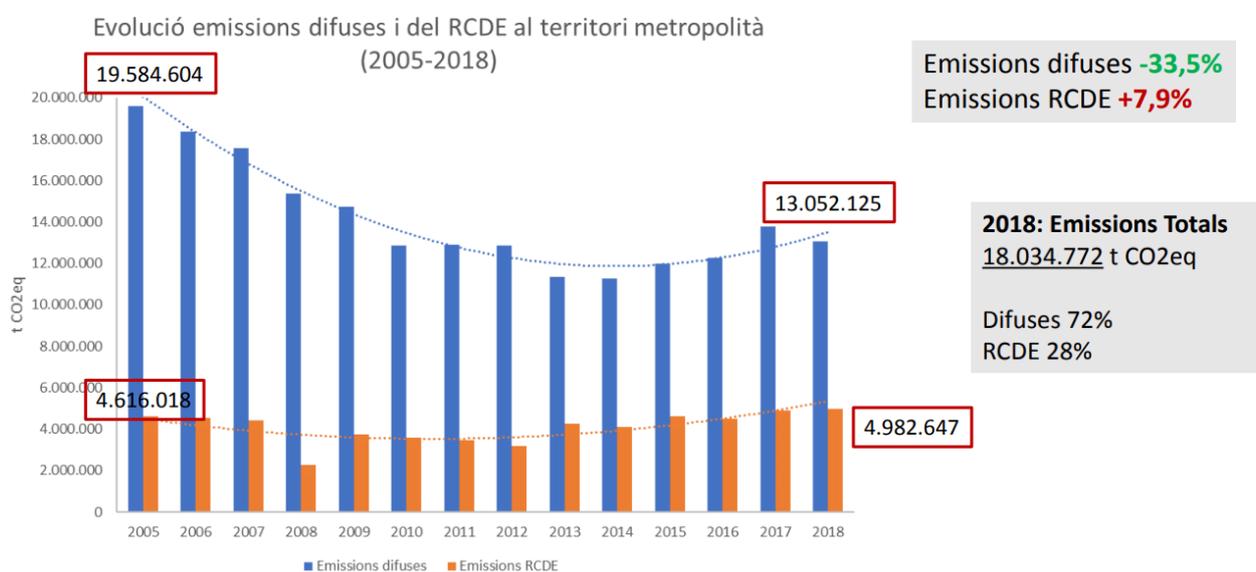


Figura 2: Emisiones difusas y RCDE 2005-2018. [9]

Se ve claramente que predominan las emisiones difusas, son más del 70% de las emisiones totales. A lo largo de estos 13 años, se ha conseguido reducir hasta el 33,5% de las emisiones difusas; pero, sin embargo, han aumentado un 7,9% las RCDE.

Con la evolución de este periodo de tiempo, se puede concluir en que la sociedad se ha implicado en ser más consciente con el cambio climático debido a su reducción de emisiones difusas; en cambio, no se ha percibido una reducción en los focos localizados de gases de efecto invernadero. Estas emisiones localizadas son las que se van a tener en cuenta a la hora de realizar la propuesta del sistema de captura de CO<sub>2</sub> en este proyecto.

Teniendo los datos de los inventarios, se ha realizado la siguiente tabla (tabla 2) donde se puede ver el porcentaje de emisiones de Barcelona que le corresponde a nivel nacional.

		2018		
		España	Barcelona	% (Barcelona/España)
Emisiones (T CO2-eq)	Difusas	217.279.000	13.052.125	6,01%
	<b>RCDE</b>	<b>115.971.000</b>	<b>4.982.647</b>	<b>4,30%</b>
	Totales	333.250.000	18.034.772	5,41%

Tabla 2: Porcentajes de emisiones de Barcelona respecto a España. [Fuente propia].

Se ha marcado en negrita los valores de RCDE, que son los que se analizará en este proyecto, ya que vienen de focos localizados, como se ha dicho anteriormente. Por lo tanto, las emisiones que se van a tener en cuenta para este proyecto son un 4,30% respecto al nivel nacional.

Se debe remarcar que, a partir de ahora, cuando se mencionen las emisiones serán siempre emisiones RCDE.

### 5.3.1. Emisiones RCDE del ámbito metropolitano de Barcelona

En el anexo 1, se puede observar una tabla y una gráfica con la evolución de emisiones procedentes de diferentes tipos de industrias, desde el 2005 hasta el 2018. Las dos industrias que más predominan son la de energía eléctrica y la de cemento.

### 5.3.2. Emisiones RCDE de los municipios que más contaminan del ámbito metropolitano de Barcelona

En la figura 3 aparece una tabla y un gráfico donde se ve la evolución de emisiones por municipios. Los más destacados son: San Adrià del Besòs, ha ido reduciendo respecto al 2005 pero sigue siendo el que predomina en todo el ámbito metropolitano con un 34,0% respecto al total; Barcelona, que contrariamente al anterior, ha aumentado de una manera exponencial y en 2018 se colocó en segundo lugar con un 28,0%; y Sant Vicenç dels Horts, el cual está en tercer lugar con un 21,0% y sólo ha conseguido reducir un 5,0% sus emisiones respecto al 2005.

	2005	2018
Sant Adrià del Besòs	48%	34%
Barcelona	4%	28%
Sant Vicenç dels Horts	26%	21%
Castellbisbal	5%	8%
Montcada i Reixac	12%	8%
	<b>94%</b>	<b>98%</b>
	4.616.018 t (CO2eq)	4.977.895 t (CO2eq)

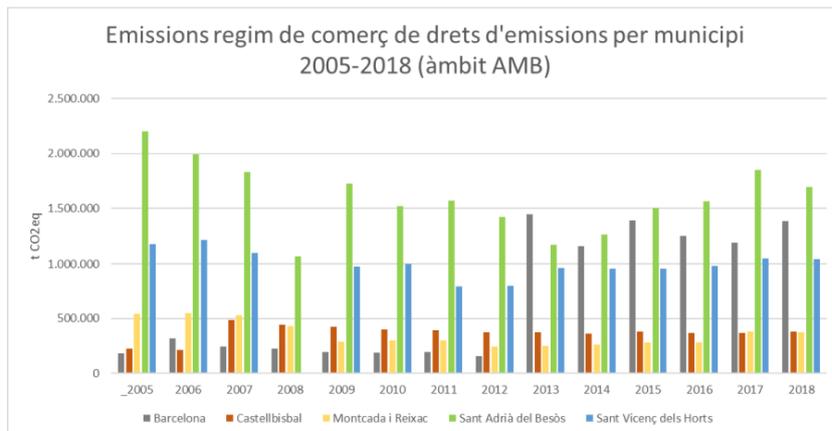
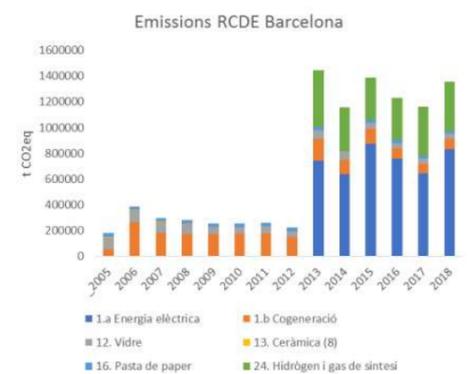


Figura 3: Emisiones por municipios 2005-2018 del AMB. [9]

Después de haber analizado el peso de cada municipio, se va a detallar municipio por municipio cuáles fueron sus emisiones en 2018, a qué industrias pertenecieron y su evolución:

- **Emisiones de Barcelona en el 2018:**

En Barcelona, se puede observar en la figura 4 que en 2013 se creó la central térmica de Naturgy Generación SLU lo cual produjo el gran aumento del 60,0% de emisiones en este municipio. De esta manera Barcelona en 2018 sumó un total de aproximadamente 1,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.

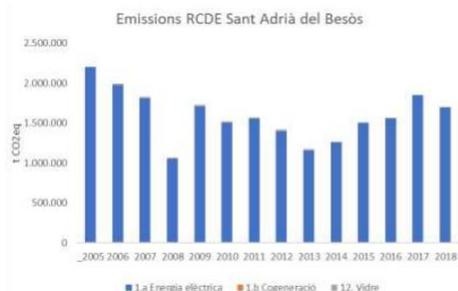


Barcelona – 2018 -	t (CO2eq)
<b>1.a Energía eléctrica</b>	<b>833.073</b>
NATURGY GENERACIÓN SLU - Central tèrmica	833.073
<b>1.b Cogeneració</b>	<b>104.490,3</b>
BUNGE IBERICA, SA	51.942
CARGILL ESPAÑA, SA	28.740
COLT TECHNOLOGY SERVICES, SAU	81,6
DISTRICLIMA, SA	1.039
ENAGAS TRANSPORTE, SAU - PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y REGASIFICACION DE GNL	439
NISSAN MOTOR IBERICA, SA	17.215,5
SEAT, SA	5.033,2
<b>12. Vidre</b>	<b>44.972</b>
VIDRIERA ROVIRA, SL	44972
<b>16. Pasta de paper</b>	<b>21.027,2</b>
MIQUEL Y COSTAS & MIQUEL, SA	21.027,2
<b>24. Hidrògen i gas de síntesi</b>	<b>383.296</b>
SOCIEDAD ESPAÑOLA CARBUROS METÁLICOS, SA	383.296
<b>TOTAL</b>	<b>1.386.859</b>

Figura 4: Emisiones Barcelona 2005-2018 del AMB. [9]

• **Emisiones de Sant Adrià del Besòs en el 2018:**

En Sant Adrià del Besòs llevan año con la misma industria dominante, la cual es una central térmica de ciclo combinado distribuida en diferentes grupos, es decir, en diferentes focos. En la figura 5 se observa que ha tenido una evolución un poco oscilante. En 2018 se registró, sumando todos los focos, un total de aproximadamente 1,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.

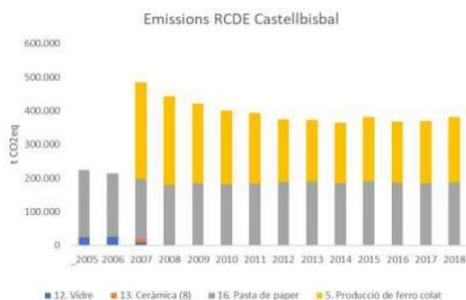


Sant Adrià del Besos -2018 -		t (CO2eq)
<b>1.a Energia elèctrica</b>		<b>1.696.295</b>
ENDESA GENERACIÓN SA -CENTRAL TÈRMICA DE CICLE COMBINAT BESOS-GRUP 3-		508.026
ENDESA GENERACIÓN, SA -CENTRAL TÈRMICA DE CICLE COMBINAT BESOS-GRUP 5		336.260
NATURGY GENERACIÓN SLU -Cicle combinat- Besòs 4-		852.009

Figura 5: Emisiones Sant Adrià del Besos 2005-2018 del AMB. [9]

• **Emisiones de Castellbisbal en el 2018:**

En el caso de Castellbisbal, se puede ver en la figura 6 que en 2007 se creó la industria de producción de hierro colado, la cual hizo aumentar más del 50,0% sus emisiones. De esta manera Castellbisbal sumó en 2018 un total de aproximadamente 0,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.

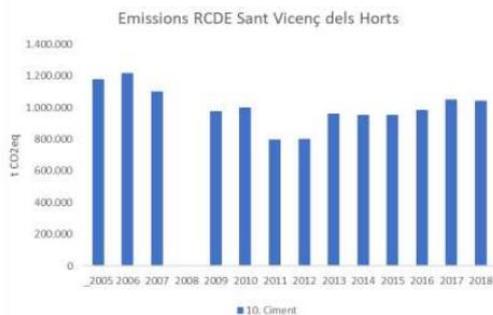


Castellbisbal – 2018 -		t (CO2eq)
<b>16. Pasta de paper</b>		<b>187.423,5</b>
BARCELONA CARTONBOARD, SAU		187.423,5
<b>5. Producció de ferro colat</b>		<b>193.601,7</b>
COMPANIA ESPAÑOLA DE LAMINACIÓN, SL		193.601,7
<b>TOTAL</b>		<b>381.025</b>

Figura 6: Emisiones Castellbisbal 2005-2018 del AMB. [9]

• **Emisiones Sant Vicenç dels Horts en el 2018:**

En Sant Vicenç dels Horts, el foco dominante siempre ha sido de la misma industria de cemento, llamada Cements Molins Industria SA. Ha tenido una evolución bastante llana, aunque se observa en la figura 7 la ausencia de datos en 2008 cuyos motivos no se conocen. En 2018 se registró un valor de aproximadamente 1,04 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.

