

Informe ACV
CO₂ verde

Septiembre 2022



Confidencialidad y descargo de responsabilidad

Este reporte es de carácter confidencial, y su divulgación no implica derecho alguno, de ningún tipo, sobre la información que contiene, ni tampoco ningún derecho de utilizarla, excepto para el objeto de la verificación de las declaraciones ambientales de producto respectivas. La divulgación de la Información confidencial no implica el licenciamiento de derecho de patentes o derecho de autor o ningún otro derecho. El autor no se hace responsable por cualquier perjuicio, directo o indirecto, resultante de la utilización o divulgación de cualquier información proporcionada en este reporte.

Índice de contenido

1	Introducción	6
1.1	Sobre la empresa	6
1.2	Motivación	6
2	Aspectos generales	7
2.1	Desarrollador del informe	7
2.2	Norma de referencia.....	7
3	Objetivo del informe	8
4	Alcance del estudio.....	9
4.1	Producto de estudio	9
4.2	Unidad declarada	9
4.3	Límites del sistema.....	9
4.4	Criterios de corte para la inclusión inicial de insumos y productos y suposiciones	11
5	Análisis del inventario del ciclo de vida	13
5.1	Procedimientos de recopilación de datos	13
5.2	Descripción cualitativa y cuantitativa de procesos unitarios	13
5.1.1	Cuantificación e información.....	15
5.3	Fuentes de referencia	20
5.4	Procedimientos de cálculo	21
5.4.1.	Aguas arriba: Materias primas y auxiliares.....	21
5.4.2.	Aguas arriba: Tanque de almacenamiento para transporte.....	21
5.4.3.	Central. Transporte de materias primas y auxiliares.....	22
5.4.4.	Central: Producción	22
5.4.5.	Aguas abajo: Transporte de producto	25
5.4.6.	Aguas abajo: Fase de Uso	25
5.4.7.	Aguas abajo: Fase de fin de vida embalaje.....	25
5.4.8.	Beneficios y cargas fuera de los límites del sistema.	26
5.5	Validación de datos.....	26
5.6	Principios y procedimientos de asignación.....	26
6	Evaluación del impacto del ciclo de vida	27
6.1.	Factores de caracterización y categorías de impacto	27
6.2.	Evaluación de la calidad de los datos	27
7	Interpretación del ciclo de vida:	31
7.1.	Información de contenido.....	31
7.2.	Información sobre el contenido de carbón biogénico	31

7.3.	Resultados	31
7.3.1	Contribución de los módulos declarados a los indicadores de impacto ambiental	37
7.3.2	Contribución de los módulos declarados a los indicadores de uso de recursos	37
7.3.3	Contribución de los módulos declarados a los indicadores de residuos	38
7.3.4	Contribución de los módulos declarados a indicadores de flujo de salida	39
8	Referencias	40
ANEXO 1 – LCA electricidad		41
	PCR seleccionada	41
	Unidad funcional.....	41
	Vida de referencia del servicio (RSL)	41
	Descripción del sistema.....	41
	Límites del sistema	42
	Reglas de corte	43
	Criterios de asignación	43
	Validación de datos	45
	Hipótesis realizadas.....	45
	Categorías de impacto	46
	Recogida de datos.....	46
	Calidad de datos.....	46
	Inventario de ciclo de vida	47
ANEXO 2 – Resultados de indicadores de impacto por kg de CO ₂ verde		64

Índice de tablas

Tabla 1.	Instalaciones cubiertas en el estudio	11
Tabla 2.	Entrada materias prima y auxiliares por kg CO ₂ verde producido.	16
Tabla 3.	Consumos por kg de CO ₂ verde producido en instalaciones y producción mensual.	16
Tabla 4.	Emisiones por kg de CO ₂ verde producido.	17
Tabla 5.	Información distribución a cliente	18
Tabla 6.	Materias primas y auxiliares para producción de 1 kg CO ₂	21
Tabla 7.	Material embalaje para 1 kg CO ₂	21
Tabla 8.	Estimación de distancia de transporte de materias primas y auxiliares por tipo de producto para 1 kg de CO ₂	22
Tabla 9.	Producción mensual	22
Tabla 10.	Emisiones por kg de CO ₂ verde producido.....	23

Tabla 11. Residuos sólidos generados y distancia a tratamiento.....	24
Tabla 12. Parámetros del modelo utilizado para el transporte de producto terminado	25
Tabla 13 Criterios de evaluación de calidad de los datos	28
Tabla 14 Evaluación de calidad de los datos de entrada del inventario respecto a los flujos ecoinvent	29
Tabla 15 Información del contenido del CO ₂ licuado.....	31
Tabla 18. Declaración del contenido de carbón biogénico por m ³ de tablero	31

Índice de figuras

Figura 4-1 Alcance del modelo de ACV.....	10
Figura 5-1. Esquema del proceso productivo, cubierto por el estudio de ACV (Carburos + ENSO).	14
Figura 5-2. Planta de generación de electricidad (ENSO) y sistema de separación de gases (Carburos).....	14
Figura 5-3. Planta de absorción/desorción química.....	15
Figura 7-1. Red de contribución al GWP [kg CO ₂ eq] por módulo y proceso. Corte a 2%.....	32
Figura 7-2. Red de contribución al ADP fossil fuels [MJ] por módulo y proceso. Corte a 2%.....	33
Figura 7-3. Red de contribución al Acidification Potential [kg SO ₂ eq] por módulo y proceso. Corte a 2%.....	34
Figura 7-4. Red de contribución al Eutrophication potential freshwater [kg P eq] por módulo y proceso. Corte a 2%.....	35
Figura 7-5. Árbol de contribución al water scarcity [m ³] por módulo y proceso. Corte a 2%.	36
Figura 7-6. Indicadores de impacto ambiental por etapa para 1 kg CO ₂ verde licuado.	37
Figura 7-7. Contribución de los módulos a los indicadores de uso de recursos energéticos.	38
Figura 7-8. Contribución de los módulos a los indicadores de uso de recursos no energéticos.	38
Figura 7-9. Contribución de los módulos a los indicadores de flujo de residuos.	39
Figura 7-10. Contribución de los módulos evaluados a los indicadores de flujo de salida.	39



1 Introducción

1.1 Sobre la empresa

Carbueros Metálicos es una compañía líder en el sector de gases industriales y medicinales que produce, distribuye y vende gases para múltiples sectores: metalurgia, vidrio, aguas, alimentación, medicinal, energía, petroquímica, laboratorios, congelación, refrigeración, enología, ocio y bebidas. La compañía aporta una amplia gama de productos, soluciones y servicios a sus clientes, así como materiales y equipos destinados a las aplicaciones de estos gases.

Fundada en 1897, Carbueros Metálicos lleva 125 años al servicio de la industria y siempre ha mantenido un fuerte vínculo con la sociedad. Actualmente, es líder en el sector de gases industriales y medicinales en España y un referente en el sector químico en cuestiones de seguridad, innovación y sostenibilidad.

Carbueros Metálicos cuenta con un equipo de más de 700 profesionales en España, una capacidad diaria de producción de más de 1.200 toneladas de gas licuado (mtpd), 12 plantas de producción, 14 plantas de envasado, 2 laboratorios de gases de alta pureza y un centro de I+D ubicado en Bellaterra (Barcelona) que dan servicio a más de 100.000 clientes. Desde 1995, la compañía pertenece al grupo estadounidense Air Products (NYSE:APD).

El grupo registró unas ventas de 10.300 millones de dólares en 2021 por sus actividades en más de 50 países y cuenta actualmente con una capitalización de mercado en torno a los 65.000 millones de dólares. Más de 20.000 empleados de orígenes diversos, apasionados, comprometidos y con talento se guían por el fin último de Air Products de crear soluciones innovadoras que beneficien al medioambiente, mejoren la sostenibilidad y den respuesta a los desafíos a los que se enfrentan los clientes, las comunidades y el mundo.

1.2 Motivación

Carbueros Metálicos, en una colaboración con ENSO a partir del proyecto LIFE CO2-INT-BIO ha podido acceder a una fuente de dióxido de carbono residual procedente de una planta de generación de electricidad a partir de biomasa. Carbueros Metálicos es una compañía con una arraigada cultura de innovación tecnológica y a la implantación de la economía circular en el sector industrial, por lo que esta simbiosis industrial es una prioridad para descarbonizar la generación de electricidad.

La elaboración de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP o EPD en inglés), es de especial interés en otros sectores como el sector de la construcción, pero de manera paulatina, su implantación en otros productos de consumo (como la electricidad en este caso) se encuentra favorecida por los planes de circularidad tanto nacionales como europeos, definidos por la Comisión Europea.

Entre otras, podemos identificar una serie de ventajas asociadas a la realización de una DAP son:

- Facilitar y permitir la comercialización en mercados europeos y extranjeros donde la DAP se convierta en una herramienta técnica de venta.
- Ayudar al reconocimiento por el mercado, a través de criterios de compra, certificación de edificios, responsabilidad social, etc.
- Permitir el posicionamiento de los productos de las empresas líderes, ante otros productos similares y ante sus clientes.

Las DAP evalúan el potencial de calentamiento global (GWP), entre otros impactos ambientales, de los productos, a partir de la cantidad de energía requerida durante el proceso de fabricación y el impacto ambiental de extraer o producir las materias primas y el combustible utilizado para entregar los materiales a los lugares de trabajo. Estos documentos cumplen con normativa internacional ISO. Los resultados de estas DAP serán utilizados como información para la toma de decisiones por parte de diseñadores y desarrolladores de productos e instalaciones, en las fases de diseño, especificación y selección de materiales con una visión de responsabilidad ambiental y promoción de la generación eléctrica y de químicos sostenible, con un enfoque de ciclo de vida.



2 Aspectos generales

2.1 Desarrollador del informe

Este informe se realiza en el marco del proyecto LIFE CO₂IntBio (<http://www.lifeco2intbio.eu>)

2.2 Norma de referencia

El análisis de ciclo de vida cumple con los requisitos de las normas UNE-ISO 14040:2006, UNE-ISO 14044:2006, así como la norma EN 15804:2012+A2:2019, siendo esta última el documento que brinda las reglas de categoría de producto (PCR, por sus siglas en inglés) de referencia para la elaboración de las declaraciones ambientales de producto (DAP) descritas en este informe, siendo de aplicación la PCR 2021:03 VERSION 1.1 *Basic Chemicals*. Adicionalmente, las DAP elaboradas a partir de este informe se desarrollan en conformidad con la UNE-ISO 14025:2010.



3 Objetivo del informe

El presente informe de ACV para **el CO₂ verde** se realiza con el fin de cuantificar y presentar en una declaración ambiental de producto (DAP) los impactos ambientales asociados a dichos productos, de acuerdo con los requisitos de la EN 15804:2012+A2:2019 y siguiendo los requisitos de **Las Reglas Generales Programa de Environdec en su versión 4**.

Con el fin de contribuir la promoción de la química sostenible, Carbuos Metálicos pretende que esta DAP sea una herramienta de comunicación hacia otras empresas del sector (B2B). Mediante el uso de dichas DAP, desarrolladores y otros tomadores de decisión podrán evaluar el desempeño ambiental del CO₂ verde licuado con respecto a otros en el mercado, e incorporarlos en procesos de análisis de ciclo de vida y certificaciones ambientales.

4 Alcance del estudio

4.1 Producto de estudio

Este estudio abarca a un único producto, un CO₂ obtenido a partir de los gases de escape residuales de un ciclo de potencia alimentado con biomasa para generar electricidad ubicado en Garray, Soria, España. El ciclo de potencia pertenece a la empresa ENSO, mientras que Carburos Metálicos gestiona una planta capaz de recuperar los gases residuales que abandonan la caldera de biomasa, pudiendo convertir tras un proceso de purificación y separación dichos gases en **CO₂ verde** y otros gases que son emitidos al ambiente. Este CO₂ se considera verde al provenir de ser una corriente generada a partir de la combustión de biomasa de residuo forestal y agrícola.

Código UN CPC:

De acuerdo con la clasificación UN CPC, el producto generado se atendería a la división 342 “Químicos inorgánicos básicos” bajo el sistema de clasificación UN CPC v2.1.¹

- Clase 3421, Hidrógeno, Nitrógeno, Oxígeno, Dióxido de carbono y Gases raros; compuestos inorgánicos de oxígeno de los no metales.

Vida útil del producto:

- De acuerdo con la PCR de aplicación, el concepto de vida útil de producto (RSL) no es aplicable a este producto.

4.2 Unidad declarada

La unidad funcional cuantifica el rendimiento de un sistema de producto y se utiliza como unidad de referencia para realizar el estudio de ACV y los resultados se presentan de acuerdo con la norma UNE-ISO 14040: 2006.

En este caso, el estudio de ACV se realiza para una unidad declarada en lugar de la unidad funcional, siendo esta la de 1 kg de producto. La unidad declarada que se tienen en cuenta para este estudio es:

- 1 kg de CO₂ verde entregado en estado líquido transportado en cisternas hasta cliente.

Todos los datos del inventario, así como todos los resultados de los indicadores expresados en este informe están declarados para 1 kg de CO₂ verde, siendo los datos primarios consolidados y ponderados en función de dicha unidad declarada en las instalaciones de la empresa, acopladas a la planta de generación de electricidad.

4.3 Límites del sistema

El presente estudio cubre las actividades de separación, purificación, compresión y licuefacción y almacenamiento en las instalaciones de Garray (Soria, España), transporte a cliente y fin de vida del sistema de “embalaje”.

El período de producción comprendido para el análisis fue del 1 de mayo de 2022 al 30 de septiembre de 2022. Debe remarcarse que esta instalación es experimental y que, por tanto, el periodo de toma de datos hasta el momento ha sido de cinco meses. Se ha asumido que en ese periodo se han realizado ajustes a la planta y, por tanto, los datos presentan una variabilidad notable entre meses. En el momento en que se realiza esta DAP se ha utilizado la información promedio de estos cinco meses. En el caso de posteriores modificaciones a la planta, o cuando se tenga al menos un año de datos de operación, esta DAP podría estar

¹ <https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ/cpc>

sujeta a una actualización.

El alcance del estudio de ACV cubre los módulos “aguas arriba (de la cuna a la puerta)”, “central (de la puerta a la puerta)” y “aguas abajo (de la puerta a la tumba)”, en concordancia con los requisitos de la PCR de aplicación.

En lo que respecta al módulo aguas arriba, los procesos cubiertos en el estudio contemplan la generación de la corriente de gases de escape de la caldera del ciclo de potencia (incluyendo el asociado el transporte de la biomasa, pero no a su crecimiento y recolecta al considerarse un residuo), la generación de electricidad y vapor de agua utilizadas en la planta de separación de CO₂, generadas en el ciclo de potencia acoplado a la misma (considerando todos los consumibles y residuos generados por esta), la fabricación y el tratamiento de los residuos generados en la producción de las materias auxiliares utilizadas en la planta y la fabricación del tanque de almacenamiento para transporte del CO₂ al cliente.

En lo que respecta al módulo central, se ha considerado el transporte de las materias auxiliares a la planta de captura y separación, incluyendo los residuos generados por estas, las emisiones y vertidos generados por el consumo de los auxiliares y los consumos de electricidad, agua y vapor

En el módulo aguas abajo, se ha considerado el transporte hasta cliente y el fin de vida del tanque de transporte, pero se excluye la fase de uso y el fin de vida del producto, puesto que se trata de un producto utilizable para un abanico tan amplio de aplicaciones que no es posible identificar una fase de uso específica.

Los impactos relacionados con el personal, como el transporte hacia y desde el trabajo, no se contabilizan en el LCI, así como tampoco las infraestructuras.

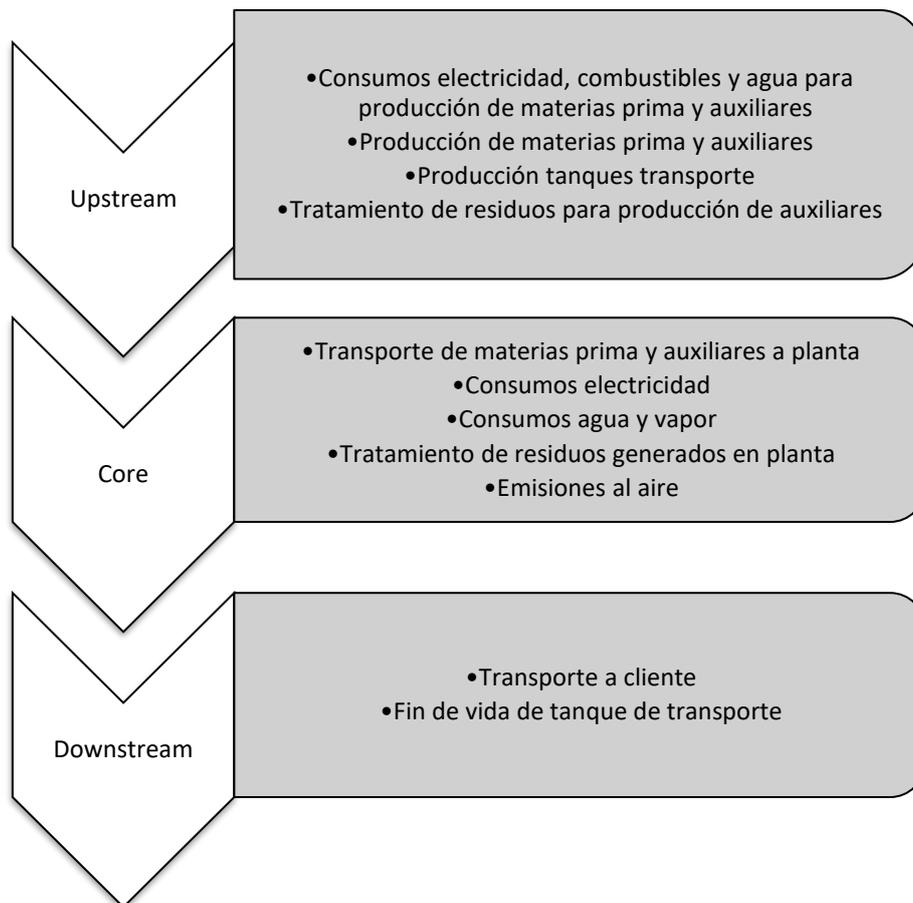


Figura 4-1 Alcance del modelo de ACV.

Las actividades de producción incluidas dentro de este alcance incluyen el siguiente centro de producción:

Tabla 1. Instalaciones cubiertas en el estudio

Planta	Ubicación	Producción
Bioeléctrica de Garray	Ctra.Tardesillas - El Royo Km 4.5 42162 - Garray (Soria)	CO ₂ verde líquido obtenido de un sistema de purificación de gases de escape de un ciclo de potencia.

4.4 Criterios de corte para la inclusión inicial de insumos y productos y suposiciones

De forma general, los criterios de corte son el 1% del consumo de energía primaria renovable y no renovable y el 1% de la masa total de entrada del proceso de fabricación (según la norma EN 15804). En la evaluación, se consideran todos los datos disponibles del proceso de producción, es decir, todas las materias primas utilizadas, los materiales auxiliares utilizados y el consumo de energía utilizando los mejores conjuntos de datos disponibles en la base de datos de referencia.

- **Materias primas:** para la cuantificación de impactos asociados a las materias primas, se ha utilizado el 100% de las materias prima. Esta materia prima se ha considerado un residuo de la planta de potencia, siendo este, además, de origen renovable, puesto que proviene de la combustión de combustibles renovables (residuo forestal y residuo agrícola).
- **Consumibles y auxiliares:** Se han considerado los aditivos utilizados en la producción (carbón activo, sosa y aminos). Los aditivos representan un bajo peso de las materias primas (<0,7%), pero por su composición y los impactos asociados a su producción, han sido incluidos para la cuantificación de su contribución al producto final. También han sido considerados los filtros de cenizas como material consumible.
- **Transporte de materias primas y auxiliares:** para la determinación del transporte de las materias primas (gases de combustión), no se ha considerado transporte al estar conectados directamente al lugar de generación. Para la modelación del transporte de auxiliares se ha utilizado la información de la ubicación de los proveedores.
- **Energía:** se consideró el 100% del consumo energético del proceso de producción de CO₂ verde líquido, obtenido a partir de la misma planta de producción de la corriente de gases. Los impactos ambientales de dicha electricidad han sido calculados a partir de los datos primarios de la planta de producción de electricidad y modelados en SimaPro a partir de los datos del gestor de la planta de producción de electricidad.
- **Agua y vapor:** La instalación analizada ha reportado el abastecimiento de agua, obtenida de la misma planta de generación de electricidad. El consumo reportado es el consumo real, es decir, tomado de las fuentes de abastecimiento.
- **Embalaje de producto y de auxiliares:** la distribución de producto se realiza en tanques de almacenamiento por carretera donde el CO₂, comprimido y licuado, es introducido y llevado a cliente. De manera habitual, estos tanques no son propiedad de Carburos Metálicos, pero se han considerado dichos tanques bajo un escenario conservador. Este tanque ha sido escalado a partir de datos proporcionados por Carburos metálicos. Se ha considerado los impactos asociados a la gestión de dichos tanques en su fin de vida, así como los residuos generados por los contenedores de los materiales auxiliares.
- **Transporte a cliente:** El transporte a cliente tiene lugar a través de dos vías. Por un lado, el producto que comercializa Carburos Metálicos a sus clientes. Para este producto, Carburos tiene información de la cantidad distribuida a cada cliente, así como la distancia a los mismos. Esta información ha sido utilizada para modelar el impacto el transporte debido a la comercialización por parte de Carburos. Por otro lado, hay una parte de la producción de CO₂, que otras empresas, competencia de Carburos,

recibe en la planta productiva para, posteriormente, distribuirla a sus propios clientes. Si bien Carbuos tiene información de la cantidad, no tiene información de la distancia transportada. Por ello, se genera un escenario supuesto de 400 km de transporte.

