

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO  
AMBIENTAL DE NUEVAS  
TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS.**

**ENVIRONMENTAL IMPACT  
ASSESSMENT OF NEW WATER  
TREATMENT TECHNOLOGIES.**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA  
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Presentado por:  
Andrés López Parco.**

**Dirigido por:  
Dr. Pedro Letón García.**

**Alcalá de Henares, a 06 de junio de 2022.**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, al patrón San Miguel, la virgencita del Lourdes y al divino niño de Jesús, a quienes rogué tanto por hacer realidad uno de mis sueños que desde hace años lo iba forjando, y hoy en día lo estoy cumpliendo, se que escucharon mis oraciones. Así como también a mi padre que se que estará orgulloso, aunque no esté aquí físicamente estarás siempre en mi corazón.

A mi madre, Marlene Parco, quien ha estado ahí con su amor de madre con sus llamadas, con sus ánimos con su amor infinito, misma que me ha hecho comprender que la vida se trata de luchar y trabajar para conseguir lo que uno se propone, gracias a usted por hacer de este ser humano una persona de bien, gracias madre por todo su amor por su apoyo incondicional.

A mi hermano, Brayan López, quien con las palabras me han motivado a no decaer en ningún momento a pesar de la distancia, a sus mensajes alegres, a sus consejos, a motivarme cada día a ser una persona trabajadora en mis sueños, a su amor de hermano, gracias a toda mi familia, gracias por todo su apoyo.

Agradecerle al Dr. Pedro Letón García, quien, con sus conocimientos, paciencia, cordialidad brindada supo dirigirme de buena manera para la culminación de este trabajo de fin de master y a la Universidad de Alcalá y Rey Juan Carlos por acogerme como estudiante y poder forjarme con una formación avanzada.

Finalmente quiero agradecer a Daniela Armijo, por ser una parte fundamental en mi vida, quien ha estado en todo momento y hora, quien con sus ánimos y conocimientos me incentivado a aprovechar este momento de mi vida, gracias por todo, a mis compañeros de master en especial a mis compañeros que este ciclo de mi vida me regaló, Diego Inturias, Alejandro Martínez G en especial a mi amigo Daniel Becerra, mismo quien con su amistad brindada me ha incentivado a seguir adelante, gracias a todos.

## ÍNDICE

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	2
3.	OBJETIVOS. ....	4
3.1.	Objetivo General.....	4
3.2.	Objetivos Específicos. ....	4
4.	METODOLOGÍA.....	5
4.1.	Diseño de estudio y normativa ISO.....	5
4.2.	Normas estandarizadas.....	7
4.3.	Método ReCiPe Midpoint (H).....	7
5.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA. .	10
5.1.	Objetivo y alcance del estudio. ....	10
5.2.	Análisis del inventario. ....	12
5.3.	Análisis del Impacto Ambiental. ....	14
6.	RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	15
6.1.	Evaluación de la cantidad y calidad de los datos inventariados. ....	16
6.2.	Análisis del ciclo de vida y evaluación ambiental de la fase de construcción del lecho fluidizado con material granular electroconductor. ....	17
6.2.1.	Cambio Climático, midpoint. ....	18
6.2.2.	Toxicidad Humana, midpoint. ....	19
6.2.3.	Ecotoxicidad de Agua Dulce, midpoint.....	20
6.2.4.	Ecotoxicidad Marina, midpoint. ....	21
6.2.5.	Eutrofización marina, midpoint.....	22
6.2.6.	Ecotoxicidad Terrestre, midpoint.....	23
6.2.7.	Eutrofización de agua dulce, midpoint .....	24
6.3.	Análisis del ciclo de vida y evaluación ambiental del agua tratada. ....	25
6.3.1.	Cambio Climático, midpoint.....	26
6.3.2.	Toxicidad Humana, midpoint. ....	27
6.3.3.	Ecotoxicidad en Agua Dulce, midpoint. ....	28
6.3.4.	Ecotoxicidad Marina, midpoint.....	29
6.3.5.	Eutrofización Marina, midpoint. ....	30
6.3.6.	Ecotoxicidad Terrestre, midpoint. ....	31
6.3.7.	Eutrofización de Agua Dulce, midpoint.....	32
7.	CONCLUSIONES.....	33
8.	RECOMENDACIONES.....	33
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	34
10.	ANEXOS.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases del ACV de acuerdo a la norma ISO 14040.....	5
Figura 2. Categorías de impacto consideradas en la metodología ReCiPe2016 y punto medio midpoint e indicadores de punto final endpoint.....	9
Figura 3. Límite del sistema en el ACV del Lecho fluidizado con material granular electroconductor. ....	11
Figura 4. Límites y construcción del filtro de lecho fluidizado con material granular electroactivo. ....	11
Figura 5. Categoría, cambio climático. ....	18
Figura 6. Categoría toxicidad humana. ....	19
Figura 7 Categoría ecotoxicidad de agua dulce. ....	20
Figura 8. Categoría ecotoxicidad marina.....	21
Figura 9. Categoría eutrofización marina. ....	22
Figura 10. Categoría ecotoxicidad terrestre. ....	23
Figura. 11 Categoría eutrofización de agua dulce.....	24
Figura 12. Categoría cambio climático en agua tratada. ....	26
Figura 13. Categoría toxicidad humana en agua tratada.....	27
Figura 14. Categoría ecotoxicidad en agua dulce. ....	28
Figura 15. Categoría ecotoxicidad marina.....	29
Imagen 16. Categoría eutrofización marina ....	30
Figura 17. Categoría ecotoxicidad terrestre tratamiento de agua. ....	31
Figura 18. Categoría de eutrofización de agua dulce. ....	32

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Relación de la normativa ISO sobre ACV, sus usos y base de datos asociados. .	7
Tabla 2 Categorías de impacto ReCiPe Mindpoint (H).....	8
Tabla 3. Inventario para la construcción del lecho fluidizado con material granular. ....	13
Tabla 4. Inventario del tratamiento del agua residual (entrada input).....	13
Tabla 5. Inventario del tratamiento de agua residual (salida output). ....	14
Tabla 6. Categorías de impacto consideradas para el estudio. ....	15

## **TABLA DE ABREVIATURAS**

ACV: Análisis del Ciclo de Vida.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

UE: Unión Europea.

ICV: Inventario del Ciclo de Vida.

EICV: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.

UNE: Una norma española.

ISO: Organización internacional de normalización.

E.D.A.R. Estación depuradora de aguas residuales.

OSA: Ocupación de tierras agrícolas.

CC: Cambio Climático.

AF: Agotamiento de los fósiles.

EA: Ecotoxicidad de agua dulce.

EuA: Eutrofización del agua dulce.

TH: Toxicidad en humanos.

RI: Radiación ionizante.

EM: Ecotoxicidad marina.

EuM: Eutrofización marina.

AM: Agotamiento de los metales.

TSN: Transformación natural de la tierra.

AO: Reducción de la capa de ozono.

FMP: Formación de partículas.

OFQ: Formación de oxidantes fotoquímicos.