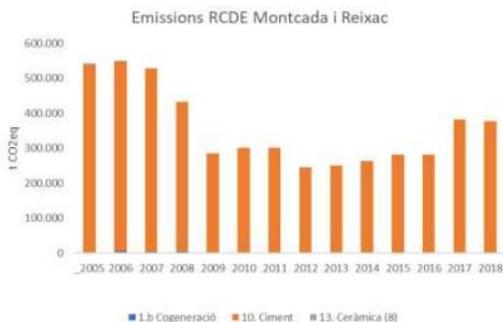


Sant Vicenç dels Horts – 2018 -		t (CO2eq)
10. Ciment		1.043.754
CEMENTOS MOLINS INDUSTRIAL SA		1.043.754

Figura 7: Emisiones Sant Vicenç dels Horts 2005-2018 del AMB. [9]

• **Emisiones Montcada i Reixac en el 2018:**

Por último, el municipio de Montcada i Reixac solo ha tenido en los últimos años un foco dominante que proviene una industria de cemento, llamada Lafarge Cementos, SA. En la figura 8 se observa una disminución de emisiones a partir del 2008 y un pequeño aumento en 2017. Aun así, su registró en 2018 fue de aproximadamente 0,38 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, que no son tan elevadas como la otra industria de cemento de Sant Vicenç dels Horts.



Montcada i Reixac – 2018 -		t (CO2eq)
10. Ciment		376.298
LAFARGE CEMENTOS, SA		376.298

Figura 8: Emisiones Montcada i Reixac 2005-2018 del AMB. [9]

- **Instalaciones industriales con más emisiones en el 2018 del AMB:**

Después de haber analizado los municipios anteriores, es conveniente ver el peso que han tenido cada una de sus industrias respecto al total en la figura 9:

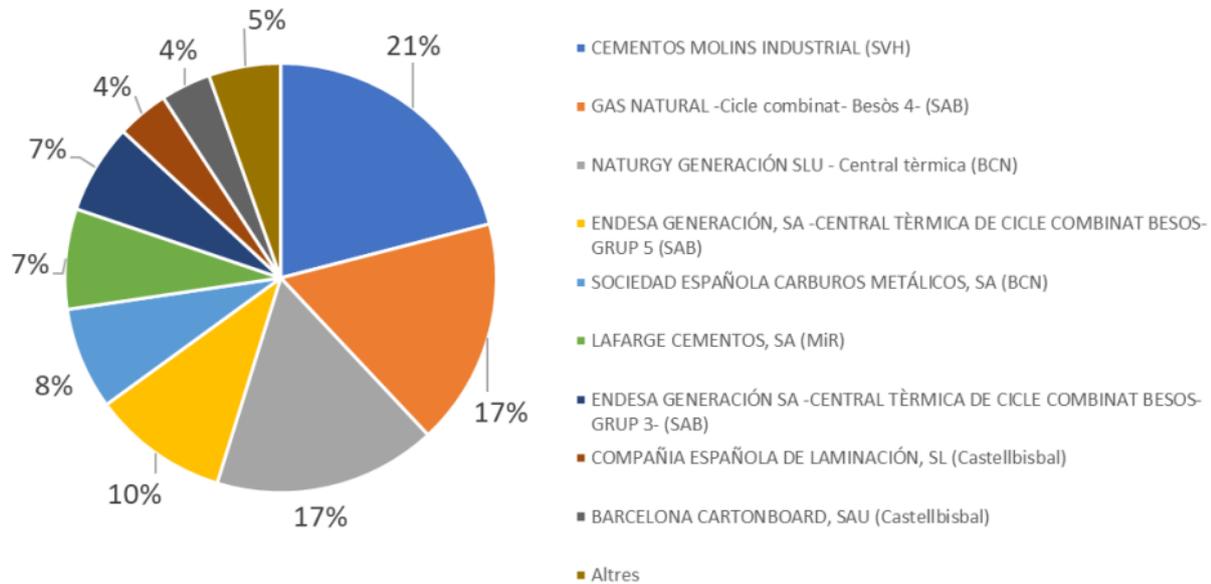


Figura 9: Gráfico instalaciones industriales con más emisiones 2018 del AMB. [9].

En conclusión, se observa que la industria que más cantidad de CO<sub>2</sub>-eq emitió en 2018, fue la de cemento: Cementos Molins Industrial de Sant Vicenç dels Horts, con un 21,0%. Seguida de las centrales térmicas de ciclo combinado: Gas Natural de Sant Adrià del Besòs, con un 17,0%; Naturgy Generación SLU de Barcelona, con otro 17,0%; Endesa Generación SA de Sant Adrià del Besòs, con un 10%.

## 6. CAC en Noruega

### 6.1. Longship

Longship [10], [11] es el proyecto de CAC a gran escala del gobierno noruego. El cual incluye: la captura de CO<sub>2</sub> de fuentes industriales, de cemento y de conversión de residuos en energía, en la región del fiordo de Oslo; el envío de CO<sub>2</sub> licuado hasta una terminal en la costa oeste de Noruega; y desde allí, el transporte del CO<sub>2</sub> licuado por tuberías hasta un lugar de almacenamiento submarino en el Mar del Norte.

Longship está compuesto por otro proyecto: Northern Lights [12], el responsable del transporte y almacenamiento del proyecto principal. (Figura 10)

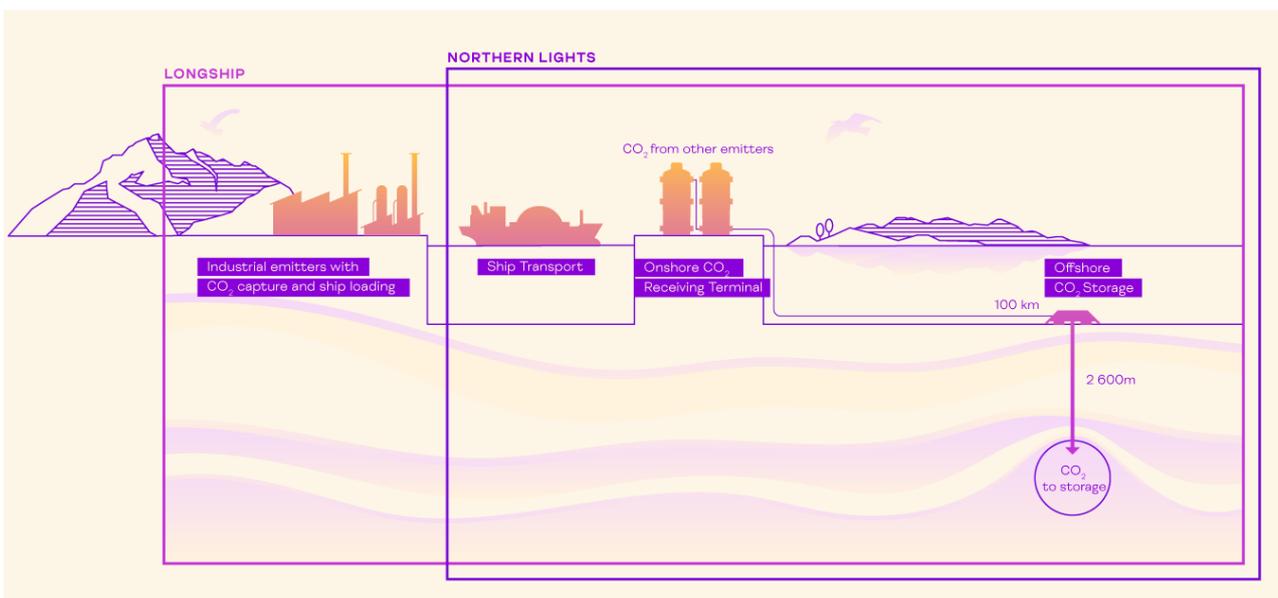


Figura 10: Proyecto Longship y Northern Lights. [10]

Todo empezó en 2016, cuando el gobierno emitió estudios de viabilidad sobre soluciones de captura, transporte y almacenamiento. Con esta combinación, estos estudios mostraron la posibilidad de realizar un proyecto de CAC a gran escala.

Gassnova [13], una empresa estatal dependiente del Ministerio de Petróleo y Energía de Noruega, actúa como organismo coordinador. Se decidió continuar con el desarrollo a través de un acuerdo que cubren los siguientes estudios: (Figura 11)

- Captura de CO<sub>2</sub> en la fábrica de cemento de Norcem (Grupo Heidelberg) en Brevik.

- Captura de CO<sub>2</sub> en la planta de valorización energética de residuos Fortum Oslo Varme en Oslo.
- Una solución combinada de transporte y almacenamiento, gestionada por Northern Lights.

- Norwegian Full-Scale CCS
- Northern Lights

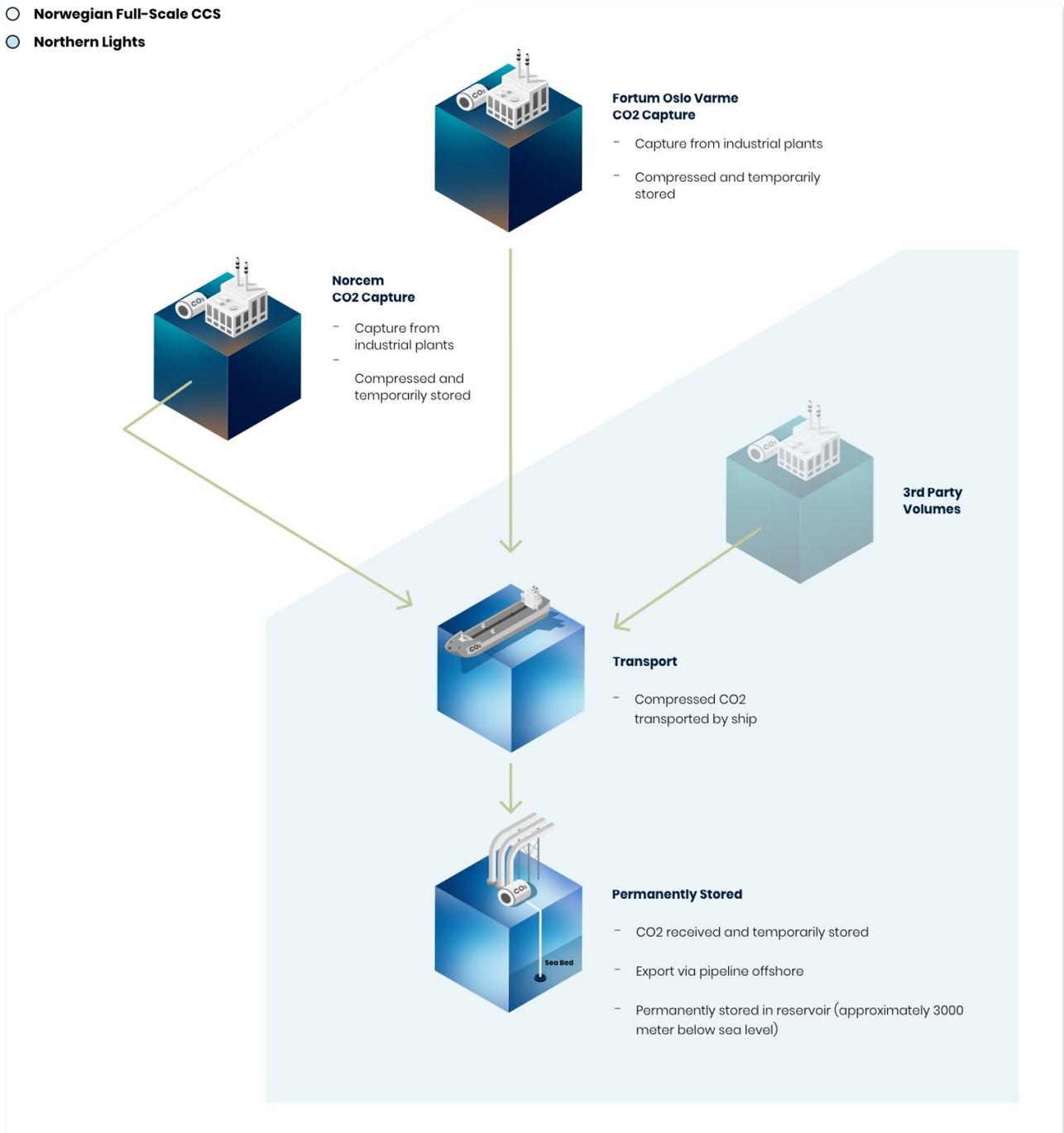


Figura 11: Estudios acordados por Longship y Northern Lights. [10]

En diciembre de 2020, después de una votación histórica en el parlamento, el gobierno noruego aprobó la financiación y nombró al proyecto Longship.