- **Instalaciones productivas:** se excluyen del análisis los impactos asociados a la fabricación de las instalaciones y equipos de producción y almacenamiento intermedio. Únicamente se evalúan los impactos asociados a su operación en la fase de producción.
- **Emisiones al aire:** Se ha utilizado las emisiones asociadas a la generación de electricidad durante la combustión de la biomasa obtenidas de la propia planta de generación, así como contenidas en la corriente de gases que el sistema de captura y purificación de CO₂ no es capaz de aprovechar. Se excluye del análisis los impactos de las emisiones de largo plazo.
- **Residuos:** Se han considerado todos los residuos sólidos y líquidos tratados mediante gestor o vertidos a red, generados en la planta de producción de CO₂ verde líquido.

5 Análisis del inventario del ciclo de vida

5.1 Procedimientos de recopilación de datos

Para el estudio de ACV se han recopilado en un formulario, todos los datos del período de estudio (1 de mayo de 2022 a 30 de septiembre de 2022), consolidado de forma mensual, a partir de los registros de producción, los cuales incluyen:

- Corriente de gases que abandonan la caldera (cantidad y composición).
- Electricidad consumida proveniente de la planta de generación tanto inyectada a red como enviada a la planta de captura de CO₂.
- Cantidad consumida de vapor, agua y auxiliares en la planta generación.
- Emisiones de la planta de captura y purificación de CO₂ (cantidad y composición).
- Generación de residuos asociados a la operación y localización de la planta de tratamiento de estos.
- Producto distribuido a cliente, considerando cantidad y ubicación.

5.2 Descripción cualitativa y cuantitativa de procesos unitarios

El proceso de generación, captura, purificación y licuefacción de CO₂ está dividido en dos sistemas de dos empresas diferentes. El primero un sistema de generación de electricidad (ENSO, azul en la Figura 5-1), donde la biomasa es quemada en una caldera integrada en un ciclo de potencia tras un pretratamiento que adecua sus características físicas a los requerimientos de la caldera (generalmente, la biomasa llega en forma de astillas). La caldera calienta un circuito de vapor de agua a alta presión. El vapor se envía directamente a una unidad de turbina / generador para producir electricidad, y a continuación pasa por un condensador para volver a convertirlo en agua. El enfriamiento se produce a través de contacto con agua fría, que, tras tomar el calor del agua del condensador, es enfriada en una torre de enfriamiento. El agua del circuito de la caldera es posteriormente desgasificada, y se pasa por un precalentado de alta presión para recuperar el estado de vapor y volver a introducirse en el circuito de la caldera de biomasa para ser de nuevo calentada.

Por otro lado, la planta de captura y licuefacción de CO₂ (Carburos Metálicos, naranja en la Figura 5-1), planta bajo estudio de esta DAP, donde los gases resultantes de la combustión de biomasa son filtrados para retirar la materia particulada y posteriormente, llevados a una captura / separación de CO₂ en postcombustión con tecnología de absorción química.

Los procesos de absorción química son los métodos más ampliamente utilizados en la industria para separar el CO₂ de una corriente de gases. La absorción de CO₂ se basa en la retención selectiva de este compuesto al entrar en contacto los gases de combustión con un líquido absorbente mediante fenómenos químicos y/o físicos. Existen muchos procesos basados en la absorción, aunque los que se consideran completamente desarrollados son la absorción con aminas (derivados del amoníaco que sustituyen alguno de los hidrógenos de la molécula por otro radical).

La absorción química con aminas emplea solventes de carácter alcalino que presentan al menos un grupo amino y un hidroxilo, siendo los compuestos más ampliamente utilizados monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA), trietanolamina (TEA) y metildietanolamina (MDEA).

En este proceso, el gas a tratar entra en la primera columna (columna de absorción). Desde allí, el CO₂ es transferido a una solución introducida en contracorriente que contiene el solvente en disolución, formando un enlace químico entre ambos. Posteriormente, tras pasar por una etapa de calentamiento, la solución rica en CO₂ es conducida hacia la columna de desorción (stripper). Allí, ante las nuevas condiciones de temperatura, del orden de 100-120°C, se libera el CO₂ junto con una fracción de vapor de agua procedente de la corriente de líquido. La corriente de CO₂ y vapor de agua es sometida a una operación de condensación en la que se elimina este último, resultando una corriente final altamente concentrada en CO₂ (por encima del 99%), disponible para poder ser comprimida hasta las condiciones de almacenamiento. El absorbente regenerado (agotado) se enfría hasta 40-65°C y es enviado de nuevo a la columna de absorción para completar el ciclo, previo filtrado para la eliminación de impurezas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

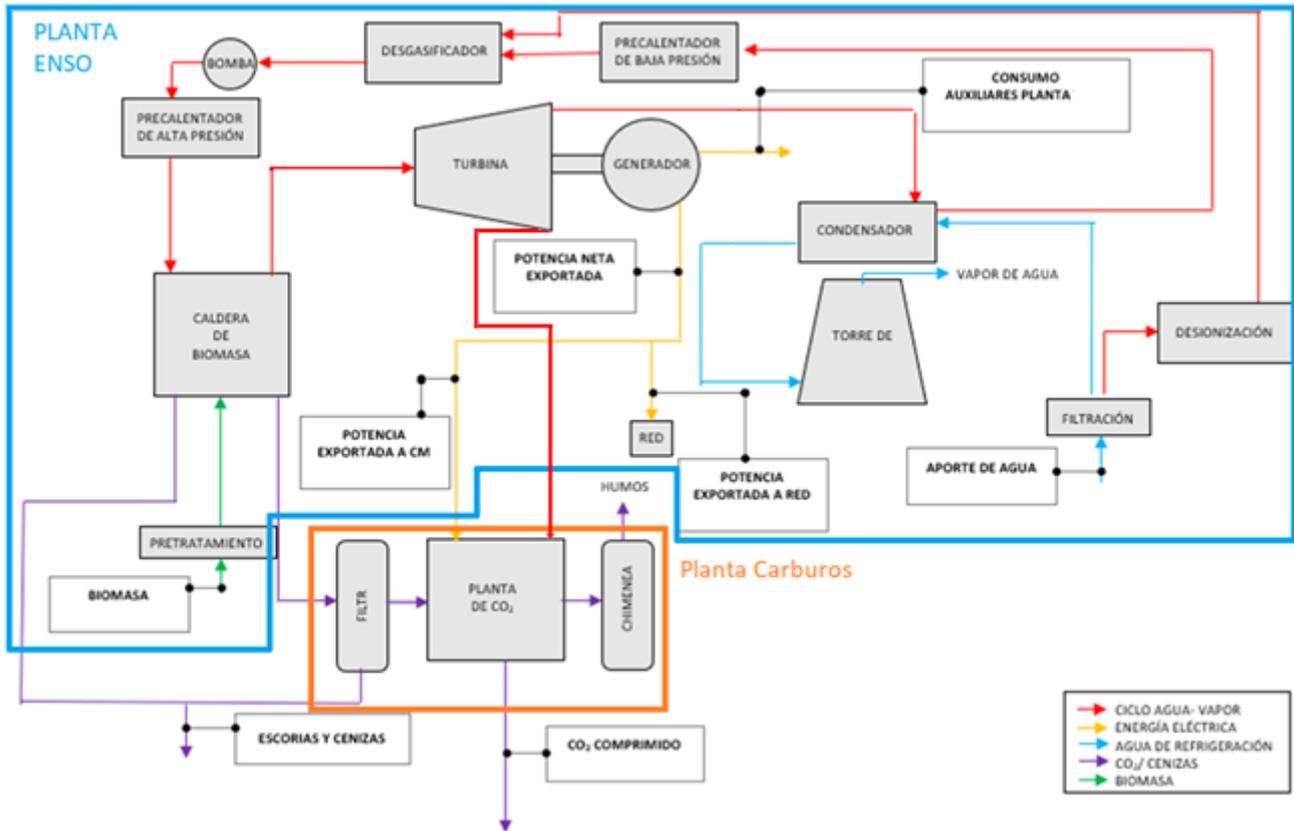


Figura 5-1. Esquema del proceso productivo, cubierto por el estudio de ACV (Carbuos + ENSO).



Figura 5-2. Planta de generación de electricidad (ENSO) y sistema de separación de gases (Carbuos).

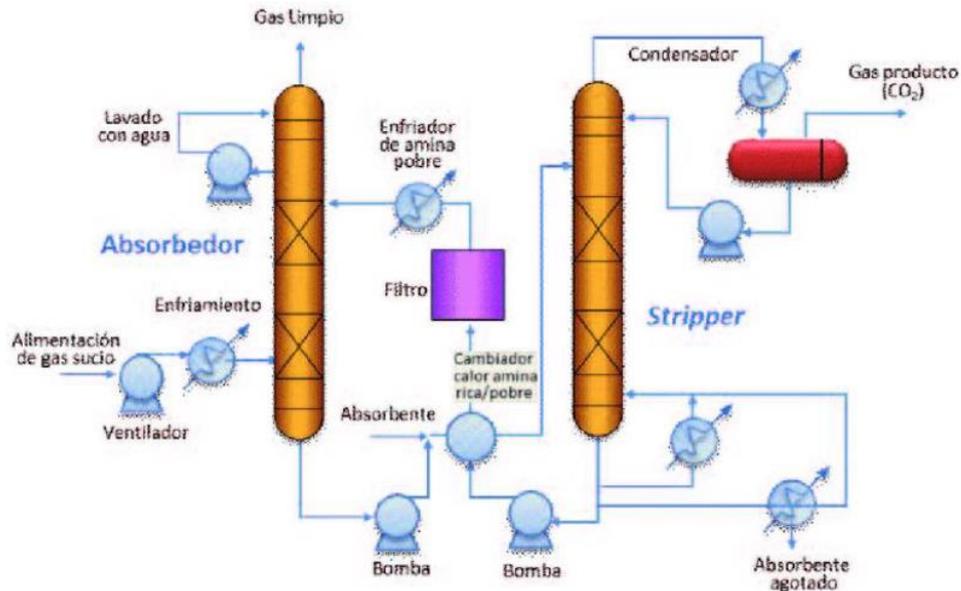


Figura 5-3. Planta de absorción/desorción química.

El CO₂ comprimido podría transportarse por tubería hasta su punto de consumo (si es posible) o bien, podría llevarse a cabo una licuación del gas y su almacenamiento en tanques, bloques o botellas, como es el caso que nos atiene.

La licuación del CO₂ es un proceso complejo que utiliza varias compresiones y expansiones para producir altas presiones y temperaturas muy bajas. A modo de resumen, el proceso consiste en refrigerar el CO₂ a una temperatura inferior a su temperatura crítica para que se pueda formar dióxido de carbono líquido a una presión adecuada, también por debajo de la presión crucial. Tras pasar a estado líquido, el CO₂ está listo para ser almacenado en tanques a 17,5 bares.

Son entradas en el sistema bajo estudio:

- Energía: Electricidad proveniente del ciclo de potencia.
- Agua: Captación de vapor del cuerpo de la turbina del ciclo de potencia y líquida de red (desionizada).
- Materias primas: Gases de escape de la caldera del ciclo de potencia.
- Materiales auxiliares: Carbón activo, sosas, aminas y filtros de proveedor.
- Material embalaje: Tanque de almacenamiento a presión listo para transporte.

Son salidas del sistema:

- Residuos generados: vertidos al agua, contenedores de almacenamiento de aminas y sosa, filtros contaminados, aminas y carbón activo.
- Emisiones: al aire no aprovechadas (CO₂, CO, NO_x, SO_x).
- Producto: 1 kg de CO₂ verde licuado.

5.1.1 Cuantificación e información

1) Materias primas y materias auxiliares

El producto se compone de una única materia prima, una fracción del flujo de gases que sale de la caldera de biomasa del ciclo de potencia, un flujo residual descartado (post-industrial y post-consumo). No requiere transporte pues se genera in situ. Así mismo, se trata de una materia prima 100% biogénica pues se produce de la transformación termoquímica de la biomasa.

A continuación, se indica la cantidad de gases alimentada al sistema para producir 1 kg de CO₂ verde licuado. La composición de estos gases varía mes a mes, pues el tipo de biomasa y su humedad así lo hace. Las

cantidades han sido obtenidas a partir de los registros mensuales y de la producción mensual de dióxido de carbono licuado (tabla 3).

Tabla 2. Entrada materias prima y auxiliares por kg CO₂ verde producido.

Mes	Corriente de gases [kg/kg]	Carbón activo [kg/kg] ²	Sosa [kg/kg]	Aminas [kg/kg]	Filtros [kg/kg]
Mayo 2022	1,05E+00	2,10E-05	2,25E-03	3,60E-03	8,77E-06
Junio 2022	1,05E+00	2,10E-05	2,67E-03	4,26E-03	3,14E-06
Julio 2022	1,05E+00	2,10E-05	3,56E-03	2,23E-03	1,86E-06
Agosto 2022	1,05E+00	2,10E-05	3,79E-03	2,37E-03	1,23E-06
Septiembre 2022	1,05E+00	2,10E-05	3,40E-03	2,13E-03	1,65E-06
Promedio	1,05E+00 ± 2,80E-04	2,10E-05 ± 0,00+E00	3,13E-03 ± 6,46E-04	2,92E-03 ± 9,54E-04	3,33E-06 ± 3,12E-06

Los productos auxiliares provienen de diferentes proveedores a las siguientes distancias:

- *Carbón activo*: se requieren 2,10E-05 kg para producir 1 kg de CO₂ y el proveedor se encuentra a 250 km.
- *Sosa*: se requieren 3,13E-03 kg para producir 1 kg de CO₂ y el proveedor se encuentra a 450 km.
- *Aminas (Etanolamina, MEA)*: se requieren 2,92E-03 kg para producir 1 kg de CO₂ y el proveedor se encuentra a 250 km.
- *Filtros*: se requieren 3,33E-06 kg para producir 1 kg de CO₂ y el proveedor se encuentra a 250 km.

2) Consumos para fabricación y producción mensual

La planta dispone de contadores para el suministro de agua, vapor y electricidad provenientes las tres de la planta de ciclo de potencia. De este modo es posible evaluar el consumo de los tres para el proceso de separación, purificación y licuefacción.

Tabla 3. Consumos por kg de CO₂ verde producido en instalaciones y producción mensual.

Mes	Consumo agua [kg/kg]	Consumo electricidad [kWh/kg]	Consumo vapor [m ³ /kg]	Producción CO ₂ [kg/mes]
Mayo 2022	4,52E-01	2,18E-01	1,23E-03	2,28E+05
Junio 2022	1,18E+00	2,54E-01	2,31E-03	6,36E+05
Julio 2022	1,03E+00	2,13E-01	2,05E-03	1,08E+06
Agosto 2022	8,18E-01	2,26E-01	2,09E-03	1,62E+06
Septiembre 2022	7,05E-01	2,03E-01	1,93E-03	1,21E+06
Promedio	8,36E-01 ± 2,82E-01	2,23E-01 ± 1,95E-02	1,92E-03 ± 4,12E-04	9,56E+05 ± 5,35E+05

El consumo de electricidad promedio es de 0,22 kWh/kg CO₂ para el proceso productivo. El impacto de la electricidad será el asociado a la planta del ciclo de potencia.

El consumo de agua de la planta es de 0,84 kg/kg CO₂ y el de vapor (extraído de cola de turbina entre 4,5 y 6 bar) de 0,0019 m³/kg CO₂. El vapor tendrá los impactos ambientales asociados a la planta del ciclo de potencia,

² A nivel bibliográfico el carbón activo tiene una vida útil de 3 años. Carbueros Metálicos proporciona como información que por tonelada de CO₂ producido se consumen 0,021 kg de Carbón Activo.

mientras que el agua ha sido considerada como agua desionizada.

Finalmente, se tiene información de la cantidad generada y la cantidad distribuida por parte de Carburos u otras empresas. La generación es superior a la distribución por lo que, quedan en planta almacenadas una cantidad. Estas son almacenadas en depósitos de 250 toneladas como buffer de distribución y, por tanto, son consideradas dentro de la producción mensual.

3) Residuos de fabricación

Los residuos generados han sido distribuidos a partir de la totalidad de residuos generados en la planta en el periodo y asignados en función de la producción promedio mensual. Los residuos generados, que son gestionados por GPA en Burgos, es decir a una distancia de 162 km (según Google Maps), son los siguientes:

- 8 filtros/mes → Cada filtro, de tela pesa 250 gramos, por lo que se tiene una generación promedio de $3,33E-06$ kg de filtros/kg CO_2 .
- 4 bidones de MEA/mes y 4 bidones de sosa/mes → cada bidón pesa 61 kg y es de plástico y metal, generando un promedio de $8,13E-04$ kg de bidones/kg CO_2 .
- Se conoce el carbono activo generado como residuo en el periodo de estudio, 2.553 kg. Puesto que se tiene el valor global se ha procedido a linealizar el residuo por la producción en el mismo periodo de CO_2 , es decir $2.553 \text{ kg} / 4,77E+06 \text{ kg } CO_2 = 5,35E-4$ kg carbón activo/kg CO_2 .
- Se conoce la cantidad de aminos generados como residuo en el periodo de estudio, 20.478 kg. Puesto que se tiene el valor global se ha procedido a linealizar el residuo por la producción en el mismo periodo de CO_2 , es decir $20.478 \text{ kg} / 4,77E+06 \text{ kg } CO_2 = 4,29E-3$ kg aminos/kg CO_2 .

4) Emisiones al aire

La planta de Carburos no realiza una medición de gases de manera continuada. Por el contrario, a partir del Informe TUV C/ATM/003634 del 24/03/22 se extrapola de manera mensual los humos de salida.

Tabla 4. Emisiones por kg de CO_2 verde producido.

Mes	CO_2 [kg/kg]	CO [kg/kg]	NO_x [kg/kg]	SO_2 [kg/kg]
Mayo 2022	5,00E-03	4,34E-04	1,31E-03	3,50E-05
Junio 2022	5,25E-03	5,13E-04	1,55E-03	4,14E-05
Julio 2022	5,25E-03	4,29E-04	1,29E-03	3,46E-05
Agosto 2022	5,25E-03	4,56E-04	1,38E-03	3,68E-05
Septiembre 2022	5,25E-03	4,09E-04	1,23E-03	3,29E-05
Promedio	$5,20E-03 \pm 1,13E-04$	$4,48E-04 \pm 4,00E-05$	$1,35E-03 \pm 1,21E-04$	$3,61E-05 \pm 3,24E-06$

5) Embalaje

Como se ha indicado anteriormente, el CO_2 se comprime y licua en dos tanques con una capacidad de almacenamiento de 250 toneladas de CO_2 cada uno, a la espera de ser transportado a cliente en tanques más pequeños y transportados sobre camión que pueden contener hasta 22 toneladas de CO_2 con una capacidad.

No se tiene un embalaje propiamente dicho, pero se ha modelado un tanque de 22 toneladas. Si bien el tanque en que es transportado el producto puede pertenecer al cliente, este impacto se ha atribuido a carburos metálicos bajo un escenario conservador. Para poder modelar estos tanques se ha escalado el material de los tanques de 250 toneladas a un tanque de 22 toneladas a partir de la información de Carburos. A continuación, se incluye el listado de materiales del tanque de transporte:

- Pintura: 24,64 kg - Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {RoW}| market for alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state | Cut-off, U
- Acero reforzado: 148 kg - Reinforcing steel {GLO}| market for | Cut-off, U

- Acero de baja aleación: 2.370 kg
- Emisiones (por pintura): 15,4 kg NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin.
- Soldadura³: 19,1 m Welding, gas, steel [GLO] market for | Cut-off, U.

Para poder obtener el impacto por unidad declarada, es necesario evaluar la cantidad de tanque correspondiente a cada kg CO₂ que será transportado en dicho tanque durante su vida útil. Se ha considerado una vida útil de 20 años del tanque, tras los cuales será reciclado. No se ha considerado contenido reciclado específico para ningún material utilizado en el tanque, asumiendo los contenidos incluidos en los materiales genéricos deecoinvent, al no disponerse de información específica del contenido reciclado del tanque.

