



Proyecto LIFE CO₂IntBio

Asistencia técnica para la realización de ACV

**Informe de ACV conforme a ISO 14044:2006
(Escenarios 1 y 2 BASELINE)**

Versión del documento: 1.0

Fecha: 28/12/2020



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	7
1.2.	FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.....	8
2.	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	10
2.1.	OBJETIVO PRINCIPAL Y ESPECÍFICOS.....	10
2.2.	PÚBLICO OBJETIVO.....	10
3.	ALCANCE DEL ESTUDIO.....	12
3.1.	UNIDAD FUNCIONAL.....	12
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCTO.....	13
3.3.	LÍMITES DEL SISTEMA.....	15
3.4.	REQUISITOS RELATIVOS A LOS DATOS.....	17
3.4.1	Alcance tecnológico.....	17
3.4.2	Alcance geográfico.....	18
3.4.3	Alcance temporal.....	18
3.5.	CRITERIOS DE CORTE.....	18
3.6.	CRITERIOS DE ASIGNACIÓN.....	19
3.7.	HIPOTESIS Y ESTIMACIONES.....	19
3.8.	DESCRIPCIÓN CATEGORÍAS DE IMPACTO.....	20
4.	ANÁLISIS DE INVENTARIO.....	22
4.1.	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE DATOS.....	22
4.2.	CALIDAD DE LOS DATOS.....	24
4.3.	INVENTARIO ESCENARIO 1. SÍNTESIS CO2 A PARTIR DE GAS NATURAL.....	25
4.3.1	DATOS PROPORCIONADOS.....	25
4.3.2	SUPOSICIONES y ESTIMACIONES.....	27
4.4.	INVENTARIO ESCENARIO 2. SÍNTESIS CO2 A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE GASES INDUSTRIALES RESIDUALES.....	28
4.4.1	DATOS PROPORCIONADOS /INVESTIGADOS.....	28
4.4.2	ESTIMACIONES.....	30
4.5.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS DATOS.....	30
4.5.1	ESCENARIO 1. SÍNTESIS DE CO2 A PARTIR DE GAS NATURAL.....	30
4.5.2	ESCENARIO 2. SÍNTESIS DE CO2 A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE GASES INDUSTRIALES RESIDUALES.....	34
5.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA.....	37
5.1.	ESCENARIO 1. SÍNTESIS DE CO2 A PARTIR DE GAS NATURAL.....	39
5.1.1	Producción de CO2 y Captura, Separación y Purificación de CO2.....	44
5.1.2	Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2.....	46
5.1.3	Uso de CO2.....	47

5.2.	ESCENARIO 2. SÍNTESIS DE CO2 A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE GASES INDUSTRIALES RESIDUALES.....	48
5.2.1	Producción de CO2 y Captura, Separación y Purificación de CO2.....	50
5.2.2	Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2	55
5.2.3	Uso de CO2	56
6.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	57
6.1.	CONCLUSIONES.....	57
6.2.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	60
7.	REFERENCIAS	62
8.	ANEXOS.....	63
8.1.	ANEXO A. PROCESOS DEL MODELO.....	63



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de la futura localización de la planta piloto de síntesis de CO ₂ verde.	7
Figura 2. Marco de referencia y etapas de un análisis del ciclo de vida	8
Figura 3. Árbol de decisión de Unidad funcional (Global CO ₂ Initiative, 2020)	13
Figura 4. Esquema del sistema del ciclo de vida de tecnologías CCU desde la fuente de CO ₂ hasta su fin de vida (Global CO ₂ Initiative, 2020)	14
Figura 5. Esquema del sistema del escenario 1 (gas natural)	15
Figura 6. Esquema del sistema del escenario 2 (aprovechamiento gas industrial).....	15
Figura 7. Límites del Sistema producto analizado para todos los escenarios	16
Figura 8. Límites del sistema según PCR 2011:18	16
Figura 9. Imágenes del Cuestionario de recogida de datos para el escenario 1	23
Figura 10. Datos de inventario del sistema de captura del escenario 2 por 1MWh de electricidad producido (Fuente: Korre, 2010)	29
Figura 11. Resultados Impactos del Ciclo de vida Escenario 1 por aspecto ambiental evaluado	40
Figura 12. Red de impactos totales por entradas y salidas para la síntesis de CO ₂ a partir de gas natural.....	43
Figura 13. Impactos por entradas y salidas para la etapa de Producción de CO ₂ en la síntesis de CO ₂ a partir de gas natural.....	45
Figura 14. Red de impactos por entradas y salidas para la síntesis de CO ₂ a partir del aprovechamiento de gases industriales.....	50
Figura 15. Impactos para la etapa de producción de CO ₂ para la síntesis de CO ₂ a partir del aprovechamiento de gases industriales.....	52
Figura 16. Impactos para la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO ₂ para la síntesis de CO ₂ a partir del aprovechamiento de gases industriales.....	53
Figura 17. Comparación de los impactos totales de ambos escenarios	57
Figura 18. Comparación de los impactos para la etapa Producción de CO ₂ de ambos escenarios	58
Figura 19. Comparación de los impactos para la etapa Captura, Separación y Purificación de CO ₂ de ambos escenarios	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mix eléctrico español, REE 2019.....	19
Tabla 2. Categorías de impacto y sus metodologías.....	20
Tabla 3. Evaluación de la precisión de los datos.....	24
Tabla 4. Evaluación de la representatividad geográfica de los datos	24
Tabla 5. Evaluación de la representatividad temporal de los datos	24
Tabla 6. Evaluación de la representatividad de los procesos de Ecoinvent v3.5	25
Tabla 7. Datos Generales Escenario baseline 1.....	25
Tabla 8. Datos inventario Escenario baseline 1.....	25
Tabla 9. Datos Generales Escenario baseline 2.....	28
Tabla 10. Datos inventario escalados a 1 tCO2 producido (Escenario baseline 2).....	30
Tabla 11. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Producción de CO2	32
Tabla 12. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO2	33
Tabla 13. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2.....	33
Tabla 14. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Producción de CO2	34
Tabla 15. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO2	34
Tabla 16. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2.....	36
Tabla 17. Descripción de las categorías de impacto.....	37
Tabla 18. Impactos totales por entradas y salidas para la síntesis de CO2 a partir de gas natural	41
Tabla 19. Impactos de las emisiones directas de la síntesis de CO2 a partir de gas natural.....	42
Tabla 20. Impactos por etapas para la síntesis de CO2 a partir de gas natural	44
Tabla 21. Impactos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2 en la síntesis de CO2 a partir de gas natural.....	46
Tabla 22. Impactos totales por entradas y salidas para la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales residuales	49
Tabla 23. Impactos por etapas para la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales residuales.....	50
Tabla 24. Impactos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2 en la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales residuales	55
Tabla 25. Análisis de sensibilidad escenario 1	60
Tabla 26. Análisis de sensibilidad escenario 2	61

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

ACV	Análisis del ciclo de vida
CCS	Carbon Capture and Storage
CO2	Dioxido de carbono
EICV	Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida
ICV	Inventario del Ciclo de Vida
ISO	International Standard Organization
LCA	Life Cycle Assessment
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LCI	Life Cycle Inventory

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Este documento forma parte de la documentación generada en el marco del contrato “SERVICIO DE ASISTENCIA TECNICA PARA LA REALIZACION DE ANALISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO DE 3 PROCESOS PRODUCTIVOS DE GAS CO₂, HERRAMIENTA DE CALCULO DE HUELLA DE CARBONO, Y DECLARACION AMBIENTAL DE PRODUCTO DE GAS “CO₂ VERDE”” que se enmarca en el proyecto LIFE CO₂-INT-BIO. Siendo el objetivo principal de este contribuir a la mitigación de las emisiones de CO₂ en sectores industriales intensivos en energía (producción comercial de gas e invernaderos con agricultura intensiva) aplicando nuevos métodos o tecnologías mediante la integración industrial y la creación de nuevas cadenas de valor referentes al CO₂.



Figura 1. Imagen de la futura localización de la planta piloto de síntesis de CO₂ verde.

Para este objetivo, Tecnalía colabora con la aplicación de la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV) para evaluar la mejora cuantitativa de los impactos ambientales de la tecnología implementada en el proyecto con respecto a otros escenarios actuales de captación y producción de CO₂. Es por ello que en el marco de este estudio se comparan 3 escenarios:

1. Síntesis de CO₂ a partir de gas natural;
2. Síntesis de CO₂ a partir de aprovechamiento gases industriales;
3. Síntesis de CO₂ Verde.

Esta primera versión del informe presenta los estudios ACV de los dos primeros escenarios, dejando para 2022 el estudio del tercer escenario, una vez la planta piloto esté ya instalada en su emplazamiento previsto, en Garray (Soria).

1.2. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

El análisis del ciclo de vida es una herramienta de análisis y gestión medioambiental el uso de la cual ha ido creciendo durante los últimos veinte años en un amplio abanico de sectores. Se trata de una herramienta de análisis objetiva, que muestra con transparencia cuales son las cargas ambientales asociadas a un producto o a un sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (producción, uso, mantenimiento y fin de vida). Así, es válida para la toma de decisiones tanto en el ámbito empresarial como en los procesos de contratación o de definición de criterios de ecoetiquetas de la Administración pública. La utilidad de esta herramienta se ha reconocido a nivel internacional, siendo objeto de normalización mediante un conjunto de normas ISO.

La metodología para realizar este ACV está en conformidad con las normas siguientes:

- UNE-EN ISO 14040:2006 – Gestión Medioambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044:2006 – Gestión Medioambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y directrices.

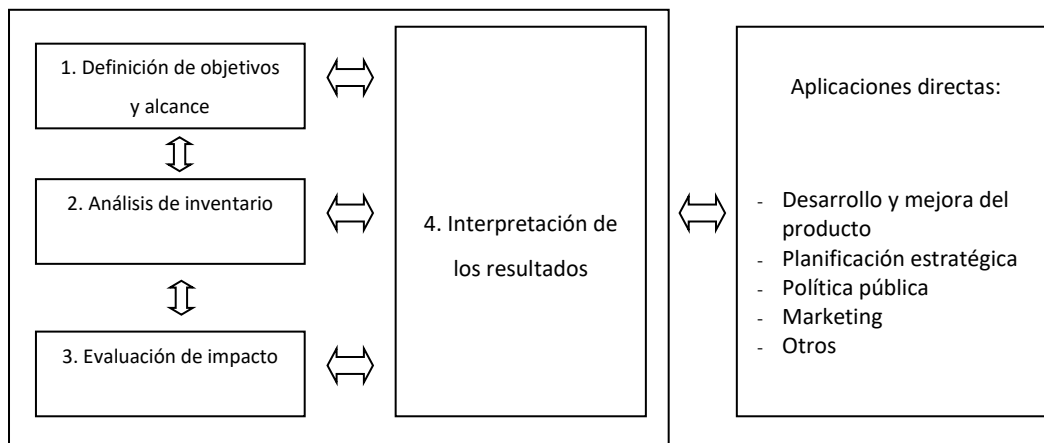


Figura 2. Marco de referencia y etapas de un análisis del ciclo de vida

La metodología de ACV de acuerdo a las Normas ISO 14040 y 14044 (ISO, 2006a; ISO, 2006b) se desarrolla en 4 etapas (Figura 2):

- Definición del objetivo y alcance. En esta etapa debe expresarse claramente el propósito y la extensión del estudio, así como la descripción del sistema o sistemas bajo estudio, la unidad funcional, los límites del sistema, los procedimientos de asignación y las hipótesis.
- Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV). Comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo necesarios para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema, tomando como referencia la unidad funcional.

- Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV). Utilizando los resultados del análisis de inventario, evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales. Tres elementos son obligatorios en esta etapa: selección de categorías, clasificación y caracterización. Por otro lado, la normalización, agrupación y ponderación se consideran elementos opcionales.
- Interpretación del ciclo de vida. Finalmente se evalúan los resultados y se plantean conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.

La estructura de este documento se basa en las fases descritas anteriormente.

El ACV puede ser empleado tanto para evaluar procesos existentes como alternativas potenciales en fase de diseño o desarrollo, contribuyendo a identificar áreas de mejora y ayudando en el diseño de nuevos procesos. En este sentido, la aplicación de esta metodología resulta de gran utilidad para evaluar el impacto ambiental de las rutas y tecnologías de producción de CO₂ pudiendo así comparar el nuevo escenario de síntesis de CO₂ a partir de una planta de biomasa con los dos escenarios de procesos comerciales habituales de producción de CO₂ como son la combustión de gas natural o el aprovechamiento de gases industriales.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO PRINCIPAL Y ESPECÍFICOS

El objetivo principal de este estudio es realizar un análisis del ciclo de vida que permita la comparación de los impactos medioambientales asociados a la síntesis de CO₂ con escenarios de fabricación distintos, analizando para los diferentes casos los impactos asociados a cada una de las fases de su ciclo de vida: obtención de materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida.

Para alcanzar este objetivo se plantean una serie de objetivos específicos:

- Definición de los escenarios actuales de síntesis de CO₂ (informe actual), así como el escenario propuesto en el proyecto piloto de LIFE-CO₂ (futuro informe v2).
- Recopilar toda la información referente a los procesos que formen parte de los sistemas bajo estudio, es decir, las entradas y salidas, ya sea mediante recopilación de datos por parte de los socios del proyecto como mediante la búsqueda en fuentes bibliográficas de referencia.
- Selección de parámetros, indicadores y otros requisitos clave apropiados para evaluar el sistema bajo estudio, haciendo uso de las recomendaciones, guías, normas y estándares internacionales aplicables (en especial las centradas en las palabras o conceptos clave de CCU -Carbon Capture and Utilization- y Gas products).
- Evaluación del impacto del ciclo de vida de los diferentes escenarios mediante la metodología de impacto más adecuada.
- Comparación e interpretación de los resultados obtenidos para obtener conclusiones que ayuden a determinar en qué etapas y procesos se generan las principales cargas ambientales y por tanto qué puntos del sistema evaluado pueden mejorarse.

2.2. PÚBLICO OBJETIVO

Este estudio está dirigido al uso interno de los socios del proyecto LIFE CO₂ Verde, pudiendo resultar en comunicaciones públicas bajo acuerdo entre las partes implicadas y siempre de acuerdo a las cláusulas de confidencialidad que se hayan establecido.

De la misma forma, este informe podrá ser usado como base para futuros estudios de análisis del ciclo de vida más específicos de productos o tecnologías derivadas, así como para desarrollar



modelos y herramientas que permitan actualizar y validar los parámetros y resultados aquí presentados. En concreto, la versión final de este informe donde se incluirá el escenario CO2-Verde podrá ser usado por las socios como base para obtención de la certificación EPD¹ del producto.

¹ International EPD® System: www.environdec.com

3. ALCANCE DEL ESTUDIO

En este apartado se describe el alcance del presente estudio, para el análisis del ciclo de vida de la síntesis de CO₂ para los dos escenarios:

1. Síntesis de CO₂ a partir de gas natural;
2. Síntesis de CO₂ a partir de aprovechamiento gases industriales;

A este respecto se desarrollan los siguientes apartados:

- Unidad funcional
- Descripción del sistema de producto
- Límites del sistema
- Requisitos relativos a los datos
- Criterios de corte
- Criterios de asignación
- Hipótesis y estimaciones
- Descripción categorías de impacto

3.1. UNIDAD FUNCIONAL

La unidad funcional es la unidad de referencia utilizada para relacionar las entradas y salidas de un proceso determinado, así como el desempeño ambiental de uno o más sistemas de producto.

La unidad funcional es, en otras palabras, aquella cuantificación de una función que ofrece nuestro objeto de estudio según la cual irán referidas todas las entradas (recursos y energía necesarios) y salidas (emisiones y residuos) del sistema y que nos permitirá valorar, de forma objetiva, todos los impactos generados y permitirá comparaciones entre sistemas con una misma unidad funcional.

En este sentido, para este análisis la unidad funcional se define como:

Unidad funcional: 1 tonelada de CO₂ listo para la entrega

Se incluirá una unidad funcional extendida para evaluar su uso en invernaderos (unidad en función de su uso en invernadero, p.ej. por hectarea*día).

Esta unidad es la misma para los productos a comparar. Todos los materiales y consumos energéticos deben estar normalizados a dicha unidad funcional para poder comparar el impacto de cada componente.

Esta unidad funcional cumple los requisitos definidos en el Techno-Economic Assessment & Life Cycle Assessment Guidelines for CO₂ Utilization de la Global CO₂ Initiative (Global CO₂ Initiative,

2020), donde se recomienda utilizar la masa como unidad funcional (por ejemplo, 1 kg de sustancia) en esos productos con estructura química y composición idénticas a sus contrapartes convencionales. Asimismo cumple con los requisitos de la Regla de Categoría de Producto de Productos químicos inorgánicos del sistema de declaraciones ambientales de producto Internacional EPD® (PCR 2011:18).