## 6.2. Northern Lights

Northern Lights [12], como ya se ha comentado en el apartado 6.1, forma parte de Longship y es uno de los grandes proyectos de Noruega. Ofrece el servicio de almacenamiento de carbono con pronóstico de empezar en 2024. Está desarrollando la primera red de transporte y almacenaje de CO<sub>2</sub> de acceso abierto y transfronteriza del mundo. De esta manera, ayudará a las industrias de Europa a reducir sus emisiones proporcionando un transporte flexible por barco y un almacenamiento geológico permanente de CO<sub>2</sub> capturado en el mar del norte de Noruega.

Su servicio de transporte consiste en llevar el CO<sub>2</sub> desde los sitios de captura, en barcos de un nuevo diseño, hasta una terminal en el oeste de Noruega, para su almacenamiento intermedio. Esta terminal receptora de CO<sub>2</sub> estará ubicada en las instalaciones de la zona industrial Naturgassparken, en el municipio de Øygarden. Y desde ahí será transportado por tuberías para su almacenamiento subterráneo permanente y seguro a 2.600 metros bajo el lecho marino.

Noruega es líder mundial en captura y almacenamiento de carbono, se basan en un gran conocimiento industrial y destreza tecnológica por su experiencia en el petróleo y el gas. El gobierno noruego está financiando una parte significativa de la primera fase de este desarrollo para demostrar el potencial del uso de la tecnología de CAC.

Su objetivo es permitir la descarbonización de las emisiones industriales y facilitar la eliminación de CO<sub>2</sub> del aire.

Además, la CAC ayudará a las industrias europeas a aumentar su competitividad a través de la transición energética y potenciará la creación de nuevos puestos de trabajo.

Northern Lights es una empresa conjunta independiente, que se basa en la competencia técnica de sus propietarios: Equinor, Shell y TotalEnergies.

## 6.3. Proyectos enlazados a Longship

### 6.3.1. Fortum Oslo Varme

Fortum Oslo Varme [15] es una planta de conversión de residuos en energía (waste-to-energy, en inglés) situada en Oslo, trata principalmente residuos domésticos residuales, pero también residuos de industrias y empresas. Usan el exceso de calor de la incineración de los residuos para crear un sistema de calefacción, de esta manera producen electricidad y agua caliente para 16.000 viviendas en Oslo [14].

La bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS por sus siglas en inglés) [14], se considera una de las técnicas más destacadas de emisiones negativas; y es lo que quieren llegar a conseguir en la planta de Fortum Oslo Varme. Esto es debido a que el 50,0% de los residuos que eliminan son de origen biológico, por lo tanto, cuando se haya capturado el CO<sub>2</sub> generado de su combustión, se habrá producido una emisión negativa debido a su eliminación de la atmósfera. Actualmente, el gas de combustión generado por la planta es limpiado a fondo de emisiones menos las de CO<sub>2</sub> que, llevando a cabo el sistema de captura, lo conseguirían.

Fortum Oslo Varme forma parte de Longship, y puede convertirse en una de las primeras plantas del mundo en eliminar toneladas de CO<sub>2</sub> del ciclo combinado, ya que tiene como objetivo capturar 400.000 toneladas de CO<sub>2</sub>. De esta manera, se reduciría el 14,0% de las emisiones de Oslo.

En el anexo 2 se refleja con un póster un resumen de la explicación de Fortum y de la CAC (CCS en inglés).

### 6.3.2. Norcem

Norcem [16] es una industria de cemento en Brevik, que forma parte del grupo HeidelbergCement [17] el cual es uno de los mayores fabricantes de materiales de construcción del mundo que está repartido en 60 países.

Norcem, que también forma parte de Longship, tiene como objetivo capturar 400.000 toneladas de CO<sub>2</sub> cada año y así enviarlo para su almacenamiento permanente, que lleva a cabo el proyecto de Northern Lights.

El parlamento noruego aprobó la inversión para este proyecto: el coste total de inversión y costes operativos de los cinco primeros años se estima que sea de 11,2 mil millones de coronas noruegas (1.124 millones de euros). Actualmente se está construyendo y se empezará a operar en 2024. [17]

## 6.4. Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CAC o CCS)

### 6.4.1. Captura

La empresa HeidelbergCement está estudiando las tres siguientes tecnologías para la captación en industrias de cemento: Separación directa, Oxidación y Postcombustión. [18]

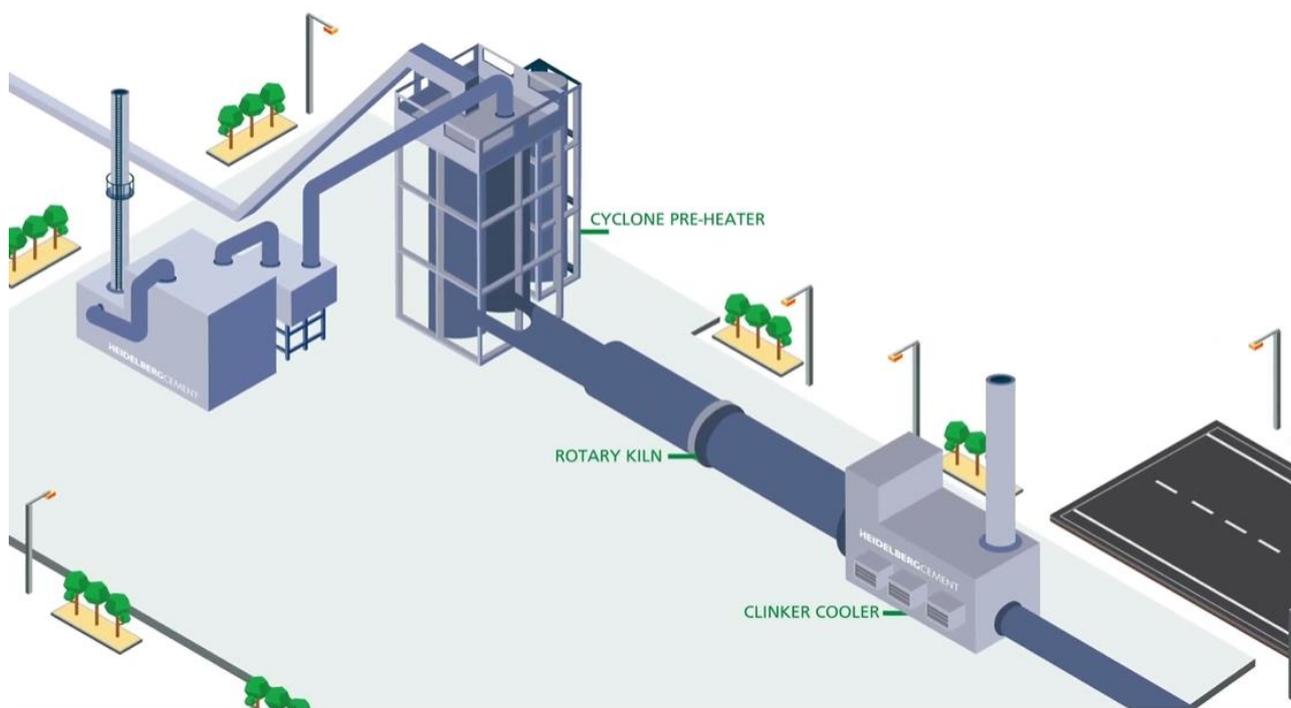


Figura 12: Proceso de producción de cemento. [18]

Antes de su explicación, es necesario dejar claro los siguientes conceptos: es un desafío global conseguir reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> produciendo suficiente cemento para satisfacer la demanda, ya que algunas emisiones son inevitables durante la producción del clínker. El clínker es el ingrediente principal del cemento, es el responsable de más del 70% del CO<sub>2</sub> total emitido por planta; el proceso de producción de clínker se llama calcinación.

A continuación, se explica los tres métodos de captura que la empresa está estudiando.

### 6.4.1.1. Captura de Postcombustión

Consiste en la separación del CO<sub>2</sub> de los gases de combustión con el uso de amina. Esta tecnología se centra en capturar el dióxido de carbono al final del proceso de la combustión convencional, mediante la instalación adicional de una unidad de captura (figura 13) [18].

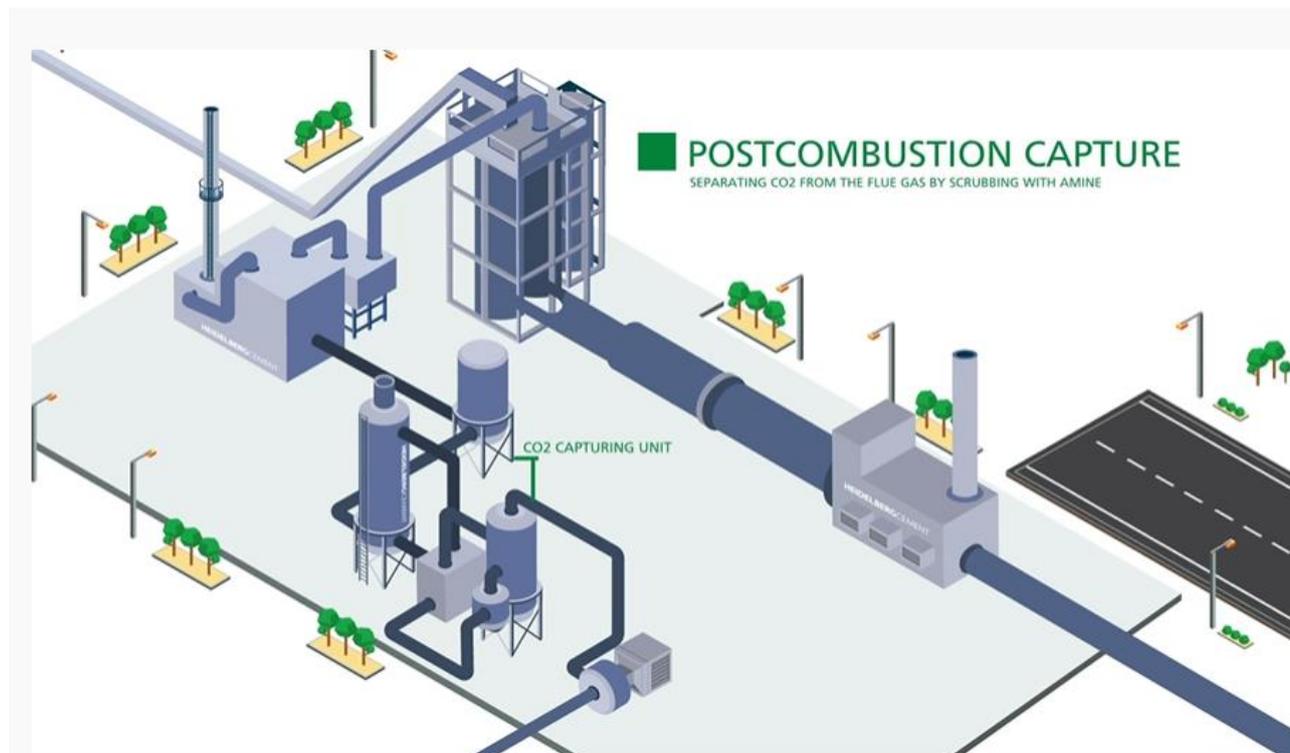


Figura 13: Captura de Postcombustión. [18]

El nitrógeno y el dióxido de carbono, normalmente liberados por el proceso de combustión, se redireccionan a esta unidad y se enfrían (de 120°C a 50°C). El CO<sub>2</sub> reacciona y se une con amina líquida en el absorbedor, mientras que el nitrógeno es liberado. La amina rica, resultante de la reacción con dióxido de carbono, se calienta para que la solución se divida de nuevo en CO<sub>2</sub> y amina líquida.

El CO<sub>2</sub> obtenido tiene una pureza aproximadamente del 99%. El último paso es enviarlo a un compresor para su transporte.

### 6.4.1.2. Tecnología de Oxidcombustión

Se basa en modificar el proceso de combustión (figura 14) [18]. Los gases de escape se recirculan al quemador mientras se agrega oxígeno puro, en vez de aire, para mantener la combustión efectiva. Es decir, la combustión ocurre en un ambiente enriquecido con oxígeno. Esta agregación de oxígeno es el primer paso de esta tecnología.