AT: Acidificación terrestre.

ET: Ecotoxicidad terrestre.

OSU: Ocupación del suelo urbano.

AA: Agotamiento del agua.

PF: Producto Farmacéutico.

## 1. RESUMEN.

El presente estudio, trata de la estimación del impacto ambiental utilizando las herramientas del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en sus siglas en inglés (Life Cycle Assessment), en su aplicación a nuevas tecnologías de tratamiento biológico, como, por ejemplo, (como por ejemplo los lechos fluidizados con material granular electroconductor), de lo cual será necesario cumplir con un análisis exhaustivo de datos de las variables de nuevas tecnologías obtenidas experimentalmente.

El estudio de ACV se utilizó el Software libre openLCA. 1.10.3, evaluando las cargas ambientales asociadas al tratamiento secundario, tratamiento biológico de lechos fluidizados con materiales granular electroactivos. Se utilizó la metodología ReCiPe Midpoint (H) con la finalidad de obtener una fácil interpretación de las dieciocho categorías que forman parte de esta metodología para determinar su incidencia como impacto ambiental.

Al realizar la aplicación del ACV, en el estudio se determina que en la construcción del lecho fluidizado existe una mayor incidencia de la categoría de Cambio Climático y Toxicidad Humana. Estos resultados dependieron de las entradas y salidas del proceso, se obtuvo que la entrada con mayor aportación de emisiones es el coque, mientras que en el Tratamiento de Agua la entrada con mayor incidencia en las emisiones de las categorías es lo correspondiente al consumo energético de la bomba de recirculación, las categorías más relevantes son el Cambio climático y la Toxicidad Humana.

Las áreas de protección o endpoint que en este estudio se verían afectadas por estos dos aspectos ambientales en discusión (construcción del lecho fluidizado y tratamiento de agua), son los daños a los ecosistemas y a la salud humana.

## 2. INTRODUCCIÓN.

El aumento demográfico, explícitamente las actividades antrópicas a nivel global han sido asociadas como un principal consumidor de los recursos naturales, creando de forma directa e indirecta competitividad de los servicios ecosistémicos, siendo un efecto de insostenibilidad al equilibrio ecológico, convirtiendo al recurso hídrico en un bien escaso.

Las aguas residuales que actualmente no son tratadas o aquellas que cuentan con un tratamiento adecuado afecta negativamente a la sociedad y al sistema ambiental en un cierto nivel de impacto diferenciado. Desde este contexto varios actores consideran que el tratamiento de las aguas residuales puede no ser un proceso cien por ciento ecológico y económico, dado al consumo de la energía, materiales y algún producto químico utilizado en este desarrollo. Bajo estas consideraciones es de vital importancia un análisis de los beneficios o impactos ambientales que interactúan las nuevas tecnologías de tratamiento de aguas (Smita Raghuvanshi, 2017).

En la caracterización de las aguas residuales, existe la presencia de varios contaminantes que muchas veces no son considerados dentro de este tipo de estudios, o simplemente los niveles de impacto no son representativos con su persistencia en relación con el tiempo y su estado en el medio receptor.

En España el volumen de las aguas residuales durante el año 2020 superó los 19.000 hm<sup>3</sup>, exactamente, 19.242 hm<sup>3</sup>. Considerando que un hectómetro cúbico son 1.000 millones de litros. (MITECO, 2020), según el (MITECO .. , 2021), el tratamiento de aguas residuales depuradas es alrededor de 5.000 hm<sup>3</sup>/año y en el sector industrial supera un volumen de unos 4.000 hm<sup>3</sup>, así como también un gran consumo energético, con un aproximado de 4.000 GWh/año, lo que se considera un 1.5 % de la demanda total nacional y un 0.5 % de un total de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El avance metodológico de la depuración, reutilización y desalación de aguas en España actualmente ha avanzado a grandes pasos, en compañía de la normativa legal en el ámbito de estos procesos, desde 1995, una serie de leyes, normas y decretos ha venido regulando las actividades de depuración, reutilización y desalación de aguas, obteniendo un momento clave en el ámbito legal el tratamiento de aguas residuales a partir de la promulgación de la Directiva Europea 91/271 sobre depuración de aguas residuales urbanas. El Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por lo que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, traspuso dicha normativa europea que se desarrolló por el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, en este sentido la actualización de la norma ha ido variando hasta la actualidad, estableciendo obligaciones para los estados miembros de la UE. (Olcina Cantos & Moltó Mantero, 2010)

Dada la importancia del recurso hídrico y la sostenibilidad ambiental, esta investigación busca describir la estimación del impacto a través de las herramientas del ACV, aplicado a nuevas tecnologías de tratamiento para efluentes (Lechos fluidizados con material granular electroconductor), *“material que permitirá que los electrones circulen a través del material, evitando la clásica limitación del receptor de electrones de los ambientes anóxicos”* como medio filtrante, (Lorena Peñacoba - Antona, 2021), el mismo que se basará en suministrar información cualitativa y cuantitativa técnico científica, en base a su comportamiento ambiental, el que pueda generar durante su construcción y operación en el tratamiento deseado.

Esta evaluación valiosa nos permitirá comprender el comportamiento ambiental de los bienes y servicios como un indicador para la toma de decisiones a nivel científico para políticas de diseño de productos, gestión del mismo e información para el consumidor final, afianzando resultados para la toma de decisiones (Serenella Sala, 2021).

En este sentido, el ACV, es una herramienta que recopila, evalúa cargas ambientales, cuantificando usos de materia, energía con un alcance en el que se toma en cuenta los principios ambientales, hasta determinar los posibles impactos de una carga de materia y energía a lo largo de su ciclo de vida en el medio receptor y el ambiente, dentro de este proceso existen cuatro fases fundamentales para su estudio del ACV: Definición del objetivo y del alcance, análisis del ICV, evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) e interpretación ambiental (Smita Raghuvanshib, 2017).

Esta investigación busca describir la estimación del impacto ambiental a través de las herramientas del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), aplicado a nuevas tecnologías de tratamiento biológico para efluentes (Lechos fluidizados con material granular electroconductor) utilizando la herramienta openLCA 1.10.3, un software gratuito de evaluación del ciclo de vida y la sostenibilidad de código abierto.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1. Objetivo General.**

- Estimación del impacto ambiental a través de las herramientas del Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment), aplicado a nuevas tecnologías de tratamiento biológico para efluentes (Lechos fluidizados con material granular electroconductor).

#### **3.2. Objetivos Específicos.**

- Elaborar una base de datos de las variables de nuevas tecnologías de tratamiento obtenidas experimentalmente.
- Evaluar el impacto ambiental de nuevas tecnologías utilizando la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment) en base a la influencia de contaminantes de preocupación emergente.

## 4. METODOLOGÍA.

### 4.1. Diseño de estudio y normativa ISO.

En el presente proyecto objeto de estudio, se utilizó el método de investigación cuantitativa experimental, esto con el objetivo de recopilar la información, evaluar y describir los resultados obtenidos, así como también delimitar el sistema de estudio.