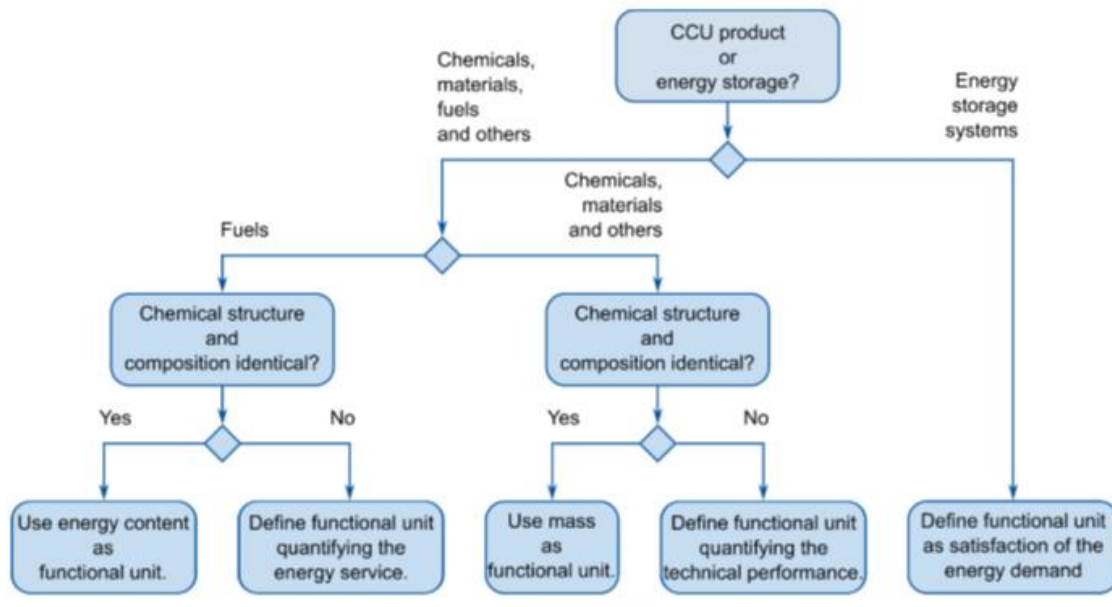


Figura 3. Árbol de decisión de Unidad funcional (Global CO2 Initiative, 2020)

3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCTO

Los sistemas de productos intercambian innumerables flujos técnicos con otros sistemas de productos y, por lo tanto, se forman redes complejas de sistemas de productos. Como resultado, los límites del sistema para un estudio de ACV de un producto simple pueden llegar a abarcar una gran cantidad de flujos de la tecnosfera global. Sin embargo, aún se pueden lograr resultados precisos evaluando un número limitado de procesos y flujos. Para este propósito, solo se contabilizan los flujos y procesos significativos, mientras que otros procesos y flujos se omiten (cut-off o reglas de corte).

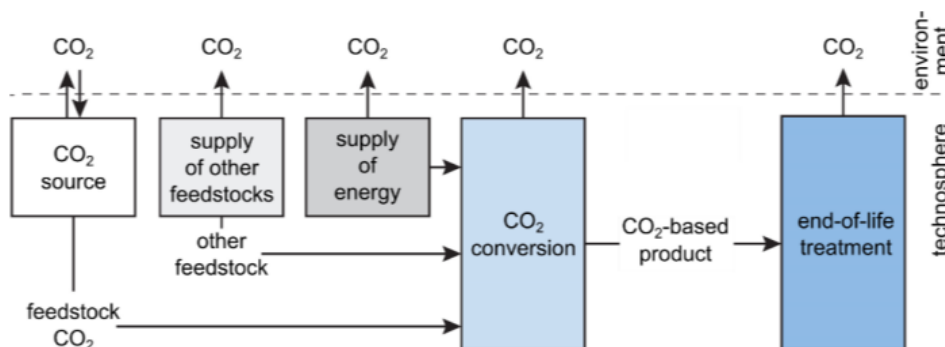


Figura 4. Esquema del sistema del ciclo debido de tecnologías CCU desde la fuente de CO₂ hasta su fin de vida (Global CO₂ Initiative, 2020)

Los sistemas de captura y almacenamiento de CO₂ tan solo son aplicables en grandes puntos de emisión de CO₂. El objetivo de estos sistemas es separar el CO₂ producido hasta obtener una corriente de gases con una concentración de CO₂ suficientemente elevada. Una vez se dispone de esta corriente altamente concentrada en CO₂ se procede a su compresión para realizar el transporte hasta el punto donde vaya a ser almacenado de forma definitiva. De forma general, los sistemas de captura de CO₂ se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- **Postcombustión:** Estos sistemas se sitúan en las instalaciones una vez se ha realizado la combustión del combustible. De esta forma se parte de una corriente con una concentración muy baja en CO₂ y un gran caudal de gases de combustión. Estas características hacen que estos sistemas requieran una gran cantidad de energía.
- **Precombustión:** Estos sistemas se sitúan en las instalaciones antes de realizar la combustión del combustible. El objetivo de estos sistemas es preparar el combustible para que al realizar la combustión no se produzca CO₂. Es decir en estos sistemas se elimina el carbono del combustible antes de realizar la combustión. La principal tecnología de estos sistemas son los GICC.
- **Oxicombustión:** Estos sistemas actúan sobre el comburente, tratando de eliminar el N₂ del aire y de esa forma al producirse la combustión se obtendrán unos gases de combustión con una alta concentración de CO₂.

Para los sistemas de captura después de la combustión, los procesos más comunes son los de absorción química de CO₂ constituyen el método más utilizado industrialmente para la separación de CO₂ de un flujo de gases siendo una tecnología madura en el campo de la purificación de gas natural y la producción de CO₂ para usos comerciales (industria alimenticia, producción de NH₃ y urea para la producción de fertilizantes). La base de todos estos procesos es la reacción de una base alcalina, normalmente aminas (MEA), en medio acuoso con un gas ácido.

En los dos escenarios analizados en este estudio, las tecnologías de captura son ambas postcombustión.

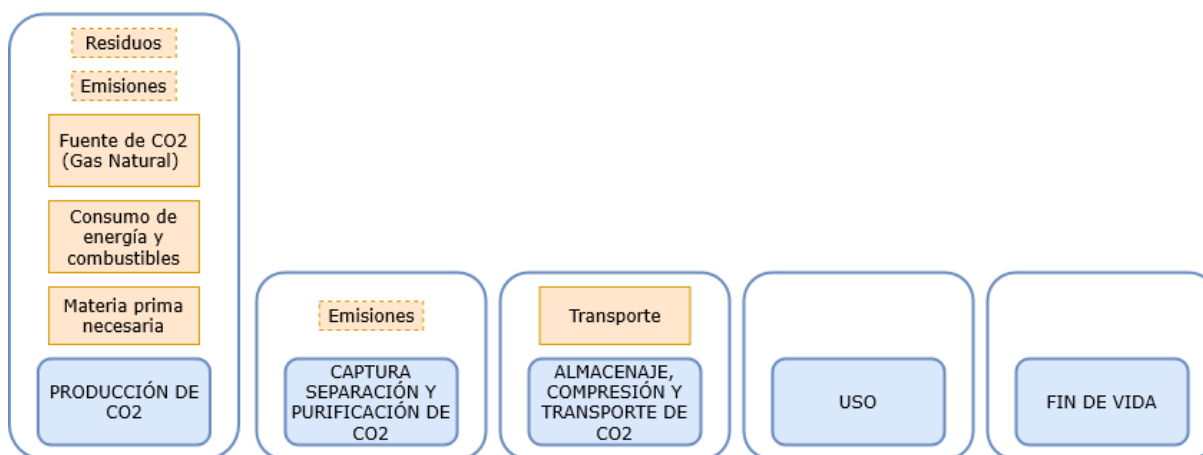


Figura 5. Esquema del sistema del escenario 1 (gas natural)

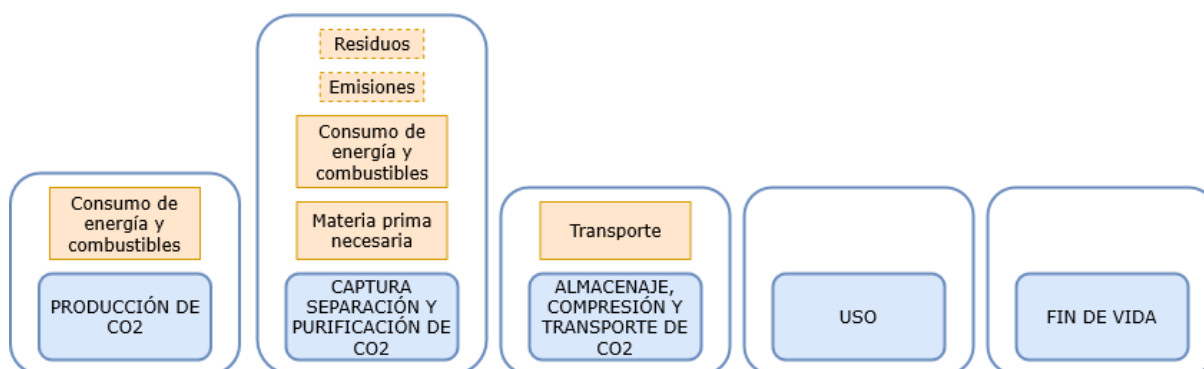


Figura 6. Esquema del sistema del escenario 2 (aprovechamiento gas industrial)

3.3. LÍMITES DEL SISTEMA

Los límites del sistema definen qué procesos y etapas del ciclo de vida son necesarios para cumplir la función definida por la unidad funcional y, por lo tanto, son parte del sistema de producto analizado. Los flujos que se intercambian entre procesos se denominan flujos técnicos, mientras que los flujos que se intercambian entre procesos y el medio ambiente se denominan flujos elementales. Los flujos técnicos y elementales significativos se recogen en el inventario del ciclo de vida (ver capítulo 4).

Los límites del sistema en este proyecto serán cuna a puerta (**cradle-to-gate**) para la unidad funcional de 1 tonelada de CO₂ lista para ser servida donde se incluyen todos esos procesos previos hasta su obtención. Pero para poder comparar su uso en el escenario de un invernadero, se estudiará un alcance más ampliado, alcance cuna a tumba (**cradle-to-grave**), incluyendo las etapas de distribución, uso y fin de vida.

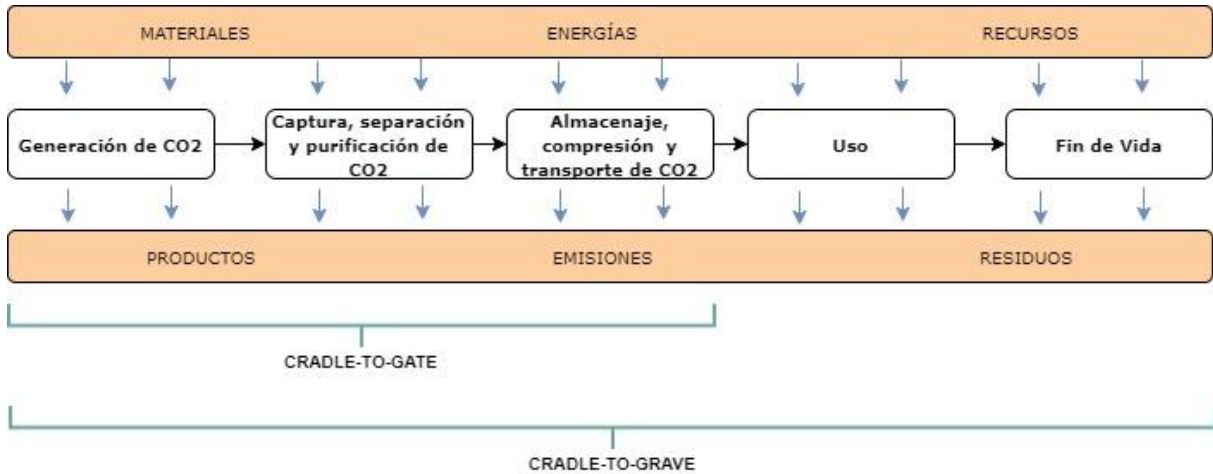


Figura 7. Límites del Sistema producto analizado para todos los escenarios

Según el estudio Global CO₂ Initiative (2020) para productos y combustibles con estructura química y composición idénticas a sus contrapartes convencionales, un enfoque de cuna a puerta es suficiente, porque “*dado que los productos son químicamente indistinguibles, tanto sus fases posteriores del ciclo de vida como los impactos ambientales serán idénticos*”.

Aún así, como uno de los objetivos finales del estudio de ACV es obtener una certificación EPD, es necesario incluir en los análisis un alcance ampliado cuna a tumba para cumplir con los requisitos de la PCR exigida por dicha certificación (Figura 8).

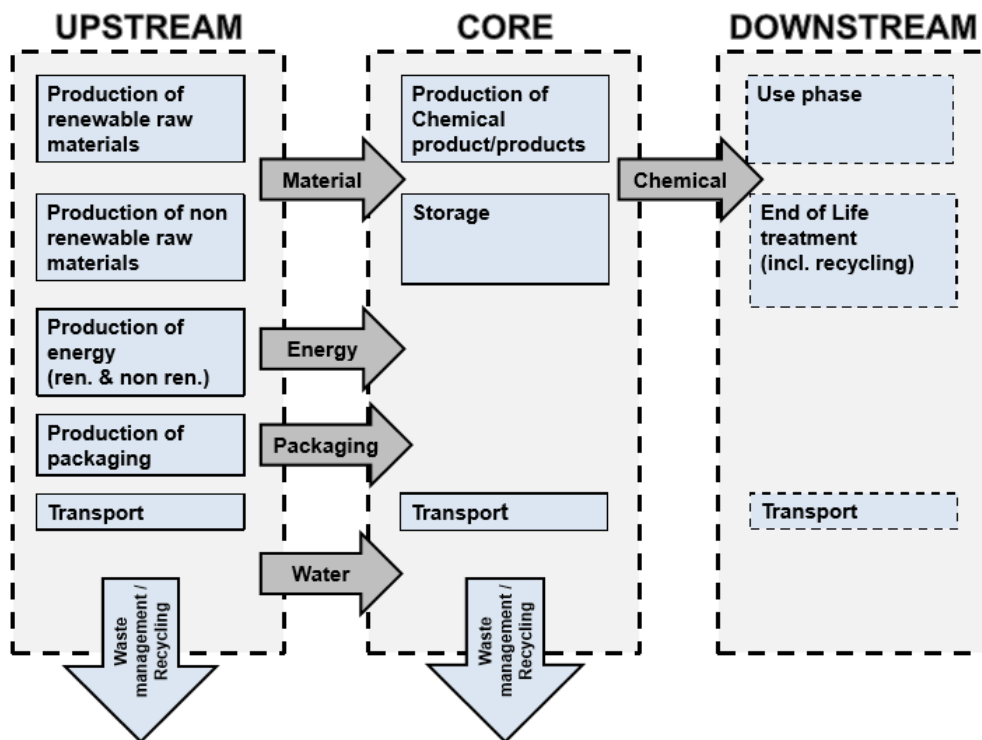


Figura 8. Límites del sistema según PCR 2011:18

Por todos los motivos anteriormente expuestos, los límites del sistema específicos que se incluyen en la evaluación:

- los procesos de adquisición de la materia prima (residuos forestales, combustibles fósiles u otros asociados a procesos generadores de emisiones industriales);
- la captura, separación y purificación de CO₂;
- el almacenamiento, compresión (si aplica) y transporte de CO₂;
- el uso del CO₂ (en el escenario de uso de invernadero)

Los beneficios asociados a la energía generada en la caldera de biomasa se verá reflejado como consumo de origen renovable en la planta de CO₂ cuando se analice el escenario 3 (futura versión de este informe).

Queda excluido de los límites del sistema:

- Construcción de las infraestructuras (fábricas e instalaciones).
- La fabricación de la maquinaria y equipos auxiliares implicados.
- La mano de obra y desplazamientos al puesto de trabajo del capital humano.

3.4. REQUISITOS RELATIVOS A LOS DATOS

Una vez definido el objetivo y el alcance del ACV a realizar, y antes de iniciar la tarea de inventario, es necesario definir las fuentes de datos más importantes y los datos a recopilar. Los datos de inventario de este estudio provendrán de medición directa siempre que resulte posible y bases de datos gubernamentales y/o internacionalmente aceptadas, fichas técnicas y fuentes bibliográficas contrastadas.

Para la selección de estos datos se tendrán en cuenta los siguientes factores, con el fin de que sean los más representativos posible:

- Tener en cuenta la tecnología actual o representativa del sistema bajo estudio.
- Tener en cuenta un alcance temporal reciente.
- Tener en cuenta un ámbito geográfico europeo.

3.4.1 Alcance tecnológico

El modelo ACV se ha creado en el software SimaPro v.9.0. Este software es el más utilizado y reconocido a nivel mundial para la realización de estudios de ACV. El software SimaPro contiene bases de datos de inventario reconocidas (por ejemplo, base de datos LCI de EE. UU., ELCD o ecoinvent), que proporcionan datos para procesos aguas arriba y aguas debajo de los procesos analizados.

El alcance tecnológico refleja que el modelo realizado en el software de ACV se asemeja lo más posible a la realidad tecnológica y física de los procesos analizados. Es por ello que los datos genéricos obtenidos de la base de datos **ecoinvent** 3.5 son analizados mediante análisis de sensibilidad y/o incertidumbre, para evaluar la idoneidad y similitud de los procesos tecnológicos empleados para la producción de energías, materias primas e insumos auxiliares y transportes del proyecto.

3.4.2 Alcance geográfico

Los datos utilizados son representativos de la región (mayoritariamente datos válidos para Europa, pero siempre que se pueda se ha intentado regionalizar más, como por ejemplo para el mix eléctrico, donde se han usado datos del mix español). La recopilación de datos primarios para el escenario 1 son facilitados por Carburos Metálicos, mientras que el escenario 2 parte de datos bibliográficos del artículo “Life cycle modelling of fossil fuel power generation with post-combustion CO2 capture”.