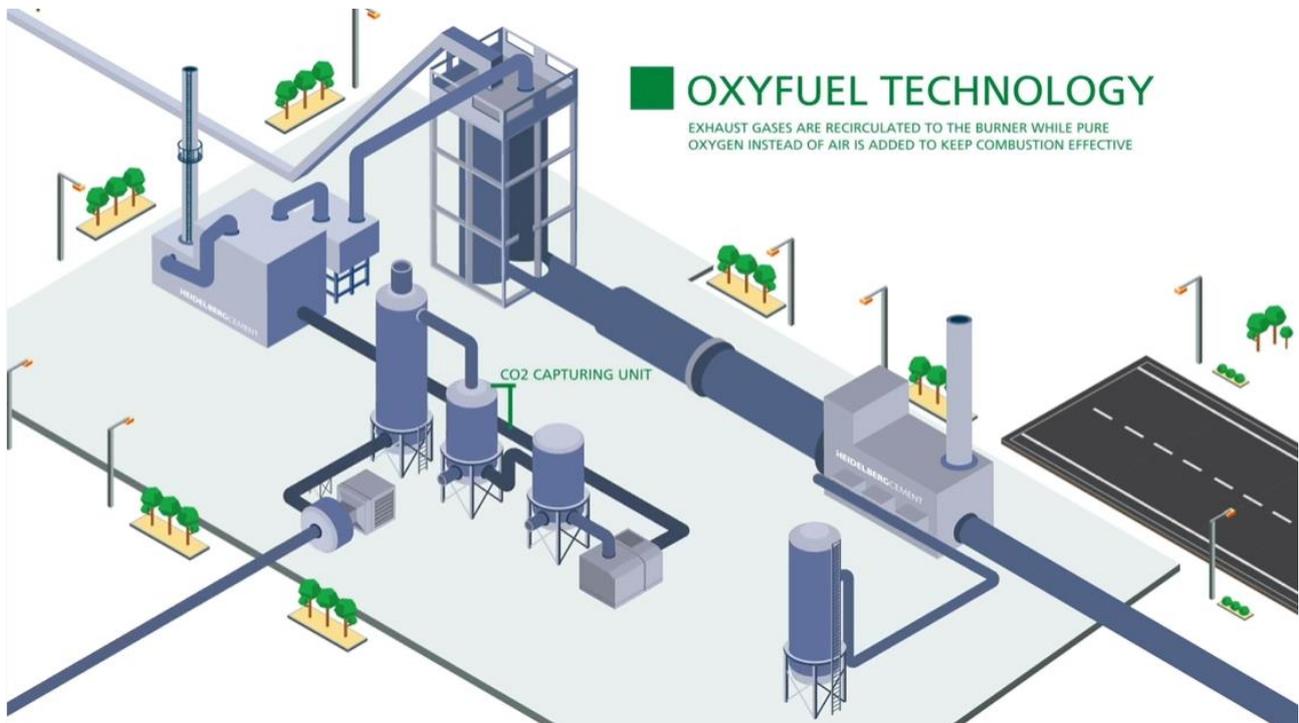


Figura 14: Tecnología de Oxidcombustión. [18]

El segundo paso es en el final del proceso, cuando los gases se redirigen a la unidad de captura. Este paso se divide en varias etapas: pasan por una primera etapa de compresión; se eliminan los óxidos de azufre y nitrógeno; se elimina la humedad por condensación para evitar corrosión; la separación física de los gases restantes desplaza el nitrógeno y la proporción de CO2 se eleva al 90%; y por último se realiza la compresión del dióxido de carbono para ser transportado.

### 6.4.1.3. Separación directa

Un reactor especial (figura 15) reemplaza el intercambiador de calor de ciclón convencional para separar el CO<sub>2</sub> de la piedra caliza durante la calcinación.

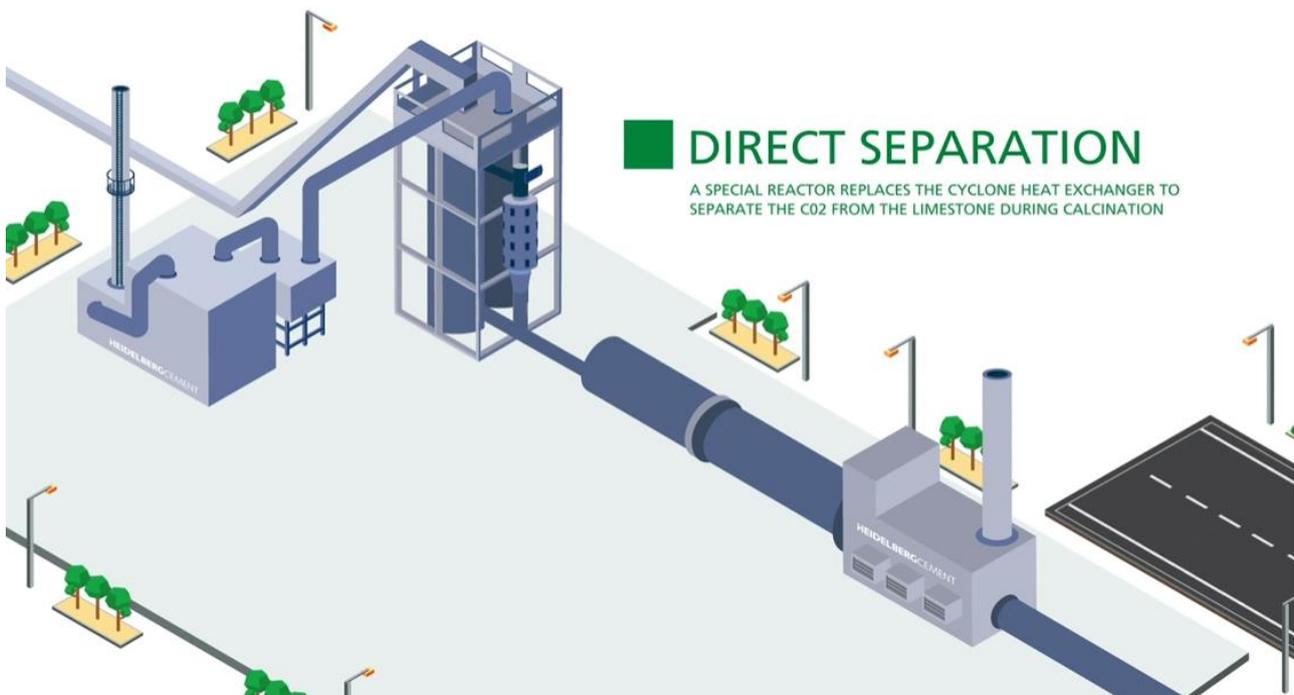


Figura 15: Separación directa. [18]

Para el proceso de separación directa, la piedra caliza se vierte lentamente en este reactor a alta temperatura donde se calienta a unos 1000°C. Inmediatamente se divide en polvo de cal y dióxido de carbono, el cual no se mezcla con los gases de combustión ni con el proceso de combustión. En consecuencia, tiene una pureza superior al 95% y se puede capturar y utilizar inmediatamente después de su enfriamiento [18].

### 6.4.2. Transporte y almacenamiento

Como ya se ha comentado anteriormente, Northern Lights se ocupa del transporte en la CAC del proyecto Longship. Desde el lugar capturado (como la industria Fortum Oslo Varme y la industria de Norcem), se encargará de transportarlo con un buque cisterna hasta la terminal receptora (figura 16), que está especialmente diseñada, en el municipio de Øygarden [19].



Figura 16: Ubicación y proyecto de la terminal receptora. [20]

Están diseñando unos buques especiales que empezarán a construir entre el 2022 y el 2013 (figura 17):



Figura 17: Diseño de los buques. [20]

Estos buques estarán exclusivamente diseñados para el transporte de CO<sub>2</sub> licuado.

En la terminal receptora se quiere implementar una instalación de almacenamiento intermedio temporal en tierra y una tubería de 100 km hasta la ubicación en alta mar, donde el CO<sub>2</sub> se inyecta en un depósito de solución salina a 2,6 km bajo el lecho marino para su almacenamiento permanente. En lugar de usar una plataforma marina, la infraestructura de inyección se instalará en el lecho marino, a 300 m bajo el nivel del mar.

El almacenamiento de CO<sub>2</sub> permanente está regulado y supervisado según las directivas de almacenamiento de dióxido de carbono de la UE y de Noruega.

La primera fase del proyecto estará lista a mediados del 2024, con una capacidad de hasta 1,5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Tienen como objetivo llegar a expandir su capacidad hasta 5 millones de toneladas por año en la segunda fase. Su expansión dependerá de la demanda del mercado en Noruega y Europa, y de la viabilidad comercial.

En los anexos 3, 4 y 5 se pueden ver documentos oficiales que explican cómo podrán las industrias europeas enviarles el CO<sub>2</sub> y de qué manera. Es decir, detallan las especificaciones técnicas que deben seguir [21].

Las dos fases del proyecto serán flexibles para recibir el CO<sub>2</sub> de fuentes europeas, teniendo en cuenta las 800.000 toneladas de CO<sub>2</sub> que recibirán cada año de Fortum Oslo Varme y de Norcem, suponiendo que se lleven a cabo correctamente.

Actualmente [22] se está construyendo la terminal receptora: tienen planeado completar la oficina de proyectos y el centro de visitantes en el tercer trimestre de 2022; la fabricación e instalación de la planta en tierra comenzará en el primer trimestre de 2022.

El primer pozo de inyección de CO<sub>2</sub> en alta mar se perforó en 2020, y tienen planeado perforar un segundo pozo en 2022. Les falta completar la fabricación de tuberías, del cable de control de fibra óptica y de energía.

## 7. Propuesta de un sistema de captura de CO<sub>2</sub> en Barcelona

### 7.1. Selección de industrias

Para poder llevar a cabo la propuesta del sistema de captura, hay que identificar las industrias donde se va a desarrollar.

En el apartado 5.2.2. se ha visto en una gráfica el porcentaje que ocupa cada industria respecto al total de emisión de CO<sub>2</sub>, dentro del ámbito metropolitano de Barcelona. Se ha decidido seleccionar las industrias que aportan más porcentaje, las cuales son: Cementos Molins Industrial de Sant Vicenç dels Horts, con un 21%; Naturgy Generación (central térmica de ciclo combinado) del puerto de Barcelona, con un 17%; y Naturgy Generación (central térmica de ciclo combinado, grupo 4) de Sant Adrià del Besós, con otro 17%.

Estas tres industrias ocuparían un 55% de las emisiones totales, es decir, poco más de la mitad. Teniendo en cuenta este bajo porcentaje, se decidió analizar las industrias restantes. Después del análisis, se identificó dos porcentajes más que pertenecían a la misma industria: Endesa Generación, SA (central térmica de ciclo combinado) de Sant Adrià del Besós. La cual estaba dividida en el grupo 5, con un 10%, y en el grupo 3, con un 7%.

Añadiendo esta misma empresa se aumenta hasta un 72% de las emisiones totales. Por lo tanto, aplicando la captura de CO<sub>2</sub> en estas cuatro industrias, se reducirían las emisiones RCDE en el entorno metropolitano de Barcelona hasta este 72% comentado (figura 18). Es decir, un gran porcentaje que ayudaría de gran manera al objetivo de llegar a cero emisiones.

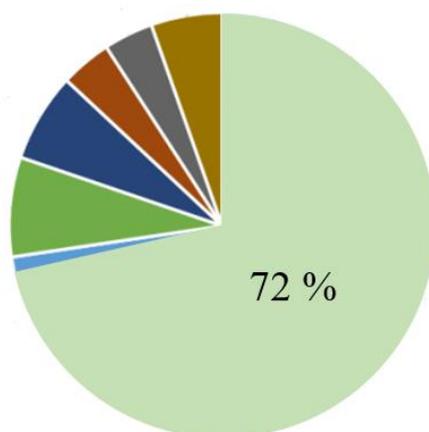


Figura 18: Gráfico del porcentaje de emisiones a eliminar. [Fuente propia].

Después de haber analizado el porcentaje de emisiones que se eliminaría en Barcelona, se ha comparado con las emisiones de España. Sabiendo que el porcentaje de emisiones de Barcelona respecto a España es del 4,30% (visto en la tabla 2), significa que reduciendo un 72,0% de Barcelona, se eliminarían un 3,10% a nivel nacional.