Se ha considerado que el tanque es utilizado para transporte de CO₂ un 50% del tiempo por lo que la cantidad de CO₂ almacenada en dicho tanque será de 22.000 kg CO₂/día · 365 días/año · 20 años/vida · 0,5 = 80.300.000 kg CO₂. Por tanto, se utilizará una cantidad de tanque proporcional de 1/80.300.000 = 1,24E-08 unidades de tanque / kg CO₂.

6) Transporte

Todos los transportes de materias auxiliares y residuos han sido considerados como Transport, freight, lorry 3.5-7 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7 metric ton, EURO6 | Cut-off, U.

Todos los transportes a cliente han sido considerados como Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U.

Como se indicaba anteriormente, se tiene información primaria de la cantidad y distancia de transporte de todo el CO₂ comercializado por Carburos hasta cliente. Así mismo, se tiene información de la cantidad de CO₂ recogido en la planta por otros gasistas, para el cual se ha asumido una distancia de entrega de 400 km. Esta información se incluye a continuación para obtener una distancia promedio de transporte.

Tabla 5. Información distribución a cliente

Mes	Cantidad [ton]	Distancia [km]	Impacto [kgkm]
Mayo 2022	21,2	456	9,67E+06
	18,8	558	1,05E+07
	19,9	1.100	2,19E+07
	19	197	3,74E+06
	19,5	974	1,90E+07
	20,4	739	1,51E+07
	17,5	324	5,67E+06
Junio 2022	19,8	350	6,93E+06
	34,9	1.296	4,52E+07
	39,1	1.575	6,16E+07
	18,1	779	1,41E+07
	39,2	1.240	4,86E+07
	21,2	519	1,10E+07
	19	524	9,96E+06

³ Asumido tanque análogo al JSX20203LPGCL8 para gas natural. Para los metros de soldadura se ha estimado que se suelda el diámetro en ambos extremos y dos veces la longitud del tanque: $2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 1.16) + 2 \cdot 5.89 = 19,1\text{m}$.

	19,2	369	7,08E+06
	20	435	8,70E+06
	18,5	434	8,03E+06
	17,9	411	7,36E+06
	14	804	1,13E+07
Julio 2022	19,1	1.411	2,70E+07
	58,6	1.615	9,46E+07
	19,7	1.621	3,19E+07
	20,7	639	1,32E+07
	35,1	968	3,40E+07
	38,2	1.482	5,66E+07
	38,7	2.072	8,02E+07
	37,6	1.450	5,45E+07
	59,3	2.336	1,39E+08
	20,4	746	1,52E+07
	20,2	214	4,32E+06
	400,9	400	1,60E+08
	Agosto 2022	19,3	297
15,8		249	3,94E+06
37,7		523	1,97E+07
59,4		781	4,64E+07
58,6		734	4,30E+07
39,1		589	2,30E+07
39,2		567	2,22E+07
20,1		330	6,63E+06
37,6		477	1,79E+07
19,9		0	0,00E+00
17,4		219	3,82E+06
18,6		727	1,35E+07
18,9		384	7,26E+06
19,6		130	2,54E+06
38,8		654	2,54E+07
39,6		320	1,27E+07
19,3		311	6,01E+06
17,8		598	1,07E+07
19,4		259	5,02E+06
19,7		415	8,18E+06
900,5	400	3,60E+08	
Septiembre 2022	18,96	261	4,95E+06
	20,4	262	5,34E+06
	75,28	1019	7,67E+07

86,09	1341	1,15E+08
17,48	335	5,86E+06
6,74	122	8,22E+05
20,12	327	6,58E+06
18,52	257	4,76E+06
59,56	851	5,07E+07
17,62	0	0,00E+00
17,48	0	0,00E+00
17,3	0	0,00E+00
20,584	822	1,69E+07
18,62	22	4,10E+05
17,88	21	3,75E+05
17,516	473	8,29E+06
17,933	505	9,06E+06
18,4	222	4,08E+06
18,321	378	6,93E+06
56,9	845	4,81E+07
36,46	526	1,92E+07
8,8	223	1,96E+06
8,68	245	2,13E+06
19,083	89	1,70E+06
19,401	298	5,78E+06
19,032	222	4,23E+06
58,154	1031	6,00E+07
19,63	90	1,77E+06
40,24	575	2,31E+07
19,36	765	1,48E+07
403,1	400	1,61E+08
DISTANCIA PROMEDIO [km]		604

A partir de la información anterior, se considera que el cliente medio se ubica a 604 km por lo que el impacto del transporte será 6,04E+02 kg·km.

5.3 Fuentes de referencia

Se ha utilizado el software SimaPro 9.3 y la base de datos ecoinvent 3.6 para el análisis de ciclo de vida con el modelo de sistema “cut-off” y el principio de que “el que contamina paga”, el cual considera que *“la filosofía subyacente es que un productor es totalmente responsable de la eliminación de sus desechos y que no recibe ningún crédito por el suministro de materiales reciclables”*.

Adicionalmente, se ha aplicado el principio de modularidad para asignar los procesos de tratamiento y disposición de residuos de las actividades productivas en el alcance de estudio.

Los métodos de evaluación seleccionados son los correspondientes con la norma EN 15804:2012+A2:2019 y compatibles con la base de datos ecoinvent 3.6, incluyendo los métodos determinados para cada uno de los indicadores por categoría de impacto.

5.4 Procedimientos de cálculo

Para cada uno de los procesos unitarios descritos se han aplicado procedimientos de cálculo para obtener los patrones de consumo o utilización de recursos como se describe a continuación:

5.4.1. Aguas arriba: Materias primas y auxiliares

Se ha recopilado las cantidades y descripciones de los diferentes tipos de materiales y sus orígenes a partir de la información proporcionada por Carburos Metálicos y ENSO de su proceso productivo.

Tabla 6. Materias primas y auxiliares para producción de 1 kg CO₂.

Materia	Cantidad [kg/kg]	Modelo de referencia	Comentarios
Gases de escape	1.05E+00	-	Puesto que es un residuo de la planta de potencia se considera nulo de impacto. La composición es la mostrada en el Anexo 1.
Carbón activo	2,10E-05	Activated carbon, granular {RER} activated carbon production, granular from hard coal Cut-off, U	EL poder calorífico de este carbón para el cálculo del PENRM (no es renovable al ser artificial) es de 29.000 KJ/kg ⁴
Filtros	3,33E-06	textile, woven cotton {RoW} textile production, cotton, weaving Cut-off, U	Se asimila a un filtro de mangas. No se considera con poder calorífico ni con contenido reciclado en su materia prima. Se consumen 8 al mes y pesan 250 g/unidad
Sosa	3,13E-03	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {RER} chlor-alkali electrolysis, membrane cell Cut-off, U	-
Aminas	2,92E-03	Monoethanolamine {RER} ethanolamine production Cut-off, U	Se asimila a esta amina.

Las materias recuperadas de otros sistemas son consideradas materiales secundarios, obtenidos tras alcanzar la fase de fin de ciclo de vida del sistema anterior, esto de acuerdo con el principio “el que contamina paga”.

5.4.2. Aguas arriba: Tanque de almacenamiento para transporte

Se ha modelado a partir de la información anteriormente citada.

Tabla 7. Material embalaje para 1 kg CO₂.

Materia	Cantidad [u/kg]	Modelo de referencia	Comentarios
Tanque de acero	1,24E-08	Modificado de la ficha Liquid storage tank, chemicals, organics {RoW} production Cut-off, U con una ratio de 22,7:4000 [m3/m3] e	Se asume que se tiene una distribución de proveedor de materiales de 500 km.

⁴ doi:10.3390/en13236462

Materia	Cantidad [u/kg]	Modelo de referencia	Comentarios
		información de Carbuos Metálicos. Ver apartado 5.1.1 5)	

5.4.3. Central. Transporte de materias primas y auxiliares

A continuación, se incluyen los transportes asociados a las materias primas y auxiliares utilizados para el producto necesarios para que este cumpla con los parámetros técnicos y de calidad necesarios. Se ha determinado una relación de kg-km la cual se ha consolidado por tipo de transporte utilizado.

Tabla 8. Estimación de distancia de transporte de materias primas y auxiliares por tipo de producto para 1 kg de CO₂.

Materia	Método transporte	kg-km/kg	Modelo
Gases de escape	-	0	-
Carbón activo	Camión	2,10E-05-250 = 5,25E-03	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Filtros	Camión	3,33E-06-250 = 8,32E-04	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Sosa	Camión	3,13E-03-450 = 1,40E+00	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Aminas	Camión	2,92E-03-250 = 7,30E-01	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
TOTAL	Camión	2,14E+00	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U

Se ha utilizado un modelo market para considerar el embalaje de producto y la distancia desde el fabricante hasta un centro de distribución. Sobre dicho perfil se ha añadido la distancia de proveedor a planta.

5.4.4. Central: Producción

a) Producción total

Con base en los registros internos la cantidad de materiales producidos al mes se incluye a continuación. Esta distribución permitirá la asignación de los consumos generales de calor, agua y residuos de la planta de producción.

Tabla 9. Producción mensual

Mes	Producido [kg/mes]	Comercializado por Carbuos [kg/mes]	Comercializado por terceros [kg/mes]
Mayo 2022	2,28E+05	1,36E+05	0,00E+00
Junio 2022	6,36E+05	2,81E+05	0,00E+00

Mes	Producido [kg/mes]	Comercializado por Carburos [kg/mes]	Comercializado por terceros [kg/mes]
Julio 2022	1,08E+06	3,68E+05	4,01E+05
Agosto 2022	1,62E+06	5,76E+05	9,00E+05
Septiembre 2022	1,21E+06	8,11E+05	4,03E+05
PROMEDIO	9,56E+05 ±5,38E+05	4,34E+05 ±2,64E+05	5,68E+05 ± 2,88E+05

b) Consumo de electricidad y calor

Como se obtuvo anteriormente los consumos de electricidad son de 2,20E-01 kWh/kg y de vapor 1,90E-03 m³/kg. En el anexo 1 se encuentran los impactos ambientales y la metodología para calcular el impacto ambiental de estos flujos.

- Consumo electricidad: 2,20E-01 kWh (ver anexo 1). Esta electricidad se considera renovable y por tanto se considera en el impacto en la categoría de RSF (Renewable Secondary Fuel)
- Consumo vapor: 1,90E-03 m³ (ver anexo 1). Se ha utilizado como factor de conversión la densidad del vapor de agua sobrecalentado a 4,5 y 170°C, es decir 2,01 kg/m³, o lo que es lo mismo, 3,80E-03 kg,

c) Consumo de agua y vertido

A partir de contador se obtiene que la captación de agua por kg de CO₂ es de 8,40E-01 kg y el vertido la suma de ambos, el agua captada y el vapor captado: 8,40E-01 + 3,80E-03 = 8,44E-01 kg.

- Consumo agua: 8,40E-01 kg de water, deionised {Europe without Switzerland} market for water, deionised | Cut-off, U
- Vertido: 8,44E-01 l de Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average | Cut-off, U

d) Emisiones a la atmósfera (aire)

Las emisiones a la atmósfera han sido contabilizadas a partir del rendimiento de captura del sistema de tratamiento de CO₂, asumiendo que CO, NO_x y SO₂ son inertes al sistema. A continuación, se indica la emisión mensual y promedio.

Tabla 10. Emisiones por kg de CO₂ verde producido.

Mes	CO ₂ [kg/kg]	CO [kg/kg]	NO _x [kg/kg]	SO ₂ [kg/kg]
Mayo 2022	5,00E-03	4,34E-04	1,31E-03	3,50E-05
Junio 2022	5,25E-03	5,13E-04	1,55E-03	4,14E-05
Julio 2022	5,25E-03	4,29E-04	1,29E-03	3,46E-05
Agosto 2022	5,25E-03	4,56E-04	1,38E-03	3,68E-05
Septiembre 2022	5,25E-03	4,09E-04	1,23E-03	3,29E-05
Ficha SimaPro	Carbon dioxide, biogenic	Carbon monoxide, biogenic	Nitrogen oxides, ES	Sulfur dioxide, ES
Promedio	5,20E-03 ± 1,13E-04	4,48E-04 ± 4,00E-05	1,35E-03 ± 1,21E-04	3,61E-05 ± 3,24E-06

e) Generación de residuos sólidos

Por medio de información de planta se identifican y contabilizan los residuos sólidos municipales, residuos

reciclables no peligrosos, residuos peligrosos reciclables y residuos peligrosos para tratados por incineración. Para cada tipo de residuo se ha calculado el promedio por kg de CO₂ producido a partir de la producción de residuos generada y/o esperada. El destino final (reciclaje, depósito) de los materiales fue seleccionado por criterio experto.

Tabla 11. Residuos sólidos generados y distancia a tratamiento

Residuo	Cantidad anual [kg]	Cantidad específica [kg/kg CO ₂]	Modelo de referencia	Distancia tratamiento [km]
Plástico de los bidones	2,93E+03	4,06E-04	80% Waste polyethylene, for recycling, sorted {Europe without Switzerland} treatment of waste polyethylene, for recycling, unsorted, sorting Cut-off, U 20% Waste plastic plaster, for final disposal {RoW} treatment of waste plastic plaster, inert material landfill Cut-off, U ⁵	162
Metal de los bidones	2,93E+03	4,06E-04	80% ferrous metal, in mixed metal scrap {Europe without Switzerland} market for ferrous metal, in mixed metal scrap Cut-off, U 20% Scrap steel {Europe without Switzerland} treatment of scrap steel, inert material landfill Cut-off, U	162
Filtros contaminados	2,40E+00	3,33E-06	Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration Cut-off, U	162
Carbón activado	2,55E+03	5,35E-04	Hazardous waste, for incineration {Europe	162

⁵ Se conoce el peso de cada IBC (61 kg en vacío) y que son de plástico con estructura metálica, pero se desconoce el peso de cada parte, por lo que se asume que el 80% del peso es metal y el 20% plástico.

			without Switzerland}} market for hazardous waste, for incineration Cut-off, U	
Aminas residuales	2,05E+04	4,29E-03	Spent solvent mixture {Europe without Switzerland}} market for spent solvent mixture Cut-off, U ⁶	162

Se tiene un impacto debido al desplazamiento de los residuos de 9,13E-01 kg-km mediante un transporte Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER}} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 | Cut-off, U.

5.4.5. Aguas abajo: Transporte de producto

A partir de la **información de ventas de los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre** proporcionado por Carbueros, se ha generado un escenario de referencia para obtener un transporte medio a cliente. Esta información se encuentra en la tabla 12, resultando en un proceso de 6,04E+02 kg-km transportados mediante Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U.

Tabla 12. Parámetros del modelo utilizado para el transporte de producto terminado

Parámetros	Valores por unidad declarada (1 m ³ de producto)
Tip de vehículo y combustible	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Distancia	km con camión: 604 km
Capacidad utilizada (incluyendo el retorno)	100% volumen (ida y vuelta)*
Densidad aparente	CO ₂ verde: 1,032 líquido a -20°C y 20bar kg/m ³
Factor de capacidad útil	1

*Se estima que el camión transporta el depósito pero que este no retorna, pudiéndose utilizar la cabeza tractora del camión para otros usos.

5.4.6. Aguas abajo: Fase de Uso

De acuerdo con las características del producto es extremadamente complejo identificar un único uso o un escenario de usos específicos y de fin de vida para el producto.

5.4.7. Aguas abajo: Fase de fin de vida embalaje

Como se indicaba anteriormente este producto no se envía con un embalaje al uso, sino que es transportado en un camión cisterna y descargado en el punto de uso. Se ha considerado el reciclaje de la cisterna. Para este, se le ha dado un tratamiento de Scrap steel {Europe without Switzerland}} market for scrap steel | Cut-off, U al peso correspondiente de tanque por unidad declarada de producto, es decir, a 1 tanque / 80.300.000 kg CO₂ = 1,24E-08 kg de tanque con un transporte mediante Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6

⁶ Se ha elegido este tratamiento genérico puesto que no existe un único tratamiento para las aminas, siendo habitual tratamientos de regeneración química.



{RER}| market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U estimado de 50 km. Se ha considerado que el 100% de la cisterna es enviada a reciclaje.

5.4.8. Beneficios y cargas fuera de los límites del sistema.

De acuerdo con las características del producto no existe un beneficio o carga aplicable al producto salvo.

5.5 Validación de datos

- Los datos de producción se registran como parte del control operativo de la empresa.
- Los consumos de materias primas se registran mediante equipos y procesos automatizados, con equipos de alimentación y pesaje principalmente.
- Los datos de electricidad, agua y vapor se obtienen a partir de contador.
- Los datos reportados para el transporte de materias primas y otros suministros son estimaciones de distancias recorridas para abastecimiento desde las instalaciones del productor o distribuidor.
- Para la validación de los datos se han determinado los valores promedios en que ha estado en marcha la instalación, analizado las ratios de consumo respecto al total de producción respectivos.

5.6 Principios y procedimientos de asignación

- Para la evaluación de los impactos de la electricidad se ha realizado una asignación (ver anexo 1) donde todos los impactos han sido imputados a la electricidad y vapor, asumiendo que ENSO no obtiene beneficio alguno (y como tal es un residuo) de la corriente de gases de escape de su caldera. En el caso de la captura y licuado de CO₂, no hay co-productos, por lo que no hay asignación.
- Los datos de gestión de residuos responden a la totalidad de los residuos generados en las instalaciones de la planta productiva.
- Se crearon escenarios de distribución y fin de vida del producto para la unidad declarada (en masa). Se ha seguido el principio de modularidad, así como el principio de quien contamina paga.

6 Evaluación del impacto del ciclo de vida

6.1. Factores de caracterización y categorías de impacto

Para cada uno de los consumos de materias primas y otros insumos productivos, así como las otras salidas de los procesos analizados, se han seleccionado flujos de referencia de la base de datos ecoinvent 3.6, procurando el uso de los procesos/materiales más representativos en cuanto a composición y/o tecnología.

Las categorías de impacto ambiental y categorías de recursos fueron determinadas mediante la aplicación de los factores de impacto definidos en la norma EN 15804:2012+A2:2019, pues según indicaciones de Environdec, “*the core environmental impact indicators of EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021 as mandatory indicators*”. Los métodos de caracterización incluyen los factores del Anexo C de la norma. Resultando en los siguientes indicadores:

- Global Warming Potential (kg CO₂eq), distinguiendo entre fossil, biogenic y luluc según método EN 15804 (IPCC 2013)
- Acidification potential (kg SO₂eq) según método EN 15804 (Seppälä et al. 2006, Posch et al. 2008)
- Eutrophication potential, distinguiendo entre aquatic freshwater (kg Peq, método EN 15804, Struijs et al. 2009 as implemented in ReCiPe), aquatic marine (kg Neq, método EN 15804, Struijs et al. 2009 as implemented in ReCiPe) y terrestre (mol Neq, método 15804, Seppälä et al. 2006, Posch et al. 2008)
- Ozone depletion potential (kg CFC-11eq) según método 15804, WMO 2014)
- Photochemical Ozone Creation Potential (kg NMVOC) según método 15804, POCP, LOTOS-EUROS as applied in ReCiPe
- Abiotic Depletion Potential, minerals & metals (kg Sbeq) según método 15804, Guinée et al. 2002, van Oers et al. 2002, CML 2001 baseline
- Abiotic Depletion Potential, fossil resources (MJ), según método 15804
- Water scarcity potential (m³) según método 15804, AWARE

Para las categorías de uso de recursos se determinó el total de recursos de energía primaria renovable y no renovable (PERT y PENRT), utilizando los factores de impacto de la metodología Cumulative Energy Demand (CED). Adicionalmente, por medio del poder calorífico inferior (LHV) de cada una de las materias primas (consumibles) se estimó la contribución en energía primaria de los materiales renovables y no renovables consumidos (PERM y PENRM), considerando también los materiales de embalaje del producto terminado. En el caso de material secundario, combustibles secundarios renovables, y no renovables y uso de agua se ha utilizado el inventario de ciclo de vida.

Para la evaluación de residuos generados se ha utilizado el método EDIP 2003 y, finalmente, para los flujos de salida, se ha utilizado el inventario de ciclo de vida para evaluar componentes para reutilización, reciclado y valorización energética.

6.2. Evaluación de la calidad de los datos

De forma general, los datos de actividad se obtienen por registros de Carburos de manera mensual. Los datos en su totalidad corresponden a cinco meses de operación, entre mayo de 2022 y agosto de 2022. En este periodo se considera estabilizada la planta, utilizándose por tanto los datos promedio de los tres últimos meses. Esta planta es de reciente creación y no dispone de más datos de producción. Las bases de datos utilizadas tienen una correlación temporal entre 1 y 10 años, con correlación geográfica española vs conjuntos representativos de un área mayor (Europa) y con una correlación tecnológica igual o similar, respecto a los flujos para procesos como uso de maquinaria o equipos de transporte. El manejo de datos y control de la información, aseguran la calidad de los datos para su representatividad y consistencia, establecidos por Carburos.