3.4.3 Alcance temporal

Los datos primarios facilitados por Carburos Metálicos para el escenario 1 tienen un alcance temporal inferior a 5 años. Los datos genéricos utilizados para ambos escenarios analizados, son obtenidos de las bases de datos de Ecoinvent 3.5, los cuales tienen una temporalidad menor a 10 años.

3.5. CRITERIOS DE CORTE

Las llamadas reglas de corte se aplican para esas entradas individuales que constituyen porcentajes muy pequeños de los insumos totales al sistema, y que se opta por dejar fuera del análisis. En el presente estudio no se aplican criterios de corte para las distintas categorías de impacto ni en ningún proceso unitario con el objetivo de reflejar en detalle el impacto de todo el ciclo de vida del producto CO2 para poder analizar minuciosamente sus impactos y beneficios ambientales y poder establecer conclusiones en las comparaciones de los diferentes escenarios planteados.

En aquellos casos en las que los datos de emisiones o de energía no están disponibles, se ha optado por una suposición utilizando, por lo general, el proceso análogo más cercano para el que se disponen datos.

3.6. CRITERIOS DE ASIGNACIÓN

El modelo de ciclo de vida planteado se considera un modelo de atribución, dado que describe la cadena de producción esperada, el uso, y la cadena de valor del residuo derivado del producto estudiado. La metodología de inventario se basa en una estrategia de asignación.

La asignación a lo largo de los procesos aguas arriba de plásticos, energía y otros recursos y materiales se consideran establecidos por defecto en los datasets de la base de datos deecoinvent.

La asignación de los datos primarios recogidos por los socios del proyecto se realiza empleando como base de la asignación propiedades físicas, así como la masa o el volumen. En los procesos de reutilización se evita la necesidad de asignación, ya que la utilización del material secundario sustituye la del material virgen.

3.7. HIPOTESIS Y ESTIMACIONES

En todo estudio del ciclo de vida existen datos difíciles de obtener y/o corroborar. Estos datos, necesarios para las modelizaciones y cálculos, se plantean a modo de suposición de forma tan cuidadosa como sea posible, dejando claramente explícitas cuales son las hipótesis tomadas, para que puedan ser modificadas fácilmente en caso que sea necesario.

- Se ha considerado que la electricidad consumida (excepto en aquellos casos donde se indique lo contrario) es electricidad en media tensión generada por el mix de producción eléctrica español del año 2019 (fuente: *Red Eléctrica Española*).

Tabla 1. Mix eléctrico español, REE 2019.

Carbón	9,24%
Lignito	0,02%
Fuel	0,94%
Gas natural	33,10%
Gas industrial	0,34%
Hidráulica	14,02%
Hidráulica de bombeo	0,82%
Nuclear	22,48%
Fotovoltaica	2,19%
Eólica	15,72%
Biomasa	1,13%
TOTAL MIX	100,00%

- El camión utilizado para modelar la etapa de transporte se ha considerado un camión Euro VI con capacidad superior a 32 toneladas.

Además de estas hipótesis genéricas presentadas aquí, en cada uno de los capítulos de Inventario de Ciclo de vida de los escenarios evaluados se detallarán las hipótesis y estimaciones específicas.

3.8. DESCRIPCIÓN CATEGORÍAS DE IMPACTO

Para la realización de la fase de Evaluación de impacto ambiental se ha utilizado la metodología CML-IA como principal metodología de cuantificación de impactos ambientales. La metodología de CML-IA, elaborada por el Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden en los Países Bajos, es una de las metodologías de ACV de referencia internacional.

La metodología CML-IA es una metodología de puntos intermedios (*Mid-point*), es decir, con un planteamiento orientado al problema ambiental. Para la caracterización utiliza 10 categorías de impacto (disminución de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad agua de mar, ecotoxicidad terrestre, oxidación fotoquímica, calentamiento global, acidificación, agotamiento de recursos abióticos y eutrofización), e incluye todas esas categorías de impacto normalmente incluidas en Declaraciones Ambientales de Producto.

Además, por su interés, se han seleccionado otras categorías de impacto para su análisis, que han sido modelizadas de igual forma en SimaPro por los siguientes métodos de evaluación: ILCD, CED, ReCiPe Midpoint y EDIP. A continuación, se muestran los diferentes métodos de evaluación utilizados para cada categoría de impacto:

Tabla 2. Categorías de impacto y sus metodologías

Categoría de impacto	Unidad	Método
Global warming potential - fossil	kg CO2 eq	GWP100, CML 2001 baseline (IPCC 2013)
Global warming potential - biogenic	kg CO2 eq	GWP100, CML 2001 baseline (IPCC 2013)
Global warming potential - land transformation	kg CO2 eq	GWP100, CML 2001 baseline (IPCC 2013)
Global warming potential - total	kg CO2 eq	GWP100, CML 2001 baseline (IPCC 2013)
Ozone depletion potential	kg CFC-11 eq	ODP
Acidification potential	kg SO2 eq	AP, CML 2001 non-baseline (fate not included)
Eutrophication potential	kg PO43- eq	EP, CML 2001 baseline (fate not included)
Photochemical ozone formation - CML-IA baseline	kg C2H4 eq	POFCML, CML 2001 baseline
Photochemical ozone formation - LOTOS-EUROS	kg NMVOC eq	POFP, LOTOS-EUROS as applied in ReCiPe 2008
Depletion of abiotic resources - elements	kg Sb eq	ADPelements, CML 2001, baseline
Total use of primary energy (non-renewable)	MJ	Cumulative Energy Demand non-renewable



Total use of primary energy (renewable)	MJ	Cumulative Energy Demand renewable
Net use of fresh water	m3	RECIPE Midpoint
Water scarcity potential	m3 eq	AWARE Method
Hazardous waste disposed	kg	EDIP Method
Non-hazardous waste disposed	kg	EDIP Method

4. ANÁLISIS DE INVENTARIO

Este capítulo se ha realizado siguiendo los criterios y requisitos de la norma UNE-EN ISO 14044. Se han cuantificado todas las entradas y salidas de cada una de las etapas del ciclo de vida de cada uno de los sistemas bajo estudio.

4.1. PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE DATOS

Durante la preparación previa del inventario, se realizó una revisión de las publicaciones relevantes y la información contenida en distintas bases de datos. También se ha diseñado específicamente para el proyecto un cuestionario de recogida de datos de inventario que será completado con datos primarios facilitados por los socios del proyecto. En el caso del escenario 2 el cuestionario es completado acorde al artículo investigado.

CUESTIONARIO DE DATOS DE INVENTARIO DE CICLO DE VIDA

Empresa:
 Fecha de cumplimentación:
 Persona y cargo:
 Email de contacto:
 Escenario analizado:
 Ubicación:
 Año de los datos:

Diagrama de flujo del proceso

En caso de haber sido facilitado con anterioridad, indicar nombre del archivo correspondiente

ETAPA 1. PRODUCCIÓN DE CO₂

Proceso	i.e. Caldera de biomasa / Combustión GN / Aprovechamiento gases industriales I...
Unidad de referencia (output)	i.e. Producción anual de energía eléctrica generada
Otros subproductos	Especificar (subproducto y cantidad generada; p.ej. CO ₂)

Nota: todos los datos deben referenciarse a la unidad de referencia. De lo contrario, proporcione la unidad de referencia en la columna de comentarios. Agregue líneas donde sea necesario

Datos de inventario						
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad	Unidad	Proveedor (nombre)	Distancia al proveedor	Comentarios
Consumo de energía o combustibles	Biomasa (en caso de más de una tipología o proveedor, replicar filas)		ton			Incluya propiedades que puedan ser relevantes (p.ej. en caso de biomasa, indicar origen-forestal, vegetal, etc.-, densidad, poder calorífico, humedad, etc.)
	Electricidad		Mwh		N.A	Indicar el proveedor (en caso de que sea autoconsumo de la propia central, especificar)
	Gas natural		m3		N.A	Indicar el proveedor
	Otros combustibles (especificar)					Indicar el proveedor
	Otro (especificar)					Indicar el proveedor

Cuestionario LCI
+

Nota: todos los datos deben referenciarse a la unidad de referencia. De lo contrario, proporcione la unidad de referencia en la columna de comentarios.
Agregue líneas donde sea necesario

Datos de inventario						
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad	Unidad	Proveedor (nombre)	Distancia al proveedor	Comentarios
Consumo de energía o combustibles	Biomasa (en caso de más de una tipología o proveedor, replicar filas)		ton			Incluya propiedades que puedan ser relevantes (p.ej. en caso de biomasa, indicar origen -forestal, vegetal, etc.-, densidad, poder calorífico, humedad, etc.)
	Electricidad		Mwh		N.A	Indicar el proveedor (en caso de que sea autoconsumo de la propia central, especificar)
	Gas natural		m3		N.A	Indicar el proveedor
	Otros combustibles (especificar)					Indicar el proveedor
	Otro (especificar)					Indicar el proveedor
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad	Unidad	Tipo de transporte desde proveedor (camión, barco, etc.)	Distancia al proveedor	Comentarios
Materias primas y auxiliares	Materias primas para el proceso					Describe brevemente su función. Replicar filas por cada materia
	Materias auxiliares tanto del proceso como de la maquinaria (aceites lubricantes, reactivos, etc.)					Describe brevemente su función. Replicar filas por cada materia auxiliar.
	Agua		m3			
	Otro (especificar)					
	Otro (especificar)					
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad	Unidad	Comentarios		
Emisiones	air			En caso de disponer de informes de ECA, registros de PRTR-España (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes), o similar, referenciar e indicar la fecha del informe o las medidas tomadas.		
	air			En caso de disponer de informes de ECA, registros de PRTR-España (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes), o similar, referenciar e indicar la fecha del informe o las medidas tomadas.		
	air			En caso de disponer de informes de ECA, registros de PRTR-España (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes), o similar, referenciar e indicar la fecha del informe o las medidas tomadas.		
	water			Replicar filas para emisiones al agua u otras emisiones al aire (COVs, partículas, etc.)		
	Otro (especificar)					
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad	Unidad	Tratamiento (vertedero, incineración, reciclaje, otros)	Distancia al punto de tratamiento	Comentarios
Residuos	No peligrosos (total)	0	ton			
	Especificar tipología (escorias, cenizas, etc.)		ton			
	Especificar tipología (escorias, cenizas, etc.)		ton			
	Peligrosos (total)	0	ton			
	Especificar tipología (escorias, cenizas, etc.)		ton			

ETAPA 2. CAPTURA, SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN DE CO2

Unidad de referencia (output)	i.e. Producción anual de CO2 comprimido
Otros subproductos	Especificar (subproducto y cantidad generada)

Nota: todos los datos deben referenciarse a la unidad de referencia. De lo contrario, proporcione la unidad de referencia en la columna de comentarios.
Agregue líneas donde sea necesario

B C D E F G H I J

ETAPA 3. ALMACENAJE, COMPRESIÓN Y TRANSPORTE DE CO2

Unidad de referencia (output)	i.e. 1 ton de CO2 listo para ser entregado
Forma de distribución	describir brevemente

Nota: todos los datos deben referenciarse a la unidad de referencia. De lo contrario, proporcione la unidad de referencia en la columna de comentarios.
Agregue líneas donde sea necesario

Datos de inventario						
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad	Unidad	Comentarios		
Consumo de energía	Electricidad		Mwh	Indicar el proveedor (en caso de que sea autoconsumo de la propia central, especificar)		
	Gas natural		m3	Indicar el proveedor		
	Otro (especificar)			Indicar el proveedor		
	Otro (especificar)			Indicar el proveedor		
	Otro (especificar)			Indicar el proveedor		
En caso de disponer información desglosada por procesos, a continuación por favor indicar equipos, potencias y tiempos						
Consumo de energía por equipos/procesos	Equipo	Potencia (kW)	Tiempo de uso	Total energía consumida (kw)	Comentarios	
	Compresión			0		
	Otros (especificar)			0		
	Otros (especificar)			0		
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad (peso contenedor/botella vacía)	Unidad	Tipo de transporte desde proveedor (camión, barco, etc.)	Distancia al proveedor	Comentarios
Materias primas y auxiliares	Especificar Materiales de almacenaje y transporte					Aplica en caso de CO2 comprimido y distribuido en botellas por ejemplo
	Otro (especificar)					
	Otro (especificar)					
Aspecto ambiental	Nombre	Cantidad	Unidad	Comentarios		
Emisiones y residuos	air			En caso de disponer de conocer emisiones específicas asociadas a la compresión, almacenaje y transporte. Sino dejar vacío.		
	air			En caso de disponer de conocer emisiones específicas asociadas a la compresión, almacenaje y transporte. Sino dejar vacío.		
	air			En caso de disponer de conocer emisiones específicas asociadas a la compresión, almacenaje y transporte. Sino dejar vacío.		
	water			Replicar filas para emisiones al agua u otras emisiones al aire (COVs, partículas, etc.)		
	Otro (especificar)			Replicar filas en caso de conocer residuos propios de esta etapa. Sino dejar vacío.		
Aspecto ambiental	Destino	Distancia	Unidad	Comentarios		
Escenario de distribución			km			
			km			
			km			
			km			
			km			

Figura 9. Imágenes del Cuestionario de recogida de datos para el escenario 1

Una vez se han detectado qué datos son los necesarios para el análisis se procede a hacer el inventario de ciclo de vida. Se detectan aquellos datos que están contenidos en las librerías implementadas en el software y modelan en el registro aquellos que constituyen una entrada específica o no se ha encontrado.

En la etapa de inventario, se cuantifican los flujos de materia y energía asociados a cada una de las etapas en las que se divide cada una de los sistemas que son objeto de estudio. Se procede a la recopilación de datos y realización de los cálculos adecuados para cuantificar las entradas y salidas de cada uno de los procesos de acuerdo con la unidad funcional descrita. Las entradas son las materias primas, materiales o energía y las salidas son las emisiones al aire, agua y suelo.

Respecto a las etapas en los que no se tiene acceso directo a datos específicos se utilizarán datos genéricos. Los datos genéricos son aquellos que no se recogen, miden o estiman directamente, sino que proceden de una base de datos de inventarios de ciclo de vida de terceros o de otra fuente que se ajuste a los requisitos de calidad. En este caso la base de datos seleccionada, como se ha mencionado anteriormente, es la de Ecoinvent 3.5 que se ajusta a los requisitos de calidad del método.

4.2. CALIDAD DE LOS DATOS

Para evaluar la calidad de los datos recopilados y validados para construir el Inventario del Ciclo de Vida en este estudio, se han evaluado varios parámetros: precisión de los datos, representatividad geográfica, representatividad temporal y representatividad del conjunto de datos Ecoinvent. La clasificación se ha llevado a cabo utilizando los siguientes parámetros de evaluación, que se han aplicado para todos los datos.

Tabla 3. Evaluación de la precisión de los datos

Calificación	Indicador de la precisión del dato
1	Dato obtenido directamente de la empresa
2	Dato estimado a partir de datos de la empresa
3	Dato estimado a partir de bibliografía o bases de datos comerciales

Tabla 4. Evaluación de la representatividad geográfica de los datos

Calificación	Indicador de la representatividad geográfica del dato
1	Dato del área bajo estudio
2	Promedio de un área mayor que incluye el área bajo estudio
3	Dato de otra área o de un área desconocida

Tabla 5. Evaluación de la representatividad temporal de los datos

Calificación	Indicador de la representatividad temporal del dato
1	Dato con menos de 5 años de antigüedad

2	Dato de entre 5 y 10 años de antigüedad
3	Dato de más de 10 años o de antigüedad desconocida

De forma similar a lo anteriormente explicado, también se ha evaluado la representatividad del ICV seleccionado de la base de datos de Ecoinvent 3.5 para poder calcular el impacto ambiental.

Tabla 6. Evaluación de la representatividad de los procesos de Ecoinvent v3.5

Calificación	Indicador de la representatividad del ICV de Ecoinvent 3.5
1	ICV representativo del dato
2	ICV representativo de un material o proceso similar
3	ICV no representativo

4.3. INVENTARIO ESCENARIO 1. SINTESIS CO2 A PARTIR DE GAS NATURAL

4.3.1 DATOS PROPORCIONADOS

Este escenario se ha construido a partir de los datos facilitados por el socio del proyecto CARBUROS METALICOS, de su planta de fabricación de CO2 en Tarragona.

Tabla 7. Datos Generales Escenario baseline 1

INFORMACIÓN GENERAL	
Empresa	Carburos metálicos -Airproducts
Localización de la planta	Tarragona
Año de los datos	2019
Escenario analizado	Síntesis de CO2 a partir de GN
Unidad funcional	1 tonelada de CO2
Unidad de referencia	68.908 t (Producción anual de CO2)
Comentarios	Producción de hidrógeno y CO2 a partir de gas natural Para la asignación se usa la Producción anual de CO2+H2 (113.425 toneladas).