### **7.1.1. Escoger el método de captura**

Una vez se han seleccionado las industrias donde se captará el de CO<sub>2</sub>, se procede a saber de qué manera se va a realizar. Después de haber visto tres métodos diferentes, en el apartado 6.4.1., se ha considerado que la mejor opción es la captura por Postcombustión.

El método de Separación directa no se ha considerado por el hecho de que solo es aplicable para industrias de cemento, ya que modifican el proceso de calcinación.

Por otro lado, el método de Oxidación se ha descartado debido a que modifica el proceso de combustión añadiendo oxígeno puro en el quemador, es decir, añadiendo más procesos en el interior de la propia infraestructura; y, por lo tanto, sería más difícil insertar esta tecnología en las diferentes industrias seleccionadas.

En conclusión, la captura de Postcombustión es la idónea, ya que sólo hay que redireccionar las emisiones de las propias chimeneas a un lugar cercano disponible, como podría ser una parcela libre en sus alrededores, donde se pueda instalar este sistema adecuadamente.

En esta propuesta de sistema de captura, se va a modificar el lugar donde se licúa el CO<sub>2</sub>. En vez de realizar su compresión una vez capturado, este gas será enviado por conductos subterráneos hasta un lugar, en la zona del puerto de Barcelona; dónde, junto a los demás gases capturados, se les realizará la condensación mediante la compresión.

Para aclarar cómo funciona este método, se ha creado un esquema donde se puede entender mejor de manera visual (figura 19).

Como se puede ver, hay dos tipos de reacciones enmarcadas en azul: la que se obtiene amina rica y se libera el nitrógeno; y la que vuelve a separar la amina rica en dióxido de carbono y amina líquida. De esta manera se obtendría el CO<sub>2(gas)</sub> y se enviaría por tuberías hasta la planta de condensación.

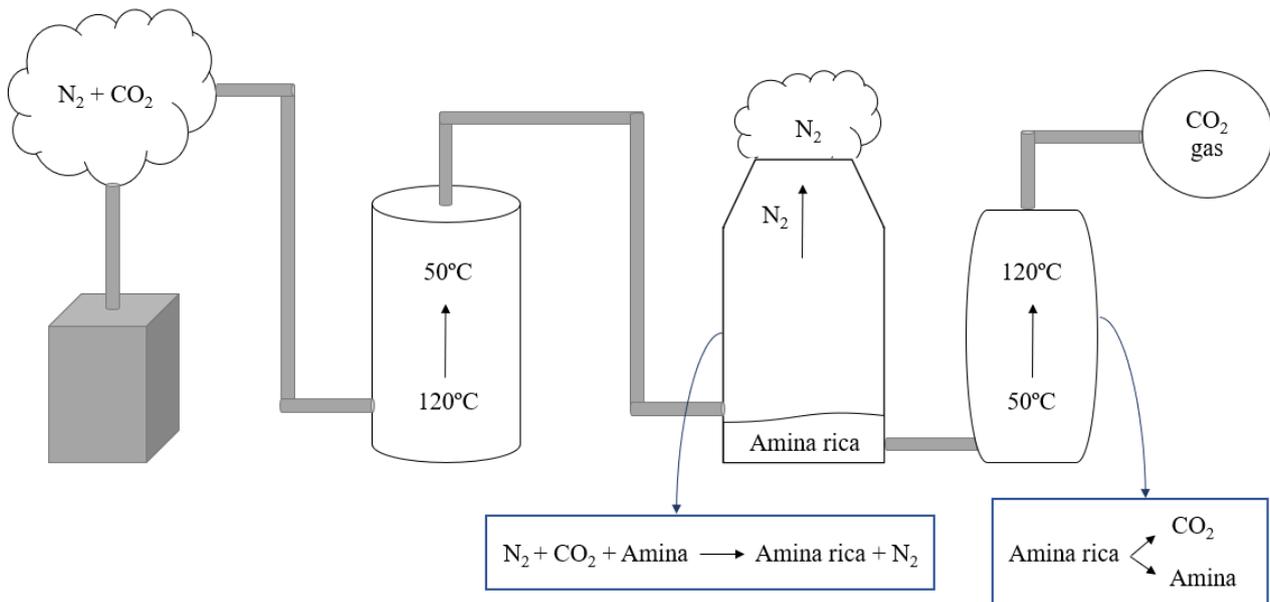


Figura 19: Esquema del proceso de captura de Postcombustión. [Fuente propia].

### 7.1.2. Lugar de instalación del sistema de captura

Para poder implementar este sistema, es necesario averiguar qué espacios o parcelas cercanas a las industrias están disponibles. Se ha considerado que una superficie de 2.000 m<sup>2</sup> (40 m x 50 m) es suficiente para poder implementar este sistema en las diferentes industrias. Mediante Google Maps, se ha investigado y se han obtenido las siguientes imágenes actualizadas en 2022:

- **Naturgy Generación (central térmica de ciclo combinado) del puerto de Barcelona**

En la siguiente imagen (figura 20) se muestra el perímetro en negro que ocupa esta central térmica en el puerto de Barcelona. Después de analizar los posibles espacios disponibles, se ha marcado con un rectángulo amarillo el lugar donde se podría instalar dicho sistema de captura. Habría que desviar las emisiones de las dos chimeneas hasta la superficie marcada, donde allí se realizaría la captura; y en forma de gas, se transportaría el CO<sub>2</sub> hasta su lugar de compresión (el cual se definirá posteriormente en el apartado 7.4.1.).



Figura 20: Imagen Central térmica de ciclo combinado del Puerto de Barcelona. [Fuente Google Maps].

- **Naturgy Generación 4, Endesa Generación 3 y 5 (centrales térmicas de ciclo combinado) de Sant Adrià del Besós**

En el caso de estos focos diferentes de emisiones, están situados en el mismo perímetro marcado en negro (figura 21). Después de realizar una búsqueda de espacio disponible en su interior, no se ha podido encontrar una superficie lo suficientemente grande. Por lo tanto, se ha optado por usar una parcela cercana en su exterior. Se ha descartado la zona más cercana (la parte derecha) ya que está llena de vegetación y parece un lugar donde no se puede construir nada más por su cercanía a la playa.

Como se puede ver en la imagen, dicha superficie está marcada en amarillo; y habría que comprar el espacio para su posterior instalación. Habría que desviar las emisiones de todas las chimeneas mediante conductos subterráneos hasta la parcela, ya que se encuentra detrás de carreteras y vías de tren; y capturar el CO<sub>2</sub> dejándolo en estado de gas para su transporte hasta su lugar de compresión (al igual que las demás industrias).



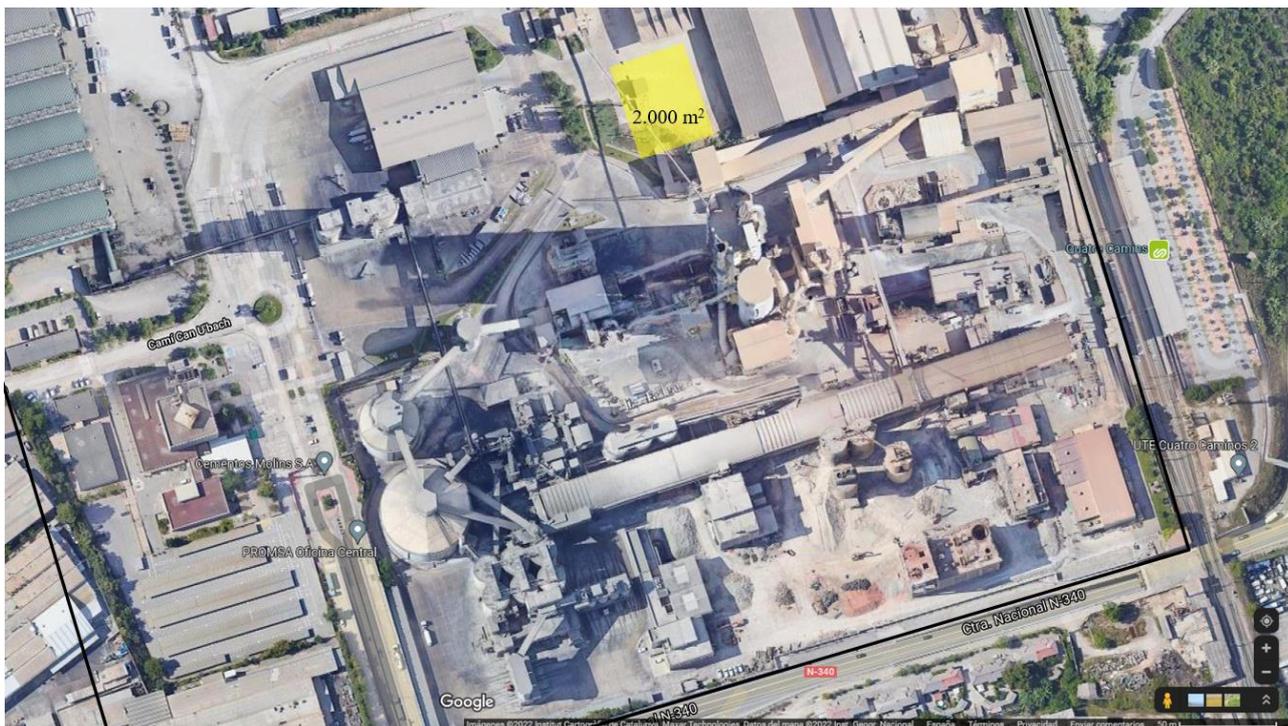


Figura 22: Imagen Cementos Molins de Sant Vicenç dels Horts. [Fuente Google Maps].

## 7.2. Transporte CO<sub>2</sub> (gas)

### 7.2.1. Planta de condensación.

Después de haber analizado las zonas donde se instalaran las plantas de captura, falta por ver donde se instalará la planta de condensación para licuar el CO<sub>2</sub>. Se ha tenido en cuenta la industria ubicada en el puerto de Barcelona, para que esté lo más cerca posible y así reducir su distancia de transporte. También se ha buscado que la zona esté justo al lado de posibles amarraderos para los buques.

Finalmente se encontró una gran superficie disponible de 28.750 m<sup>2</sup> (125 m x 230 m) que se muestra en la siguiente imagen:



Figura 23: Imagen espacio disponible del puerto de Barcelona. [Fuente Google Maps].

Podemos observar la presencia de la central térmica de ciclo combinado de Naturgy Generación justo en el centro de la parte inferior de la imagen anterior.

### 7.2.2. Desde las industrias hasta el puerto de Barcelona.

Para transportar el CO<sub>2</sub> (gas) capturado desde cada una de las industrias hasta la planta de condensación, se realizará mediante tuberías subterráneas. Estas tuberías seguirán un recorrido aproximado marcado en

los mapas que se muestran a continuación:

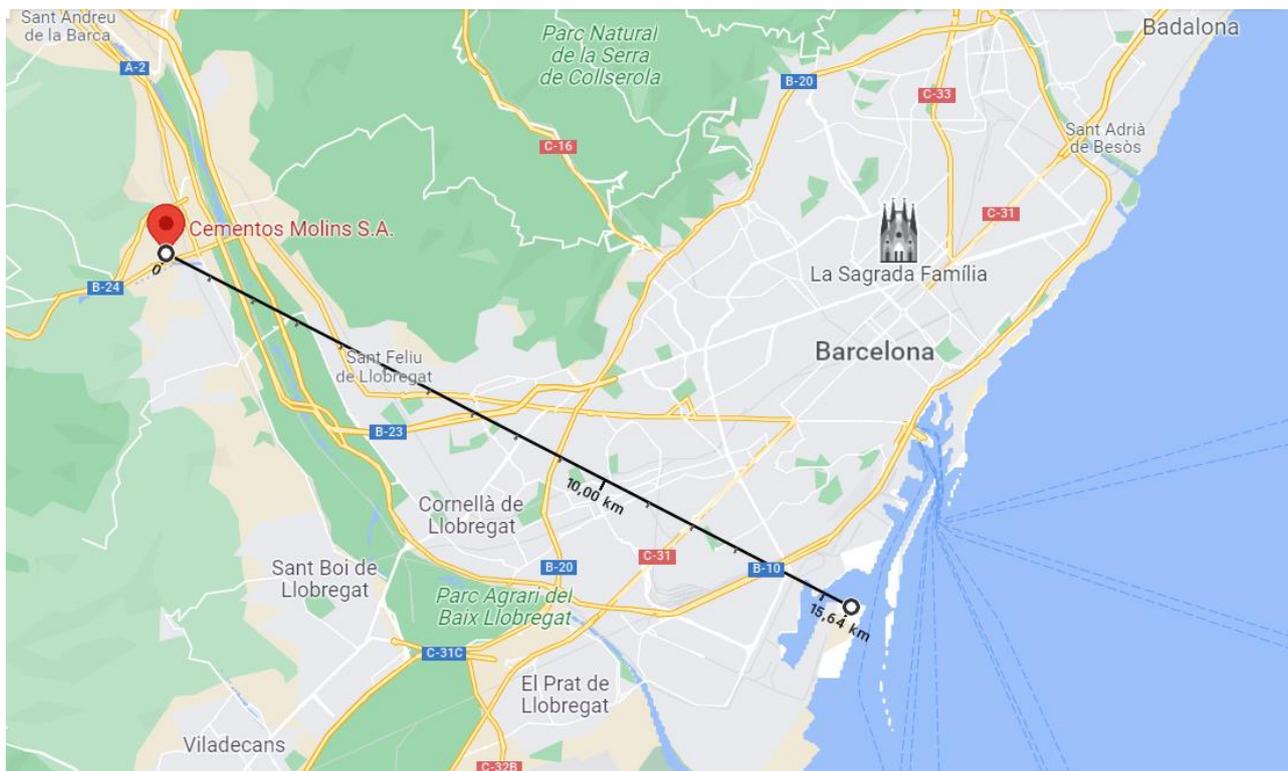


Figura 24: Recorrido y distancia desde Cementos Molins hasta la planta de condensación. [Fuente Google Maps].