En la elaboración del ACV se utilizó el “ecoinvent data quality system” como metodología para la evaluación de la calidad de los datos utilizados a partir de los flujos y procesos que se tomaron de la base de datos ecoinvent 3.6, para los cuales se mantuvieron los parámetros calidad por defecto, con la siguiente escala:

Tabla 13 Criterios de evaluación de calidad de los datos

Criterio	Precisión del dato	Representatividad geográfica	Representatividad tecnológica	Representatividad temporal
Muy bueno (1)	Dato obtenido de la empresa	Datos del área en estudio	ICV representativo	Menos de 5 años de diferencia con el período de tiempo del conjunto de datos
Medio (2)	Dato estimado a partir de datos de la empresa	Datos de zona con condiciones de producción similares	ICV representativo de proceso o material similar	Dato entre 5 y 10 años de diferencia con el período de tiempo del conjunto de datos
Muy pobre (3)	Dato estimado a partir de bibliografía o BBDD comercial	Datos de un área desconocida o claramente diferente (América del Norte en lugar de Medio Oriente, OCDE-Europa en lugar de Rusia)	ICV no representativo	Antigüedad de los datos desconocida o más de 10 años de diferencia con respecto al período de tiempo del conjunto de datos

Tabla 14 Evaluación de calidad de los datos de entrada del inventario respecto a los flujos ecoinvent

Flujo	Calidad de datos de entrada				Comentario
	Pre	Geo	Tec	Temp	
Consumo electricidad	1	1	1	1	Dato obtenido de Carburos, Geográficamente representa el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente.
MEA (monoethanolamina)	1	2	1	1	Dato obtenido de Carburos, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Carbón activo	1	2	1	1	Dato obtenido de Carburos, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Filtros	3	2	3	1	Dato asumido a partir de BBDD, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. Se ha asumido el material.
Sosa al 50%	1	2	1	1	Dato obtenido de Carburos, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Gases emitidos	1	1	1	1	Dato obtenido de ENSO, geográficamente representa el mismo área bajo estudio, Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Agua residual	1	2	2	1	Dato obtenido asumido a partir de información de Carburos, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es representativo del proceso
Residuos metálicos y plásticos	1	2	2	1	Dato obtenido asumido a partir de información de Carburos, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es representativo del proceso
Carbón activo	3	2	1	1	Dato obtenido asumido a partir de información de Carburos, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es equivalente.
Almacenaje,	Pre	Geo	Tec	Temp	Comentario

Flujo compresión y transporte	Calidad de datos de entrada				
Tanque transporte	2	1	1	2	Dato estimado del proceso. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. Enecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.
transport, freight, lorry 16-32 ton	2	1	1	2	Dato estimado del proceso. Dato geográficamente adecuado y en un rango de años menor a 5. Enecoinvent el dato seleccionado es de un proceso similar o equivalente.

7 Interpretación del ciclo de vida:

7.1. Información de contenido

A continuación, se presentan las tablas que describen el contenido del producto.

Tabla 15 Información del contenido del CO₂ licuado

Componentes del producto	Distribución de las materias primas %	Material Post-consumidor o post-industria, peso, % de materia prima	Material renovable, peso, % de materia prima
CO ₂ de caldera de biomasa	100%	100%	100%
TOTAL	100%	100%	100%

Declaración de sustancias peligrosas: Los productos declarados contienen menos del 0,1% o ninguna sustancia peligrosa, de la lista de "Candidate of Substances of Very High Concern"⁷. Todos los productos de materiales aquí declarados cumplen con el Reglamento REACH (CE) n° 1907/2006, relativo al registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas.

7.2. Información sobre el contenido de carbón biogénico

Por la naturaleza de sus componentes el producto contiene 100% de carbono biogénico al provenir de biomasa proveniente de residuos forestales y orujillo. Se da la situación en que el producto es CO₂ por lo que el contenido en carbono biogénico en el producto se calcula como la inversa del valor de carbón biogénico equivalente en CO₂, es decir, kg carbón biogénico = 12/44 kg CO₂ = 2,72E-01.

Tabla 16. Declaración del contenido de carbón biogénico por m³ de tablero

Contenido de carbón biogénico	Unidad	Cantidad declarada
Contenido de carbono biogénico en el producto	kg C	2,72E-01
Contenido de carbono biogénico en el embalaje	kg C	0,00E+00

Nota: 1 kg de carbón biogénico es equivalente a 44/12 kg CO₂.

7.3. Resultados

Las declaraciones ambientales de productos dentro de la misma categoría de productos de diferentes programas pueden no ser comparables. Asimismo, los resultados de esta DAP pueden no ser comparable con otras DAP si no cumplen con la norma EN 15804:2012+A2:2019 y no comparte el mismo alcance de aguas abajo. En el Anexo 2 de este informe se presentan los resultados para cada una de las categorías de impacto y sus correspondientes indicadores, todos expresados en función de un kg de producto, como unidad declarada.

A continuación, se ha realizado un análisis de los resultados para un kg de producto considerando las etapas aguas arriba, central y aguas abajo. Utilizando el indicador Potencial de calentamiento global (GWP), el Abiotic Depletion Potential (ADP) fossil fuels y el acidification [kg SO₂ eq] por kg de producto se han identificado los principales procesos y sus fuentes de contribución en cada uno de los módulos evaluados, lo cual se resume en las figuras a continuación.

⁷ <https://echa.europa.eu/es/search-for-chemicals>

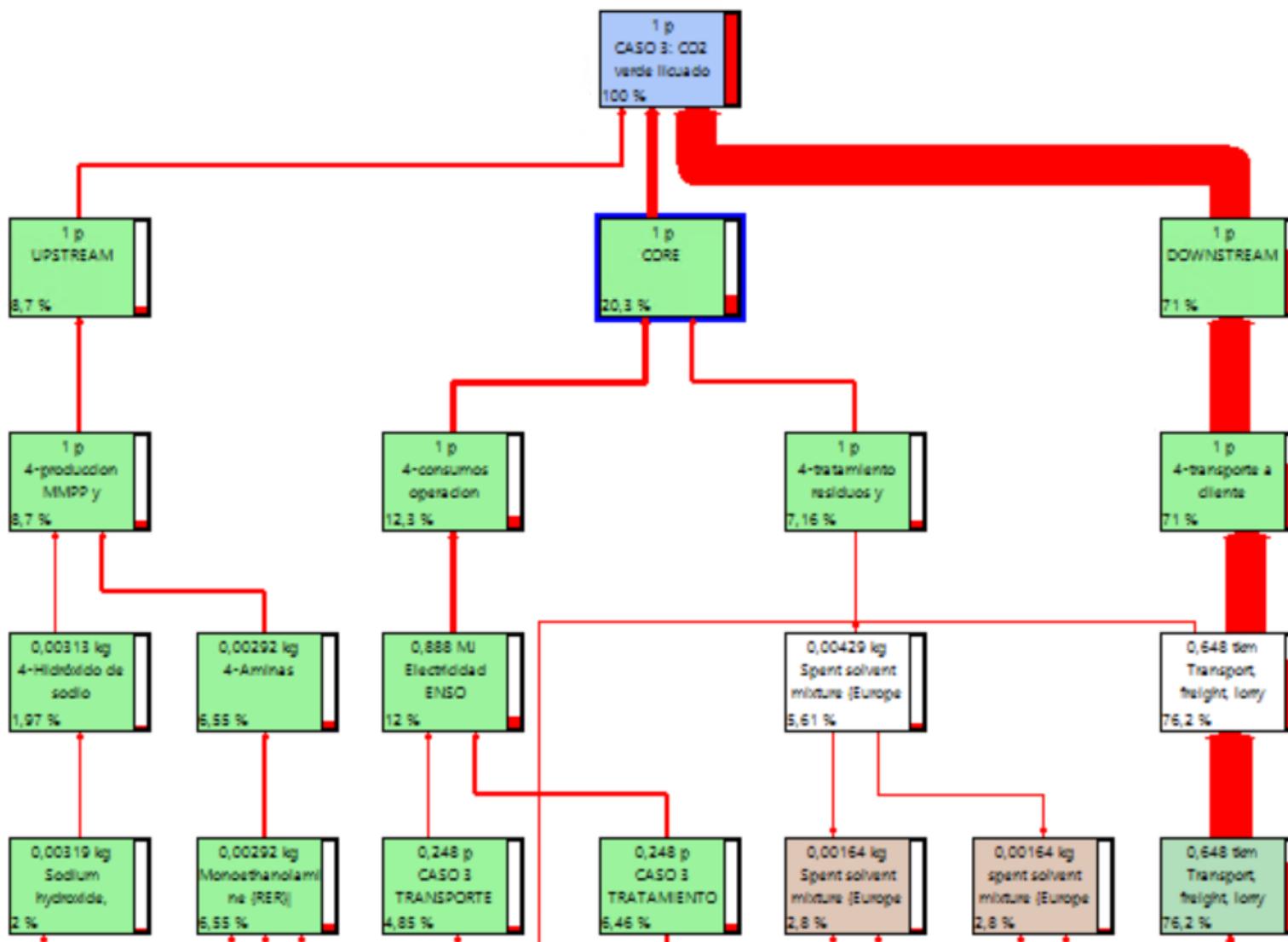


Figura 7-1. Rede de contribución al GWP [kg CO₂ eq] por módulo y proceso. Corte a 2%.

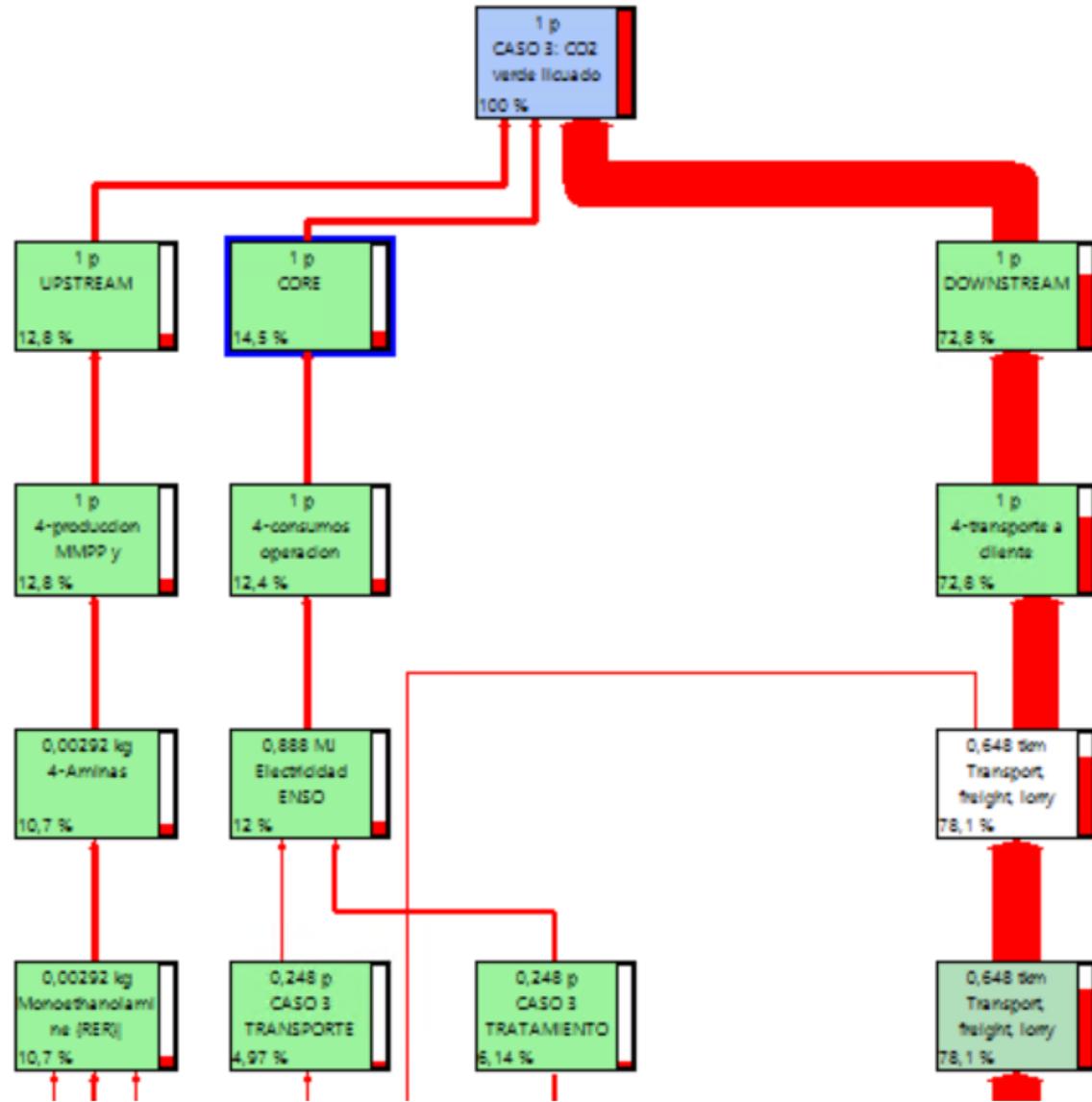


Figura 7-2. Rede de contribución al ADP fossil fuels [MJ] por módulo y proceso. Corte a 2%.

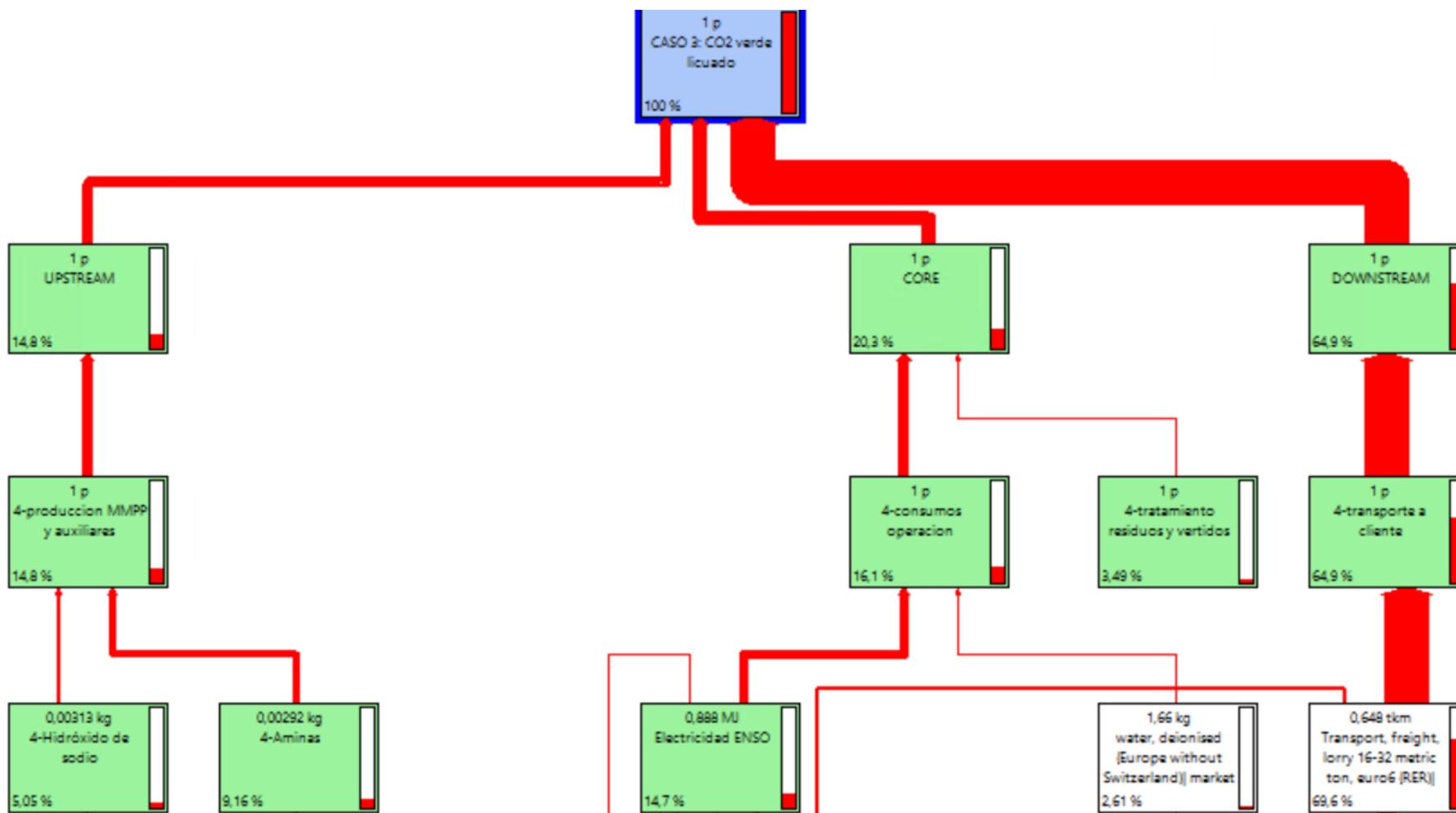


Figura 7-3. Red de contribución al Acidification Potential [kg SO₂ eq] por módulo y proceso. Corte a 2%.

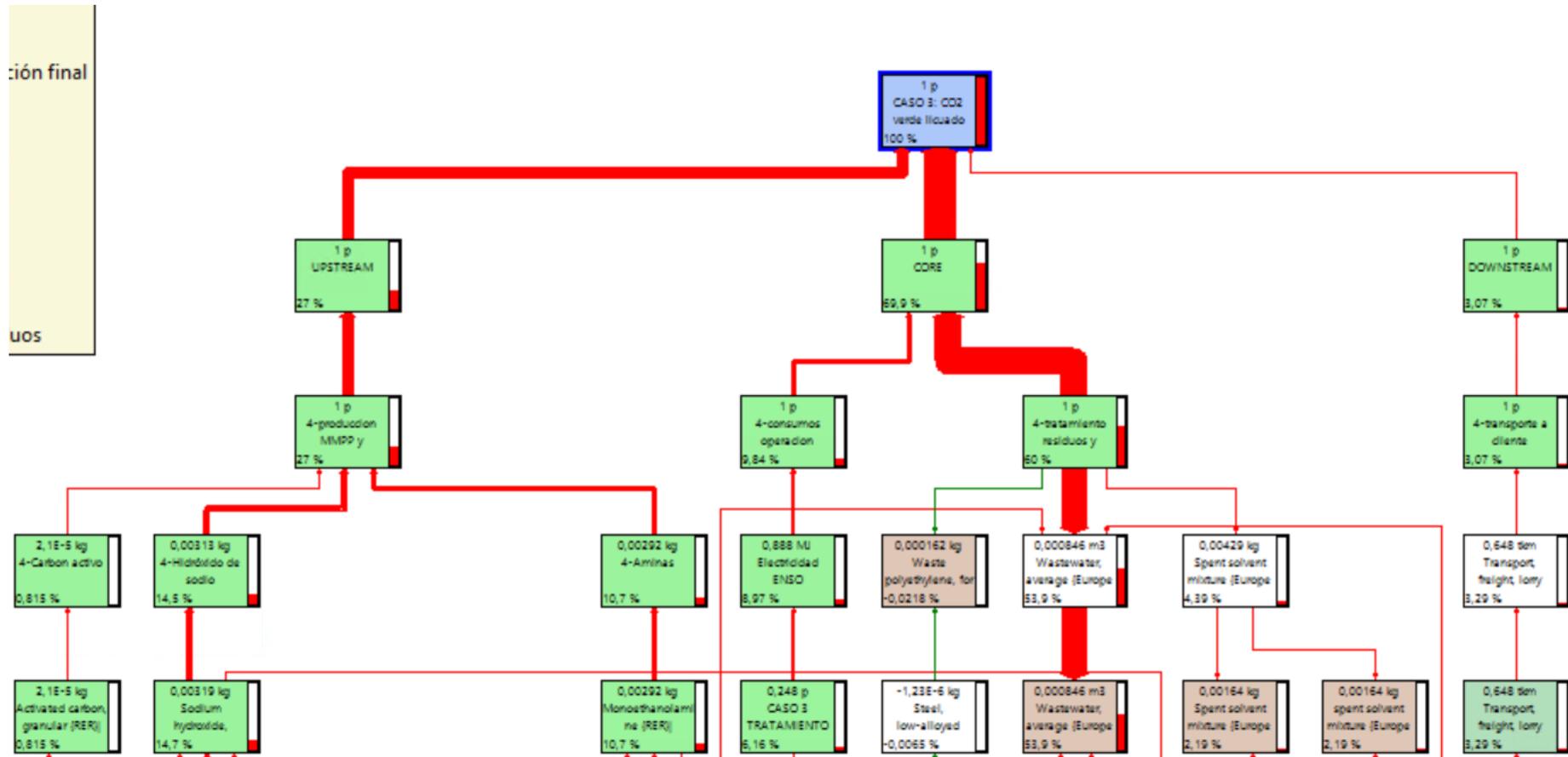


Figura 7-4. Red de contribución al Eutrophication potential freshwater [kg P eq] por módulo y proceso. Corte a 2%.