Tabla 8. Datos inventario Escenario baseline 1

Aspecto ambiental	Entrada	PRODUCCIÓN DE CO2	CAPTURA, SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN DE CO2	ALMACENAJE, COMPRESIÓN Y TRANSPORTE DE CO2	USO	FIN DE VIDA	TOTAL	UNIDAD
ENTRADAS	Consumo de energía y combustibles	Biomasa para caldera					-	ton
		Electricidad	14.033.810				14.033.810,00	kWh

SALIDAS	Materiales	Gas natural	4.622.447,44				4.622.447,44	m3
		Gasoil	147,9				147,90	kg
		Carbón activo	2.330				2.330,00	kg
		Bentonita	170				170,00	kg
		Alúmina	4.700				4.700,00	kg
		MDEA	10.000				10.000,00	kg
	Transporte	Red canalizada alta presión					-	km
		Red canalizada baja presión					-	km
		Camión cisterna			800		800,00	km
	Emisiones	CO2	110.906.030	-68.908.000			41.998.030,00	kg
		NOx	148.460				148.460,00	kg
		CO	6.180				6.180,00	kg
		NH3	0				-	kg
		Part Solidas	1.284				1.284,00	kg
		CH4	100.910				100.910,00	kg
		SO x	1.017				1.017,00	kg
		N2	7.208				7.208,00	kg
		COVM	36.040				36.040,00	kg
	Residuos	Aceites minerales	720				720,00	kg
		Carbon activo	2.330				2.330,00	kg
Bentonita/Alumina		170				170,00	kg	
Otros no peligrosos		4.700				4.700,00	kg	
Aguas residuales no peligrosas		4.610				4.610,00	l	
Aguas residuales peligrosas		6.500				6.500,00	l	

A continuación, se muestran los mismos datos pero agregados para el total del flujo de referencia y escalados a 1 tonelada de CO2 producida (unidad funcional):

	Aspecto ambiental	Entrada / Salida	Dato de referencia	Por t CO2 producido	Unidades
ENTRADAS	Energía	Electricidad	14033810	123,728	kWh
	Materiales	Gas natural	4622447,44	40,753	m3
		Gasoil	147,9	0,001	kg
		Carbón activo	2330	0,021	kg
		Bentonita	170	0,001	kg
		Alúmina	4700	0,041	kg

		MDEA	1000	0,088	kg
	Transportes	Camión cisterna	800	800,00	tkm
SALIDAS	Emisiones	CO2	41998030	370,271	kg
		NOx	148460	1,309	kg
		CO	6180	0,054	kg
		Part Solidas	1284	0,011	kg
		CH4	100910	0,890	kg
		SO x	1017	0,009	kg
		N2O	7208	0,064	kg
		COVM	36040	0,318	kg
	Residuos	Aceites minerales	720	0,006	kg
		Carbón activo	2330	0,021	kg
		Bentonita/Alumina	170	0,001	kg
		Otros productos peligrosos	4700	0,041	kg
		Aguas residuales no peligrosas	4610	0,041	l
Aguas residuales peligrosas		6500	0,057	l	

4.3.2 SUPOSICIONES y ESTIMACIONES

Para la elaboración del inventario del ciclo de vida de cualquier ACV es necesaria la realización de hipótesis metodológicas. Estas hipótesis permiten acotar los distintos procesos de acuerdo al objetivo del ACV y de los medios disponibles para su realización. A continuación se detallan las principales hipótesis metodológicas hechas en el inventario de los diferentes procesos y el inventario de materiales requerido para cada proceso.

Las principales estimaciones y suposiciones establecidas para los cálculos de este escenario son las siguientes:

- El Gas Natural empleado en la planta como combustible y alimentación procede de la red general de distribución de Gas Natural en el área a unos 45 bar.
- La conversión de kNm³ a m³ de Gas Natural se establece del siguiente modo:
 - Caudal Gas Natural (2019, planta de Tarragona de CM): 191.284.240 Nm³ a 20°C (293,15 K) y 45 bar
 - Normal = 0°C (273,15 F) y 1 atm
 - Presión: 1 atm = 1,01325 bar
 - $191.284.240 \text{ Nm}^3 \times 293,15/273,15 \times 1,01325 \text{ bar} /45 \text{ bar} = 4.622.447 \text{ m}^3$
- Las bolas de alúmina se utilizan como soporte de catalizador, no tienen ninguna otra función en el proceso. En su fin de vida útil, las bolas de alúmina se envían a vertedero especializado.
- La bentonita, es un absorbente de fugas, cuando hay un pequeño vertido (aceite o similar), se añade bentonita y se puede recuperar ese vertido en forma sólida.

- El carbón activo sí se emplea en proceso, como sistema de purificación de amina (solvente empleado en captura de CO₂), y se reemplaza cada 4 años.
- Estimación de consumos (estimando una vida útil en función de bibliografía):

	Declaración Residuos 2017	Vida útil (reemplazo cada)	Estimación consumo anual:
Alúmina	23,50 t	5 años	4,7 t/año
Bentonita	0,50 t	3 años	0,17 t/año
Carbón activo	6,60 + 2,74 t = 9,34 t	3 años	3,11 t/año

- Se estima un transporte de 800km para venta a terceros del CO₂ producido desde Tarragona a Soria mediante camión cisterna (incluye ida y vuelta). Para este escenario, no se han introducido datos en la parte de uso y fin de vida de la herramienta.

4.4. INVENTARIO ESCENARIO 2. SINTESIS CO₂ A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE GASES INDUSTRIALES RESIDUALES

4.4.1 DATOS PROPORCIONADOS /INVESTIGADOS

Se trata de un escenario realizado a partir de datos bibliográficos del artículo científico indicado en la tabla siguiente:

Tabla 9. Datos Generales Escenario baseline 2

INFORMACIÓN GENERAL	
Fuente de los datos	Artículo: Korre A., Nie Z., Durucan S. Life cycle modelling of fossil fuel power generation with post-combustion CO ₂ capture. International Journal of Greenhouse Gas Control. Volume 4, Issue 2, 2010, Pages 289-300, ISSN 1750-5836.
Escenario analizado	Síntesis de CO ₂ a partir de aprovechamiento gases industriales
Unidad funcional	1 tonelada de CO ₂ producido
Unidad de referencia	0,735 t
Comentarios	Se trata de escenario simulado a partir de estudio de referencia sobre el aprovechamiento de gases en una central de cogeneración eléctrica de gasoil. El flujo de referencia del estudio es la producción de 1 MWh de electricidad que supone una salida de 0,73 t CO ₂ que se aprovecha.

En este estudio (Korre, 2010) se destaca que las tecnologías de captura de CO₂ requieren importantes cantidades de energía durante su implementación. Por ejemplo, el aumento en el consumo de combustible por kWh para las plantas que capturan el 90% de CO₂ mediante el uso de la mejor tecnología disponible varía del 11 al 22% para las plantas de ciclo combinado de gas natural y 14-25% para los sistemas de ciclo combinado de gasificación integrada de carbón en

comparación con plantas similares sin instalaciones de CCS. Además, el aumento del consumo de combustibles y productos químicos, como la monoetanolamina (MEA) y la piedra caliza que se utilizan para la captura de CO₂ y la desulfuración de los gases de combustión, se traduce en un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero tanto en el sitio como aguas arriba y otras emisiones ambientales. Además, este estudio concluye que los resultados del LCIA de la captura por absorción química demuestran que el proceso de captura reduce significativamente los gases de efecto invernadero del ciclo de vida pero también la toxicidad humana y los impactos de la formación de fotooxidantes. En cambio, el agotamiento de los recursos abióticos y los impactos de la ecotoxicidad aumentan en todos los procesos de captura.

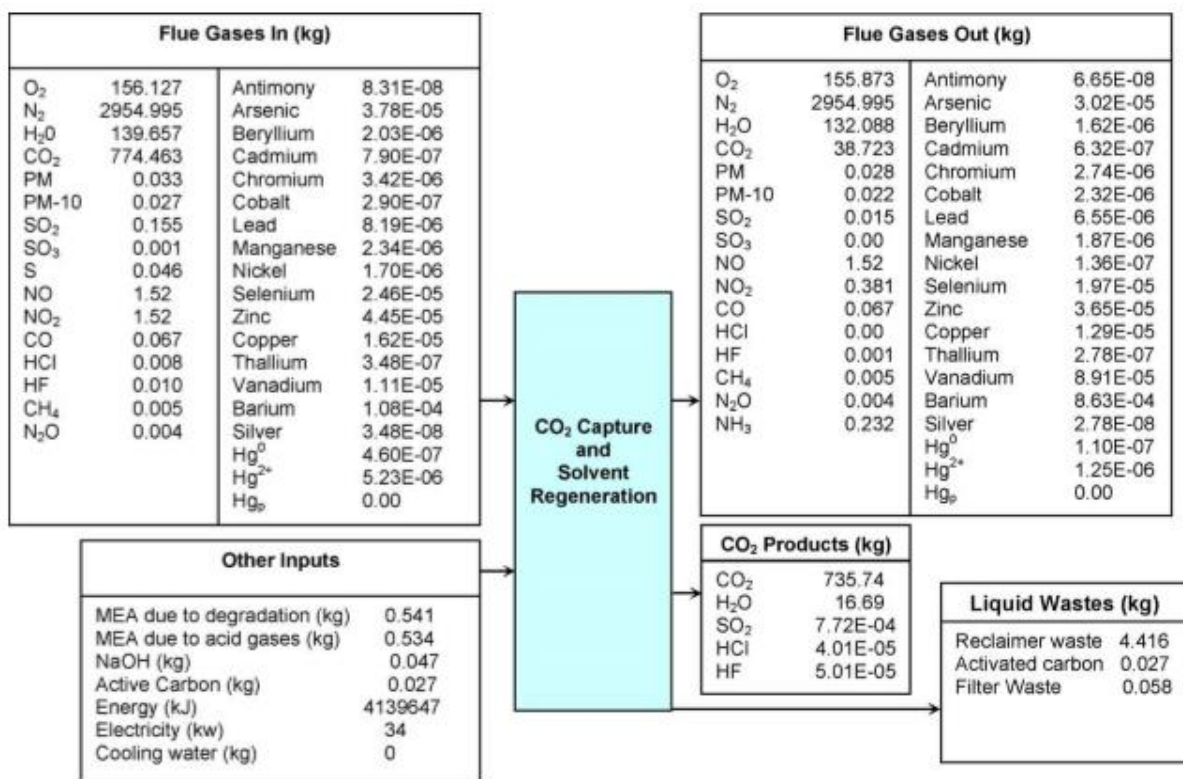


Figura 10. Datos de inventario del sistema de captura del escenario 2 por 1MWh de electricidad producido (Fuente: Korre, 2010)

Tabla 10. Datos inventario escalados a 1 tCO₂ producido (Escenario baseline 2)

	Aspecto ambiental	Entrada / Salida	Por t CO ₂ producido	UNIDAD
ENTRADAS	Energía	Caldera de gasoil	5626,51	MJ
		Electricidad	46,21	kWh
	Materiales	MEA	1,46	kg
		Carbón activo	0,04	kg
		NaOH 20%	0,06	kg
Transportes	Camión cisterna	800,00	tkm	
SALIDAS	Emisiones	CO ₂	52,63	kg
		NO _x	0,52	kg
		CO	0,09	kg
		NH ₃	0,32	kg
		Part Solidas	0,07	kg
		CH ₄	0,01	kg
		SO _x	0,02	kg
		O ₂	211,86	kg
		N ₂	4016,36	kg
		N ₂ O	0,01	kg
	H ₂ O	179,53	kg	
	Residuos	Carbon activo	0,04	kg
		Otros productos peligrosos	0,08	kg
		Aguas residuales peligrosas	6,00	l

4.4.2 ESTIMACIONES

Al igual que en el escenario anterior, para facilitar la comparación, se estima un transporte de 800km para venta a terceros del CO₂ producido mediante camión cisterna (considerando ida y vuelta). Para este escenario, no se han introducido datos en la parte de uso y fin de vida de la herramienta.

4.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS DATOS

A continuación se presenta el nivel de calidad de los datos utilizados en el ICV de ambos escenarios y, en consecuencia, la solidez del análisis.

4.5.1 ESCENARIO 1. SÍNTESIS DE CO₂ A PARTIR DE GAS NATURAL

Este escenario muestra los impactos ambientales de los procesos de síntesis de CO₂ mediante la combustión de gas natural en una planta real con procesos convencionales, de manera que los datos han sido proporcionados o estimados por la misma empresa, CARBUROS METÁLICOS. Al tratarse de datos reales, la calidad de los datos será precisa. Los datos proporcionados por CARBUROS METÁLICOS comprenden la actividad de esta planta situada en Tarragona desde el



año 2016 hasta el 2019, por tanto la adecuación temporal es menor a 5 años. En cuanto a la representatividad de los procesos en las diferentes etapas de la síntesis de CO₂, estos se han seleccionado siguiendo un criterio de adecuación tecnológica y cercanía geográfica al proyecto.

Tabla 11. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Producción de CO2

Aspecto ambiental	Proceso	Pre	Geo	Temp	Eco	Comentarios
Consumo de energía	Electricidad	1	1	1	2	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En Ecoinvent se ha extrapolado al mix energético de España, 2019, dato representativo de un proceso similar.
Materiales	Gas natural	1	1	1	2	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo de un proceso similar o equivalente.
	Gasoil	1	1	1	2	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo de un proceso similar o equivalente.
	Carbón activo	1	1	1	2	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo de un proceso similar o equivalente.
	Bentonita	2	1	1	1	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	Alúmina	2	1	1	1	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	MDEA	2	1	1	2	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
Emisiones	CO2	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	NOx	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	CO	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	NH3	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	Partes Solidas	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	CH4	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	SO x	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	N2	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	COVM	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
Residuos	Aceites minerales	2	1	1	2	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
	Carbon activo	1	1	1	1	Dato proporcionado por CM, es preciso, geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	Bentonita/Alumina	2	1	1	2	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.

Otros no peligrosos	2	1	1	2	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
Aguas residuales no peligrosas	2	1	1	2	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
Aguas residuales peligrosas	2	1	1	2	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.

Tabla 12. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO2

Aspecto ambiental	Proceso	Pre	Geo	Temp	Eco	Comentarios
Emisiones	CO2	2	1	1	1	Dato estimado por CM mediante cálculos del uso que se hace del material. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.

Tabla 13. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2

Aspecto ambiental	Proceso	Pre	Geo	Temp	Eco	Comentarios
Transporte	Camión cisterna	2	1	1	2	Dato estimado del proceso. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.

4.5.2 ESCENARIO 2. SÍNTESIS DE CO2 A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE GASES INDUSTRIALES RESIDUALES

El desarrollo de este escenario ha sido basado en datos bibliográficos, concretamente en el artículo “Life cycle modelling of fossil fuel power generation with post-combustion CO2 capture”, motivo por el que tanto la precisión de los datos, como la representatividad geográfica de los aspectos evaluados se les ha atribuido un “3”. Los datos introducidos en Simapro mediante Ecoinvent han sido ajustados para con la situación real.

Tabla 14. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Producción de CO2

Aspecto ambiental	Proceso	Pre	Geo	Tem	Eco	Comentarios
Consumo de energía	Caldera de gasoil	3	2	3	2	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). En ecoinvent el dato seleccionado es un proceso similar o equivalente.

Tabla 15. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO2

Aspecto ambiental	Proceso	Pre	Geo(*)	Tem	Eco	Comentarios
Consumo de energía	Electricidad	3	2	3	2	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). En Ecoinvent se ha extrapolado al mix energético de España, 2019, dato representativo de un proceso similar.
Materiales	MEA (monoethanolamine)	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	Carbón activo	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	NaOH 20%	3	2	3	2	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). En Ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
Emisiones	CO2	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.



	NOx	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	CO	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	NH3	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	Part Solidas	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	CH4	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	SO x	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	N2	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	COVM	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	O2	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	N2O	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
	H2O	3	2	3	1	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). El proceso seleccionado en ecoinvent es representativo del dato.
Residuos	Carbon activo	3	2	3	2	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). En Ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
	Otros productos peligrosos	3	2	3	2	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). En Ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
	Aguas residuales peligrosas	3	2	3	2	Dato obtenido mediante bibliografía. Geográficamente representa un área mayor en el que se incluye el área bajo estudio. Temporalmente mayor o igual a 10 años (2009). En Ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.

Tabla 16. Evaluación de la calidad de los datos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2

Aspecto ambiental	Proceso	Acc	Geo	Tem	Eco	Comentarios
Transporte	Camión cisterna	2	1	1	2	Dato estimado del proceso. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. En ecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.

(*) La representatividad geográfica del dato se debe a que el artículo “Life cycle modelling of fossil fuel power generation with post-combustion CO2 capture” está redactado desde Reino Unido pero es adaptable al área bajo estudio mediante el uso de procesos de Ecoinvent de modelización de la zona geográfica Europea.

5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

Después de realizar el análisis de inventario, siguiendo la norma UNE-EN ISO 14044, es necesario completar la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida. En este caso, como se ha comentado anteriormente, la evaluación se completará mediante la utilización del software Simapro v9. En esta etapa del análisis del ciclo de vida los datos de inventario serán caracterizados en diferentes categorías de impacto.

Para este informe se evaluarán dos escenarios (Síntesis de CO₂ a partir de gas natural; y, Síntesis de CO₂ a partir del aprovechamiento de gases industriales), ambos se clasificarán en diversas categorías de impacto siguiendo diferentes metodologías, como CML-IA, ILCD, CED, ReCiPe Midpoint y EDIP (ver Tabla 2). Con el fin de realizar una comparación entre ambos escenarios, en este caso los límites del sistema serán los establecidos previamente. Es decir, se evaluarán ambos escenarios de cuna a puerta para la unidad funcional de 1 tonelada de CO₂, desde su producción hasta su obtención previo a ser servido, de manera que solo se tendrán en cuenta las etapas de producción y captura, separación y purificación del CO₂.