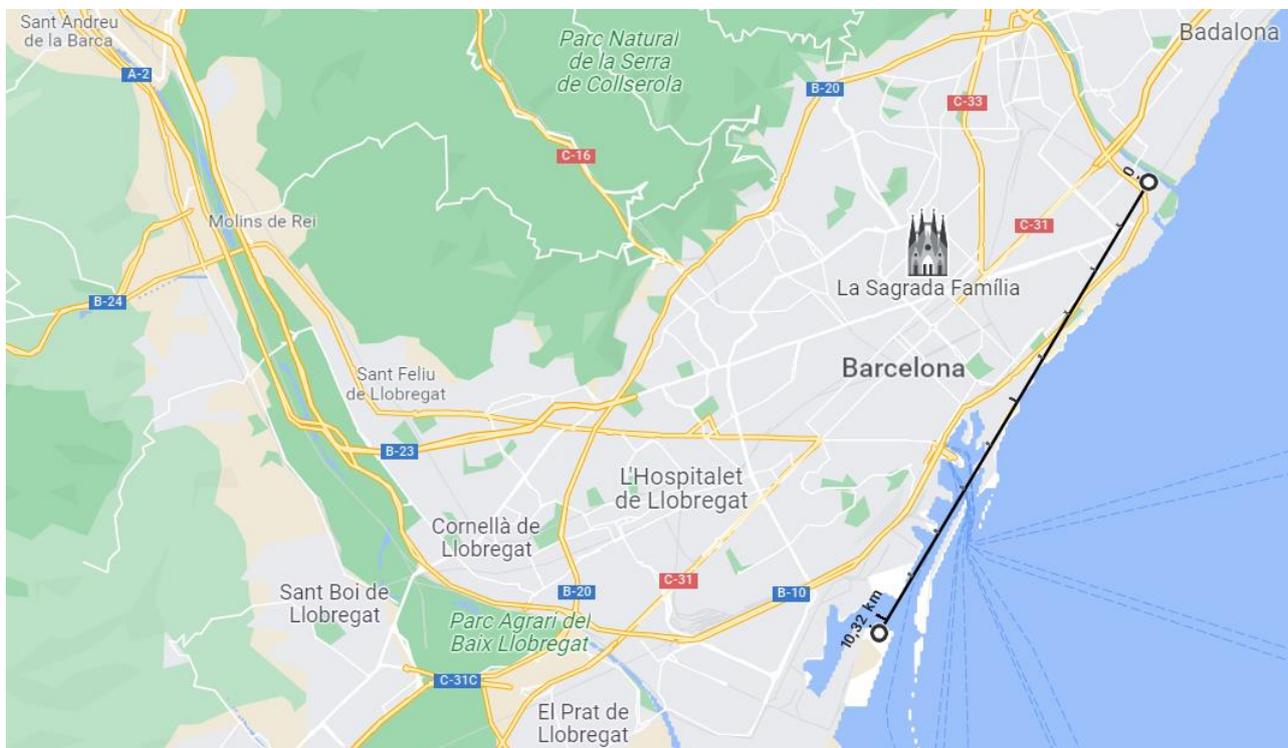


Figura 25: Recorrido y distancia desde las industrias de Sant Adrià del Besòs hasta la planta de condensación. [Fuente Google Maps].

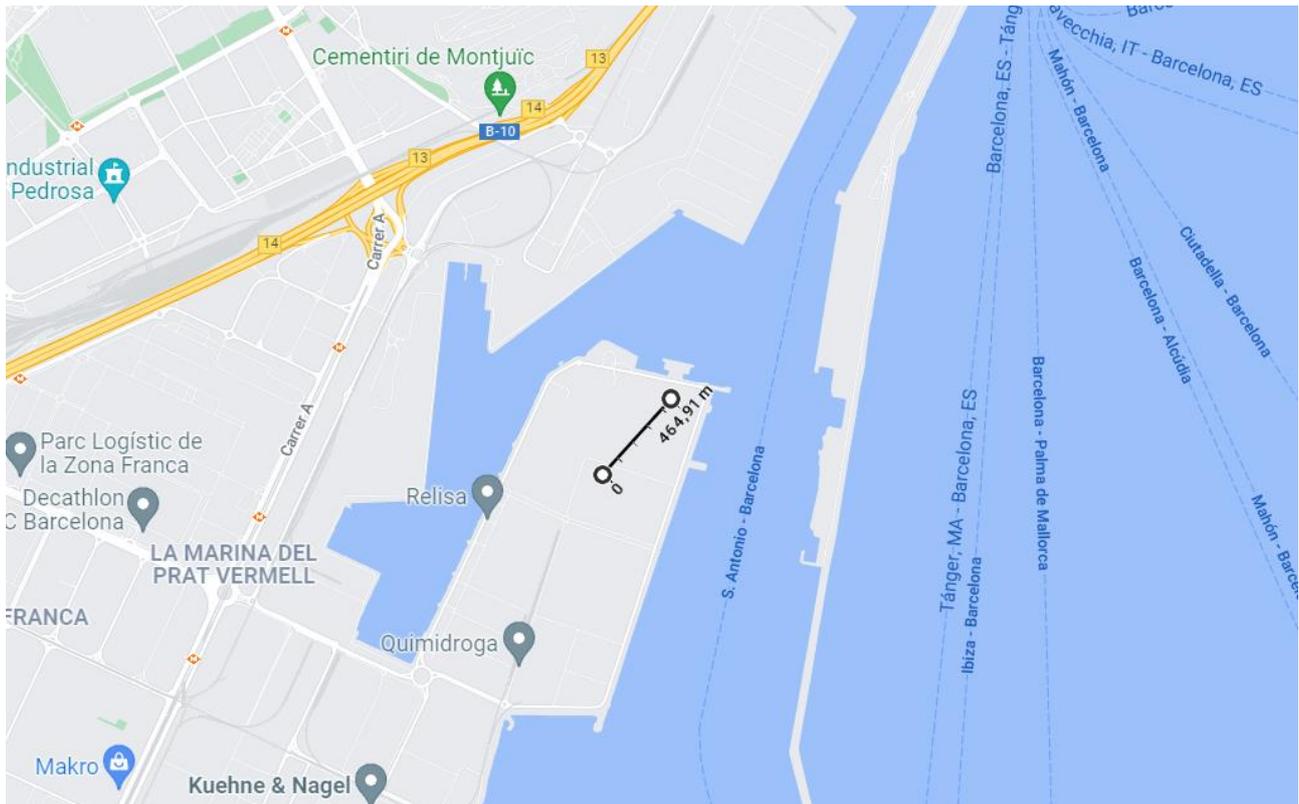


Figura 26: Recorrido y distancia desde Naturgy Generación del puerto de Barcelona hasta la planta de condensación. [Fuente Google Maps].

Los recorridos que se han mostrado son una aproximación de la realidad. En el supuesto caso de llevar a cabo esta propuesta de proyecto, habría que estudiar en profundidad cuáles son sus mejores trayectorias en función de otros tipos de servicios existentes bajo tierra.

Se ha decidido transportar en fase gas el CO<sub>2</sub> captado porque circula con un caudal mucho más grande que el líquido, debido a su gran diferencia de densidades: el CO<sub>2</sub> (gas) tiene una densidad de 1,9 kg/ m<sup>3</sup> y el CO<sub>2</sub> (líquido) tiene una densidad de 1.101 kg/ m<sup>3</sup>.

De esta manera, en vez de tener tres plantas de condensación en cada industria, se pasa a tener que instalar solo una en el puerto de Barcelona. Por lo tanto, es la mejor opción.

- **Máximo tamaño de las tuberías**

Para tener una idea del máximo tamaño necesario para transportar el gas por las tuberías, se ha realizado el cálculo para el caso del transporte de la mayor cantidad de gas (desde Sant Adrià del Besòs con una cantidad de aproximadamente  $1,7 \cdot 10^6$  T CO<sub>2</sub>/año (figura 5)):

En primer lugar, se necesita saber el volumen que ocupa el gas; se encuentra la relación de m<sup>3</sup> por cada tonelada de CO<sub>2</sub> (gas); el CO<sub>2</sub> a temperatura de 90°C y a presión de 1 atm, tiene un volumen molar de 23,15 dm<sup>3</sup>/ mol. (ec 7.2.2.1).

$$1 T CO_2 \cdot \frac{10^6 g CO_2}{1 T CO_2} \cdot \frac{1 mol CO_2}{44 g CO_2} \cdot \frac{23,15 dm^3}{1 mol CO_2} \cdot \frac{1 m^3}{10^3 dm^3} = 526,136 m^3/T CO_2(gas)$$

(7.2.2.1)

A continuación, se encuentra el caudal del gas captado y que será transportado (ec. 7.2.2.2)

$$\frac{1,7 \cdot 10^6 T CO_2(gas)}{1 año} \cdot \frac{526,136 m^3}{1 T CO_2(gas)} \cdot \frac{1 año}{365 días} \cdot \frac{1 día}{24 h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 28,36 m^3 CO_2(gas)/s$$

(7.2.2.2)

Por último, sabiendo que la velocidad del gas por tuberías es de 20 m/s [23], se calcula el diámetro máximo necesario de las tuberías (ec. 7.2.2.3)

$$20 m/s \cdot S = 28,36 m^3/s$$

donde la superficie es:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

(7.2.2.3)

Dando un diámetro de

$$D_{max} = 1,34 m$$

Con el valor del diámetro máximo obtenido, se considera que se necesitan unas tuberías grandes, pero sin hablar de valores extremos. No obstante, este caso sólo es para el recorrido de Sant Adrià del Besòs hasta el Puerto de Barcelona. Para los dos otros recorridos, como emiten menos cantidad de CO<sub>2</sub>, se necesitara menos diámetro de las tuberías para transportarlo.

Se debe remarcar que el diámetro obtenido es un valor aproximado de la realidad, ya que se han ignorado otros parámetros que deberían tenerse en cuenta para su cálculo.

### 7.3. CO<sub>2</sub> licuado

- **Conversión de CO<sub>2</sub> de gas a líquido:**

Según el inventario de emisiones de Barcelona [9], la cantidad total de CO<sub>2</sub> equivalente que se podría captar en estado gas, según la selección de industrias que se ha hecho previamente, es de 3.573.122 T CO<sub>2</sub>/año (tabla 3)

	Sant Adrià del Besos	Sant Vicenç dels Horts	Barcelona	Total T CO <sub>2</sub> /año
T CO <sub>2</sub> /año	508026	1043754	833073	
	336260			
	852009			
	1696295	1043754	833073	3573122

Tabla 3: Emisiones de los cinco focos seleccionados. [Fuente propia].

En primer lugar, se necesita saber el volumen que ocupa el gas; éste ya se ha encontrado en la ecuación 7.2.2.1 con un valor de  $526,136 \text{ m}^3 / \text{T CO}_2 (\text{gas})$ .