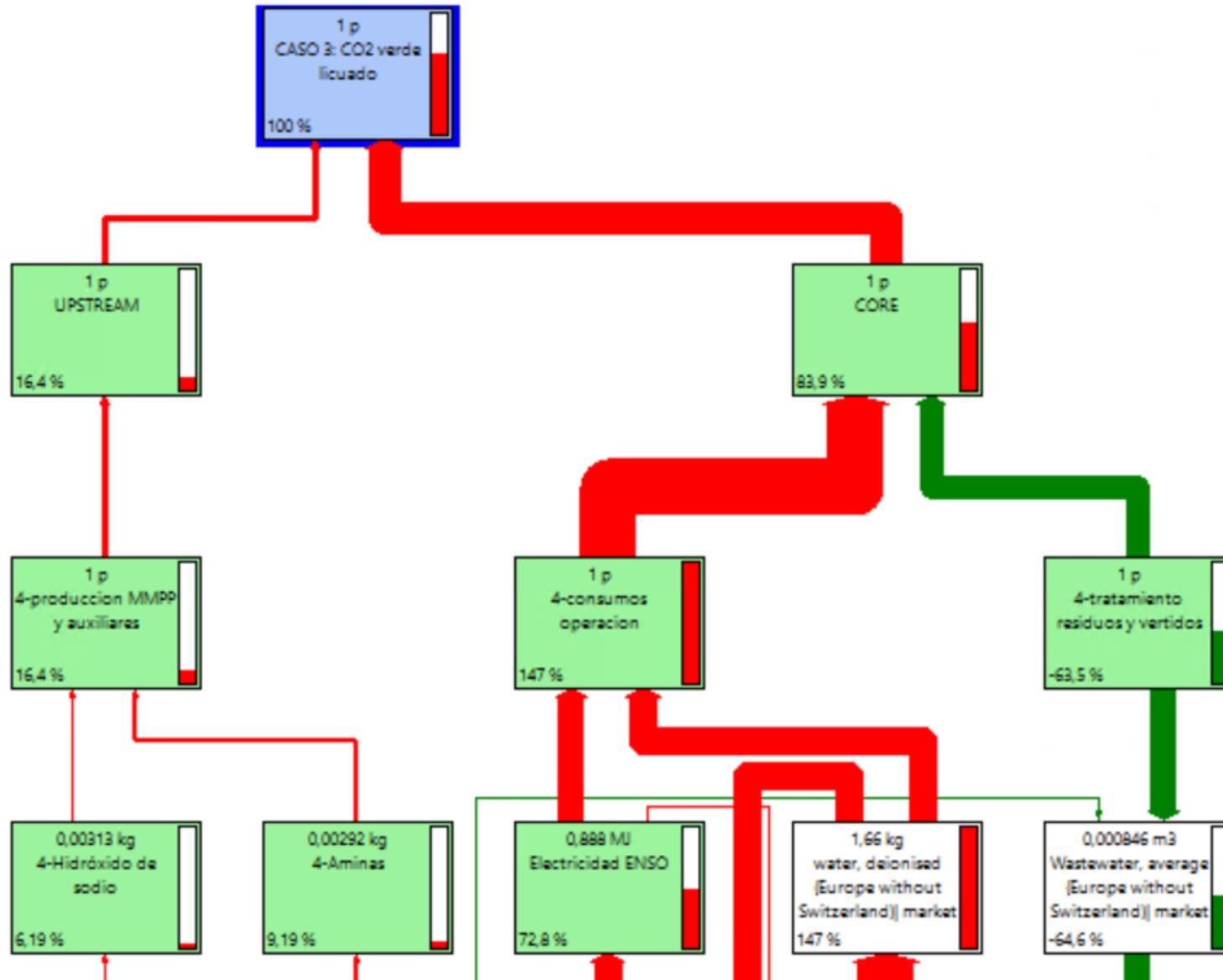


Figura 7-5. Árbol de contribución al water scarcity [m³] por módulo y proceso. Corte a 2%.

Cuando se analizan las redes de contribución, se observa cómo, en las tres primeras categorías analizadas se presentan idénticos resultados. El impacto principal se debe al transporte del producto a cliente, con un impacto entre el 65 y el 72%, seguido de la electricidad generada en la planta de potencia (entre un 12 y un 14%) y de las aminas e hidróxido sódico consumido.

Cuando se analiza la red de contribución a la eutrofización de agua dulce, es el módulo central (principalmente el tratamiento de las aguas residuales generadas en la planta de Carburos y la electricidad) seguido del módulo aguas arriba (amina e hidróxido sódico) las principales contribuciones.

El análisis de la red de contribución a la escasez hídrica presenta su principal impacto en el consumo de agua desionizada del proceso central, y el agua consumida en el ciclo de potencia, seguido del agua consumida para producir las aminas y el hidróxido sódico del módulo aguas arriba.

Es decir, que es la etapa aguas abajo la que presenta el principal impacto de ciclo de vida en las tres primeras. Sin embargo, cuando se analizan las categorías de eutrofización o escasez hídrica se observa cómo el módulo central es el que presenta mayor impacto.

7.3.1 Contribución de los módulos declarados a los indicadores de impacto ambiental

A continuación, se representan para todas las categorías de impacto analizadas los impactos asociados a las diferentes fases.

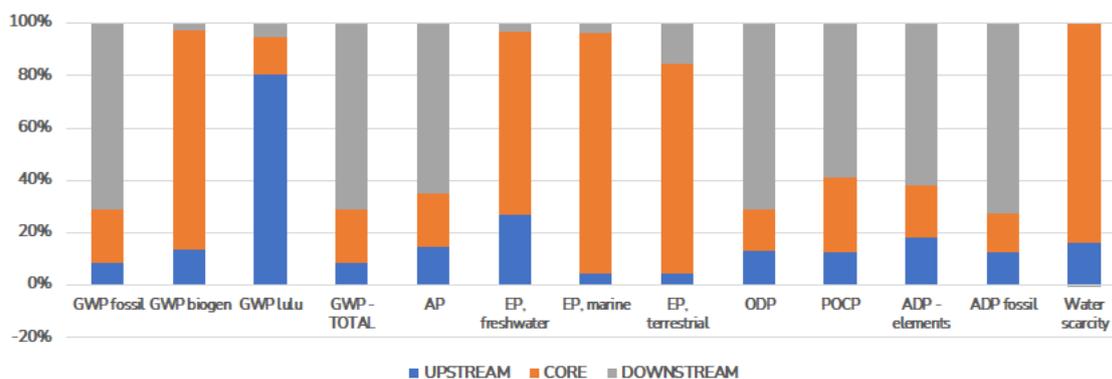


Figura 7-6. Indicadores de impacto ambiental por etapa para 1 kg CO₂ verde licuado.

De la figura se determina que:

- El módulo aguas abajo es el responsable principal en casi todas las categorías de impacto a excepción de la eutrofización y el impacto sobre el agua como se veía anteriormente.
- En el cambio de usos de suelo presenta un impacto relevante el módulo aguas arriba, debido a la generación de electricidad para producir las aminas y el hidróxido y a la producción de algodón para producir los filtros

7.3.2 Contribución de los módulos declarados a los indicadores de uso de recursos

De las figuras a continuación, se determina que:

- En términos del recurso de energía primaria renovable, aproximadamente el 75% del impacto se asocia al módulo aguas arriba, seguido del módulo aguas abajo y del central. Cuando se analizan los impactos, esto se debe a la energía térmica y eléctrica proveniente de fuentes biogénicas (astillas de madera), hidroeléctrica y energía eólica para producir el hidróxido sódico y las aminas, seguido de los impactos asociados a la electricidad para producir diésel para el transporte.
- No se introduce en el ciclo de vida ningún recurso energético en forma de materia renovable (PERM), pero sí no renovable (como es el carbón activado) y así se refleja en la etapa aguas arriba (PERNM).
- Los resultados de los indicadores de uso de recursos de energía primaria no renovable (PENRE), muestran

que la mayor fuente de impacto es el consumo de combustibles debido al transporte.

- En lo que a material secundario se refiere, el 100% de los impactos se refieren a los gases provenientes de la planta de ciclo de potencia y así se refleja en el módulo aguas arriba.
- En lo que considera a combustibles secundarios, el 100% de la energía térmica y eléctrica proviene de origen renovable y así se refleja en el módulo central.
- Por su parte el indicador de uso de agua dulce (FW) se asocia primordialmente al consumo durante la etapa de separación en el módulo central.

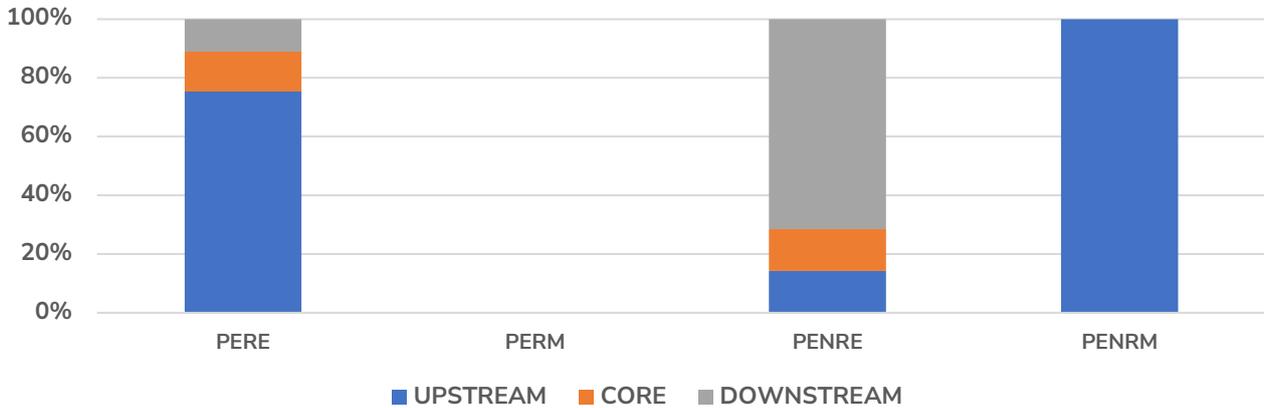


Figura 7-7. Contribución de los módulos a los indicadores de uso de recursos energéticos.

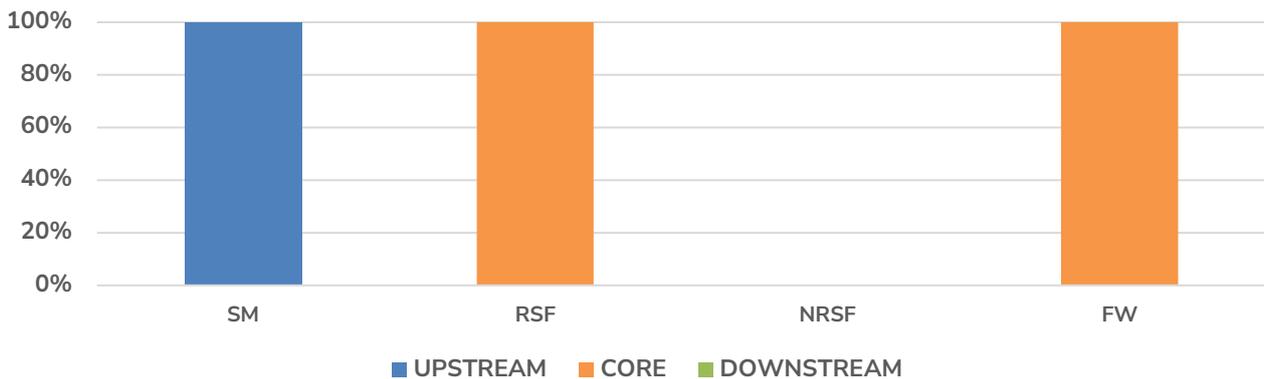


Figura 7-8. Contribución de los módulos a los indicadores de uso de recursos no energéticos.

7.3.3 Contribución de los módulos declarados a los indicadores de residuos

De las figuras a continuación, se determina que:

- El indicador de residuos peligrosos (HWD) se evidencia en principalmente en el módulo aguas abajo, debido al transporte de producto terminado por vías terrestres.
- El indicador NHWD (residuos no peligrosos), se determina a partir de la mezcla de residuos ordinarios producidos en el módulo central, para producción de electricidad (96%), que son gestionados en un relleno sanitario local y residuos inertes que son depositados también en relleno sanitario, en su mayoría debidos a las escorias generadas en la planta de producción de electricidad.
- El indicador RWD (residuos radioactivos), presenta resultados que se originan en los consumos energéticos para el transporte, sin embargo, las magnitudes obtenidas son una cantidad muy inferior a los otros indicadores para todos los casos estudiados.

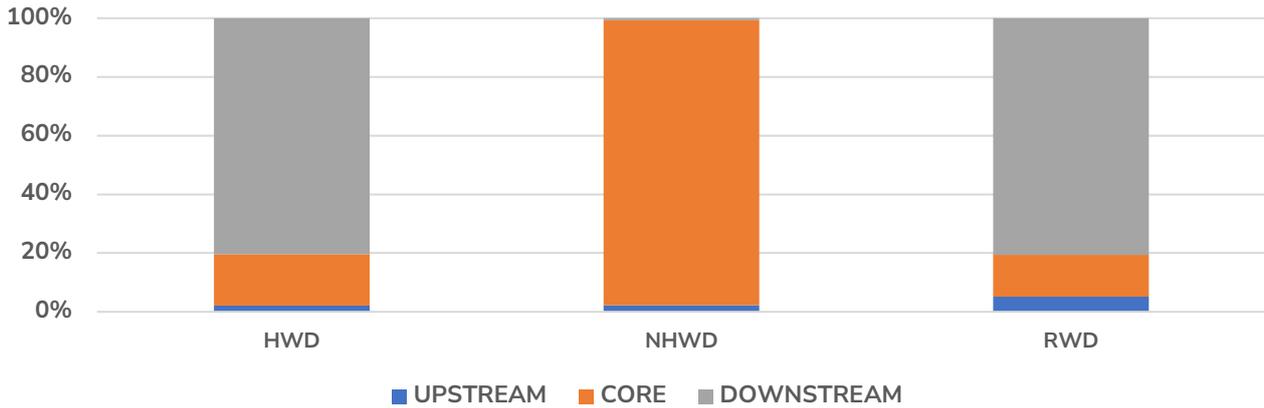


Figura 7-9. Contribución de los módulos a los indicadores de flujo de residuos.

7.3.4 Contribución de los módulos declarados a indicadores de flujo de salida

De las figuras a continuación, se determina que:

- Los indicadores de materiales para reutilización (CRU) tiene el impacto asociado al retorno del depósito de acero para volver a ser utilizado para transportar de nuevo CO₂. En el caso de energía exportada no cuenta con contribuciones en el inventario de datos en ninguna fase. Se reportan residuos enviados a reciclaje (MFR) incluyendo residuos no peligrosos asociados al final de la vida útil del tanque de acero tras 20 años de uso, pero es una cantidad muy pequeña comparado con el peso de los bidones reciclados tras su uso para transportar aminas y sosa.
- No existe recuperación energética de los residuos por lo que no hay material para valorización energética ni energía exportada.

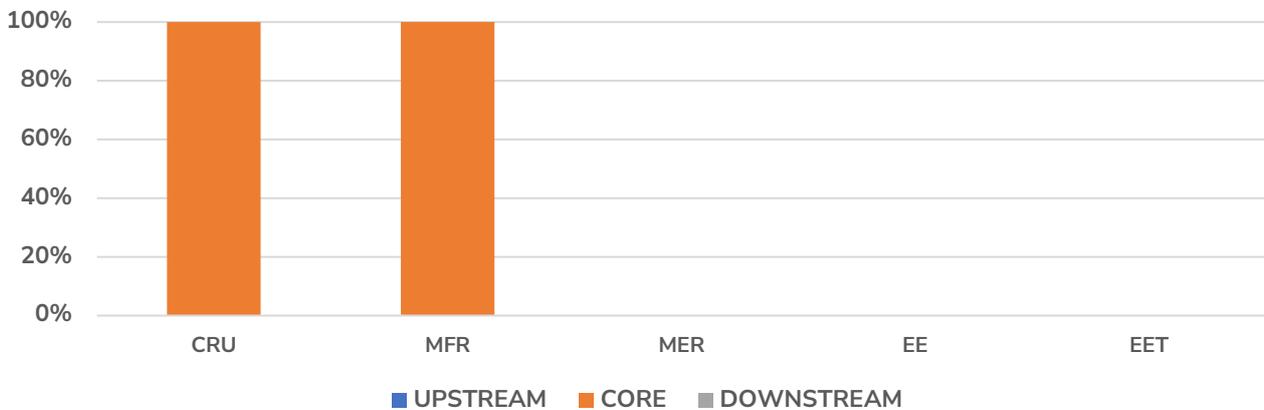


Figura 7-10. Contribución de los módulos evaluados a los indicadores de flujo de salida.



8 Referencias

- UNE-EN 15804:2012+A2:2019. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products
- ISO 14025:2006. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures.
- ISO 14040:2006 – “Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework”.
- ISO 14044:2006 – “Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines”.
- Ecoinvent 3.6 Cut-Off, allocation cut-off. 2020. <https://v36.ecoquery.ecoinvent.org/Home/Index>
- Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Versión 17, abril 2021.
- BASIC CHEMICALS PRODUCT CATEGORY CLASSIFICATION: UN CPC 341, 342, 343, 345 (EXCEPT SUBCLASS 3451). PCR 2021:03. V1.1 valid until 2025-05-3.

ANEXO 1 – LCA electricidad

En el presente Anexo, se detalla el método de cálculo de los impactos ambientales asociados a la electricidad, al vapor de agua y a los gases de escape de la caldera de biomasa, puesto que son las tres entradas principales del proceso de fabricación de carburos metálicos.

Para poder realizar estos cálculos se ha realizado un análisis de ciclo de vida, similar al realizado a la planta de captura de CO₂, a la planta marcada en color azul de la figura 5-1. A continuación, se incluye el detalle de cálculo de los impactos ambientales de dicha planta.

PCR seleccionada

El ACV se ha basado en las instrucciones dadas en la PCR 2007:08 Electricity, steam and hot/cold water generation and distribution v4.2, para el código de producto será UN CPC 171 Electrical energy. A partir de esta PCR, puesto que no se va a generar una DAP de la electricidad, sino que únicamente se desea evaluar el impacto ambiental de la electricidad generada, se indicará lo que se refleja en la PCR y lo asumido en este cálculo para cada apartado.

Unidad funcional

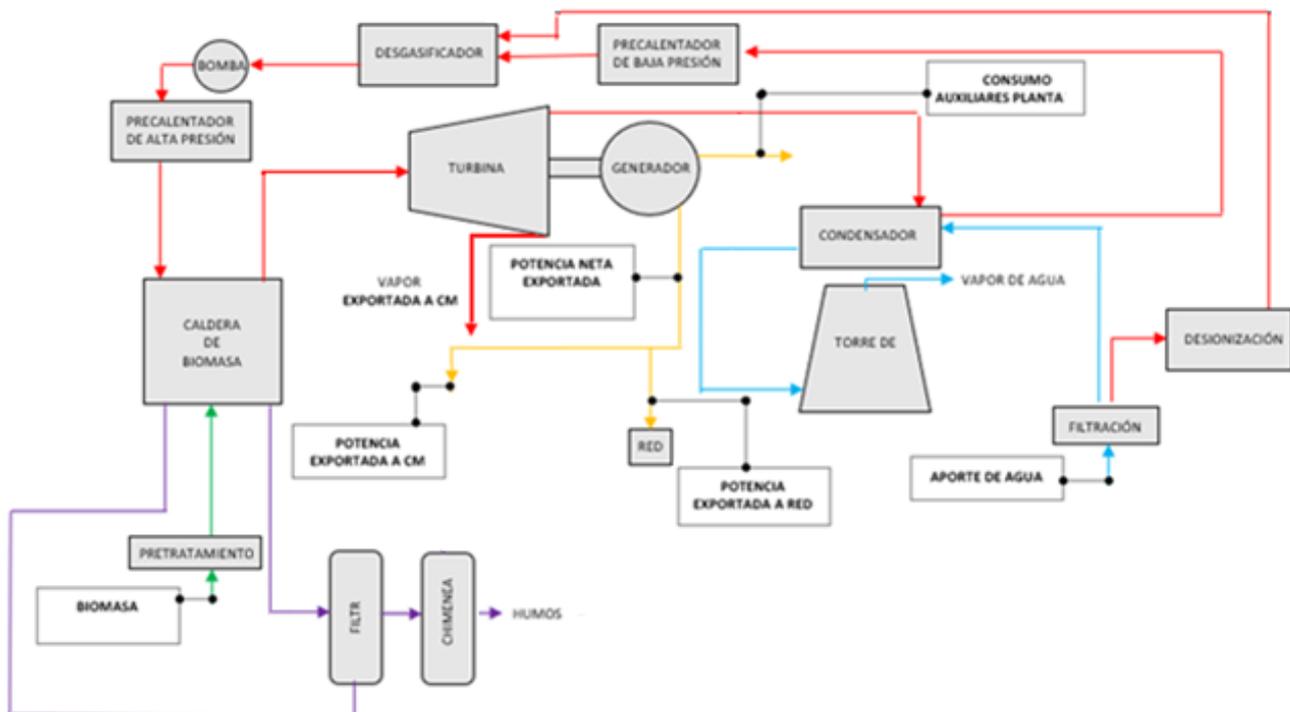
La unidad funcional según PCR se definiría como 1 kWh neto entregado a cliente. En lugar de utilizar esta unidad funcional, se utilizará 1 kWh entregado a Carburos Metálicos, sin considerar las pérdidas de red hasta el punto de entrega a cliente.