Por otro lado, para ambos escenarios la etapa de almacenaje, compresión y transporte de CO₂ tiene las mismas entradas, por tanto es la etapa seleccionada para realizar un análisis de sensibilidad al proceso. Para evaluar el escenario del CO₂ verde es necesaria una nueva unidad de estudio, el CO₂ emitido aguas arriba por área de invernadero, que equivale a la etapa de uso. Por eso, se evaluará la etapa de uso sin realizar una comparación entre escenarios.

Los aspectos ambientales enumerados en el inventario son caracterizados mediante las categorías de impacto descritas en la tabla 17.

Tabla 17. Descripción de las categorías de impacto

	Categoría de impacto	Unidad	Descripción
GWPF	Global warming potential – fossil	kg CO ₂ eq	Potencial de Calentamiento Global debido a emisiones de GEI de origen fósil.
GWPB	Global warming potential - biogenic	kg CO ₂ eq	Potencial de Calentamiento Global debido a emisiones de GEI de origen biogénico.
GWPLT	Global warming potential - land transformation	kg CO ₂ eq	Potencial de Calentamiento Global debido a emisiones de GEI debidas a la transformación de la tierra.
GWPTOT	Global warming potential - total	kg CO ₂ eq	Esta categoría cuantifica el Potencial de Calentamiento Global TOTAL, este está relacionado con la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, pudiendo tener efectos adversos sobre la salud del ecosistema, la salud humana y el bienestar material. Es la suma de las 3 categorías de impacto anteriores.



ODP	Ozone depletion potential	kg CFC-11 eq	Degradación del ozono estratosférico debido a las emisiones de sustancias que agotan el ozono.
AP	Acidification potential	kg SO2 eq	Proceso de introducción de sustancias ácidas en el medio ambiente provocado por las emisiones a la atmósfera de óxidos de azufre y de nitrógeno provenientes principalmente de la quema de combustible fósiles.
EP	Eutrophication potential	kg PO43- eq	Proceso de acumulación de nutrientes en las aguas, representando un aumento de la producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos, disminuyendo el contenido de oxígeno debido a su descomposición.
POFCML	Photochemical ozone formation - CML-IA baseline	kg C2H4 eq	Formación de ozono a nivel del suelo de la troposfera causada por la oxidación fotoquímica de compuestos orgánicos volátiles y monóxido de carbono en presencia de óxidos de nitrógeno y luz solar, medido en etileno equivalente.
POFLOT	Photochemical ozone formation - LOTOS-EUROS	kg NMVOC eq	Formación de ozono a nivel del suelo de la troposfera medido en Compuestos Orgánicos Volátiles No -Metano.
ADP	Depletion of abiotic resources - elements	kg Sb eq	Indicador de escasez que combina producción anual mundial y reserva global final estimada de elementos individuales (metales y minerales) no renovables, convertidos a un elemento común, el Antimonio.
CEDNR	Cumulative Energy Demand (non-renewable) Total use of primary energy (non-renewable)	MJ	Demanda de energía acumulada (no renovable: fósil + nuclear+biomasa) expresada en MJ.
CEDR	Cumulative Energy Demand (renewable) Total use of primary energy(renewable)	MJ	Demanda de energía renovable acumulada (biomasa + solar, eólica, geotérmica + hidráulica) expresada en MJ.
NUW	Net use of fresh water	m3	Cantidad de agua fresca usada a lo largo del ciclo de vida en m3.
WSP	Water scarcity potential	m3 eq	Cuantificación del agua disponible relativa que queda por área, en relación al promedio mundial, una vez que se ha satisfecho la demanda de los seres humanos y los ecosistemas acuáticos.
HWD	Hazardous waste disposed	kg	Cantidad de residuos peligrosos acumulados en el ciclo de vida analizado (Hazardous + Radioactive waste).
NHWD	Non-hazardous waste disposed	kg	Cantidad de residuos no peligrosos acumulados en el ciclo de vida analizado.

5.1. ESCENARIO 1. SÍNTESIS DE CO₂ A PARTIR DE GAS NATURAL

En este apartado se han analizado los impactos del proceso de la síntesis de CO₂ mediante la combustión de gas natural en una planta real con procesos convencionales con el fin de localizar los aspectos ambientales más vulnerables y mejorables.

Para obtener los resultados de las categorías de impacto anteriormente mencionadas, los datos del inventario se introducen en Simapro v9 mediante un modelo creado para el sistema en concreto de cada escenario.

Los resultados presentados en la Tabla 18 y Figura 11 muestran que para la Categorías de impacto de Calentamiento Global (GWP de origen Fossil y GWP Total) las emisiones directas del proceso de síntesis de CO₂ son el principal responsable, debido no solo a las emisiones de CO₂ sino también al metano emitido en el proceso. En el resto de categorías de impacto, el aspecto ambiental con más repercusión varía entre el consumo de energía en la etapa de producción de CO₂ (principal responsable en las categorías de Acidificación, Eutrofización y Formación de ozono fotoquímico - CML-IA baseline) y el proceso derivado de la fase de transporte del CO₂ fabricado (principal responsable en las categorías de Formación de ozono fotoquímico - LOTOS-EUROS y Agotamiento de recursos abióticos).

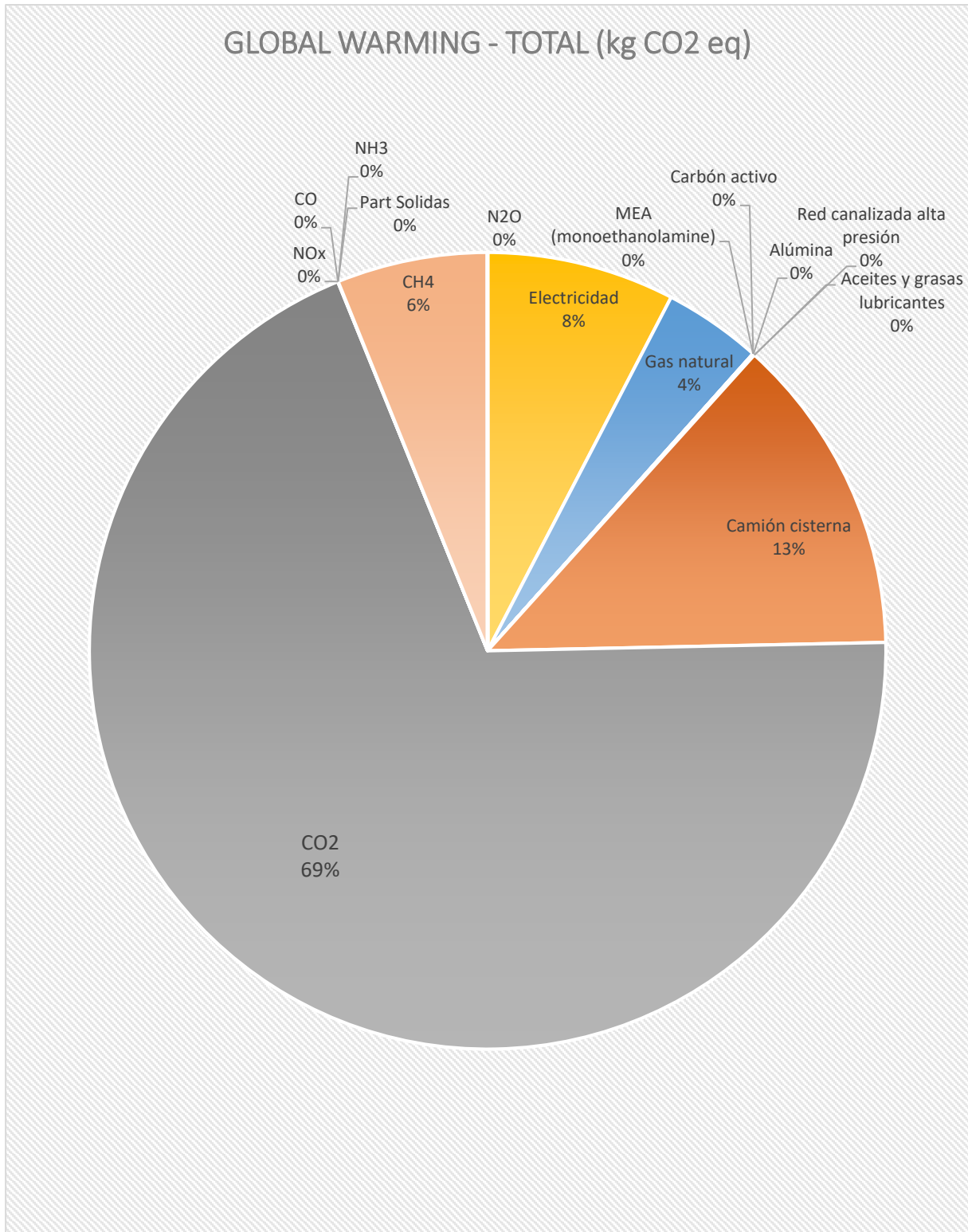


Figura 11. Resultados Impactos del Ciclo de vida Escenario 1 por aspecto ambiental evaluado



Tabla 18. Impactos totales por entradas y salidas para la síntesis de CO2 a partir de gas natural

Aspecto ambiental	Proceso	GWPF kg CO2 eq	GWPB kg CO2 eq	GWPLT kg CO2 eq	GWPTOT kg CO2 eq	ODP kg CFC-11 eq	AP kg SO2 eq	EP kg PO43- eq	POFCML kg C2H4 eq	POFLOT kg NMVOC eq	ADP kg Sb eq	CEDNR MJ	CEDR MJ	NUW m3	WSP m3 eq	HWD kg	NHWD kg
Consumo de energía	Electricidad	4,03E+01	1,05E-01	3,62E-01	4,08E+01	5,17E-06	3,23E-01	7,45E-02	1,16E-02	1,62E-01	1,44E-05	8,95E+02	2,12E+02	7,13E+02	2,21E+01	6,80E-03	2,63E+00
Materiales	Gas natural	2,13E+01	9,46E-03	3,98E-03	2,13E+01	1,44E-05	3,81E-02	9,96E-03	5,63E-03	5,98E-02	5,65E-06	2,04E+03	3,61E+00	1,54E+01	-9,39E+00	2,35E-03	7,02E-01
	Gasoil	6,96E-04	6,27E-07	2,33E-07	6,96E-04	8,93E-10	7,22E-06	9,24E-07	4,35E-07	4,15E-06	4,11E-10	7,42E-02	2,38E-04	1,05E-03	1,65E-04	5,23E-07	3,02E-05
	Carbón activo	7,08E-02	4,43E-05	2,93E-05	7,09E-02	2,17E-09	4,24E-04	1,20E-04	1,90E-05	2,05E-04	1,40E-08	8,84E-01	2,87E-02	1,33E-01	4,89E-03	1,82E-06	3,57E-03
	Bentonita	7,15E-05	7,48E-07	2,43E-08	7,22E-05	1,00E-11	4,66E-07	1,26E-07	1,85E-08	5,43E-07	4,33E-10	1,03E-03	3,53E-05	1,08E-04	2,59E-05	7,38E-09	1,91E-05
	Alúmina	7,02E-02	3,74E-05	2,06E-05	7,02E-02	4,80E-09	5,64E-04	1,42E-04	2,31E-05	3,01E-04	9,76E-07	7,29E-01	2,33E-02	1,32E-01	1,11E-02	1,07E-05	3,79E-02
	MDEA	2,55E-01	4,48E-04	1,60E-04	2,56E-01	1,18E-08	8,95E-04	5,18E-04	5,87E-05	7,04E-04	8,56E-07	6,44E+00	1,72E-01	7,83E-01	1,49E-01	1,01E-05	1,44E-02
Transporte	Camión cisterna	6,94E+01	2,42E-02	1,82E-02	6,95E+01	1,38E-05	1,82E-01	4,03E-02	1,08E-02	2,06E-01	1,35E-04	1,22E+03	1,22E+01	5,90E+01	6,70E+00	8,48E-03	9,77E+01
Emisiones	Emisiones del proceso	4,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	4,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,81E-03	1,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos	Aceites minerales	1,81E-02	2,78E-07	5,82E-08	1,81E-02	2,33E-11	1,16E-06	5,57E-06	3,49E-08	1,57E-06	4,59E-10	2,07E-03	7,98E-05	3,86E-04	2,44E-04	3,77E-08	2,25E-04
	Carbón activo	1,05E-03	1,10E-06	5,57E-07	1,05E-03	1,32E-10	5,47E-06	1,21E-06	2,23E-07	6,82E-06	1,96E-09	2,01E-02	4,03E-03	1,49E-03	2,21E-04	2,05E-02	5,46E-04
	Bentonita/Alúmina	1,60E-05	5,69E-08	6,51E-09	1,60E-05	4,27E-12	1,06E-07	3,33E-08	4,98E-09	1,45E-07	2,06E-11	4,26E-04	6,21E-06	3,16E-05	1,73E-05	2,74E-09	1,49E-03
	Otro residuos no peligrosos	4,44E-04	1,58E-06	1,81E-07	4,46E-04	1,19E-10	2,95E-06	9,25E-07	1,39E-07	4,03E-06	5,73E-10	1,18E-02	1,73E-04	8,80E-04	4,82E-04	7,62E-08	4,15E-02
	Aguas residuales no peligrosas	1,37E-05	1,40E-08	5,61E-09	1,37E-05	7,23E-13	4,82E-08	3,30E-08	3,71E-09	5,07E-08	5,62E-11	1,56E-04	7,70E-06	5,00E-05	-1,61E-03	7,29E-10	2,10E-05
	Aguas residuales peligrosas	2,79E-05	1,04E-06	1,98E-08	2,90E-05	1,99E-12	2,43E-07	7,72E-07	9,44E-09	1,34E-07	1,24E-10	3,47E-04	3,26E-05	1,49E-04	-1,07E-03	9,40E-09	2,84E-05

Tabla 19. Impactos de las emisiones directas de la síntesis de CO2 a partir de gas natural

	GWPF kg CO2 eq	GWPB kg CO2 eq	GWPLT kg CO2 eq	GWPTOT kg CO2 eq	ODP kg CFC-11 eq	AP kg SO2 eq	EP kg PO43- eq	POFCML kg C2H4 eq	POFLOT kg NMVOC eq	ADP kg Sb eq	CEDNR MJ	CEDR MJ	NUW m3	WSP m3 eq	HWD kg	NHWD kg
CO2	3,70E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,70E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CO	8,55E-02	0,00E+00	0,00E+00	8,55E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,47E-03	2,48E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CH4	3,27E+01	0,00E+00	0,00E+00	3,27E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,34E-03	8,99E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Los impactos causados por los diferentes aspectos ambientales son más fáciles de analizar mediante el siguiente gráfico en forma de red donde se muestran los resultados de GWP Total (kgCO2eq). Indicar que en el propio nodo denominado “Airproducts CO2” se encuentran evaluadas las emisiones directas de proceso, y solo se muestran en forma de nodos aguas arriba procesos en si (entradas y salidas a la tecnosfera) y no intercambios de recursos con la naturaleza como serían estas emisiones directas.

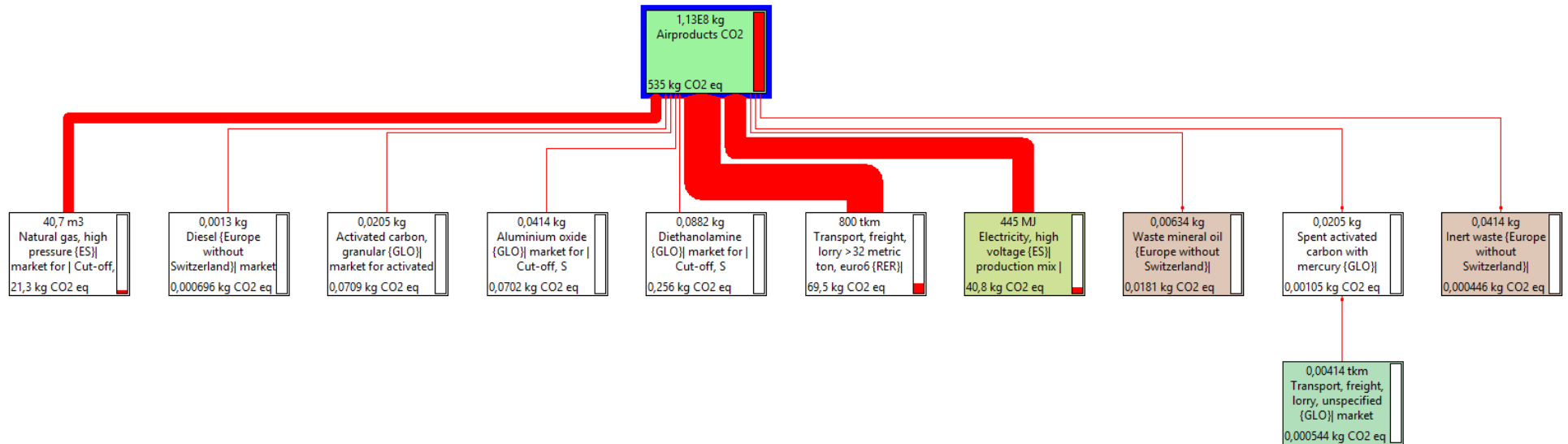


Figura 12. Rede de impactos totales por entradas y salidas para la síntesis de CO2 a partir de gas natural

Como se ha concluido a partir de la Tabla 18, el transporte es el aspecto ambiental que más afecta en el proceso, seguido por el consumo de energía del proceso de síntesis de CO2 (la electricidad y el gas natural consumido en la propia combustión). Debido a la selección del criterio de corte, los aspectos ambientales que se muestran en la Figura 12 no hacen el total de los insumos del proceso, ya que los aspectos que tengan un impacto menor al fijado por el criterio de corte (2%) quedarán fuera del esquema.