El proyecto se basa bajo la normativa aplicable por la UNE EU, (normas de Comisión Europea); el mismo que establece lo siguiente; normas UNE EU ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida; Principios y marco de referencia e ISO14044:2006 Gestión Ambiental; Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices que regulan en la actualidad la estructura que ha de tener los estudios de ACV. (Comisión Europea, 2010).

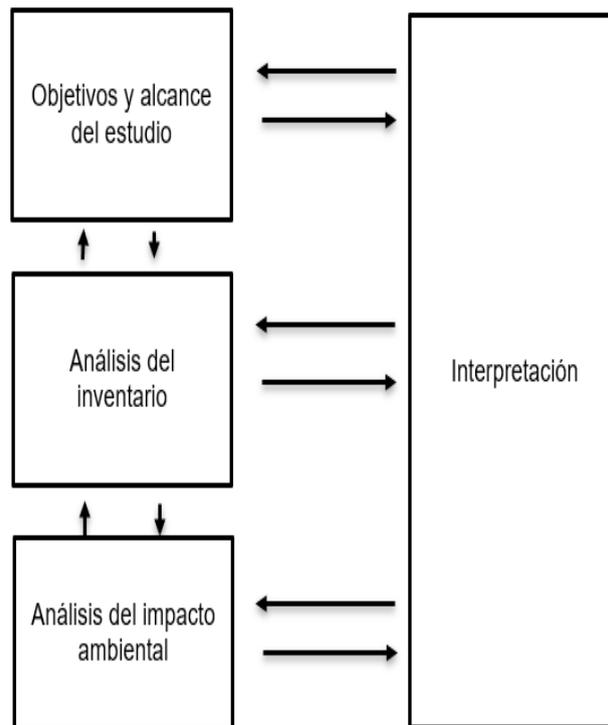


Figura 1. Fases del ACV de acuerdo a la norma ISO 14040

En cumplimiento a la norma aplicable ISO por la UNE EU, se observa en la Figura 1, que existe cuatro pasos a seguir, para lo cual es fundamental detallar cada parámetro de la siguiente manera: a) Establecer los objetivos de estudio, los mismos que se definirá a partir del planteamiento del tema y de su problemática, con la finalidad de obtener resultados fiables. b) Analizar el inventario con el cual se va a trabajar, es importante que en este punto se obtenga un diagrama de flujo de todos los procesos objeto de estudio y como fuente principal la unidad funcional elegida, con sus procesos correspondientes, siendo este un paso para la obtención de resultados a partir de la acumulación de datos de entradas (inputs) y salidas (outputs) perteneciente a nuestro sistema de estudio, además de una consideración muy minuciosa de las categorías, unidades y cantidades que conforman el sistema, a continuación se procede a; c) Evaluar los impactos ambientales, para la evaluación ambiental propiamente dicha es necesario contar con un método de evaluación, considerando que cada método cuenta con categorías de impacto (**Ver tabla 1,2**), los mismos que van a detallar el grado de impacto ambiental según su factor, pero el ACV cuenta con otros elementos opcionales, los que pueden facilitar los resultados como análisis ambiental, entre estos poseemos, la normalización, agrupación, ponderación y análisis de calidad de datos, esta última es obligatoria en los análisis comparativos así como nos facilita comprender los resultados del inventario del ciclo de vida, finalmente como última etapa; d) Es la interpretación de resultados, el mismo que nos servirá obtener un enfoque real del sistema de estudio en base a sus entradas y salidas, en el cual se podrá cualificar y cuantificar las cargas ambientales ya que estas pueden ser negativas o positivas, para la toma correcta de decisiones en el ACV.

Los resultados obtenidos serán fundamentales para detallar más a fondo lo que sucede en el sistema de estudio, verificar las metodologías utilizadas, de lo cual aumentará los argumentos referentes a lo causado por un aspecto ambiental relacionado con el ambiente como posibles impactos ambientales.

## 4.2. Normas estandarizadas.

Tabla 1. Relación de la normativa ISO sobre ACV, sus usos y base de datos asociados.

Normativa ISO	
ISO 14040: 2006	Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principio y marco de referencia.
ISO 14044: 2006	Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices. La Iso 14044 sustituyó a ISO 14041, 14042 Y 14043.
ISO 14047: 2003	Ejemplos de aplicación de inventario de Ciclo de Vida.
ISO 14048: 2002	Formato de datos de inventario de un ACV.
ISO 14049: 2000	Ejemplos de aplicación de objetivos, alcance y análisis de inventario.
ISO 14020: 2002	Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales.
ISO 14006: 2011	Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del eco diseño.
ISO 14062: 2007	Gestión Ambiental. Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de los productos.

Fuente: (Salinas, 2015)

## 4.3. Método ReCiPe Midpoint (H).

La etapa de evaluación es la más compleja y menos estandarizada. Son varias las metodologías desarrolladas, pero una de las más utilizadas es la denominada ReCiPe, el cual se combina con los métodos CML 2001 con la ventaja de ser un método por su nivel científico, mientras que Eco Indicador 99 es el nivel de facilidad para una fácil interpretación, los mismos que determina los siguientes niveles: Dieciocho categorías de impacto ambiental de punto medio **midpoint** e indicadores de punto final **endpoint**. (Rintelen Fransitorra, 2013).

Esto establece que por los llamados factores de caracterización, exponga un impacto por el denominado factor, como por ejemplo la energía utilizada en un proceso y kg de emisión liberada, estos factores se ubicarán en la vía causa –

efecto, hasta llegar hasta el punto final donde reflejan el daño en una de las tres áreas de protección: Daño a la salud humana, daño a los ecosistemas y a la disponibilidad de los recursos. (Mark AJ Huijbregts, 2016).

Tabla 2 Categorías de impacto ReCiPe Mindpoint (H).

<b>Categorías de impacto</b>		
<b>Abreviaturas</b>	<b>Nombre</b>	<b>Unidad de referencia</b>
OSA	Ocupación de tierras agrícolas	m <sup>2</sup> *a
CC	Cambio Climático	kg CO <sub>2</sub> eq
AF	Agotamiento de los fósiles	kg oil eq
EA	Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq
EuA	Eutrofización del agua dulce	kg P eq
TH	Toxicidad en humanos	kg 1,4-DB eq
RI	Radiación ionizante	kg U235 eq
EM	Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq
EuM	Eutrofización marina	kg N eq
AM	Agotamiento de los metales	kg Fe eq
TSN	Transformación natural de la tierra	m <sup>2</sup>
AO	Reducción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
FMP	Formación de partículas	kg PM10 eq
OFQ	Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC
AT	Acidificación terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq
ET	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq
OSU	Ocupación del suelo urbano	m <sup>2</sup> *a
AA	Agotamiento del agua	m <sup>3</sup>

En las categorías de impacto arriba especificadas, recalamos que son efectos intermedios de algún aspecto ambiental que haya interaccionado con el ambiente, pero ciertamente estas categorías de impacto ambiental (midpoint) no demuestran el daño real en los destinatarios finales, pero si que es conveniente

especificar los destinatarios finales de efecto, con el objeto de la toma de decisiones sobre la incidencia de los impactos, para esto se considera tres indicadores de punto final (endpoints) (García, 2018).