En segundo lugar, con las respectivas densidades se encuentra la relación de m<sup>3</sup> de líquido por cada m<sup>3</sup> de gas (ec 7.3.1).

$$\frac{1,9 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2 (\text{gas})}{1.101 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2 (\text{líquido})} = 1,7257 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{CO}_2 (\text{líquido}) / \text{m}^3 \text{CO}_2 (\text{gas}) \quad (7.3.1)$$

Por último, se calcula el CO<sub>2</sub> que se captará y licuará cada año (ec 7.3.2)

$$\begin{aligned} & 3.573.122 \frac{\text{T CO}_2 (\text{gas})}{\text{año}} \cdot \frac{526,136 \text{ m}^3}{1 \text{ T CO}_2 (\text{gas})} \cdot \frac{1,7257 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{CO}_2 (\text{líquido})}{1 \text{ m}^3 \text{CO}_2 (\text{gas})} \\ & = 3.244.226,5 \text{ m}^3 \text{CO}_2 (\text{líquido}) / \text{año} \end{aligned} \quad (7.3.2)$$

## 7.4. Transporte CO<sub>2</sub> (líquido)

### 7.4.1. Buque metanero

La empresa Naturgy tienen una flota de 12 buques metaneros que recorren todo el mundo. Según los datos que ofrecen [24], la media de capacidad está en unos 136.000 m<sup>3</sup> por buque. Estos viajan a una velocidad media de 18 nudos y tienen una tripulación especializada de hasta 30 personas.

Por lo tanto, sabiendo la cantidad de CO<sub>2</sub> que se captará y licuará cada año (7.3), se calcula cuantos buques se necesitaran cada mes (7.4.1).

$$3.244.226,5 \text{ m}^3\text{CO}_2 \text{ (líquido)}/\text{año} \cdot \frac{1 \text{ buque}}{136.000 \text{ m}^3\text{CO}_2 \text{ (líquido)}} = 23,85 \text{ buques/año}$$

$$\cong 24 \text{ buques/año} = 2 \text{ buques/mes}$$

(7.4.1)

### 7.4.2. Desde el puerto de Barcelona hasta Noruega

Sabiendo que se necesitan 2 buques cada mes para enviar el CO<sub>2</sub> captado y licuado, es necesario calcular los días de trayecto:

Primero, se debe saber el recorrido (figura 27) y la distancia que realizaría cada buque.

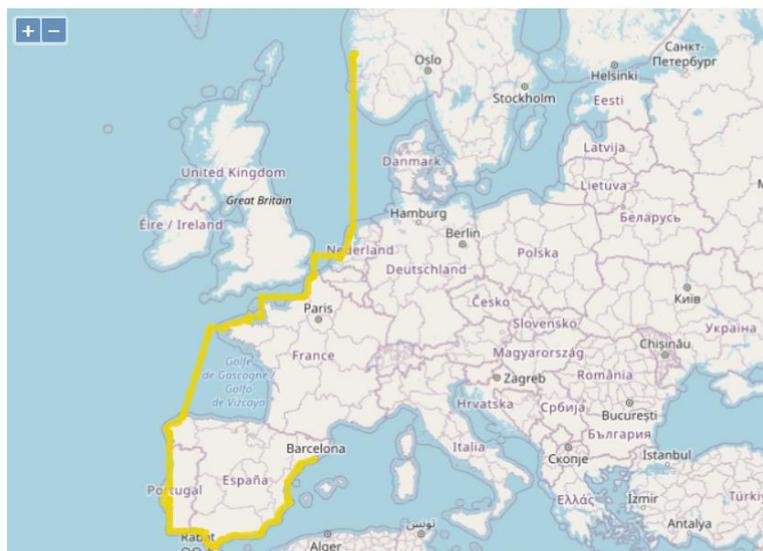


Figura 27: Recorrido desde el puerto de Barcelona hasta el municipio de Øygarden. [25].

La distancia que le corresponde al recorrido anterior es de 2.749 nm (millas náuticas). Haciendo una conversión de nm a km y de nudos a km/h, se calculan los días de trayecto (*ec 7.4.1.1*):

$$2.749 \text{ nm} \cdot \frac{1,852 \text{ km}}{1 \text{ nm}} = 5.091,148 \text{ km}; 18 \text{ nudos} \cdot \frac{1,852 \text{ km/h}}{1 \text{ nudo}} = 33,336 \text{ km/h}$$

$$5.091,148 \text{ km} \cdot \frac{1 \text{ h}}{33,336 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 6,36 \text{ días} \cong \mathbf{7 \text{ días}}$$

(7.4.1.1)

Por lo tanto, entre ida y vuelta, un buque tardaría 14 días totales; es decir, que se podría usar el mismo buque 2 veces cada mes sucesivamente. También se debe destacar que, en el trayecto de vuelta a Barcelona, el buque podría aprovechar el viaje y traer de Noruega lo que sea necesario para otro tipo de intereses.

## 8. Planificación temporal

Para mostrar de qué manera se han distribuido las diferentes etapas de este trabajo, se ha optado en hacer un Diagrama de Gantt (figura 28)

El proyecto empezó la segunda semana de Julio, cuando se definió el tema con sus objetivos. En ese entonces, ya se había descubierto el proyecto de Northern Lights y la CAC; y de ahí se salió la idea para este Trabajo Final de Grado. Enseguida se contactó con un departamento del AMB para pedir información sobre las emisiones de Barcelona, y así se obtuvo el inventario de las emisiones más contaminantes del 2018.

Las siguientes semanas de julio y agosto no se trabajó debido a las vacaciones de verano. A principios de septiembre, se siguió con la búsqueda de información y se empezó a redactar la memoria. En ese periodo de tiempo se encontró el informe de inventario nacional de gases de efecto invernadero. En octubre se escogió las industrias del entorno de Barcelona para la propuesta del sistema de captura; se obtuvo información de los diferentes métodos para capturar el CO<sub>2</sub>, y se escogió la mejor opción. En noviembre se estuvo pendiente sobre la COP26, que tuvo lugar desde el 31 de octubre hasta el 12 de noviembre. En diciembre se averiguó como tratar el CO<sub>2</sub>, en estado gaseoso y líquido, y como transportarlo. A principios de enero se investigó, mediante Google Maps, los espacios disponibles que podían tener las industrias seleccionadas para su instalación del sistema de captura. Finalmente, se cerró el proyecto la tercera semana de enero.

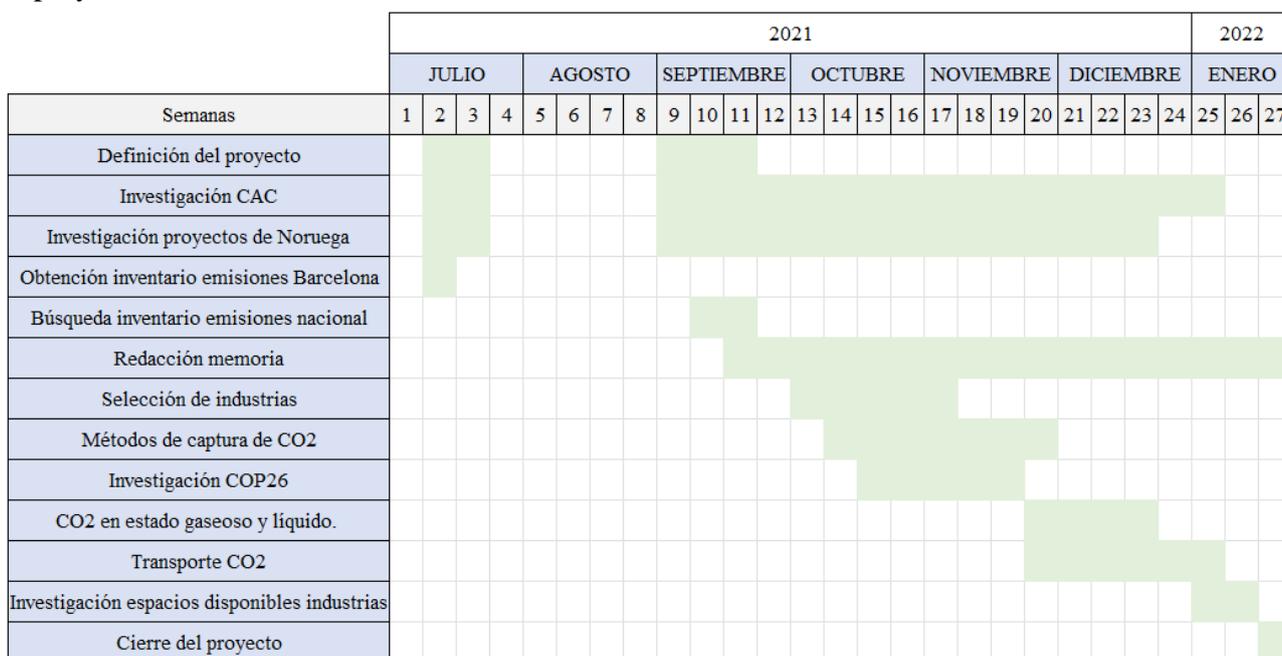


Figura 28: Diagrama de Gantt del proyecto. [Fuente propia].



## 9. Estudio económico

### 9.1. Coste del trabajo

Para poder realizar este proyecto se han llevado a cabo una serie de actividades, las cuales han supuesto un coste que es necesario detallar. Dichas actividades se han realizado por una ingeniera junior, con una remuneración de 15 €/hora.

A continuación, se muestran los costes y las horas dedicadas a cada una de las tareas realizadas durante el proyecto:

	Detalle	Total [€]	Observaciones
Recerca bibliográfica	170h x 15€/h	2550	
Licencias	1500€	1500	Microsoft Office 365
Redacción memoria	130h x 15€/h	1950	
Transporte (visitas para recopilar datos)	11,35€	11,35	T-10
Material administrativo	100€	100	
<b>TOTAL</b>		<b>6111,35€</b>	

*Tabla 4: Cotes parciales de las actividades y coste total. [Fuente propia].*

Por lo tanto, el coste total del proyecto es de 6.111,35€ sin impuestos aplicados. En caso de aplicar el IVA, el cual sumaría 1.283,38€ y el coste total llegaría a ser de **7.394,73€**.

## 9.2. Presupuesto del proyecto

Para calcular el coste total de la propuesta del sistema de captura de CO<sub>2</sub> en Barcelona, se ha dividido en tres partes: plantas, tuberías y buques metaneros.

### 9.2.1. Plantas

Se ha usado una relación directa entre la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por día con el precio que equivale la creación de una planta industrial. Esta relación se definió en el 1973 [26]:

$$50 \cdot 10^3 \text{ kg } CO_2/\text{día} \rightarrow 10^6 \$$$

Mediante la fórmula del interés compuesto, se calcula qué precio tiene este valor en 2021. Sabiendo que: Valor<sub>1973</sub> = 10<sup>6</sup> \$; i (inflación anual promedio) = 0.03; n (diferencia de años) = 48

$$Valor_{2021} = Valor_{1973} \cdot (1 + i)^n$$

$$Valor_{2021} = 4,13 \cdot 10^6 \$$$

Por lo tanto, sabiendo que se capturarán 3.573.122 T CO<sub>2</sub>/año, se calcula (ec. 9.2.1) el coste de implementar todas las plantas, tanto las de captura como la de condensación:

$$3.573.122 \cdot 10^3 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cdot \frac{4,13 \cdot 10^6 \$}{50 \cdot 10^3 \text{ kg } CO_2/\text{día}} = 808.602.403,3 \$$$

Pasándolo a euros, se obtienen:

$$808.602.403,3 \$ \cdot \frac{0,88 \text{ €}}{1 \$} = 711.570.114,9 \text{ €}$$

(ec. 9.2.1)

A continuación, se muestra cómo se ha distribuido este presupuesto en las diferentes plantas (tabla 5):

Presupuesto plantas (€)	711570114,90	355785057,45		<b>355,8 millones €</b>	El puerto de Barcelona	Planta de condensación
		355785057,45	168904508,2	<b>168,9 millones €</b>	Sant Adrià del Besos	Plantas de captura
			103929302,4	<b>103,9 millones €</b>	Sant Vicenç dels Horts	
			82951246,88	<b>82,9 millones €</b>	Barcelona	

Tabla 5: Presupuestos parciales de las plantas. [Fuente propia].

Para el cálculo de los costes parciales, se ha hecho una proporción en función del porcentaje de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por cada industria respecto el total.