5.1.1 Producción de CO2 y Captura, Separación y Purificación de CO2

En este apartado se analiza el sistema de acuerdo a los límites del sistema cuna a puerta, es decir incluyendo solo las etapas de producción de CO2 y la captura, separación y purificación de CO2, y dejando fuera el transporte, uso y fin de vida. Mediante el software Simapro v9 se determinan los impactos clasificados por las categorías previamente seleccionadas:

Tabla 20. Impactos por etapas para la síntesis de CO2 a partir de gas natural

	GWPF kg CO2 eq	GWPB kg CO2 eq	GWPLT kg CO2 eq	GWPTOT kg CO2 eq	ODP kg CFC-11 eq	AP kg SO2 eq	EP kg PO43- eq	POFCML kg C2H4 eq	POFLOT kg NMVOC eq	ADP kg Sb eq	CEDNR MJ	CEDR MJ	NUW m3	WSP m3 eq	HWD kg	NHWD kg
Produccion CO2	1,07E+03	1,15E-01	3,66E-01	1,07E+03	1,96E-05	3,63E-01	8,53E-02	2,41E-02	2,34E-01	2,19E-05	2,9E+03	2,2E+02	7,3E+02	1,3E+01	3,0E-02	3,4E+00
Captura, Separacion y Purificacion CO2	-6,08E+02	0,00E+00	0,00E+00	-6,08E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Siguiendo la evaluación de impactos por etapas del escenario 1, se observa que la etapa de Captura, Separación y Purificación solo se ha modelado contabilizando el beneficio ambiental que supone la captura de CO2, y, por el contrario, la etapa de Producción contabiliza todos los impactos del escenario. Debido a que la etapa de Captura, Separación y Purificación es la encargada de capturar el CO2 procedente de la etapa de Producción, estos se contabilizan como impactos negativos (beneficios ambientales) en la categoría que mide los gases de efecto invernadero, Global Warming Potential (en este caso, Fossil y Total). En la Figura 12 se muestran los impactos por entradas y salidas para la etapa de Producción de CO2 en el escenario de síntesis de CO2 a partir de gas natural.

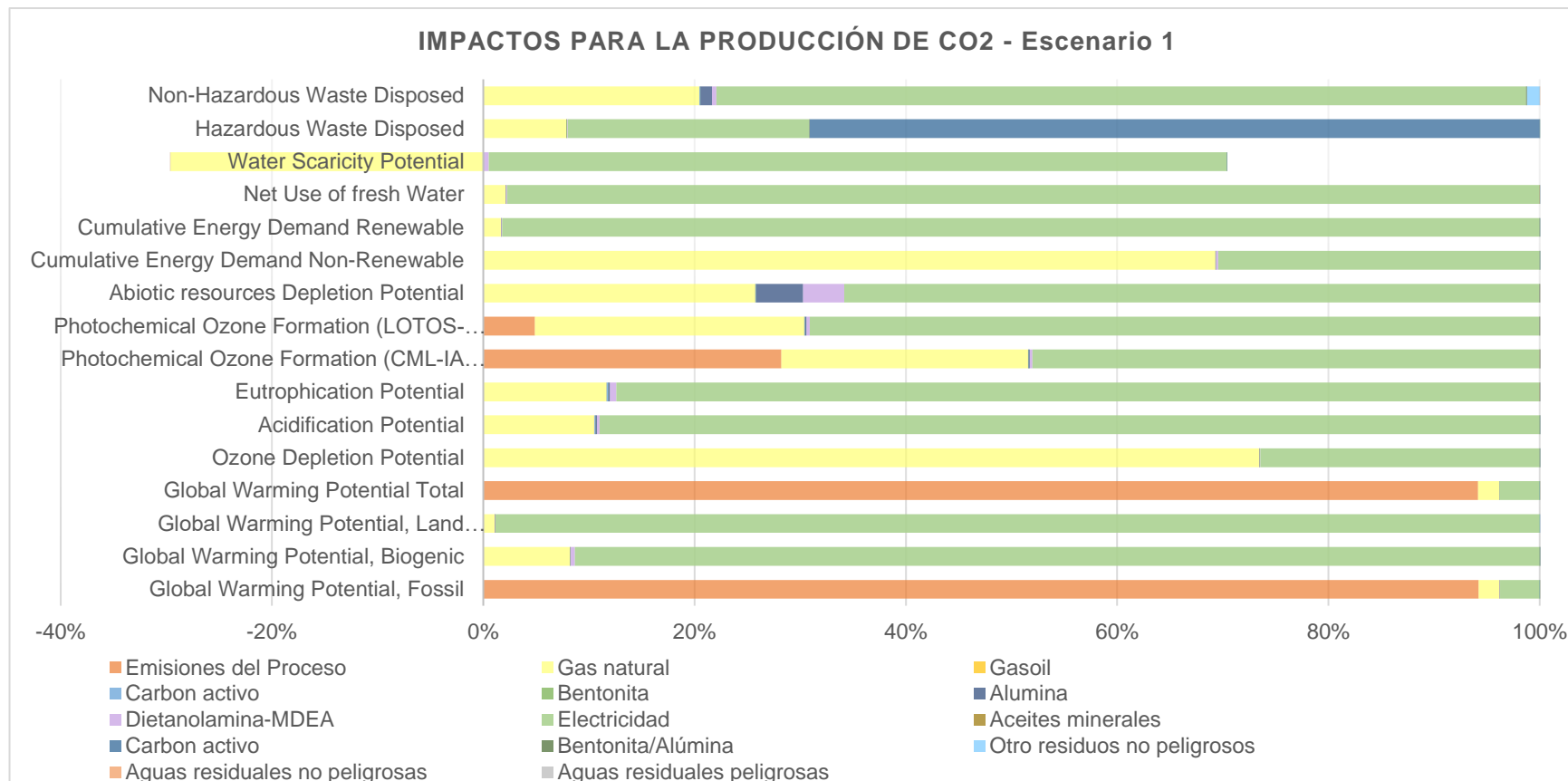


Figura 13. Impactos por entradas y salidas para la etapa de Producción de CO2 en la síntesis de CO2 a partir de gas natural

En el caso de la Producción de CO2 mediante la síntesis a través de gas natural, los insumos de electricidad y gas natural son los que mayor repercusión tienen en todas las categorías de impacto analizadas. Las emisiones directas del proceso generan impactos mayormente en las categorías que miden el efecto de los gases invernadero en la atmósfera, GWP (Global Warming Potential). Por último, el carbon activo residual, al tratarse de un residuo peligroso, tiene gran influencia en la categoría HWD (Hazardous Waste Disposed). Para la mejora del proceso y disminución de los impactos

ambientales, esos serían los aspectos ambientales que tendrían que optimizarse mediante una mayor eficiencia del proceso que derivara en un consumo menor o mediante una propuesta de proceso alternativo.

5.1.2 Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2

En este apartado se incluyen las etapas complementarias a las anteriormente analizadas para completar un alcance de cuna a tumba.

En este sentido, en la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte, el aspecto ambiental a evaluar ha sido únicamente el transporte mediante carretera del CO2. Se plantea un escenario donde se evalúa el impacto de distribuir en camión el CO2 producido recorriendo una distancia de 800km (ida y vuelta de Tarragona a Soria).

Tabla 21. Impactos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2 en la síntesis de CO2 a partir de gas natural

	GWPF kg CO2 eq	GWPB kg CO2 eq	GWPLT kg CO2 eq	GWPTOT kg CO2 eq	ODP kg CFC- 11 eq	AP kg SO2 eq	EP kg PO43- eq	POFCML kg C2H4 eq	POFLOT kg NMVOC eq	ADP kg Sb eq	CEDNR MJ	CEDR MJ	NUW m3	WSP m3 eq	HWD kg	NHWD kg
Almacenaje, Compresion y Transporte CO2	6,94E+01	2,42E-02	1,82E-02	6,95E+01	1,38E-05	1,82E-01	4,03E-02	1,08E-02	2,06E-01	1,35E-04	1,2E+03	1,2E+01	5,9E+01	6,7E+00	8,5E-03	9,8E+01



5.1.3 Uso de CO2

Para facilitar la comparación entre ambos escenarios y el futuro caso del escenario del CO2 verde, se añade una nueva unidad de evaluación. Mediante esta unidad se quiere contabilizar la cantidad de CO2 usado por área de invernadero en el será empleado.

Teniendo en cuenta que el invernadero tiene un área de 21ha, es decir, 210000m² y que diariamente son necesarios un promedio de 60 gCO₂/m²/día, es posible calcular la demanda de CO2 en el invernadero:

$$\frac{210000 \times 60}{1000} = 12600 \text{ kgCO}_2/\text{día}$$

La categoría de impacto GWPTOT, Global Warming Potential Total, mide los kg de CO2 equivalentes emitidos a la atmósfera. Por lo tanto, tras realizar la simulación del escenario 1 mediante el software SIMAPRO es posible conocer los kgCO₂ emitidos: 535,1 kgCO₂. Así pues, la cantidad de emisiones necesaria para cubrir la demanda del invernadero con este sistema es la siguiente:

$$\frac{12600 \text{ kgCO}_2}{\text{día}} \times 365 \text{ día} = 4.599.000 \text{ kgCO}_2 \text{ demanda}$$
$$4.599.000 \text{ kg CO}_2 \text{ demanda} \times 535,1 \frac{\text{kgCO}_2 \text{ emitidos}}{\text{tCO}_2 \text{ producidos}} \times \frac{1}{1000} = 2.460.924,9 \text{ kgCO}_2$$

Este dato se puede interpretar como las emisiones de CO2 producidas aguas arriba por el CO2 usado durante un año en el invernadero de ALEIA de una superficie de 21 hectáreas.



5.2. ESCENARIO 2. SÍNTESIS DE CO₂ A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE GASES INDUSTRIALES RESIDUALES

El desarrollo de este escenario se ha basado en un estudio (Anna Korre, 2010) sobre el aprovechamiento de gases industriales de una central de cogeneración eléctrica de gasoil. A partir de esos datos, se ha modelado un sistema adaptado a la localización de estudio donde se instalará la planta de CO₂ Verde, Garray (Soria), por tanto, es un potencial escenario para la síntesis de CO₂ que sirve para realizar la comparación de los impactos ambientales asociados a distintos tipos de tecnologías. En este sentido, se evalúan los impactos por entradas y salidas de cada etapa teniendo en cuenta los límites de cuna a puerta atendiendo al esquema que indica la Figura 6 y un alcance extendido cuna a tumba donde se simula una fase de distribución y uso similar a la del escenario 1.

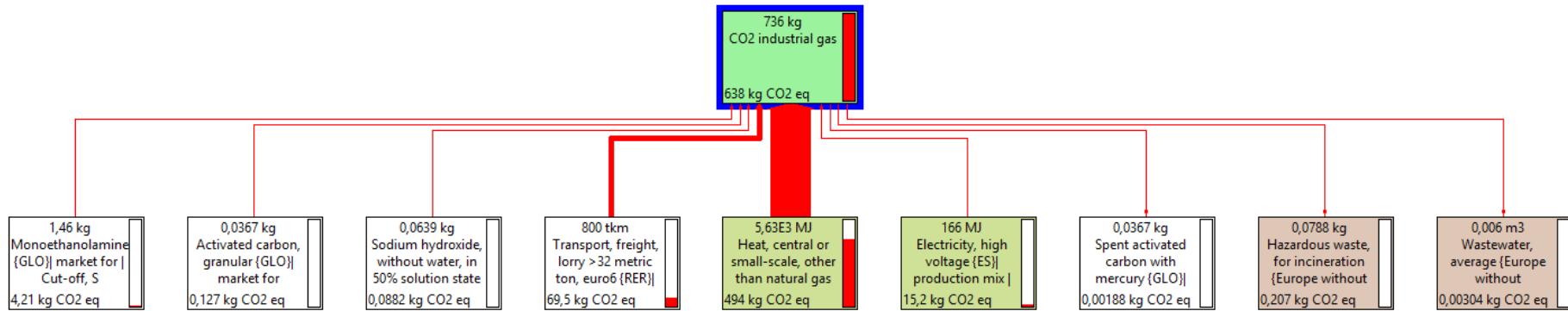
Analizando los resultados mostrados en la tabla 22 se comprueba que el aspecto ambiental con mayor repercusión en todas las categorías de impacto es la energía producida en la caldera de gasoil aún tratándose de un aprovechamiento de gas residual post-combustión, donde el impacto de esa caldera no se atribuye solo a la síntesis de CO₂ sino que es un subproducto de la producción de energía eléctrica del sistema. Este impacto derivado de la caldera de gasoil incluye no solo las emisiones derivadas de la combustión de la caldera sino también el impacto aguas arriba del combustible desde su obtención de la naturaleza. Al igual que para el escenario 1, además del impacto de la caldera, el transporte y la electricidad son los aspectos ambientales con mayores impactos.

Tabla 22. Impactos totales por entradas y salidas para la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales residuales

Aspecto ambiental	Proceso	GWPF kg CO2 eq	GWPB kg CO2 eq	GWPLT kg CO2 eq	GWPTOT kg CO2 eq	ODP kg CFC-11 eq	AP kg SO2 eq	EP kg PO43- eq	POFCML kg C2H4 eq	POFLOT kg NMVOC eq	ADP kg Sb eq	CEDNR MJ	CEDR MJ	NUW m3	WSP m3 eq	HWD kg	NHWD kg
Consumo de energía	Caldera de gasoil	4,94E+02	9,31E-02	4,48E-02	4,94E+02	9,06E-05	1,17E+00	1,45E-01	6,09E-02	6,21E-01	1,24E-04	7,60E+03	4,08E+01	1,70E+02	1,65E+01	5,37E-02	4,48E+00
	Electricidad	1,51E+01	3,94E-02	1,35E-01	1,52E+01	1,93E-06	1,21E-01	2,78E-02	4,33E-03	6,05E-02	5,40E-06	3,34E+02	7,93E+01	2,66E+02	8,27E+00	2,54E-03	9,83E-01
Materiales	MEA (monoethanolamine)	4,20E+00	6,84E-03	2,48E-03	4,21E+00	2,49E-07	1,55E-02	1,09E-02	9,39E-04	1,12E-02	1,42E-05	1,02E+02	2,66E+00	1,21E+01	2,72E+00	1,85E-04	2,35E-01
	Carbón activo	1,26E-01	7,91E-05	5,23E-05	1,27E-01	3,87E-09	7,58E-04	2,14E-04	3,40E-05	3,66E-04	2,50E-08	1,58E+00	5,13E-02	2,37E-01	8,74E-03	3,25E-06	6,38E-03
	NaOH	8,78E-02	2,42E-04	1,31E-04	8,82E-02	5,20E-08	4,26E-04	1,97E-04	1,70E-05	2,64E-04	4,12E-07	1,20E+00	1,14E-01	6,33E-01	8,56E-02	6,69E-06	1,31E-02
Transporte	Camión cisterna	6,94E+01	2,42E-02	1,82E-02	6,95E+01	1,38E-05	1,82E-01	4,03E-02	1,08E-02	2,06E-01	1,35E-04	1,22E+03	1,22E+01	5,90E+01	6,70E+00	8,48E-03	9,77E+01
Emisiones	Emisiones del proyecto	5,46E+01	0,00E+00	0,00E+00	5,46E+01	0,00E+00	0,00E+00	1,47E-03	2,50E-03	4,22E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos	Carbón activo	1,87E-03	1,97E-06	9,96E-07	1,88E-03	2,37E-10	9,77E-06	2,17E-06	3,99E-07	1,22E-05	3,50E-09	3,59E-02	7,20E-03	2,67E-03	3,95E-04	3,67E-02	9,75E-04
	Otro residuos peligrosos	2,06E-01	7,16E-04	3,86E-05	2,07E-01	1,54E-08	5,28E-04	2,88E-04	1,06E-04	3,53E-04	1,23E-07	8,47E-01	4,22E-02	1,92E-01	2,65E-02	4,32E-06	3,58E-02
	Aguas residuales peligrosas	2,93E-03	1,08E-04	2,08E-06	3,04E-03	2,08E-10	2,54E-05	8,09E-05	9,89E-07	1,41E-05	1,30E-08	3,64E-02	3,41E-03	1,57E-02	-1,12E-01	9,85E-07	2,97E-03

En el siguiente gráfico en forma de red (Figura 13) es más sencillo de verificar qué aspectos ambientales son los causantes de los mayores impactos. Debido a la selección del criterio de corte (2%), los aspectos ambientales que se muestran en la Figura 14 no hacen el total de los insumos del proceso, ya que los aspectos que tengan un impacto menor al fijado por el criterio de corte quedarán fuera del esquema.