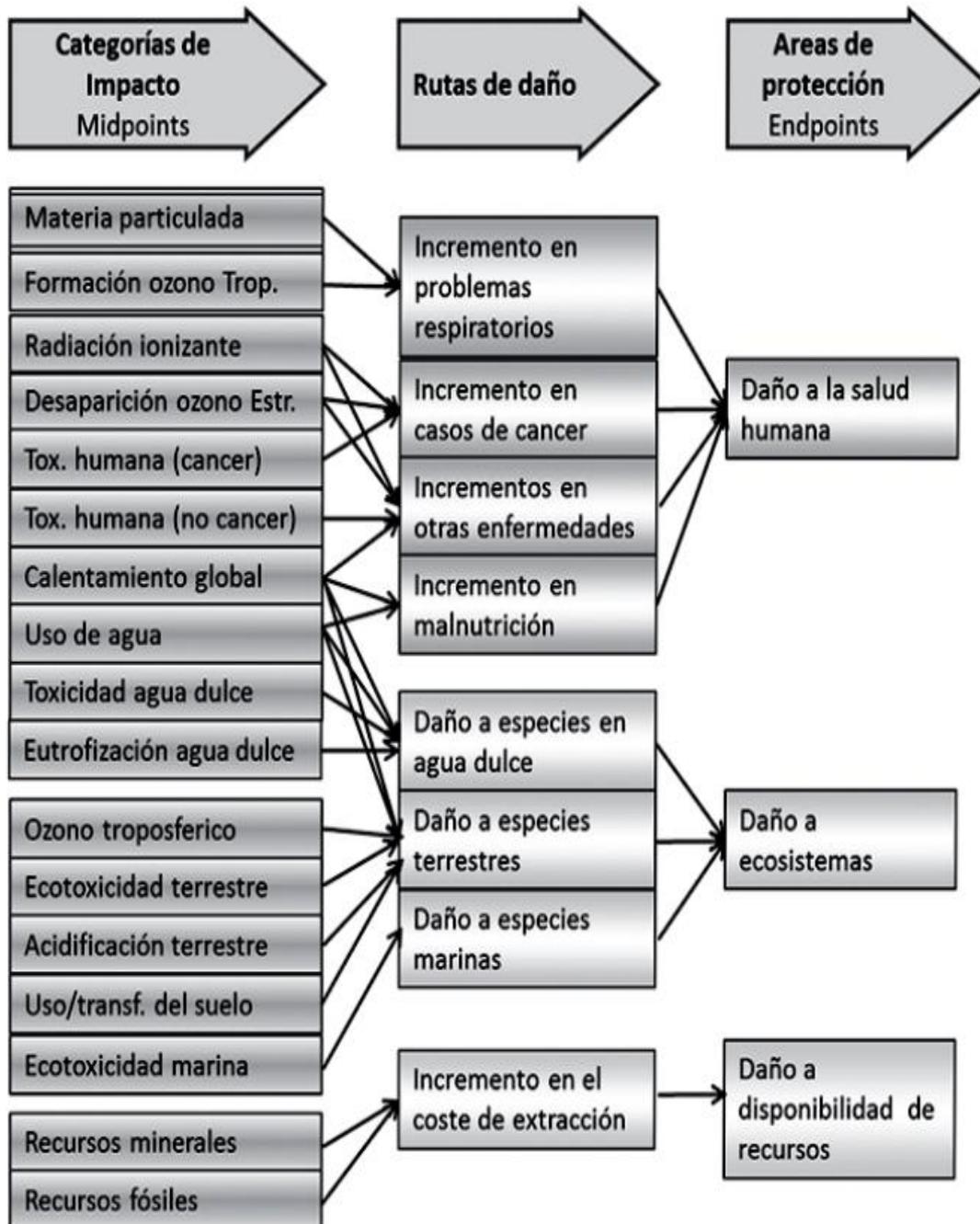


Figura 2. Categorías de impacto consideradas en la metodología ReCiPe2016 y punto medio midpoint e indicadores de punto final endpoint.

Fuente: (García, 2018)

Los factores tanto del punto medio, así como del punto final, son factores constantes, debido a que los mecanismos ambientales se consideran idénticos para cada factor a consecuencia de la identificación del impacto en la vía causa-efecto. (Mark AJ Huijbregts, 2016).

## **5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.**

### **5.1. Objetivo y alcance del estudio.**

Durante la operación de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), la tecnología utilizada, el procedimiento que se implementa para el tratamiento que implica cada fase, involucra de forma directa obtener diferentes cargas ambientales que interactúan con el ambiente, por lo cual consideramos que es de vital importancia limitar el estudio por separado, es decir por cada fase de tratamiento, bajo esta perspectiva y siguiendo lo establecido por la norma ISO 14040 (2006) nos enfocaremos como objetivo en el tratamiento secundario para efluentes (Lechos fluidizados con material granular electroconductor), utilizando el ACV, desde su construcción hasta su funcionalidad.

La unidad funcional planteada es de 1 m<sup>3</sup> de agua residual, en el cual consideraremos las características químicas del efluente, así como también se incluye los materiales del sistema en la construcción y operación del filtro de lecho fluidizado con material granular electroconductor, no se considerará la desmantelación de lecho fluidizado ni los metros cuadrados de ocupación en profundidad, ya que la el filtro se mantendrá sobre la superficie del suelo, adicional se considera la no disponibilidad de datos para el caso de estudio.

En consideración que la operación del filtro de lecho fluidizado es de 10 años, aquí buscamos evaluar, reflejar la incidencia de los impactos ambientales a partir de los aspectos ambientales considerando la unidad funcional, las cargas contaminantes, el tiempo de vida útil y las reducciones de cargas contaminante que este proceso puede generar.

### Recursos utilizados en la construcción.

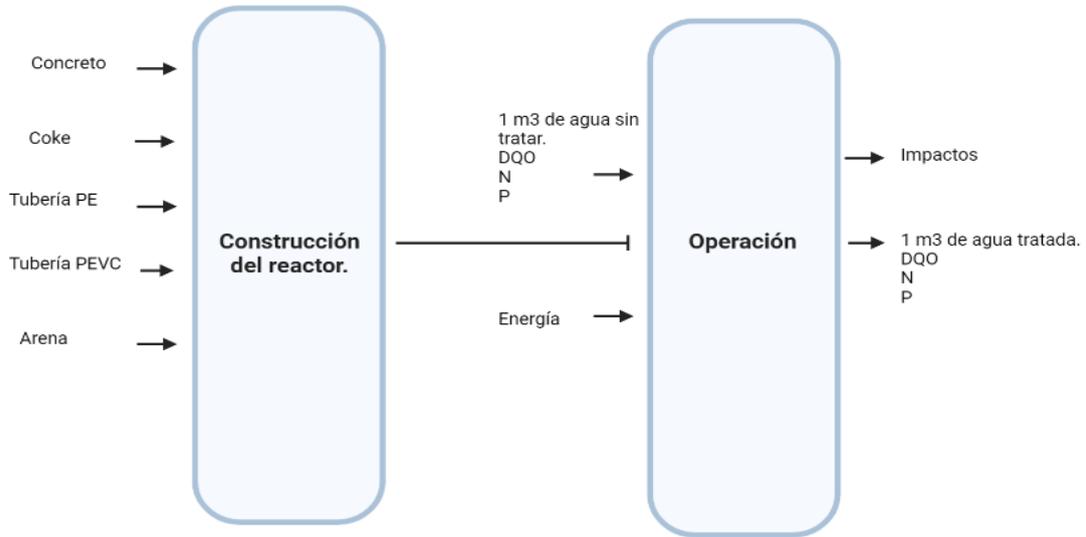


Figura 3. Límite del sistema en el ACV del Lecho fluidizado con material granular electroconductor.