Vida de referencia del servicio (RSL)

De acuerdo con la PCR la vida debería de ser de 40 años al ser una tecnología de combustión, pero en particular para este caso no se modelará la duración de los equipos por lo que se trata de un parámetro irrelevante.

Descripción del sistema

Como se indicaba anteriormente en la memoria, se trata de un ciclo de potencia donde una caldera de biomasa calienta un flujo cerrado de agua/vapor donde posteriormente se turbinado dicho vapor previo a su condensación para generar electricidad. A continuación, se muestra la imagen modificada de la figura 5-1 donde se identifican los equipos principales:



En el primero de los procesos considerados, la biomasa es quemada en una caldera tras un pretratamiento que adecue sus características físicas a los requerimientos de la caldera (generalmente, la biomasa llega en forma de astillas). La caldera calienta un circuito de vapor de agua a alta presión. El vapor se envía directamente a una unidad de turbina / generador para producir electricidad, y a continuación pasa por un condensador para volver a convertirlo en agua. El enfriamiento se produce a través de contacto con agua fría, que, tras tomar el calor del agua del condensador, es enfriada en una torre de enfriamiento. El agua del circuito de la caldera es posteriormente desgasificada, y se pasa por un precalentado de alta presión para recuperar el estado de vapor y volver a introducirse en el circuito de la caldera de biomasa para ser de nuevo calentada.

El combustible de la caldera es biomasa proveniente de residuos forestales, en particular:

- Astillada, recogida a 212 km
- Cepas, recogida a 333 km
- Rollo, recogida a 191 km
- Residuos de poda, recogida a 103 km
- Ramas, recogidas a 5 km
- Fardos, recogida a 264 km
- Corteza astillada, recogida a 149 km
- Corteza larga, recogida a 83 km.

Como se observa, no se trata de una biomasa de origen de cultivo energético, sino que se trata de un origen biogénico y residual. Se ha considerado que la distancia media será de 150 km.

Límites del sistema

De acuerdo con la PCR en cuestión, el sistema debe dividirse en tres módulos: aguas arriba (upstream, from cradle to gate), central (core, from gate to gate) y aguas abajo (downstream, from gate to grave).

En particular para el **módulo aguas arriba** se debería de considerar:

- Los impactos necesarios para la extracción de los recursos naturales (crecimiento y poda)
- Preparación y procesamiento de los combustibles (de la biomasa y del diésel)
- Almacenamiento de los combustibles
- Transporte a planta de los combustibles
- Producción de cualquier producto auxiliar utilizado en la planta (químicos y otros materiales)
- Almacenamiento
- Transporte de auxiliares

En nuestro caso, se ha considerado que la biomasa se considerará un recurso, por lo que únicamente se ha considerado en el módulo aguas arriba:

- Transporte de biomasa a la planta
- Fabricación y transporte de diésel a la planta
- Fabricación y transporte de químicos auxiliares a la planta

En el caso de la PCR, para el **módulo central** debería de considerarse:

- Tratamiento a cualquier entrada y salida del sistema de generación de electricidad, así como de los residuos generados en la operación.
- Mantenimiento
- Operaciones de almacenamiento de calor y electricidad
- Fabricación de cada equipo e infraestructura donde la planta de electricidad sea instalada
- Desmantelamiento de las infraestructuras y equipos al final de la vida útil y su tratamiento como residuos.

En nuestro caso, únicamente se ha considerado la operación de la planta, es decir:

- los insumos de agua y el tratamiento que se le deba dar a la misma.

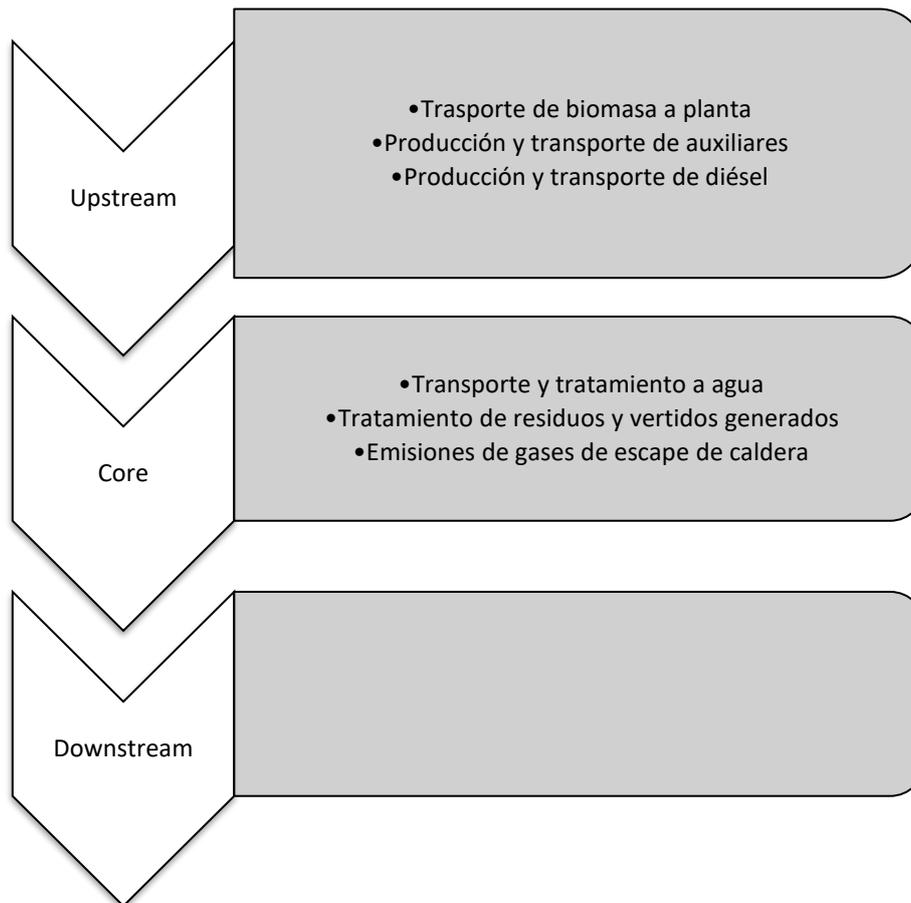
- La utilización de químicos y el tratamiento de sus vertidos
- El tratamiento de los residuos generados durante la operación (tanto de embalaje de químicos como de cenizas y escorias).
- La emisión de gases de escape.

Finalmente, en el caso de la PCR, el **módulo aguas abajo** debería de incluir:

- Pérdidas de la línea.

Este módulo se ha excluido en el caso bajo estudio puesto que la planta está conectada directamente a la planta de generación.

A continuación, se incluyen los límites del sistema utilizado en este estudio:



Reglas de corte

Dentro de los límites del sistema se han considerado la totalidad de los flujos de combustibles, materias auxiliares y residuos generados.

Criterios de asignación

Según indicaciones de PCR, en este caso al tratarse de una planta de combustión, donde el único producto es la electricidad, sin recuperación externa de calor, no debería de aplicarse un criterio de asignación.

En este caso en particular, se genera un vapor, que es extraído de la turbina y unos gases de escape, materia prima del proceso de, por lo que cabría considerar si fuera oportuno considerar estos como productos, y, por tanto, asignarles una carga ambiental.

Por un lado, los impactos causados por el sistema de turbina / generador y torre de enfriamiento se atribuirán a la electricidad producida. Por otro lado, el impacto del sistema de absorción química de CO₂ y de licuación,

se atribuirá al CO₂ verde generado. Por último, se considera que en el sistema de la caldera de biomasa se generan en total 3 flujos: la corriente de vapor sobrecalentado, el flujo de gases de combustión que contiene el CO₂ y las escorias / cenizas. Para hacer la atribución entre ellos, no es posible hacer una atribución física, dado que los tres se generan como consecuencia de un mismo proceso. Por ello, se ha optado por un sistema de atribución económica.

De todos los flujos producidos, la producción del vapor sobrecalentado es el principal producto de una caldera de biomasa, ya que a partir del vapor se generará la electricidad, siendo los otros dos flujos "inevitables" y siendo considerados muchas veces como residuos del proceso. De hecho, su valor de mercado es generalmente nulo y en ocasiones, la empresa que los genera debe pagar por ellos (bien a través de gestores de cenizas, bien por el coste de las emisiones de GEI a la atmósfera).

Con el fin de determinar la mejor manera de atribuir el impacto de la caldera entre estos tres flujos, se ha realizado una revisión de la literatura científica para comprobar cómo otros autores han abordado esta problemática. De entre los estudios encontrados, Von der Assen et al.⁸ realizan en su artículo un análisis exhaustivo evaluación acerca de cómo atribuir los impactos de una caldera de biomasa entre los flujos generados. Su conclusión es que, para aquellos procesos donde se genere una corriente de gases de combustión que no se vaya a comercializar (que no genere un rendimiento económico antes de implementar un proceso de captura del CO₂), y, además, cuando la empresa no deba pagar por las emisiones generadas, el 100 % del impacto de la caldera deberá imputarse a la corriente de vapor sobrecalentado a partir de la cual se genera la electricidad (ver siguiente figura).

Table 2 Overview of selected allocation scenarios and allocation factors for the CCU system for methanol synthesis in Fig. 3a

Feedstock CO₂ as product: allocation of emissions from capture process (co-production) between electricity and feedstock CO ₂						
	allocation criterion	flow	flow property (specific)	flow property (total)	allocation factor	
	a) exergy	electricity	3600 MJ/MWh ^d	4583 MJ	88%	
		feedstock CO ₂	450 MJ/ton ^b	619 MJ	12%	
	b) economic value 1:	electricity	50 €/MWh ^c	63.65 €	100%	
		CO ₂ for free	feedstock CO ₂	0 €/ton	0.00 €	0%
	c) economic value 2:	electricity	50 €/MWh ^c	63.65 €	44%	
		positive CO ₂ price	feedstock CO ₂	60 €/ton ^d	82.50€	56%
Feedstock CO₂ as waste: allocation of emissions from utilization process (recycling process) between methanol and CO ₂ waste treatment						
	allocation criterion	flow	flow property (specific)	flow property (total)	allocation factor	
	d) economic value 2:	methanol	350 €/ton ^e	350.00 €	94%	
		negative CO ₂ price	feedstock CO ₂	-15 €/ton ^f	20.63 €	6%

^aElectricity is treated as pure exergy, ^bchemical exergy with atmosphere as reference state, as described in Sankaranarayanan *et al.* (2010)⁷², ^crounded average electricity price according to the European Electricity Index (ELIX) by the European Energy Exchange (EEX)⁷³, ^dLow end of feedstock CO₂ price range given in Quadrelli *et al.* (2011)⁷, ^erounded average price for methanol according to Methanex⁷⁴, ^fprice for waste treatment of CO₂ was approximated by the price for EU Emission Allowances in 2010, see (EEX)⁷⁵.

Por ello, se ha decidido atribuir el impacto íntegro de la caldera y de la biomasa producida al vapor sobrecalentado y a la electricidad posteriormente generada, puesto que Carbuos no paga por la corriente de gases ni por la corriente de cenizas.

Por otro lado, y siguiendo lo indicado en la PCR, las opciones metodológicas de asignación para la reutilización, el reciclaje y la recuperación se han establecido de acuerdo con el principio de "quien contamina paga". Esto significa que el generador de los residuos deberá soportar todo el impacto medioambiental hasta el punto del ciclo de vida del producto en el que el residuo se transporta a un desguace o a la puerta de una planta de

⁸ Von Der Assen, N., Jung, J., and Bardow, A. (2013). Life-cycle assessment of carbon dioxide capture and utilization: avoiding the pitfalls. *Energy Environ. Sci.* 6, 2721–2734. doi: 10.1039/c3ee41151f

tratamiento de residuos (centro de recogida).

Validación de datos

- Los datos de producción se registran como parte del control operativo de la empresa.
- Los consumos de materias primas se registran mediante equipos y procesos automatizados, con equipos de alimentación y pesaje principalmente.
- Los datos de electricidad se obtienen a partir de contador. En el caso del agua y del vapor se miden mediante caudalímetros.
- Los datos reportados para el transporte de materias primas y otros suministros son estimaciones de distancias recorridas para abastecimiento desde las instalaciones del productor o distribuidor.
- Para la validación de los datos se han determinado los valores promedios en que ha estado en marcha la instalación, analizado las ratios de consumo respecto al total de producción respectivos.

Hipótesis realizadas

- El transporte de la biomasa se ha considerado en un camión Euro VI con 16-32 toneladas de capacidad
- El transporte de auxiliares se ha considerado en un camión Euro VI con 7,5-16 toneladas de capacidad
- El transporte de residuos se ha considerado en un camión Euro VI con 16-32 toneladas de capacidad
- El agua utilizada en la planta se ha considerado agua de red a la que se le aplica un tratamiento de desionización.
- Puesto que la cantidad de biomasa de cada ubicación varía, se ha considerado, en función de las distancias de suministro una distancia promedio de 150 km.
- A partir de información de ENSO, se obtiene que la producción de vapor es de 4,1 toneladas por MWh producido en el sistema.
- ENSO conoce la proporción de gases de escape que no es capaz de canalizar hacia la planta de Carburos y esta se conoce en base a CO₂ generado en la planta de separación. Se ha supuesto que la concentración de gases de CO, NO_x, SO₂ y partículas es idéntica en la corriente que se envía a la planta de Carburos y a la que se emite a la atmósfera.
- Las grasas se utilizan para los engranajes y el aceite como lubricante. En ambos casos se ha considerado que un 10% acaba en residuo.
- El agua consumida desionizada es proporcional al agua perdida en la torre de refrigeración (y por ello se considera que la torre emite dicha agua en emisiones).
- Por otro lado, los fosfatos, la carbohidracina y las aminas se consumen en la caldera, el biocida, el biodispersante y el actibrom en la torre de refrigeración, y el resto de los materiales, en el PTA. Ninguno de ellos genera residuos.
- Tanto las escorias como las cenizas y otros residuos se gestionan en una planta de gestión de residuos ubicada a 34 km de la planta de Garray en el caso de las cenizas y 230 km en el caso de las escorias.
- Se ha considerado fosfato sódico como los fosfatos que se utilizan en la caldera para controlar las incrustaciones.
- La carbohidracina se utiliza como desoxidante en las calderas y no se genera como residuo.
- Las aminas se emplean para equilibrar los niveles de pH de la caldera. Se ha considerado que es dietanolamina y no se genera residuo.
- El material 3DT118 es un inhibidor que se utiliza en las torres de refrigeración. Debido a la compleja formulación de este compuesto comercial, se ha considerado su consumo en Simapro a través de la ficha genérica de Ecolnvent de productos químicos inorgánicos inorgánicos y se considera que un 50% se genera como residuo, gestionándose a 34 km de distancia.
- El biocida se añade en la torre de refrigeración para destruir cualquier organismo nocivo. Se ha considerado en el estudio que es un alguicida basado el cloruro de amonio y se considera que queda en el agua de la torre de refrigeración.

- El biodispersante se usa en las torres de refrigeración para prevenir la legionela. Debido a la compleja formulación de este compuesto comercial, se ha considerado su consumo en Simapro a través de la ficha genérica de Ecolnvent de productos químicos orgánicos y se considera que queda en el agua de la torre de refrigeración.
- El actibrom es un pesticida empleado en la torre de refrigeración. Se ha simulado como un pesticida genérico disponible en Ecolnvent y se considera que queda en el agua de la torre de refrigeración.
- Se ha considerado que la disolución de NaOH es al 50 % y se considera que queda en el agua de la torre de refrigeración.
- ADIC PC-10 es un inhibidor de la incrustación y se emplea en la etapa de PTA. Por otro lado, el producto ADIC PC-026 se emplea para la eliminación de sustancias oxidantes en el agua. En ambos casos, debido a la compleja formulación de estos compuestos comerciales, se ha considerado su consumo en Simapro a través de la ficha genérica de Ecolnvent de productos químicos orgánicos. En ninguno de los casos queda como residuo.
- Se ha considerado como hipoclorito una disolución de hipoclorito de sodio al 15 %. En ninguno de los casos queda como residuo.

Categorías de impacto

Se han utilizado las mismas categorías de impacto ambiental (pero no de generación de residuos ni de recursos primarios) que la utilizada en la DAP bajo estudio.

Recogida de datos

La recogida de datos tuvo lugar mediante plantillas mensuales, solicitadas al ENSO como gestor de la planta de potencia. Un ejemplo de estas plantillas puede observarse en la figura.

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

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, ...)	Distancia al proveedor	Comentarios
Materias primas y auxiliares		Materias primas para el proceso					Describa brevemente su función. Replicar filas por cada materia
		Materias auxiliares tanto del proceso como de la maquinaria (aceites lubricantes, reactivos, etc.)					Describa brevemente su función. Replicar filas por cada materia auxiliar.
		Agua		m3			
		Otro (especificar)					
		Otro (especificar)					
Aspecto ambiental		Nombre	Cantidad	Unidad	Comentarios		
Emisiones	air	CO2			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	NO2			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	CH4			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	Otro (especificar)			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			

Una vez detectados qué datos son necesarios para el análisis se procedió a desarrollar el inventario de ciclo de vida.

Calidad de 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.

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
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
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 3.7 para poder calcular el impacto ambiental.

Calificación	Indicador de la representatividad del ICV de Ecoinvent 3.6
1	ICV representativo del dato
2	ICV representativo de un material o proceso similar
3	ICV no representativo

Inventario de ciclo de vida

A continuación, se agrupan los datos referidos a la planta de electricidad. Esta planta ha estado en operación de manera discontinua, por lo que no se dispone de, al menos, un año de datos continuos. Por ello, sí se han recopilado los datos de operación de tres meses en los que ha estado en marcha la planta de captura y producción de CO₂, en particular, mayo, junio y julio de 2022, donde como se observa, la generación es estable.