Figura 14. Red de impactos por entradas y salidas para la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales



5.2.1 Producción de CO2 y Captura, Separación y Purificación de CO2

En cuanto a la evaluación del escenario 2 por etapas, dentro de los límites del sistema cuna a puerta, se evalúan la etapa de Producción de CO2 y la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO2:

Tabla 23. Impactos por etapas para la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales residuales

	GWPF	GWPB	GWPLT	GWPTOT	ODP	AP	EP	POFCML	POFLOT	ADP	CEDNR	CEDR	NUW	WSP	HWD	NHWD
	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CFC-11 eq	kg SO2 eq	kg PO43-eq	kg C2H4 eq	kg NMVOC eq	kg Sb eq	MJ	MJ	m3	m3 eq	kg	kg
Producción CO2	4,94E+02	9,31E-02	4,48E-02	4,94E+02	9,06E-05	1,17E+00	1,45E-01	6,09E-02	6,21E-01	1,24E-04	7,60E+03	4,08E+01	1,70E+02	1,65E+01	5,37E-02	4,48E+00
Captura, Separación y Purificación CO2	7,43E+01	4,74E-02	1,38E-01	7,45E+01	2,25E-06	1,38E-01	4,10E-02	7,92E-03	7,69E-02	2,02E-05	4,40E+02	8,21E+01	2,80E+02	1,10E+01	3,94E-02	1,28E+00

A diferencia que en el escenario 1, en este escenario ambas etapas suponen contribuyen a los impactos del proceso. En este caso, la etapa de Producción de CO2 está formada por la generación del CO2 a raíz de la combustión de una caldera de gasoil, sin embargo, sus impactos son mayores



que los de la etapa de Captura, Separación y Purificación en la mayoría de las categorías evaluadas, a pesar de que esta segunda etapa sea la más compleja en cuanto a entradas y salidas de este escenario.

La caldera supondrá impactos mayoritariamente en la categoría de Cumulative Energy Demand Non Renewable debido al uso de combustible fósil para su funcionamiento. De la misma manera, las categorías de Global Warming Potential, Fossil y Total son afectadas debido a las emisiones por el uso de combustible fósil.

De modo análogo al escenario 1, se realiza la evaluación por entradas y salidas de cada etapa para determinar los aspectos (entradas y salidas evaluadas) que más repercuten en cada categoría de impacto.

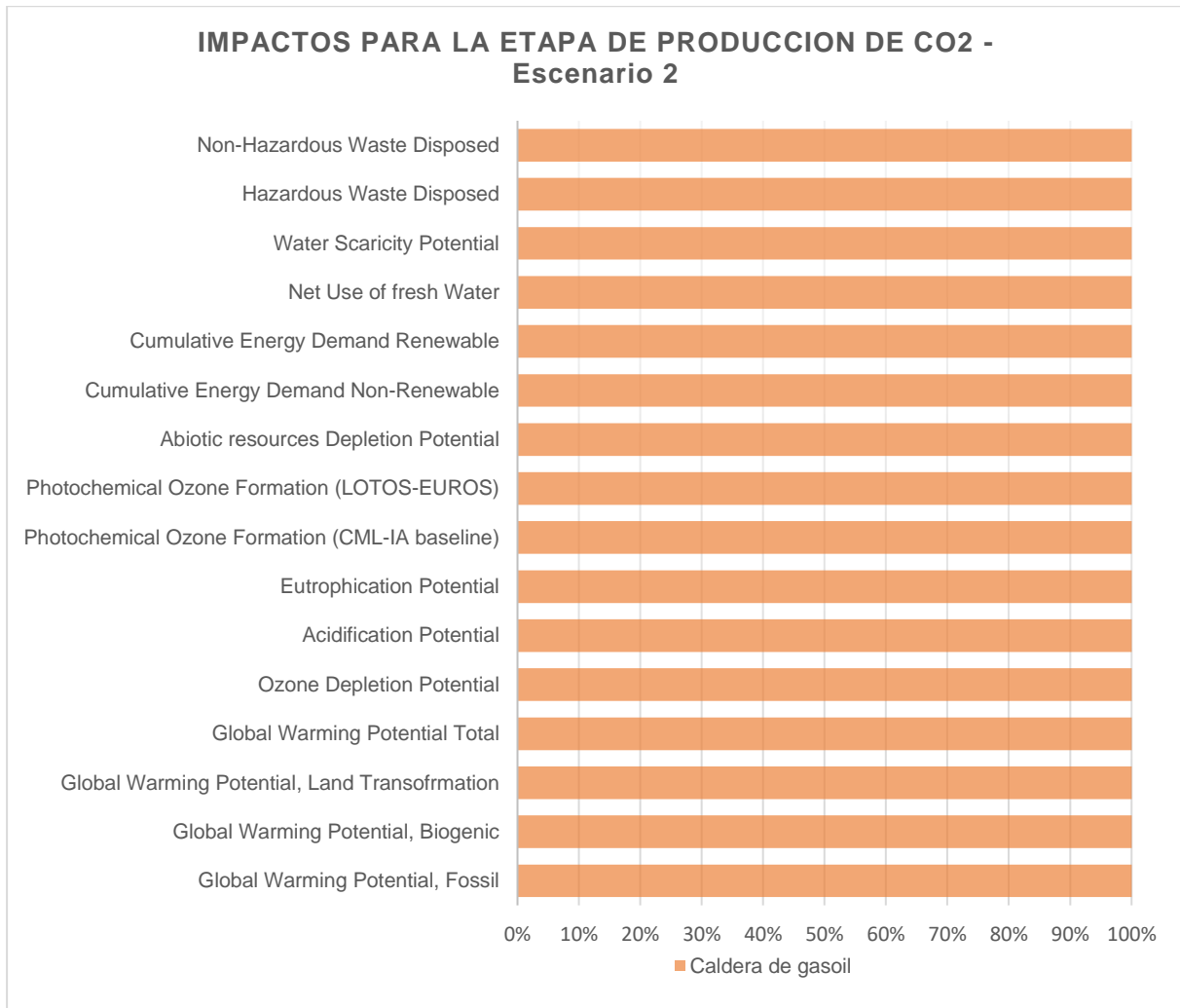


Figura 15. Impactos para la etapa de producción de CO2 para la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales

En la etapa de Producción de CO2, se incluye exclusivamente el proceso de funcionamiento de una caldera de gasoil, evaluando en concreto el consumo de energía y las emisiones de la propia operación de la caldera. Destacar que los impactos de su actividad sobrepasan a los generados por el proceso de Captura, Separación y Purificación de CO2 (ver Tabla 23). Al estar formado por un solo proceso, todos los impactos evaluados mediante las categorías de impacto seleccionadas serán debidos a la actividad de la caldera de gasoil.

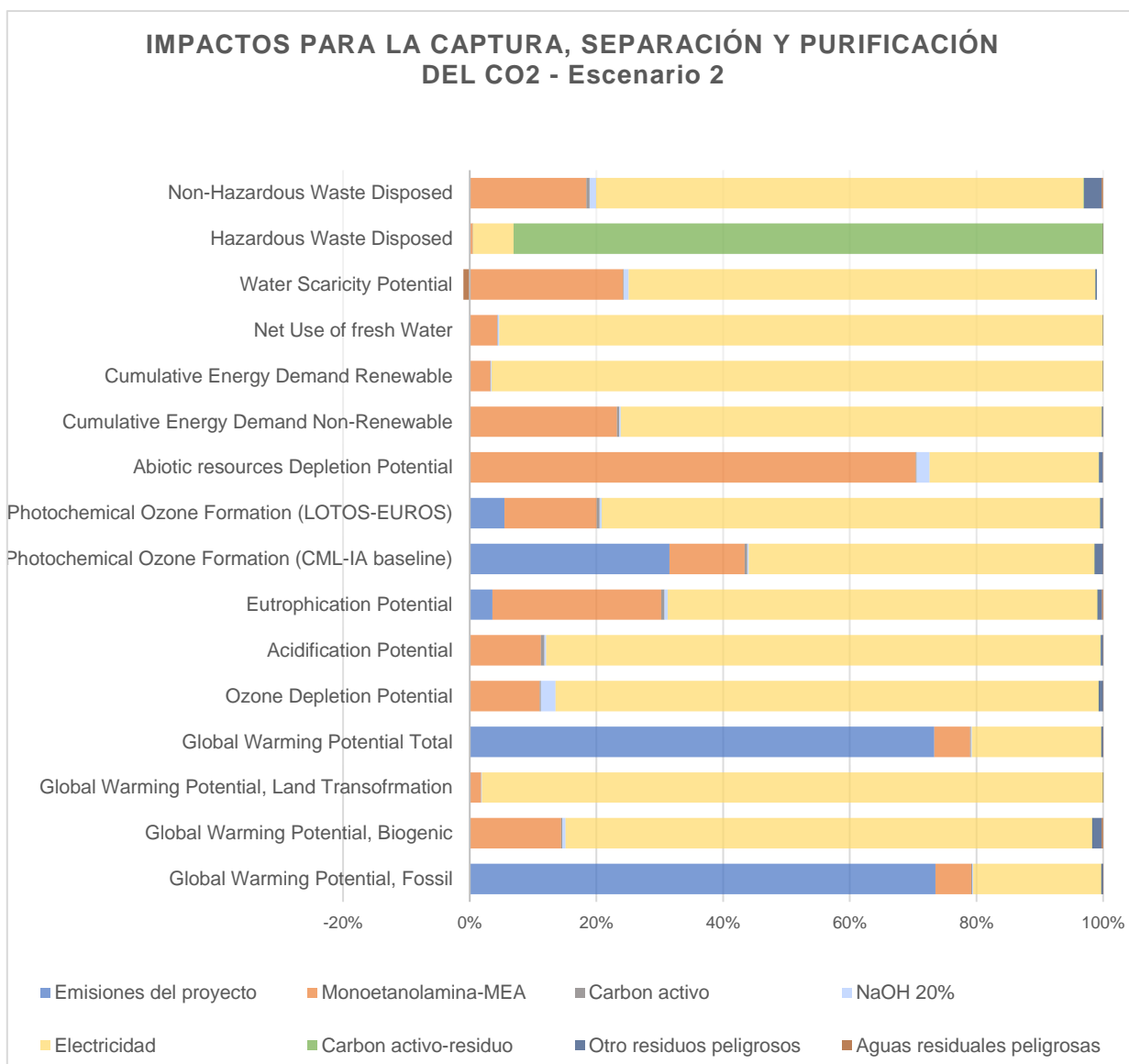


Figura 16. Impactos para la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO2 para la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales

Para el caso de la Captura, Separación y Purificación de CO2, el consumo de energía, en concreto la electricidad, es el aspecto ambiental que mayor repercusión tiene, siendo el principal contribuyente en la mayoría de las categorías de impacto analizadas.

Por otro lado, los impactos generados por la monoetanolamina (MEA) tienen repercusión en todas las categorías analizadas, siendo la categoría de Potencial de Degradación de Recursos Abióticos la categoría en la que mayores impactos supone (alrededor del 70%).



Para las categorías de Global Warming Potential se tienen en cuenta las emisiones de GEI, y, en esta etapa, las emisiones directas del proceso son las que más impactos tienen en GWP (Fossil y Total). Las emisiones directas del proceso también tienen repercusión en las categorías de POFLOT Y POFMCL.

Por último, el carbon activo residual, al tratarse de un residuo peligroso, es el aspecto ambiental que mayores impactos supone (más del 92%) en la categoría de Residuos peligrosos (HWD-Hazardous Waste Disposed).

5.2.2 Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2

Al igual que en el escenario 1, esta etapa está compuesta únicamente por el transporte del CO2 fabricado, por tanto los impactos serán todos atribuidos al camión que recorre una distancia estimada de 800km (ida y vuelta de Tarragona a Soria).

Tabla 24. Impactos para la etapa de Almacenaje, Compresión y Transporte de CO2 en la síntesis de CO2 a partir del aprovechamiento de gases industriales residuales

	GWPF kg CO2 eq	GWPB kg CO2 eq	GWPLT kg CO2 eq	GWPTOT kg CO2 eq	ODP kg CFC-11 eq	AP kg SO2 eq	EP kg PO43- eq	POFCML kg C2H4 eq	POFLOT kg NMVOC eq	ADP kg Sb eq	CEDNR MJ	CEDR MJ	NUW m3	WSP m3 eq	HWD kg	NHWD kg
Almacenaje, Compresión y Transporte CO2	6,94E+01	2,42E-02	1,82E-02	6,95E+01	1,38E-05	1,82E-01	4,03E-02	1,08E-02	2,06E-01	1,35E-04	1,22E+03	1,22E+01	5,90E+01	6,70E+00	8,48E-03	9,77E+01

Para el dato del transporte por carretera del CO2 se ha considerado un camión Euro VI con capacidad superior a 32 toneladas (dato seleccionado mediante ecoinvent). Debido a una distancia significativa de recorrido y al volumen de carga del camión, el consumo de combustible de origen fósil deriva en un impacto significativo en las categorías de impacto de GWPF, GWPTOT (Global Warming Potential-Fossil y Total) y CEDNR (Cumulative Energy Demand Non-Renewable).

5.2.3 Uso de CO2

Como se ha comentado anteriormente, para la posterior comparación de los dos escenarios y el tercer futuro escenario, CO2 verde, una nueva unidad de medición es necesaria. El CO2 sintetizado estará destinado para su empleo en invernaderos, de manera que esta nueva unidad será el uso de CO2 por área de empleo en invernadero.

El invernadero tiene un área de 21ha, es decir, 210000m² y es necesario alimentarlo diariamente con un promedio de 60 gCO₂/m²/día, de tal modo que es posible calcular la demanda de CO2 en el invernadero:

$$\frac{210000 \times 60}{1000} = 12600 \text{ kgCO}_2/\text{día}$$

La categoría de impacto GWPTOT, Global Warming Potential Total, mide los kg de CO2 equivalentes emitidos a la atmósfera, por lo tanto, tras haber realizado el estudio ACV mediante el software simapro v9, sabemos los kgCO₂ emitidos en este escenario: 638,3 kgCO₂. De manera que la cantidad de emisiones necesaria para cubrir la demanda del invernaderos con este sistema es la siguiente:

$$\frac{12600 \text{ kgCO}_2}{\text{día}} \times 365 \text{ día} = 4.599.000 \text{ kgCO}_2 \text{ demanda}$$
$$4.599.000 \text{ kg CO}_2 \text{ demanda} \times 638,3 \frac{\text{kgCO}_2 \text{ emitidos}}{\text{tCO}_2 \text{ producidos}} \times \frac{1}{1000} = 2.935.541,7 \text{ kgCO}_2$$

Este dato se puede interpretar como la cantidad de kgCO₂ emitidos para la cantidad de kgCO₂ necesarios de sintetizar para su uso en los invernaderos de 21 hectáreas de superficie de ALEIA durante un año de actividad.

6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados es la última etapa a desarrollar al realizar un ACV. En esta se sacan conclusiones a raíz de los resultados obtenidos en la evaluación del inventario del análisis del ciclo de vida. En esta versión de entregable se comparan los escenarios de síntesis CO2 a partir de gas natural y a partir del aprovechamiento de gases industriales residuales.

6.1. CONCLUSIONES

Al comparar los impactos totales de ambos escenarios para 1 tonelada de CO2 producidos, es posible concluir que la tecnología de síntesis de CO2 mediante la combustión por gas natural (escenario 1) es más apropiada que la planteada en el escenario 2 de aprovechamiento de gases industriales, debido a que en la mayoría de categorías de impacto analizadas el escenario 1 tiene un mejor perfil ambiental (menor impacto potencial) que el escenario 2 (ver figura 16).

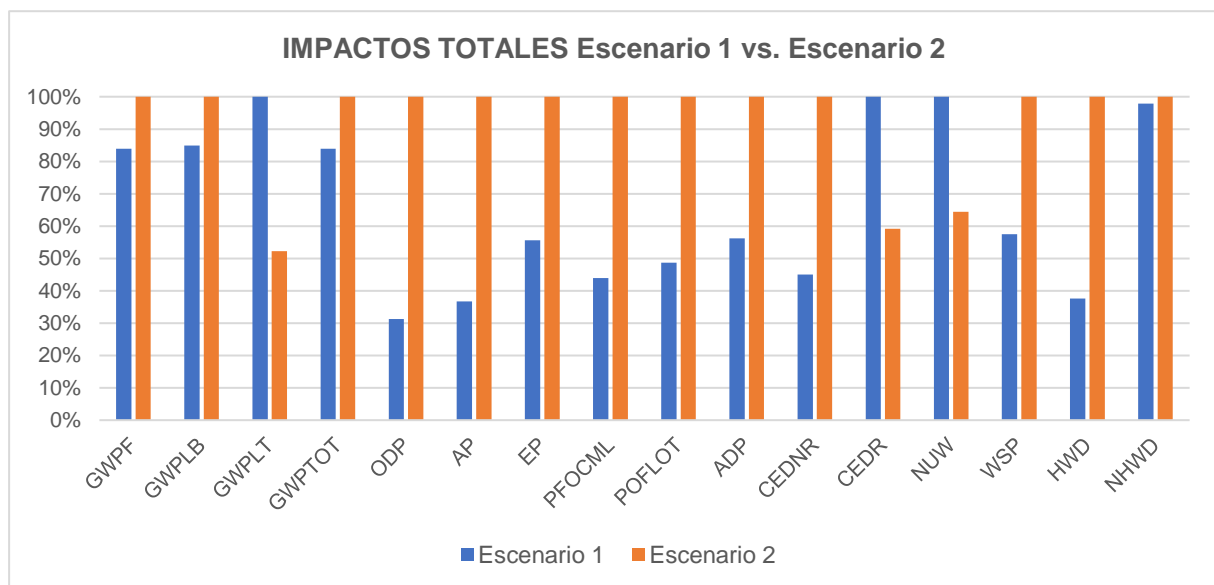


Figura 17. Comparación de los impactos totales de ambos escenarios

No obstante, teniendo en cuenta los resultados obtenidos del ACV, es recomendable realizar una revisión a los aspectos ambientales energéticos con origen fósil, es decir, la electricidad y el transporte pues una mejoría en estos podría suponer una mejora considerable en el perfil ambiental de los sistemas analizados.