Elaboración propia

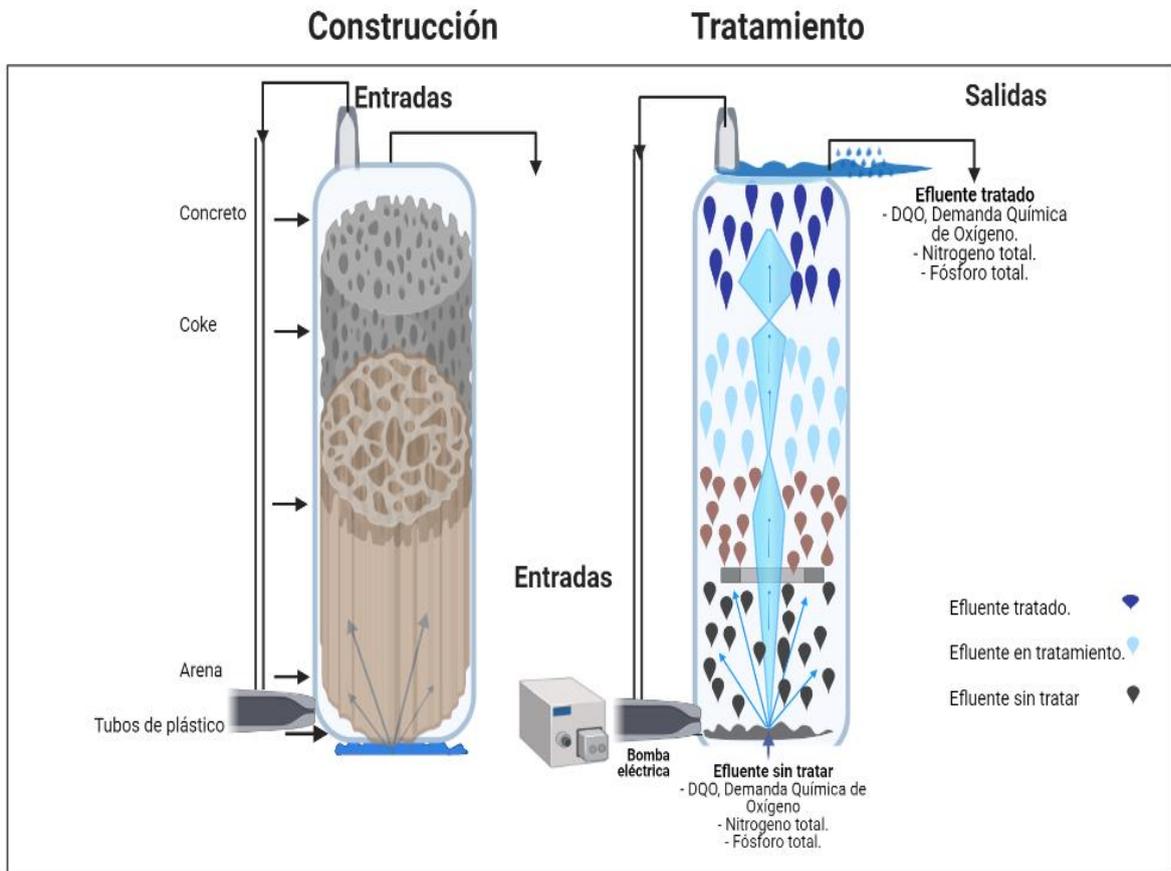


Figura 4. Límites y construcción del filtro de lecho fluidizado con material granular electroactivo.

Elaboración propia

## 5.2. Análisis del inventario.

Los resultados del inventario, son considerados tanto para la construcción y operación del filtro de lecho fluidizado, de lo cual se diseñó una estructura cilíndrica para una capacidad de 2 m<sup>3</sup>, con tubería de recirculación, incorporado una bomba de 2.4 kW\*h, considerado bibliográficamente y en base a la UF para el tratamiento durante las 24 horas del día, en los 365 días del año, por 10 años de vida útil del lecho, se elige el mix español de energía eléctrica necesaria para la impulsión del flujo hídrico como funcionamiento deseado hasta el tratamiento de acuerdo a la unidad estudiada, el lecho fluidizado como nueva tecnología de tratamiento de aguas residuales cuenta con las siguientes dimensiones, 1.5 m de diámetro y 1.2 m de alto, la cama del lecho se dividió en dos capas con diferentes espesores y materiales necesarios para su análisis (90% de coque y 10% de arena) (**ver figura 3**), para la construcción será estimado el concreto, considerando que se destina a usos como la construcción de muros no expuesto a la congelación o descongelación de este material, se considera el coque metalúrgico ya que cuenta con un contenido energético en comparación con todos los demás subproductos además de crear un ambiente completamente adecuado para el crecimiento microbiano, la incorporación de concreto, arena y tubería como material conductor del flujo hídrico hasta su recirculación con la finalidad de obtener la cantidad necesaria para evaluar su impacto:

En la energía eléctrica, se ha considerado la generación eléctrica peninsular de España, mismo que según el (Red electrico español, 2022), la electricidad del mix energético español se encuentra representado con el 48,4%, así como las tecnologías que no emiten CO<sub>2</sub> eq, misma que han supuesto el 71.0% de la generación eléctrica total: De lo cual la potencia eléctrica instalada peninsular al 31 de enero de 2021, es: 6.6% nuclear, 3.3% carbón, 22.8 % ciclo combinado, 5.2 cogeneración, 0.4% residuos no renovables, 3.1% turbinación bombeo, 0.1% residuos renovables, 25.7% eólica, 15.9% hidráulica, 13.7% solar fotovoltaica, 2.1% solar térmica y 1% otras renovables.

A continuación, se detalla el inventario de construcción.

Tabla 3. Inventario para la construcción del lecho fluidizado con material granular.