PLANTA DE ENSO	Unidades	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	Promedio	Ficha SimaPro
Generación							
Electricidad total generada	kWh	1,20E+07	1,21E+07	1,22E+07	1,09E+07	1,18E+07± 6,34E+05	-
Electricidad neta	kWh	1,08E+07	1,09E+07	1,11E+07	9,73E+06	1,06E+07 ± 6,15E+05	-
Vapor generado	kg	4,91E+07	4,96E+07	5,02E+07	4,45E+07	4,83E+07 ± 2,60E+06	-
CO ₂ generado	kg	1,07E+07	9,89E+06	1,19E+07	1,17E+07	1,11E+07 ± 9,29E+05	Carbon dioxide, biogenic.
CO generado	kg	4,34E+03	4,51E+03	4,41E+03	4,33E+03	4,40E+03 ± 8,52E+01	Carbon monoxide, biogenic.
NOx generado	kg	1,31E+04	1,36E+04	1,33E+04	1,30E+04	1,32E+04 ± 2,56E+02	Nitrogen oxides.
SO ₂ generado	kg	4,00E+02	4,17E+02	4,08E+02	3,97E+02	4,05E+02 ± 8,82E+00	Sulfur dioxide, ES.
Partículas generadas	kg	9,72E+01	1,01E+02	9,90E+01	9,08E+01	9,71E+01 ± 4,45E+00	Particulates, unspecified.
Insumos							
Biomasa	kg	1,24E+07	1,24E+07	1,16E+07	1,08E+07	1,18E+07 ± 7,74E+05	No se considera su impacto de crecimiento y poda al ser considerado residuo, pero sí su transporte
Electricidad (autoconsumo) en planta)	kWh	1,13E+06	1,16E+06	1,19E+06	1,13E+06	1,15E+06 ± 2,91E+04	Ficha generada de los impactos de la planta
Gasoil	l	3,70E+03	3,82E+03	3,39E+03	4,12E+03	3,76E+03 ± 3,01E+02	Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U. Densidad



							utilizada: 0,85 kg/l.
Agua	m ³	3,42E+04	3,63E+04	3,84E+04	3,68E+04	3,64E+04 ± 1,76E+03	water, deionised {Europe without Switzerland} market for water, deionised Cut-off, U. Densidad utilizada: 1 kg/l
Auxiliares							
Grasas	kg	2,00E+01	5,00E+00	1,00E+01	5,00E+00	1,00E+01 ± 7,07E+00	base oil {GLO} market for base oil Cut-off, U
Aceite ISO-VG 220	l	2,00E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E+01 ± 1,00E+02	Lubricating oil {RER} production Cut-off, U. Densidad utilizada: 0,8 kg/l
Fosfatos	l	7,00E+01	1,55E+02	1,20E+02	1,70E+02	1,29E+02 ± 4,44E+01	Sodium phosphate {RER} production Cut-off, U. Densidad utilizada: 11 kg/l
Carbohidracina	l	5,20E+01	2,60E+01	5,10E+01	3,20E+01	4,03E+01 ± 1,32E+01	Hydrazine {RER} production Cut-off, U. Densidad utilizada: D=1,34 kg/l
Aminas	l	0,00E+00	5,00E+00	9,00E+00	1,10E+01	6,25E+00 ± 4,86E+00	Diethanolamine {GLO} market for Cut-off, U. Densidad utilizada: 0,71 kg/l
3DT118	l	5,50E+01	7,00E+01	1,50E+02	6,00E+01	8,38E+01 ± 4,46E+01	Chemical, inorganic {GLO} production Cut-off, U. Densidad utilizada: 1,1 kg/l
Biocida no oxidante	l	7,10E+01	3,50E+01	6,10E+01	5,80E+01	5,63E+01 ± 1,52E+01	Ammonium chloride {GLO} market for Cut-off, U. Densidad utilizada: 1,0 kg/l
Biodispersante	l	7,30E+01	2,70E+01	6,80E+01	2,60E+01	4,85E+01 ± 2,55E+01	Chemical, organic {GLO} production Cut-off, U. Densidad utilizada: 0,99 kg/l
Actibrom	l	3,50E+02	2,75E+02	3,11E+02	2,47E+02	2,96E+02 ± 4,47E+01	Pesticide, unspecified {RER} production Cut-off, U. Densidad utilizada: 1,45 kg/l
Hidróxido de sodio	l	1,10E+01	6,50E+01	1,10E+01	8,00E+00	2,38E+01 ± 2,75E+01	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for Cut-off, U. Densidad utilizada: 1,52 kg/l
ADIC RO-10	l	1,00E+01	2,00E+00	1,00E+01	1,20E+01	8,50E+00 ± 4,43E+00	Chemical, organic {GLO} production Cut-off, U. Densidad utilizada: 1,4 kg/l



ADIC PC-025	l	5,60E+01	4,40E+01	3,90E+01	4,40E+01	4,58E+01 ± 7,23E+00	Chemical, organic {GLO} production Cut-off, U. Densidad utilizada: 1,3 kg/l
Hipoclorito	l	7,00E+00	9,00E+00	3,60E+01	1,00E+01	1,55E+01 ± 1,37E+01	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RER} sodium hypochlorite production, product in 15% solution state Cut-off, U. Densidad utilizada: 1,25 kg/l
Emisiones, residuos y vertidos							
CO ₂ (emisiones)	kg	1,02E+07	8,56E+06	9,66E+06	8,26E+06	9,18E+06 ± 9,33E+05	Carbon dioxide, biogenic.
CO (emisiones)	kg	4,24E+03	4,19E+03	3,95E+03	3,59E+03	3,99E+03 ± 2,95E+02	Carbon monoxide, biogenic.
NO _x (emisiones)	kg	1,28E+04	1,26E+04	1,19E+04	1,08E+04	1,20E+04 ± 8,90E+02	Nitrogen oxides, ES.
SO ₂ (emisiones)	kg	3,92E+02	3,90E+02	3,70E+02	3,37E+02	3,72E+02 ± 2,58E+01	Sulfur dioxide, ES
Partículas Sólidas (emisiones)	kg	9,72E+01	1,01E+02	9,90E+01	9,08E+01	9,71E+01 ± 4,45E+00	Particulates, unspecified
Grasas (residuo)	l	2,00E+00	5,00E-01	1,00E+00	5,00E-01	1,00E+00 ± 7,07E-01	Tratamiento que se le da: Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} market for hazardous waste, for incineration Cut-off, U
Aceite ISO-VG 220 (residuo)	l	2,00E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E+00 ± 1,00E+01	Tratamiento que se le da: Waste mineral oil {Europe without Switzerland} treatment of waste mineral oil, hazardous waste incineration Cut-off, U
3DT118 (residuo)	l	2,75E+01	3,50E+01	7,50E+01	3,00E+01	4,19E+01 ± 2,23E+01	Tratamiento que se le da: Municipal solid waste {ES} treatment of, incineration Cut-off, S



Absorbentes contaminados (residuo)	kg	-	-	-		1,33E+01	Peso anual / 12 meses. Tratamiento que se le da: Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration Cut-off, U
Envases plásticos contaminados (residuo)	kg	-	-	-		2,33E+01	Peso anual / 12 meses. Tratamiento que se le da: Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics Cut-off, U
Envases metálicos contaminados (residuo)	kg	-	-	-		2,50E+00	Peso anual / 12 meses. Tratamiento que se le da: Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron Cut-off, U
Filtros de aceites (residuo)	kg	-	-	-		5,00E+00	Peso anual / 12 meses. Tratamiento que se le da: Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration Cut-off, U
Escorias (residuo)	kg	6,17E+05	6,79E+05	3,64E+05	2,13E+05	4,68E+05 ± 2,18E+05	Tratamiento que se le da: Wood ash mixture, pure {Europe without Switzerland} treatment of wood ash mixture, pure, sanitary landfill Cut-off, U 65% Y Inert waste {Europe without Switzerland} treatment of inert waste, sanitary landfill Cut-off, U 35%
Cenizas (residuo)	kg	6,17E+05	5,50E+05	3,64E+05	3,38E+05	4,67E+05 ± 1,37E+05	Tratamiento que se le da: fly ash and scrubber sludge {Europe without Switzerland} treatment of fly ash and scrubber sludge, hazardous waste



							incineration, with energy recovery Cut-off, U 66%, y Compost {RoW} treatment of biowaste, industrial composting Cut-off, U 33%
Vertidos de agua contaminada peligrosa	m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	Tratamiento que se le da: Wastewater, average {Europe without Switzerland} treatment of wastewater, average, capacity 1E9l/year Cut-off, U
Vertidos de agua normal	m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	Tratamiento que se le da: Wastewater, unpolluted, from residence {GLO} market for Cut-off, U.

Flujo	Calidad de datos de entrada				Comentario
	Pre	G	Tec.	Temp.	
Gasoil	1	2	1	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Biomasa	1	1	1	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Electricidad autoconsumo	1	1	1	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Agua de reposición	1	2	1	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Grasas	1	2	2	1	Dato obtenido asumido a partir de información de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es representativo del proceso
Aceite	1	2	2	1	Dato obtenido asumido a partir de información de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es representativo del proceso
Fosfatos	1	2	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo
Carbohidracina	1	2	3	1	Dato obtenido asumido a partir de información de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado no es representativo del proceso
Aminas	1	3	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo
3DT118	1	3	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo

Flujo	Calidad de datos de entrada				
Biodispersante	1	3	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo
Biocida no oxidante	1	3	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo
Actibrom	1	2	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo
Sosa al 50%	1	2	1	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
ADIC PC-025	1	3	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo
ADIC RO-10	1	3	3	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es orientativo
Hipoclorito	1	2	2	1	Dato obtenido asumido a partir de información de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es representativo del proceso
Gases emitidos	1	1	1	1	Dato obtenido de ENSO, geográficamente representa la misma área bajo estudio, Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente
Agua residual	1	2	2	1	Dato obtenido asumido a partir de información de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es representativo del proceso
Residuos metálicos y plásticos	1	2	2	1	Dato obtenido asumido a partir de información de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado es representativo del proceso
Cenizas y Escorias	1	2	1	1	Dato obtenido de ENSO, Geográficamente representa un área mayor donde se incluye el área bajo estudio. Temporalmente inferior a 5 años. El dato seleccionado en ecoinvent es equivalente

A partir de la información anterior, es posible realizar el análisis de ciclo de vida del inventario. Para ello se utilizará el dato promedio y se dividirá por el valor de electricidad neta para tener la unidad funcional 1 kWh entregado a Carburos Metálicos.

Impactos de la electricidad generada (unidad funcional 1 kWh).

PARÁMETRO	UNIDAD	Upstream	Core	Downstream	TOTAL
GW (100a)	Fossil	2,29E-02	3,92E-02	MND	6,21E-02
	Biogenic	2,27E-06	4,16E-04	MND	4,19E-04
	LuLuc	6,65E-07	2,58E-06	MND	3,24E-06
	TOTAL	2,29E-02	3,96E-02	MND	6,25E-02
ODP	kg CFC 11 eq.	4,93E-09	7,16E-09	MND	1,21E-08
AP	kg SO ₂ eq.	4,13E-05	9,71E-05	MND	1,38E-04
EP, freshwater	kg Peq.	1,17E-07	4,75E-07	MND	5,92E-07
EP, marine	kg N	8,37E-06	5,08E-04	MND	5,16E-04
EP, terrestrial	mol Neq.	8,77E-05	1,28E-03	MND	1,36E-03
POCP	kg NMVOC.	3,09E-05	7,50E-05	MND	1,06E-04
ADP – elements	kg Sb eq.	1,85E-09	2,02E-09	MND	3,87E-09
ADP – fossil	MJ	3,26E-01	5,42E-01	MND	8,68E-01
Water scarcity Potential	m ³	1,25E-04	1,60E-01	MND	1,60E-01
Acrónimos	MND: Módulo no Declarado; GW: potencial de calentamiento; ODP: potencial de agotamiento de la capa de ozono; AP: potencial de acidificación; EP- potencial de eutrofización; POCP: potencial de formación de ozono troposférico; ADP elements: potencial de agotamiento de recursos abióticos no fósiles; ADP-fossil: potencial de agotamiento de recursos abióticos fósiles				

Impactos del vapor generado (unidad funcional 1 kg)

PARÁMETRO	UNIDAD	Upstream	Core	Downstream	TOTAL
GW (100a)	Fossil	5,59E-03	9,56E-03	MND	1,51E-02
	Biogenic	5,54E-07	1,02E-04	MND	1,02E-04
	LuLuc	1,62E-07	6,28E-07	MND	7,91E-07
	TOTAL	5,59E-03	9,66E-03	MND	1,53E-02
ODP	kg CFC 11 eq.	1,20E-09	1,75E-09	MND	2,95E-09
AP	kg SO ₂ eq.	1,01E-05	2,37E-05	MND	3,38E-05
EP, freshwater	kg Peq.	2,86E-08	1,16E-07	MND	1,44E-07
EP, marine	kg N	2,04E-06	1,24E-04	MND	1,26E-04
EP, terrestrial	mol Neq.	2,14E-05	3,11E-04	MND	3,33E-04
POCP	kg NMVOC.	7,53E-06	1,83E-05	MND	2,58E-05
ADP – elements	kg Sb eq.	4,51E-10	4,92E-10	MND	9,43E-10
ADP – fossil	MJ	7,96E-02	1,32E-01	MND	2,12E-01
Water scarcity Potential	m ³	3,05E-05	3,89E-02	MND	3,90E-02
Acrónimos	MND: Módulo no Declarado; GW: potencial de calentamiento; ODP: potencial de agotamiento de la capa de ozono; AP: potencial de acidificación; EP- potencial de eutrofización; POCP: potencial de formación de ozono troposférico; ADP elements: potencial de agotamiento de recursos abióticos no fósiles; ADP-fossil: potencial de agotamiento de recursos abióticos fósiles				

Climate change (kg CO2 eq) Σ % 🕒 🏠 📄 🖼️ 🏠 🏗️ 2 % 🗉️ 🔄

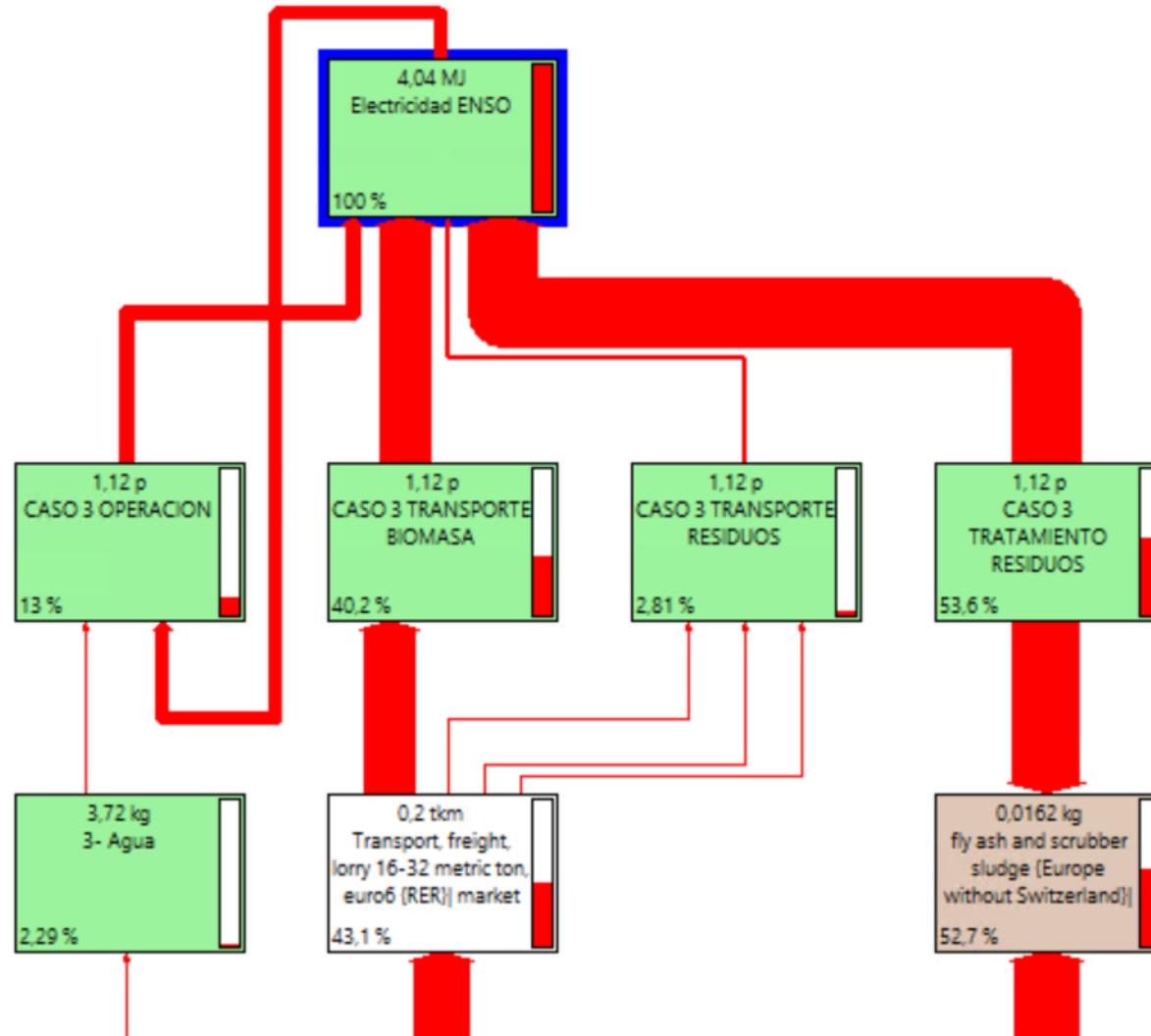


Figura Anexo 1 - 1. Árbol de contribución al GWP [kg CO₂eq] por módulo y proceso para electricidad. Corte a 2%.

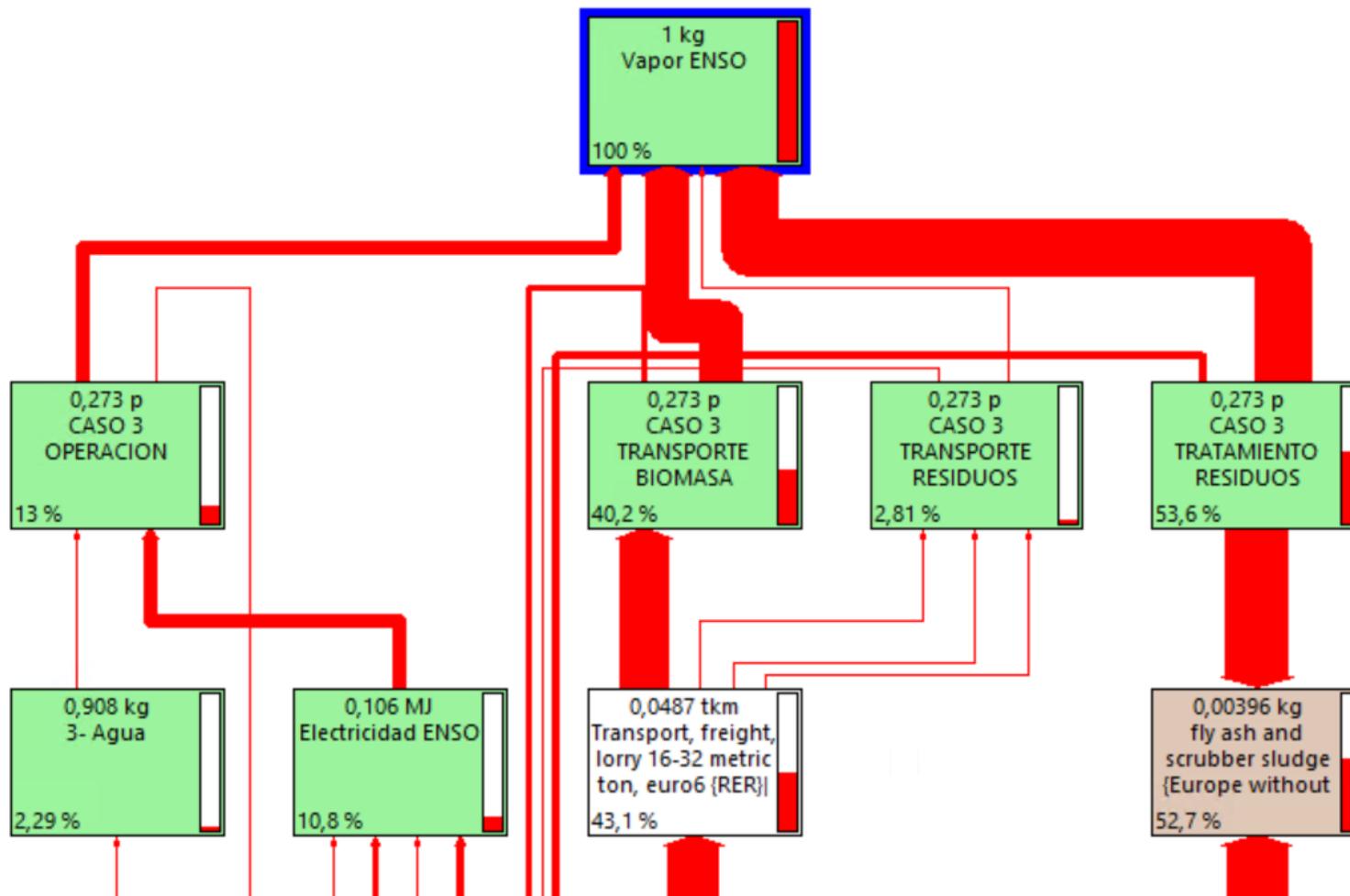


Figura Anexo 1 - 2. Árbol de contribución al GWP [kg CO2eq] por módulo y proceso para vapor (1kg). Corte a 2%.