La Producción de CO2 y Captura, Separación y Purificación son las etapas que incluye el alcance de cuna a puerta que se ha tomado para realizar este ACV, por ello a continuación se comparan los impactos de estas dos etapas para cada escenario.

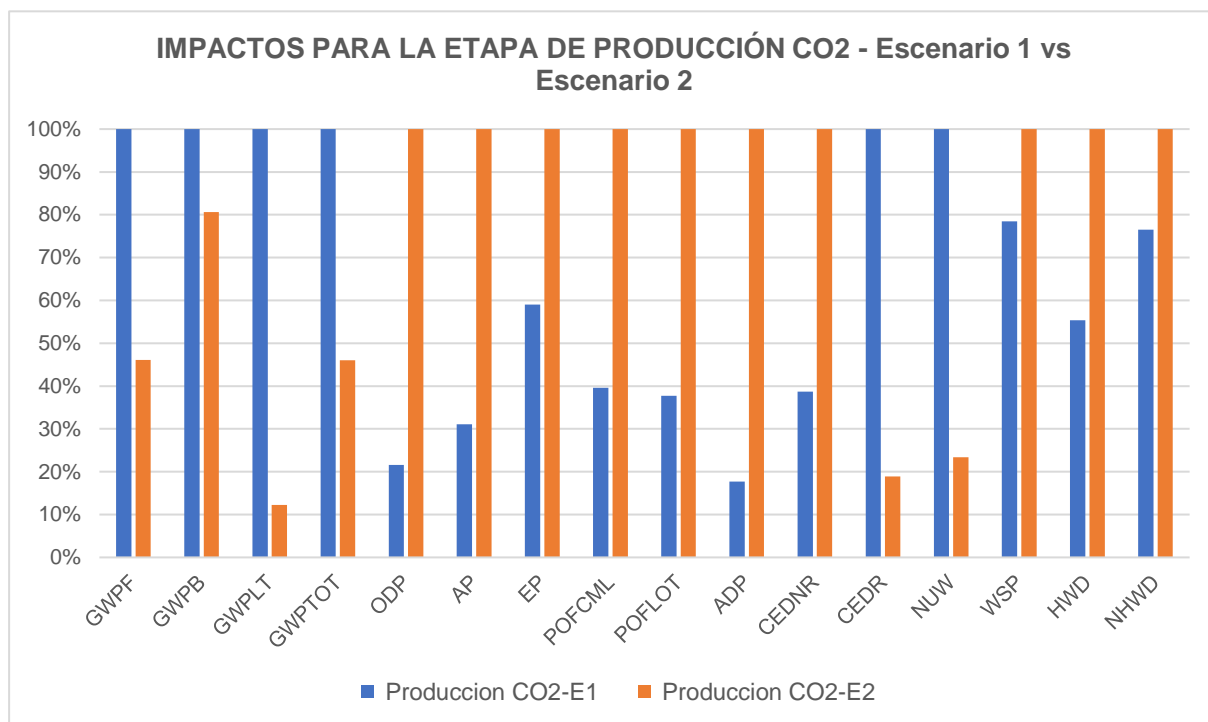


Figura 18. Comparación de los impactos para la etapa Producción de CO2 de ambos escenarios

La etapa de Producción de CO2 en el escenario 1 es un proceso complejo que incluye varias entradas y salidas de materiales, energías, emisiones y residuos, por el contrario, en el escenario 2, esta etapa incluye únicamente el impacto derivado de la caldera de gasoil que produce el gas residual que será aprovechado. Aún así, el escenario 2 tiene una contribución mayor en más categorías de impacto que el escenario 1.

Los impactos generados por el uso de la caldera de gasoil son mayores para las categorías que cuantifican impactos debido a la quema de combustibles fósiles y los efectos de estos, como lo son las categorías Degradación de la Capa de Ozono, Potencial de Acidificación y Formación de Ozono Fotoquímico (POFCML y POFLOT).

Debido al uso intensivo de electricidad y las emisiones directas del proceso, el escenario 1 contribuye mayormente a las categorías de impacto que contabilizan las emisiones de GEI. En el escenario 1, como consumo energético solo se hace uso de la electricidad, de manera que al haberle asignado a los datos de electricidad los valores del mix eléctrico español, este escenario supera al escenario 2 en la categoría de uso total de energía renovable primaria (CEDR).

En conjunto, es recomendable plantear una tecnología para un consumo de energía más eficiente y de origen renovable, lo que conllevaría a una reducción de los impactos ambientales.

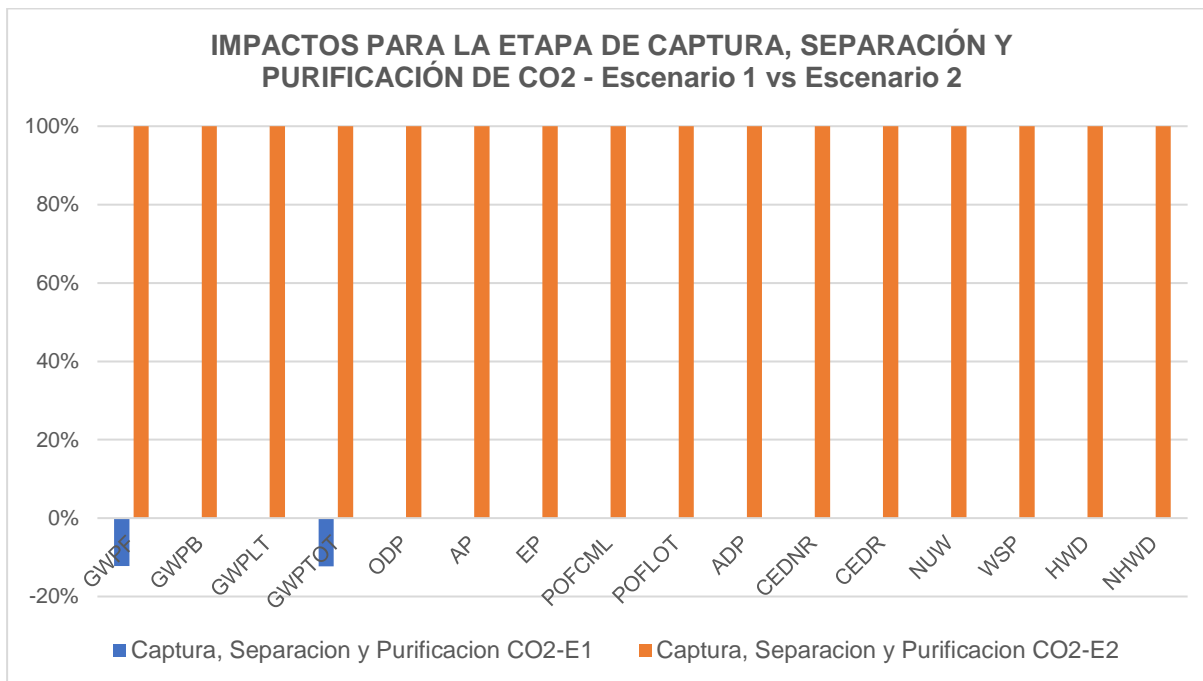


Figura 19. Comparación de los impactos para la etapa Captura, Separación y Purificación de CO₂ de ambos escenarios

Para el escenario 1, la etapa de Captura, Separación y Purificación de CO₂ consiste en la captación de las emisiones de CO₂ de la etapa de Producción. No obstante, para el escenario 2, consiste en una etapa compleja.

Por este motivo, el escenario 1 tendrá únicamente impactos negativos en la categoría de Global Warming Potential (Fossil y Total), al tratarse de una etapa que disminuye los posibles impactos de las emisiones de GEI a la atmósfera derivado de su captura.

Por otro lado, la etapa de Captura, Separación y Purificación en el escenario 2 se trata de un proceso más complejo, lo que conlleva a un mayor impacto en la mayoría de las categorías de impacto analizadas.

Es importante indicar que para el escenario CO₂Verde (que será analizado en versiones posteriores de este informe comparativo) será importante distinguir entre la cantidad de CO₂ utilizada en el proceso y las emisiones de CO₂ equivalentes evitadas por el uso de un combustible de origen forestal como será la biomasa en el caso de la central de ENSO en Garray, tal y como señalan los estudios de referencia en CCU (Von Der Assen et al., 2014 y 2013). Ambas cantidades solo coinciden cuando el CO₂ se captura de una fuente ideal, como es la utilización directa del CO₂ atmosférico. En estos casos ideales, se bonifica al sistema bajo estudio por evitar la emisión directa del CO₂ y se asigna un valor de -1 kg de CO₂ eq. por kg de CO₂ utilizado. En el resto de casos, se deben tener en cuenta los impactos ambientales generados en el proceso de captura

de CO₂, como en el proceso de producción de cualquier otra materia prima. En este caso, se deberá estimar los impactos ambientales de todos los procesos adicionales para la producción de CO₂ listo para ser utilizado. En este sentido, se estima que el proceso de captura de CO₂ emitirá 107 kg de CO₂ eq. Por tonelada de CO₂ producidas, debido principalmente al consumo energético, y evita la emisión de 1 kg de CO₂ por kg de CO₂ capturado. Por tanto, se generan $GWP = 0,107 - 1 = -0,89$ kg CO₂ eq. por kg de CO₂ capturado.

6.2. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

El objetivo de realizar un análisis de sensibilidad es analizar la confiabilidad de los resultados. Para ello, se ha optado por escoger la entrada o aspecto ambiental que se ha identificado como uno de los mayores impactos para ambos escenarios y modificarlo, y así, comparar los resultados obtenidos con esta variación y el análisis original, de manera que se identifiquen los resultados más influenciados por esta variación.

En este caso, el aspecto ambiental seleccionado será el transporte, ya que para ambos casos se ha estimado un transporte de 800km. Estos kilómetros se modificarán teniendo en cuenta el transporte del escenario futuro de CO₂ verde, por tanto, para el análisis de incertidumbre se les atribuirá un valor de 133km en camión en lugar de 800km (se estima que en la nueva planta de Garray dos tercios de la producción se distribuirá en camión a un radio de 200km ida y vuelta).

Los resultados de este análisis muestran que la variación de distancia en la etapa de transporte del CO₂ de 800 a 133 kms (17%) en camión implica una reducción del impacto para la categoría de calentamiento global total (GWPT) de un 17% en ambos escenarios para dicha etapa, lo que implica una reducción final de las emisiones de CO₂ equivalentes de todo el alcance cuna a tumba del 11% en el escenario 1 y del 9% en el escenario 2.

Tabla 25. Análisis de sensibilidad escenario 1

	GWP TOT ESCENARIO 1 kg CO₂ eq	GWP TOT - SENSIBILIDAD kg CO₂ eq	DIFERENCIA %
Produccion CO₂	1,07E+03	1,07E+03	0%
Captura, Separacion y Purificacion CO₂	-6,08E+02	-6,08E+02	0%
Almacenaje, Compresion y Transporte CO₂	6,95E+01	1,16E+01	17%
Uso CO₂	0,00E+00	0,00E+00	0%
Fin de vida CO₂	0,00E+00	0,00E+00	0%

Tabla 26. Análisis de sensibilidad escenario 2

	GWP TOT ESCENARIO 2 kg CO2 eq	GWP TOT - SENSIBILIDAD kg CO2 eq	DIFERENCIA %
Produccion CO2	4,94E+02	4,94E+02	0%
Captura, Separacion y Purificacion CO2	7,45E+01	7,45E+01	0%
Almacenaje, Compresion y Transporte CO2	6,95E+01	1,16E+01	17%
Uso CO2	0,00E+00	0,00E+00	0%
Fin de vida CO2	0,00E+00	0,00E+00	0%



7. REFERENCIAS

Global CO2 Initiative. (2020). *Techno-Economic Assessment & Life Cycle Assessment Guidelines for CO2 Utilization (v1.1)*. <https://doi.org/10.3998/2027.42/16257>

ILCD (2010) European Commission - Joint Research Center. ILCD Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. Publications Office, Luxembourg; 2010.

ISO (2006a) UNE-EN ISO 14040:2006 – Gestión Medioambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia.

ISO (2006b) UNE-EN ISO 14044:2006 – Gestión Medioambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y directrices.

Korre, A. Nie, Z. Durucan, S. (2010). Life cycle modelling of fossil fuel power generation with post-combustion CO2 capture. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(2), 289-300. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2009.08.005>

Methanol Worked Examples for the TEA and LCA Guidelines for CO2 Utilization, DOI 10.3998/2027.42/145723

PCR 2011:18. BASIC INORGANIC CHEMICALS NOT ELSEWHERE CLASSIFIED PRODUCT CATEGORY CLASSIFICATION: UN CPC 342. VERSION 2.11 2019-09-06.

Screening LCA for CCU routes connected to CO2 Smart Grid. CE Delft, 26 February 2018.

Singh, B., Strømman, A. H., Hertwich, E. G. (2011) Comparative life cycle environmental assessment of CCS technologies. *Int. J. Greenhouse Gas Control*, 2011, 5, 911-921.

Von Der Assen, N., Jung, J., Bardow, A. (2013) Life-cycle assessment of carbon dioxide capture and utilization: Avoiding the pitfalls. *Energy Environ. Sci.*, 2013, 6, 2721-2734.

Von der Assen N, Voll P, Peters M, Bardow A. (2014) Life cycle assessment of CO2 capture and utilization: a tutorial review. *Chem. Soc. Rev.* 2014; 43(23):7982–94.

8. ANEXOS

8.1. ANEXO A. PROCESOS DEL MODELO

Entrada	Unidad	Procesos base de datos Ecoinvent v3.5	Sustancias de la naturaleza
Caldera de biomasa	MJ	Heat, district or industrial, other than natural gas {ES} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Cut-off, S	
Caldera de GN	MJ	Heat, district or industrial, natural gas {RER} market group for Cut-off, S	
Caldera de gasoil	MJ	Heat, central or small-scale, other than natural gas { Europe without Switzerland } heat production, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating Cut-off, S	
Electricidad	kWh	Electricity, high voltage {ES} production mix Cut-off, S [Adaptado mix2019]	
Gas natural	m3	Natural gas, high pressure {ES} market for Cut-off, S	
Gasoil	kg	Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S	
MEA (monoethanolamine)	kg	Monoethanolamine {GLO} market for Cut-off, S	
Carbón activo	kg	Activated carbon, granular {GLO} market for activated carbon, granular Cut-off, S	
Bentonita	kg	Bentonite {GLO} market for Cut-off, S	
Alúmina	kg	Aluminium oxide {GLO} market for Cut-off, S	
Amoníaco	kg	Ammonia, liquid {RER} market for Cut-off, S	
NaOH 20%	kg	Sodium hydroxide, without water, in 20% solution state {GLO} market for Cut-off, S	
Agua	kg	Water, deionised, from tap water, at user {Europe without Switzerland} market for water, deionised, from tap water, at user Cut-off, S	
MDEA	kg	Diethanolamine {GLO} market for Cut-off, S	
Catalizadores organicos	kg	Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S	
Aceites y grasas lubricantes	kg	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, S	
Químico inorgánico	kg	Chemical, inorganic {GLO} market for chemicals, inorganic Cut-off, S	
Red canalizada alta presión	km	Pipeline, natural gas, high pressure distribution network {Europe without Switzerland} construction Cut-off, S	
Red canalizada baja presión	km	Pipeline, natural gas, low pressure distribution network {CH} construction Cut-off, S	
Camión cisterna	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, S	
CO2	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Carbon dioxide, fossil
NOx	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Nitrogen oxides
CO	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Carbon monoxide
NH3	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Ammonia
Part Solidas	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Particulates
CH4	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Methane
SO x	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Sulfur oxides
N2	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Nitrogen, atmospheric
COVM	kg	Sustancia - Emisiones al aire	VOC, volatile organic compounds as C



O2	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Oxygen
N2O	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Dinitrogen monoxide
H2O	kg	Sustancia - Emisiones al aire	Water
Cenizas peligrosas	kg	Fly ash and scrubber sludge {Europe without Switzerland} treatment of fly ash and scrubber sludge, hazardous waste incineration Cut-off, S	
Cenizas no peligrosas	kg	Wood ash mixture, pure {CH} treatment of, municipal incineration Cut-off, S	
Aceites minerales	kg	Waste mineral oil {CH} treatment of, hazardous waste incineration Cut-off, S	
Carbon activo	kg	Spent activated carbon with mercury {GLO} market for Cut-off, S	
Bentonita / Alumina	kg	Inert waste {Europe without Switzerland} treatment of inert waste, sanitary landfill Cut-off, S	
Otros no peligrosos	kg	Inert waste {Europe without Switzerland} treatment of inert waste, sanitary landfill Cut-off, S	
Otros productos peligrosos	kg	Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration Cut-off, S	
Aguas residuales no peligrosas	l	Wastewater, unpolluted, from residence {GLO} market for Cut-off, S	
Aguas residuales peligrosas	l	Wastewater, average {Europe without Switzerland} treatment of wastewater, average, capacity 1E9l/year Cut-off, S	