<b>Flujo</b>	<b>Propiedad de los Flujos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Concreto</b>	Volumen	m3	3.8 e-04
<b>Arena</b>	Masa	Kg	1.37e-01
<b>Coque</b>	Energía	MJ	9.58
<b>Tubería PVC</b>	Masa	Kg	0.014
<b>Tubería PE</b>	Masa	Kg	0.0108

Elaboración propia

Los resultados del inventario del tratamiento de agua residual son bibliográficos, los cuales devengan del estudio “Microbial electrochemical fluidized bed reactor (ME-FBR): An energy-efficient advanced solution for treating real brewery wastewater with different initial organic loading rates.” *Aguas residuales que fueron tratadas previamente a través de un paso de coagulación seguido de un ajuste de Ph posterior a su tratamiento en la planta cervecera* (Y. Asensio, 2021).

Tabla 4. Inventario del tratamiento del agua residual (entrada input).

<b>Flujo</b>	<b>Propiedad de los Flujos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>DQO</b>	Masa	Kg	0.00295
<b>Nitrógeno</b>	Masa	Kg	0.0000582
<b>Fósforo</b>	Masa	Kg	0.0000172
<b>Lecho fluidizado</b>	Masa	kg	1
<b>Electricidad</b>	Energía	KW*h	2.4

Elaboración propia

Tabla 5. Inventario del tratamiento de agua residual (salida output).

<b>Flujo</b>	<b>Propiedad de los Flujos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>DQO</b>	Masa	Kg	0.00059
<b>Nitrógeno</b>	Masa	Kg	0.0000198
<b>Fósforo</b>	Masa	Kg	0.0000043
<b>Agua Tratada</b>	Volumen	m <sup>3</sup>	1

Elaboración propia

### **5.3. Análisis del Impacto Ambiental.**

Para la evaluación y análisis del impacto ambiental consideramos usar la base de datos de Ecoinvent 3.4 y el método de impacto Recipe (H), como metodología de cálculo correspondiente, el cual cuenta con las categorías de impacto medio (**Ver Tabla 2**) y punto final con las tres categorías (**Ver figura 2**), además de obtener el objetivo deseado en el presente estudio.

Dentro de la investigación hemos considerado limitar el alcance de las categorías de impacto a categorías de interés en el estudio, las mismas que pueden ser positivas o negativas, basados en impactos asociados a los procesos de tratamiento de agua por la UF, así como también lograr verificar que grado de impacto cuenta los destinatarios finales, sin embargo, los puntos finales (endpoint): Salud humana, calidad de los ecosistemas y disponibilidad de recursos naturales, se mantienen, para lo ya mencionado detallamos las categorías de impacto a continuación.

Tabla 6. Categorías de impacto consideradas para el estudio.

<b>Categorías de impacto</b>			
<b>Abreviaturas</b>	<b>Nombre</b>	<b>Unidad de referencia</b>	<b>Expresiones</b>
<b>CC</b>	Cambio Climático	kg CO2 eq	Kg de Dióxido de Carbono.
<b>EA</b>	Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	Kg de Dicloro Benceno.
<b>EuA</b>	Eutrofización del agua dulce	kg P eq	Kg de fosforó equivalente.
<b>TH</b>	Toxicidad en humanos	kg 1,4-DB eq	Kg de Dicloro Benceno
<b>EM</b>	Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	Kg de Dicloro Benceno.
<b>EuM</b>	Eutrofización marina	kg N eq	Kg de nitrógeno.
<b>ET</b>	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	Kg de di Cloro Benceno

Elaboración propia

## **6. RESULTADOS y DISCUSIÓN.**

Los resultados se han enfocado a partir de lo establecido en los objetivos de estudio, el análisis del inventario, la evaluación de los impactos ambientales y la interpretación de los resultados, consecuencia de la aplicación del ACV, entre la construcción del lecho fluidizado con material granular electroconductor y los análisis, químicos del agua en base a los flujos y proveedores que formarán parte de las siete categorías consideradas para el estudio (**ver tabla 6**).

## **6.1. Evaluación de la cantidad y calidad de los datos inventariados.**

Los criterios en nuestra evaluación se basaron bibliográficamente, tanto en la cantidad y calidad de datos (**ver tabla 4 y 5**), considerando que el autor sometió los datos en mención a un proceso experimental industrial, presumiendo de un inventario real y con pruebas a escala de laboratorio, la recopilación de información como inventario cuantifica tanto las entradas y salidas en un sistema de acuerdo a la UF, los datos objeto de discusión se encuentran planteada en la investigación, específicamente de la planta cervecera Mahou-San Miguel Company dentro del artículo perteneciente a (C. Alfonsín\*, 2014), industria ubicada en Guadalajara, España, de esta manera como primera evaluación será sometida la construcción del lecho fluidizado para posterior analizar el tratamiento de agua de acuerdo a contribuciones directas a los flujos a las categoría de impacto.

Sin embargo es necesario mencionar que las contribuciones directas son aquellos flujos que interactúan en la construcción del lecho fluidizado y el tratamiento de agua, hasta llegar a obtener resultados como puntos medios o mindpoint, aquí los procesos cuentan con una categoría y un número determinado de flujos con diferentes receptores en el ambiente, sean estos el aire, suelo, agua, medios bióticos o no especificado. En la construcción y en el tratamiento de agua hemos encontrado un enriquecido número de flujos, debemos considerar que las contribuciones para el diseño y la funcionalidad del tratamiento de agua son variadas, dentro de este proceso encontramos flujos positivos y negativos, reduciendo niveles de DQO, P y N.

Nos hemos enfocado en los flujos de diseño y del tratamiento de aguas, el cual es muy interesante observar que los flujos que más interactúan con los procesos son aquellos flujos donde las emisiones generadas que terminan en las aguas superficiales y básicamente existe influencia en todas las categorías de impacto.

## **6.2. Análisis del ciclo de vida y evaluación ambiental de la fase de construcción del lecho fluidizado con material granular electroconductor.**

En este apartado evaluamos los impactos ambientales a partir del inventario del ciclo de vida, considerando los puntos críticos ocasionados por un producto, material o energía, pero sin embargo es necesario resaltar el uso del método ReCiPe Midpoint (H), el mismo que permitió la obtención de resultados según los impactos y relevancia en cada uno de los escenarios que hemos seleccionado como efecto intermedio en esta acción.