### 9.2.2. Tuberías

Para poder calcular el presupuesto de la implementación de las tuberías, se ha tomado como referencia la estimación del coste de tuberías [27], se usará el siguiente precio: 2,34 millones de \$ por km. Pasándolo a euros se obtiene:

$$2,34 \text{ millones } \$/\text{km} \cdot \frac{0,88 \text{ €}}{1 \$} = 2,059 \text{ millones } \text{€}/\text{km}$$

A continuación, se muestra una tabla con el cálculo de los tres recorridos que se implementarán en función de sus distancias (tabla 6):

Origen	Destino	Distancia (km)	Precio (millones €/km)	Coste (millones €)	Coste total
Sant Adrià del Besos	El puerto de Barcelona	10,32	2,059	21,25	<b>54,41 millones €</b>
Sant Vicenç dels Horts		15,64		32,20	
Barcelona		0,465		0,96	

Tabla 6: Presupuestos parciales y total de las tuberías. [Fuente propia].

### 9.2.3. Buques metaneros

En el caso del cálculo del presupuesto que supone usar buques metaneros, no puede ser un coste fijo ya que depende de la cantidad de buques alquilados y de los días que se usarán. Se realizará un presupuesto anual para este tipo de coste.

Según Silvano Kursar [28], las tarifas diarias para buques cisterna de GNL (gas natural licuado) en el rango de 150.000 m<sup>3</sup> a 170.000 m<sup>3</sup> se encuentran entre valores de 90.000 \$ y 130.000 \$ por día. Se han tomado estos datos de referencia, ya que la capacidad media de los buques metaneros que se usaran (explicado en el apartado 7.4.1.) es de 136.000 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, haciendo una proporción se obtiene el precio de 93.500 \$/día·buque; y, pasándolo a €:

$$93.500 \text{ \$/día} \cdot \text{buque} \cdot \frac{0,88 \text{ €}}{1 \text{ \$}} = 82.280 \text{ €/día} \cdot \text{buque}$$

Una vez obtenida esta relación, se calcula el presupuesto anual (ec 9.2.3). Para ello se debe recordar: el viaje de ida y vuelta por buque es de unos 14 días; y cada mes es necesario realizar dos viajes.

$$82.280 \frac{\text{€}}{\text{día} \cdot \text{buque}} \cdot \frac{14 \text{ días}}{\text{viaje}} \cdot \frac{2 \text{ viajes}}{1 \text{ mes}} \cdot \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 27.646.080 \text{ €/año}$$

(ec 9.3.2)

Este sería solo el coste por alquilar los buques metaneros necesarios por año, sin considerar todos los gastos que supone ni el consumo que generaría.

### 9.2.4. Presupuesto total

Una vez obtenido el coste de cada componente importante en la implementación del sistema, se ha resumido en la siguiente tabla y se ha calculado el presupuesto total:

	Presupuesto	Presupuesto total
Plantas	711.570.114,90 €	765,98 millones € +27,646 millones €/año
Tuberías	54.410.000,00 €	
Buques metaneros	27.646.080 €/año	

Tabla 7: Presupuestos parciales y total del proyecto. [Fuente propia].

Por lo tanto, como se ha mencionado anteriormente, el presupuesto total es variable en función de los años que se vaya a implementar. También se debe mencionar que es un presupuesto aproximado a la realidad, se han considerado sólo los costes más generales y de gran magnitud.

Como hay una parte del presupuesto que solo se liquidaría una vez, a continuación, se muestra el valor del presupuesto a pagar en el primer año:

**793,626 millones de €**

## 10. Estudio ambiental

Todo proyecto necesita realizar un estudio ambiental, para saber si tiene un impacto positivo o negativo en el medio ambiente. Y en caso de que sea negativo, cuál sería su huella de carbono generada.

En el caso de este proyecto, todo el trabajo que se ha realizado ha sido de oficina; por lo tanto, las emisiones generadas son a causa del consumo de energía requerida para iluminar el espacio de trabajo, y para cargar el ordenador. Sumando las horas trabajadas del apartado 9.1, se obtiene un total de 300 horas. Cabe mencionar los consumos de iluminación son de 0,2 kWh y del ordenador es de 0,075m kWh.

Por otro lado, también hay que tener en cuenta la huella de carbono generada por usar el transporte público para visitar el AMB, que en total han sido unos 20 km de distancia entre idas y venidas.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de la huella de carbono total:

	Detalle	Total [kgCO <sub>2</sub> ]	Observaciones
Iluminación	300 h x 0,2 kWh x 0,241 kgCO <sub>2</sub> /kWh	14,46	Mixto eléctrico peninsular de 2019 de 0,241 kgCO <sub>2</sub> /kWh [29].
Ordenador	300 h x 0,075 kW/h x 0,241 kgCO <sub>2</sub> /kWh	5,423	
Metro	20 km x 0,05 kgCO <sub>2</sub> /km x pasajero	1	kgCO <sub>2</sub> por km y pasajero [30].
<b>TOTAL</b>		<b>20,883 kgCO<sub>2</sub></b>	

*Tabla 8: Huellas de carbono parciales y total del proyecto. [Fuente propia].*

Aunque en la creación de este trabajo se haya producido una huella de carbono, hay que mencionar el propósito final si se llevase a cabo el proyecto: reducir un 72% de las emisiones RCDE en el entorno de Barcelona.

Sabiendo que también se generaría una huella de carbono por llevarlo a cabo, lo compensaría la gran reducción de emisiones. Por lo tanto, se puede concluir que este proyecto produciría un impacto ambiental positivo.

## Conclusiones

A medida que van avanzando los años, los efectos del cambio climático van siendo más evidentes, lo cual provoca que no se pueda ignorar su existencia como muchos países hacían anteriormente. En otros lugares ya se tomaba conciencia años atrás y empezaron a investigar diferentes formas para combatirlo, como ha sido el caso de la tecnología CAC.

En este proyecto se ha querido plasmar el ingenioso plan de Noruega para reducir las emisiones de efecto invernadero. Analizando sus ideas, se ha creado una propuesta de sistema de captura en Barcelona, el cual estaría vinculado a su proyecto Northern Lights. Dónde, en Noruega, se almacenaría el CO<sub>2</sub> de manera permanente. Si se llevase a cabo esta propuesta diseñada, se conseguiría eliminar el 72,0% de emisiones localizadas de Barcelona; lo que representaría eliminar un 3,10% de este tipo de emisiones en España.

El objetivo de Noruega es impulsar al resto de países de Europa a implementar este tipo de sistemas. Pero, como se ha visto en la propuesta de este trabajo, se necesita una gran inversión para poder llevarlo a cabo.

Comparando el presupuesto aproximado que se ha obtenido para Barcelona de 793,626 millones de euros, el primer año, con la inversión que se hizo en la industria Norcem de 1.114 millones de euros, para sus cinco primeros años; se puede concluir que los resultados se consideran fiables.

En consecuencia, se debe remarcar la necesidad de usar nuevas tecnologías y la importancia de los países en priorizar la lucha contra el cambio climático.

## **Agradecimientos**

A Jordi Bou por su disposición, ayuda y consejos.

A mis amigas y amigos por escucharme, animarme y apoyarme en todo momento.

A mi familia y a Blas por su incondicional apoyo, paciencia y por animarme a seguir siempre adelante.

Muchas gracias.

## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

[1] UNFCCC, *The Paris Agreement* [en línea]. United Nations. Climate Change. [Consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>

[2] European Commission. *Paris Agreement*. [en línea]. [Consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en)>

[3] UNFCCC, *Spanish paris agreement*. [en línea]. [Consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <[https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)>

[4] UNFCCC, *COP26-Negotiations-Explained*. [en línea]. [Consulta: 18 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Negotiations-Explained.pdf>>

[5] UNFCCC, *COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact*. [en línea]. [Consulta: 18 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>>

[6] UNFCCC, *COP26 Outcomes: Transparency and Reporting* [Consulta: 18 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-glasgow-climate-pact/cop26-outcomes-transparency-and-reporting>>

[7] UNEnvironment. *Hoja informativa núm. 3 sobre la Enmienda de Kigali, PCA, CO2-eq y canasta de HFC*. Paris.

[8] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. *Informe de inventario nacional gases de efecto invernadero*. España. Marzo 2021.

[9] Àrea metropolitana de barcelona, direcció d'àrea d'ecologia. *Inventari d'emissions territorials AMB*. 2021. Barcelona.

[10] Northern Lights. *About the Longship Project*. [en línea]. [Consulta: 5 de septiembre de 2021].

Disponible en: <<https://northernlightsccs.com/about-the-longship-project/>>

[11] CCS Norway. *The Project*. [en línea]. [Consulta: 5 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<https://ccsnorway.com/the-project/>>

[12] Northern Lights, *Accelerating decarbonisation*. [en línea]. [Consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<https://northernlightsccs.com/what-we-do/>>

[13] Gassnova. [en línea]. [Consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<https://gassnova.no/en/>>

[14] Fortum. *Fortum Oslo Varme and our Carbon Capture Project*. [en línea]. [Consulta: 23 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://www.fortum.com/about-us/newsroom/press-kits/carbon-removal/fortum-oslo-varme-and-our-carbon-capture-project>>

[15] CCS Norway. *Carbon capture: Fortum Oslo Varme* [en línea]. [Consulta: 23 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://ccsnorway.com/capture-fortum-oslo-varme/>>

[16] Norcem. *CCS at Norcem Brevik*. [en línea]. [Consulta: 23 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://www.norcem.no/en/CCS%20at%20Brevik>>

[17] CCS Norway. *Capture: Norcem* [en línea]. [Consulta: 23 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://ccsnorway.com/capture-norcem/>>

[18] Hidelbergcement Group. *Carbone capture technologies*. [en línea] En: Youtube, 24 noviembre 2020. [Consulta: 13 de noviembre de 2021]. Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=f0NgTfLIuGQ>>.

[19] Northern Lights. *Accelerating decarbonisation*. Junio 2021.

[20] Cristel Lambton. *NorthernLights a European CO2 transport and storage network*. Junio 2020.

[21] Northern Lights. *How to store CO<sub>2</sub> with Northern Lights*. [en línea]. [Consulta: 10 de diciembre de 2021]. Disponible en: <<https://northernlightsccs.com/how-to-store-co2-with-northern-lights/>>

[22] Northern Lights. *Construction on schedule* [en línea]. [Consulta: 10 de diciembre de 2021]. Disponible en: <<https://northernlightsccs.com/news/construction-on-schedule/>>

[23] Ingenierosindustriales.com, *Cómo calcular tuberías de gas*. [en línea]. [Consulta: 23 de diciembre

de 2021]. Disponible en: <<https://www.ingenierosindustriales.com/como-calculatuberias-de-gas/>>.

[24] Naturgy. *Buques metaneros*. [en línea]. [Consulta: 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: <[https://www.naturgy.com/conocenos/actividad\\_y\\_energias/gas/buques\\_metaneros](https://www.naturgy.com/conocenos/actividad_y_energias/gas/buques_metaneros)>

[25] Ship Traffic. *Sea distance calculator*. [en línea]. [Consulta: 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: <<http://www.shiptraffic.net/2001/05/sea-distances-calculator.html>>

[26] Libro: PERRY, R.H et al; CHILTON, M.C. *Manual del ingeniero químico*. México. McGrawHill, 1973. Capítulo 25. ISBN 0070855471

[27] Oil and Gas Pipeline Construction Costs. [en línea]. [Consulta: 17 de enero de 2022]. Disponible en: <[https://www.gem.wiki/Oil\\_and\\_Gas\\_Pipeline\\_Construction\\_Costs](https://www.gem.wiki/Oil_and_Gas_Pipeline_Construction_Costs)>

[28] Kursar, S. What is the cost of transporting natural gas by pipeline and by transporting it in LNG form by ship? 2020. [en línea]. [Consulta: 17 de enero de 2022]. Disponible en: <<https://www.quora.com/What-is-the-cost-of-transporting-natural-gas-by-pipeline-and-by-transporting-it-in-LNG-form-by-ship>>

[29] Gencat, Cambio climático, *Factor de emisión de la energía eléctrica: el mix eléctrico*. [en línea]. [Consulta: 17 de enero de 2022]. Disponible en: <[https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors\\_demissio\\_associats\\_a\\_lenergia/](https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/)>

[30] Oficina Catalana del Canvi Climàtic, *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH)*. 1 de març de 2019. [en línea]. [Consulta: 17 de enero de 2022]. Disponible en: <[https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/04\\_ACTUA/Com\\_calcular\\_emissions\\_GEH/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/190301\\_Guia-practica-calcul-emissions\\_CA.pdf](https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/04_ACTUA/Com_calcular_emissions_GEH/guia_de_calcul_demissions_de_co2/190301_Guia-practica-calcul-emissions_CA.pdf)>