Acidification (kg SO2 eq)

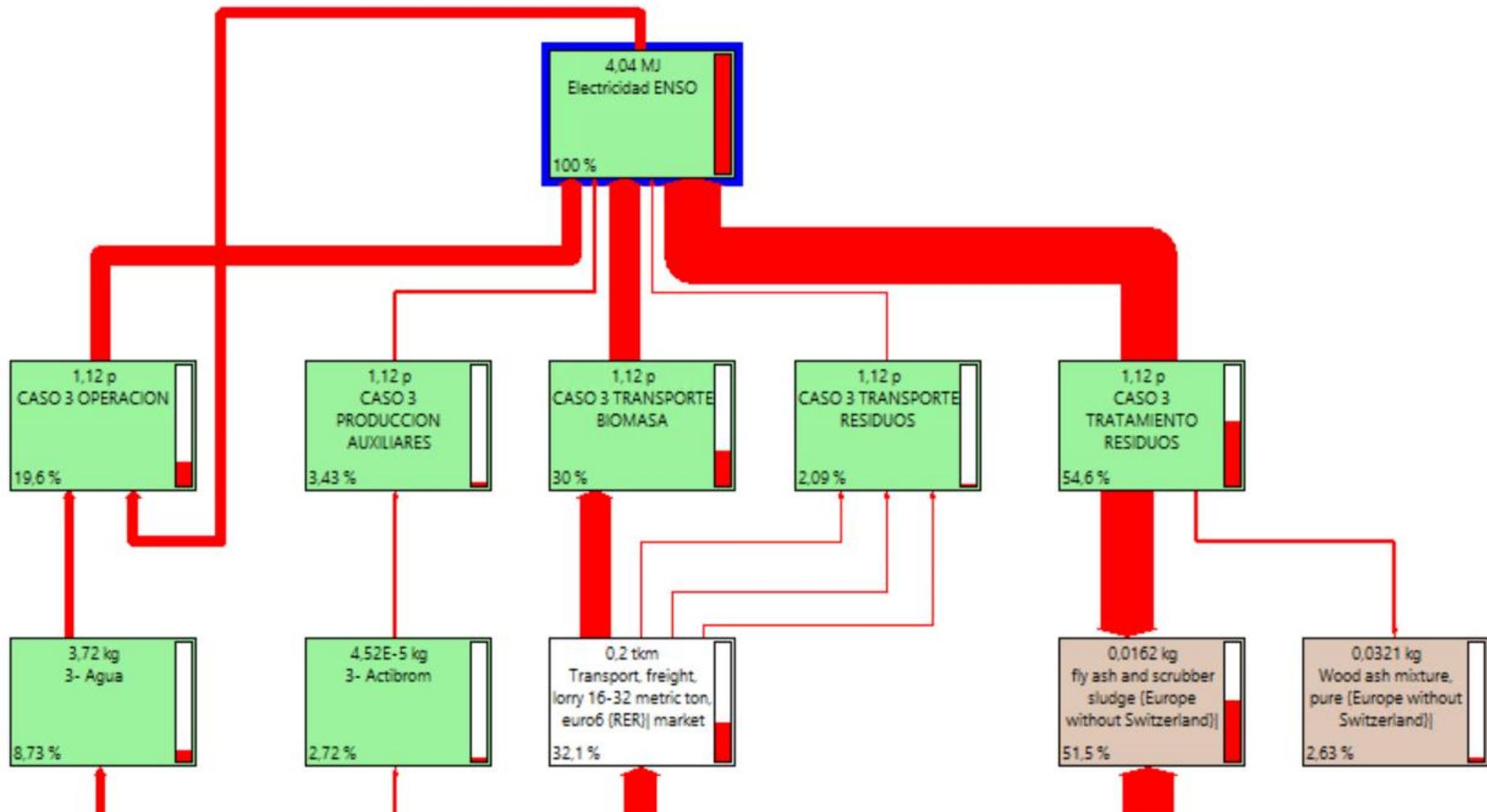


Figura Anexo 1 - 3. Árbol de contribución al AP [kg SO2eq] por módulo y proceso para electricidad. Corte a 2%.

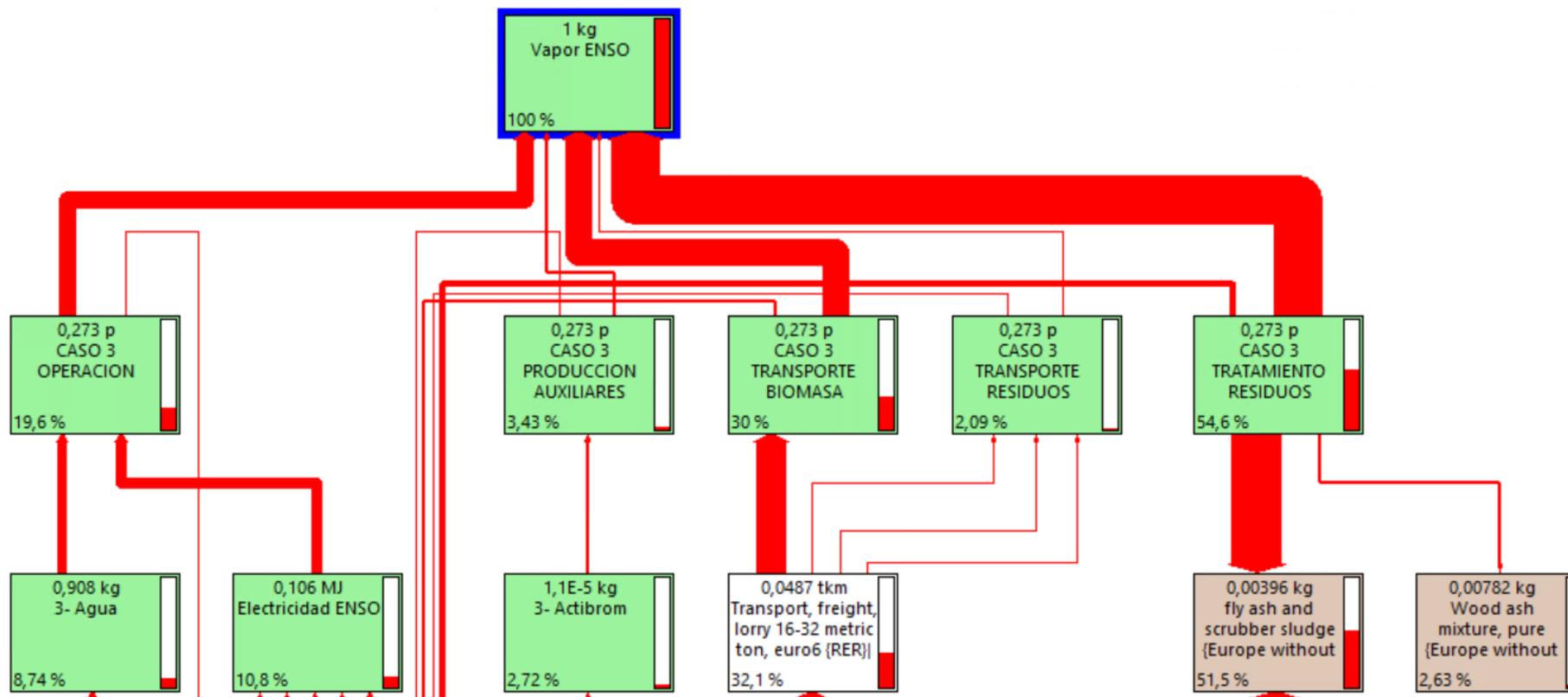


Figura Anexo 1 - 4. Árbol de contribución al AP [kg SO2eq] por módulo y proceso para vapor (1kg). Corte a 2%.

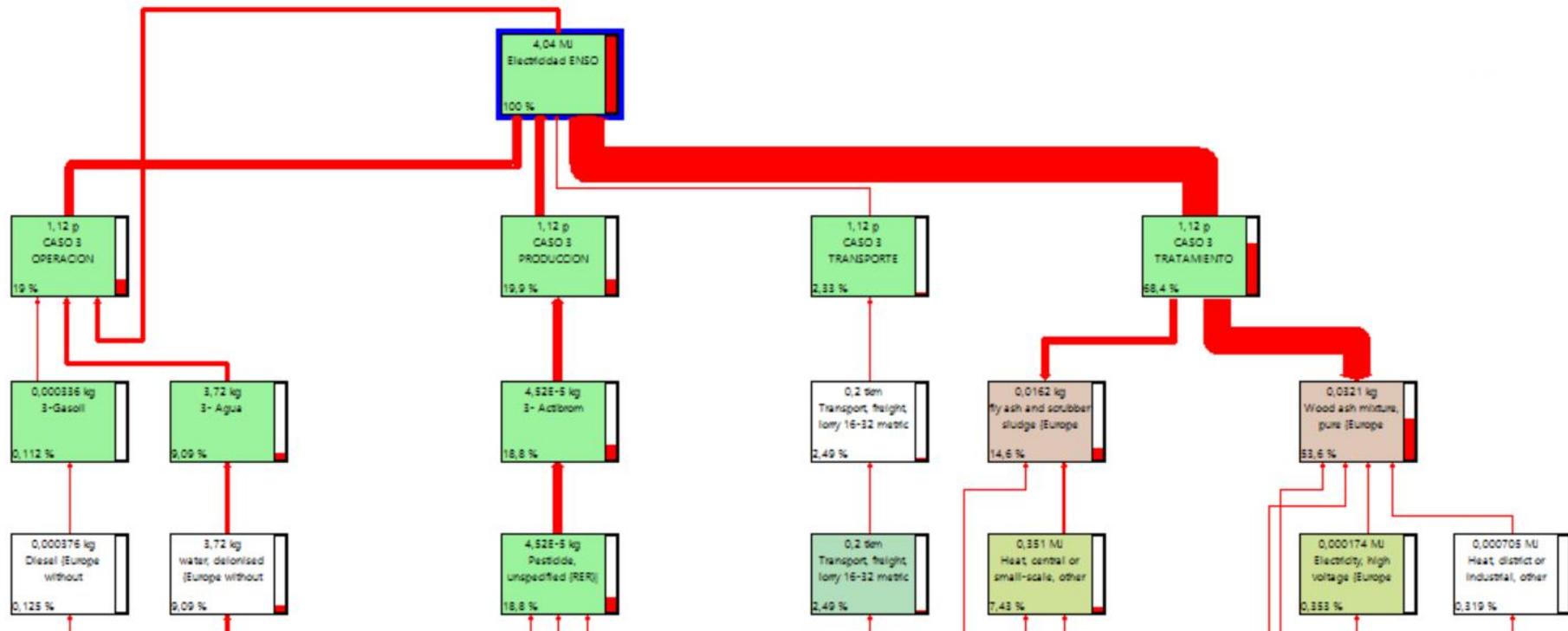


Figura Anexo 1 - 5. Árbol de contribución al EP, freshwater [kg Peq] por módulo y proceso para electricidad. Corte a 2%.

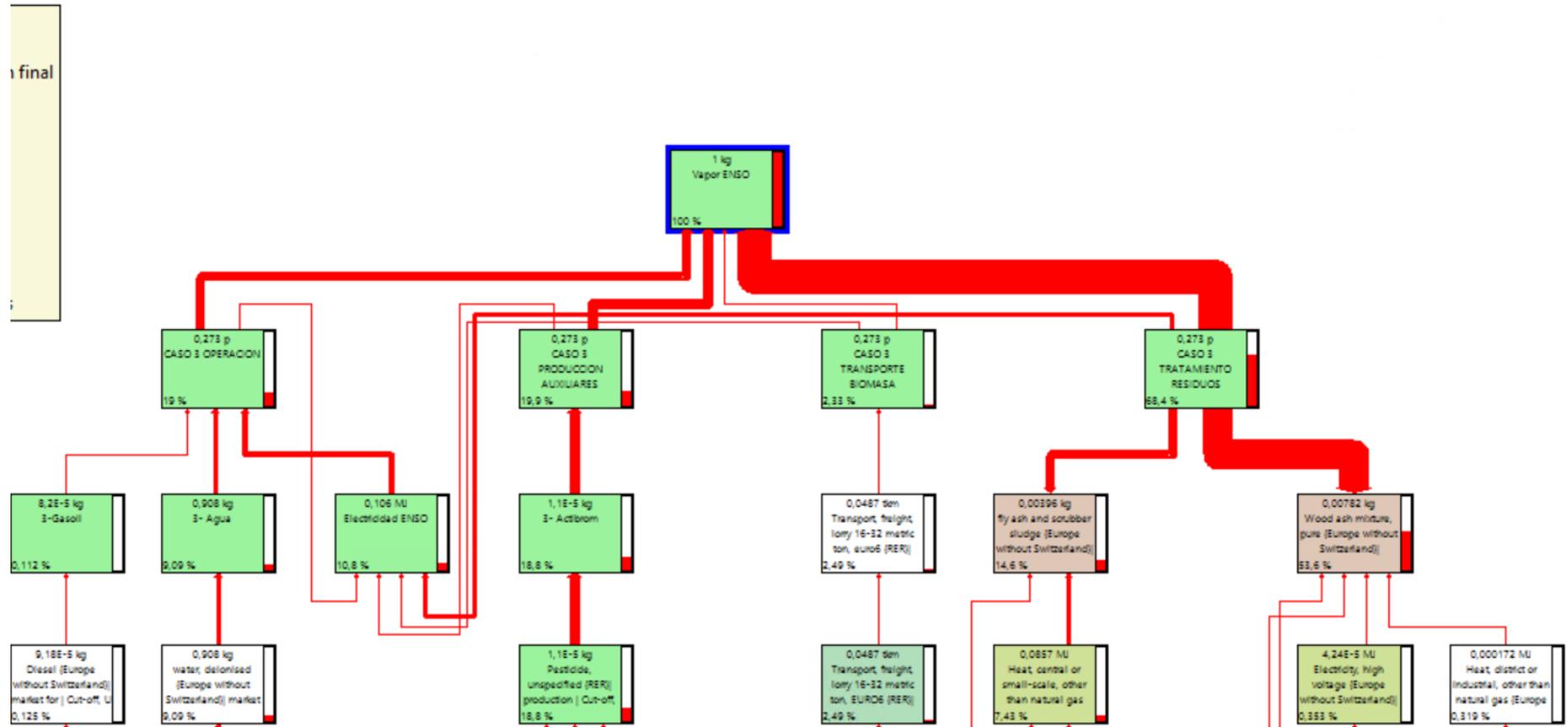


Figura Anexo 1 - 6. Árbol de contribución al EP, freshwater [kg Peq] por módulo y proceso para vapor (1kg). Corte a 2%.

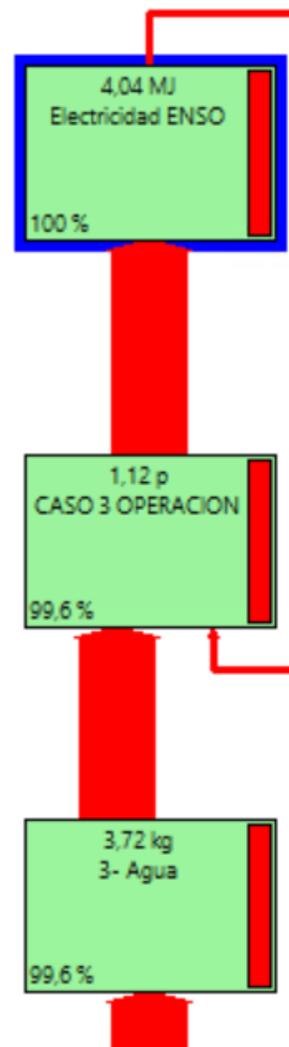


Figura Anexo 1 - 7. Árbol de contribución al water scarcity [m3] por módulo y proceso para electricidad. Corte a 2%.

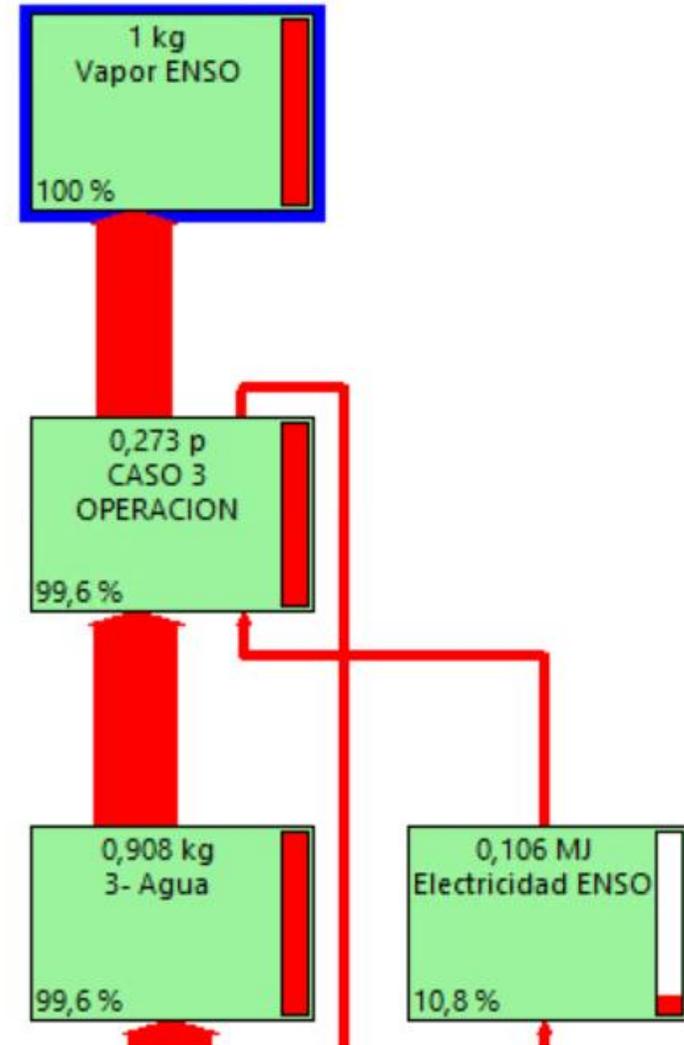


Figura Anexo 1 - 8. Árbol de contribución al water scarcity [m3] por módulo y proceso para vapor (1kg). Corte a 2%.



ANEXO 2 – Resultados de indicadores de impacto por kg de CO₂ verde

Impacto ambiental potencial por unidad declarada

PARÁMETRO	UNIDAD	Upstream	Core	Downstream	TOTAL
GW (100a)	Fossil	9,93E-03	2,31E-02	8,14E-02	1,14E-01
	Biogenic	2,38E-05	1,45E-04	4,38E-06	1,73E-04
	LuLuc	9,63E-06	1,74E-06	6,18E-07	1,20E-05
	TOTAL	9,97E-03	2,32E-02	8,14E-02	1,15E-01
ODP	kg CFC 11 eq.	2,79E-09	4,19E-05	1,34E-04	2,07E-04
AP	kg SO ₂ eq.	3,07E-05	1,02E-06	4,46E-08	1,45E-06
EP, freshwater	kg P eq.	3,93E-07	6,58E-04	2,68E-05	7,18E-04
EP, marine	kg N	3,33E-05	1,52E-03	2,98E-04	1,90E-03
EP, terrestrial	mol N eq.	8,36E-05	3,32E-09	1,49E-08	2,10E-08
POCP	kg NMVOC.	2,21E-05	5,08E-05	1,05E-04	1,78E-04
ADP – elements	kg Sb eq.	1,02E-09	1,10E-09	3,46E-09	5,57E-09
ADP – fossil	MJ	2,03E-01	2,30E-01	1,16E+00	1,59E+00
Water scarcity Potential	m ³	7,92E-03	4,06E-02	-1,64E-04	4,83E-02
Acrónimos	GW: potencial de calentamiento; ODP: potencial de agotamiento de la capa de ozono; AP: potencial de acidificación; EP- potencial de eutrofización; POCP: potencial de formación de ozono troposférico; ADP elements: potencial de agotamiento de recursos abióticos no fósiles; ADP-fossil: potencial de agotamiento de recursos abióticos fósiles				



Uso de recursos

PARÁMETRO	UNIDAD	Upstream	Core	Downstream	TOTAL
PERE	MJ	1,16E-02	2,09E-03	1,70E-03	1,54E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	1,16E-02	2,09E-03	1,70E-03	1,54E-02
PENRE	MJ	2,45E-01	2,45E-01	1,23E+00	1,72E+00
PENRM	MJ	6,09E-04	0,00E+00	0,00E+00	6,09E-04
PENRT	MJ	2,45E-01	2,45E-01	1,23E+00	1,72E+00
SM	kg	1,05E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+00
RSF	MJ	0,00E+00	8,17E+02	0,00E+00	8,17E+02
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	m ³	0,00E+00	8,40E-04	0,00E+00	8,40E-04
Acrónimos	<p>PERE: Uso de energía primaria renovable excluidos los recursos utilizados como materias primas. PERM: Uso de recursos de energía primaria renovable utilizados como materia prima. PERT: Uso total de recursos de energía primaria renovable. PENRE: Uso de energía primaria no renovable excluidos los recursos utilizados como materias primas. PENRM: Uso de recursos de energía primaria no renovable utilizados como materias primas. PENRT: Uso total de recursos de energía primaria no renovables. SM: Uso de materiales secundarios. RSF: Uso de combustibles secundarios renovables. NRSF: Uso de combustibles secundarios renovables. FW: uso neto de agua dulce</p>				



Generación de residuos

PARÁMETRO	UNIDAD	Upstream	Core	Downstream	TOTAL
HWD	kg	8,06E-08	7,19E-07	3,06E-06	3,86E-06
NHWD	kg	2,61E-04	1,23E-02	4,83E-05	1,26E-02
RWD	kg	5,37E-07	1,60E-06	8,38E-06	1,05E-05
Acrónimo	HWD: Residuos peligrosos eliminados. NHWD: Residuos no peligrosos eliminados. RWD: Residuos radiactivos eliminados				

Flujos de salida

PARÁMETRO	UNIDAD	Upstream	Core	Downstream	TOTAL
CRU	kg	0,00E+00	1,24E-08	0,00E+00	1,24E-08
MFR	kg	0,00E+00	6,50E-04	1,24E-08	6,50E-04
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Acrónimos	CRU: Componentes para reutilización. MFR: Materiales para reciclaje. MER: Materiales para recuperación de energía. EE: Energía exportada				