Por los resultados obtenidos deducimos que dentro de las altas emisiones de las categorías de CC y TH existiría daños a la salud humana y por los resultados de la categoría de EA concurriría en daños a los ecosistemas por las emisiones de dicha categoría, los materiales considerados para la construcción del lecho fluidizado con material granular electroconductor, cuentan con una contribución directa de emisiones para llegar a obtener el resultado de punto medio de cada una de las categorías como impacto hacia una área de protección (Daños a la salud humana, daño a los ecosistemas y daños a la disponibilidad de los recursos), incluido los procesos previos de cada aporte, las contribuciones directas para cada categoría de impacto son los siguientes:

- Coque. 53.07% – 92%.
- Concreto. 7% - 92%.
- Tubería PE. 0% - 6.79 %
- Tubería PVC. 1% - 9.40%
- Arena 0.0 % - 0.25%

### 6.2.1. Cambio Climático, midpoint.

En la figura cinco la aportación de impacto ambiental según la categoría de Cambio Climático, cuenta con una participación de emisiones al aire de  $3.19 \times 10^{-1}$  kg de CO<sub>2</sub> Eq, la contribución directa generada para este resultado es debido a los materiales utilizados como el coque con una emisión del  $1.69 \times 10^{-1}$  de aportación kg de CO<sub>2</sub> Eq hacia el aire, seguido por el concreto que emite al aire  $9.65 \times 10^{-2}$  de kg de CO<sub>2</sub> Eq, tubería PE con emisiones al aire de  $2.17 \times 10^{-2}$  kg de CO<sub>2</sub> Eq, tubería PVC con emisiones al aire de  $3.00 \times 10^{-2}$  kg de CO<sub>2</sub> Eq, arena con emisiones al aire de  $1.64 \times 10^{-2}$  kg de CO<sub>2</sub> Eq, el área de protección afectada por esta categoría es la salud humana.

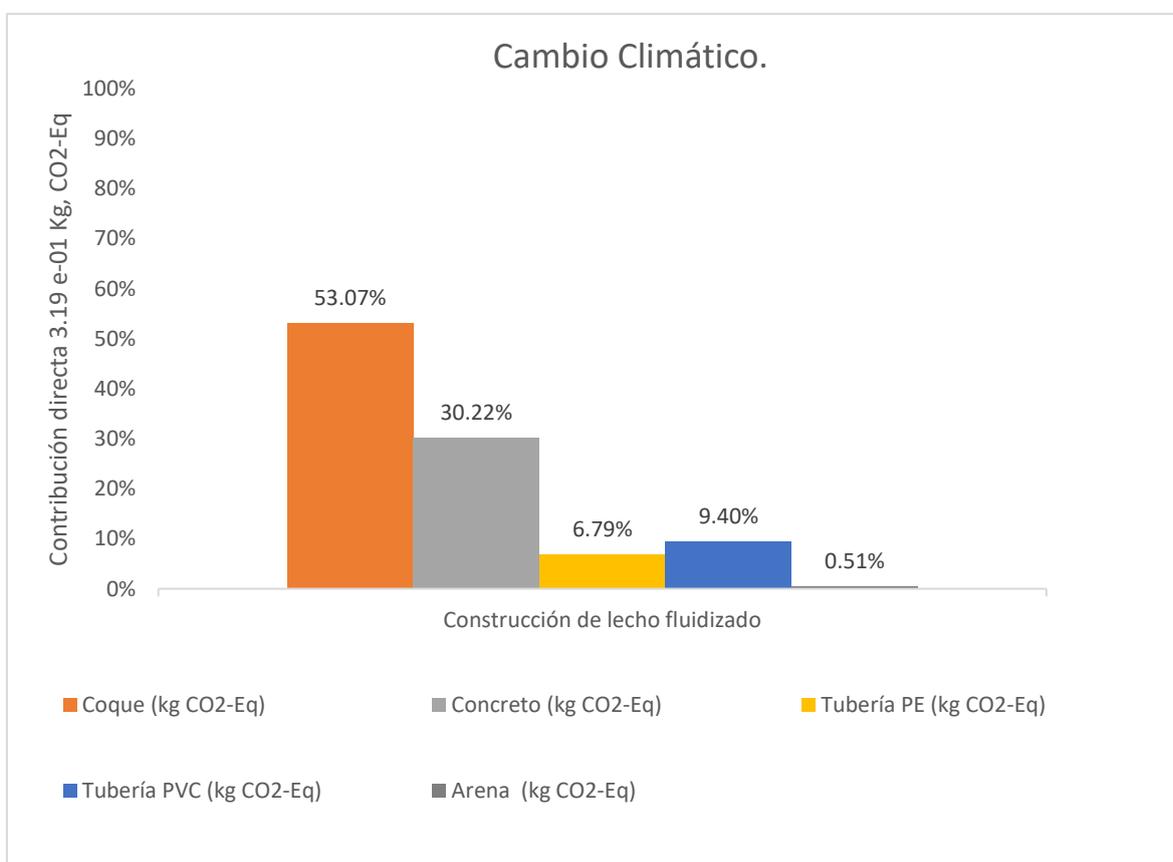


Figura 5. Categoría, cambio climático.

### 6.2.2. Toxicidad Humana, midpoint.

La tendencia de contribución por parte de los materiales hacia la categoría de impacto concerniente a la Toxicidad Humana se mantiene, según los resultados obtenidos la categoría TH, aporta diariamente al ambiente  $1.33e^{-01}$  Kg de 1.4 DCB-eq, (Dicloro benceno), el valor general del punto medio se debe a la aportación de los materiales de contribución directa, como el coque que emite al aire y a las aguas subterráneas  $1.15e^{-01}$  Kg de 1.4 DCB-eq, el concreto emite al aire, aguas superficiales y subterráneas  $1.41e^{-02}$  Kg de 1.4 DCB-eq, la tubería PE emite al aire, agua subterráneas un  $4.94e^{-04}$  Kg de 1.4 DCB-eq, tubería PVC emite al aire y agua superficial  $3.25 e^{-03}$  Kg de 1.4 DCB-eq finalmente la aportación de arena es de  $5.30e^{-04}$  Kg de 1.4 DCB-eq a las agua subterránea, la ruta de daño es el incremento de enfermedades, afectando al área de protección con daños a la salud humana.

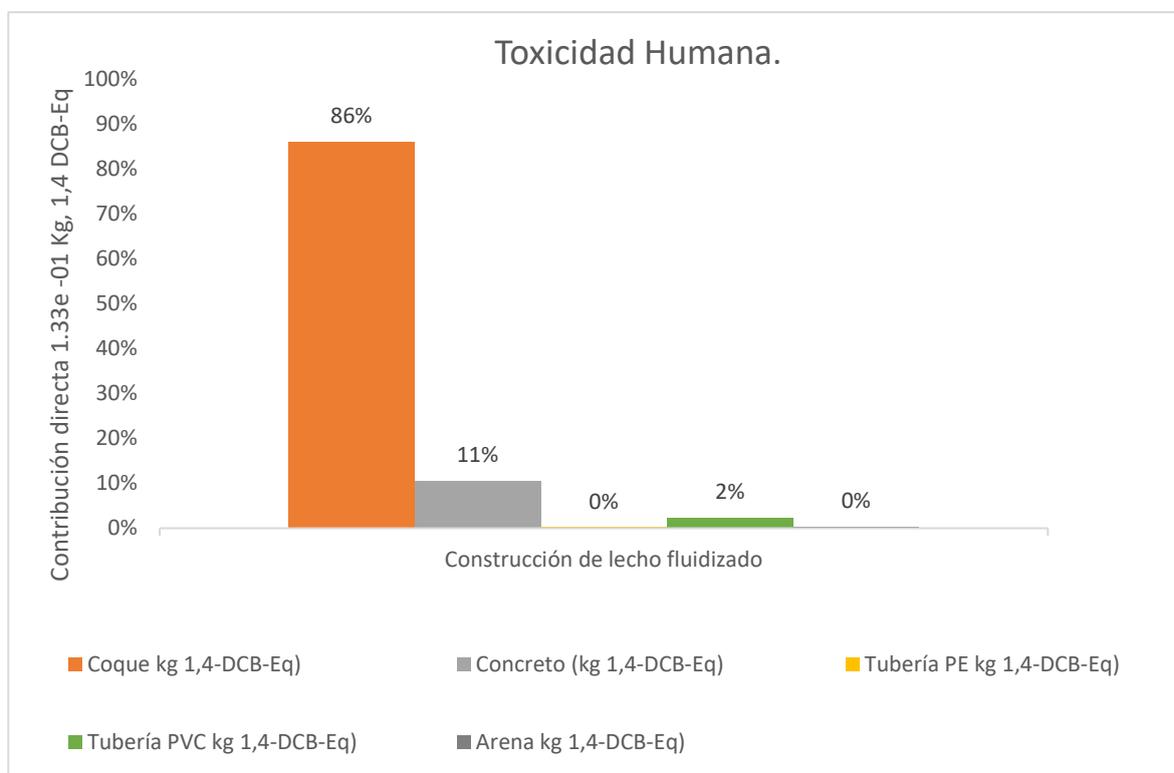


Figura 6. Categoría toxicidad humana.

### 6.2.3. Ecotoxicidad de Agua Dulce, midpoint.

En la figura 7, se presenta la categoría de toxicidad de agua dulce, la cual aporta directamente al ambiente emisiones al agua de  $3.46 \times 10^{-3}$  kg de 1,4-DCB-Eq, (Dicloro benceno), la tendencia referente a la contribución de materiales se mantiene, el coque cuenta con emisiones que llegan hasta las aguas subterráneas con un valor de  $3.00 \times 10^{-3}$  kg de 1,4-DCB-Eq, seguido por el concreto con emisiones a aguas superficiales y al suelo con un valor de  $3.20 \times 10^{-4}$  kg de 1,4-DCB-Eq, tubería PE emite su resultado a las aguas subterráneas y superficiales con un valor de  $2.70 \times 10^{-5}$  kg de 1,4-DCB-Eq, la tubería PVC emite a las aguas subterráneas y superficiales un valor de  $9.99 \times 10^{-5}$  kg de 1,4-DCB-Eq, finalmente la arena emite una aportación del  $1.30 \times 10^{-5}$  kg de 1,4-DCB-Eq a las aguas superficiales, debemos indicar que esta categoría afecta a las especies de agua dulce en el área de protección de los ecosistemas.

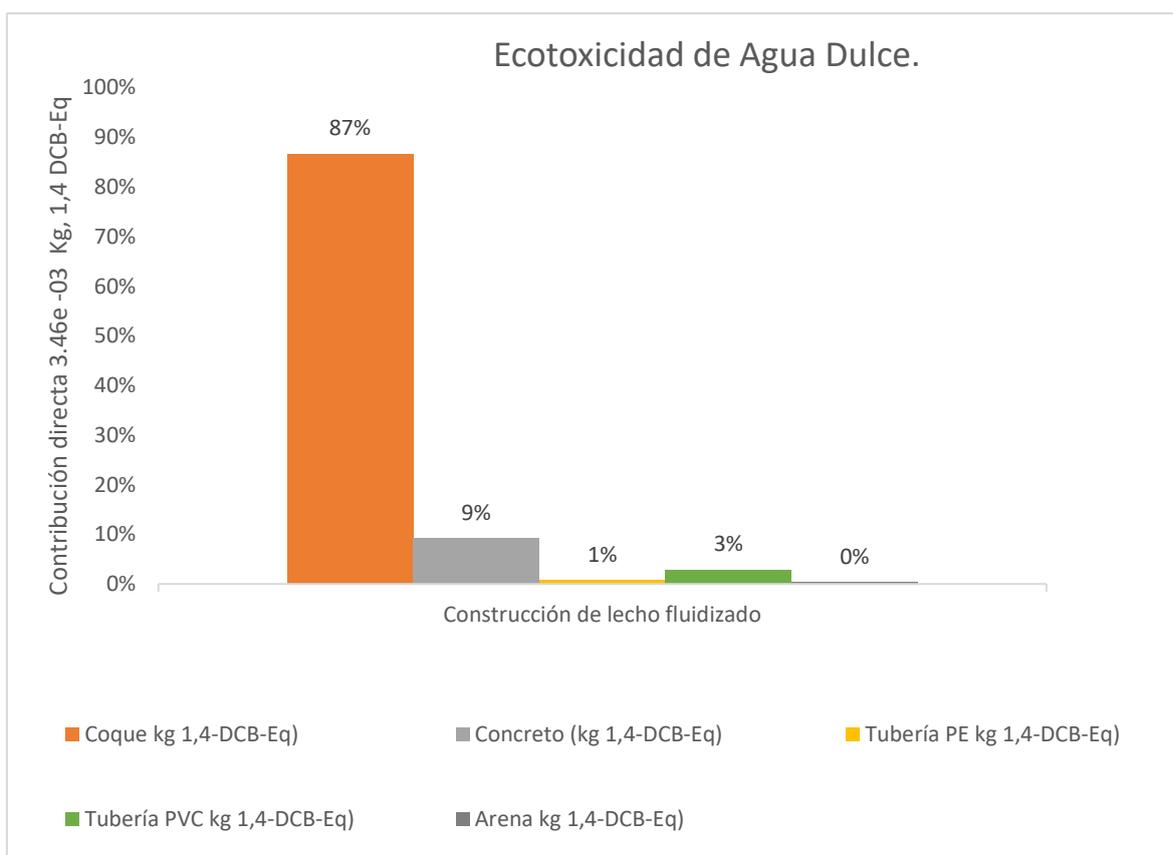


Figura 7 Categoría ecotoxicidad de agua dulce.

#### 6.2.4. Ecotoxicidad Marina, midpoint.

En la figura 8 se evidencia que la categoría de Ecotoxicidad Marina, emite al agua superficial, subterránea y al aire un valor de  $3.30e^{-03}$  kg de 1.4-DCB-Eq, es denotable que la aportación del coque se mantenga como el principal material de contribución el cual emite a las aguas superficiales y subterráneas valores de  $2.86e^{-03}$  kg de 1.4-DCB-Eq, seguido por los materiales de concreto que se emiten a las aguas superficiales y subterráneas un valor de  $3.17e^{-04}$  kg de 1.4-DCB-Eq, en tubería PE se emite a las aguas superficiales y al aire  $2.43e^{-05}$  kg de 1.4-DCB-Eq, en la tubería PVC se emite a las aguas subterráneas un  $8.82e^{-05}$  kg de 1.4-DCB-Eq y arena se emiten a las aguas superficiales un valor de  $1.43e^{-05}$  kg de 1.4-DCB-Eq, las rutas de daño en esta categoría son dos, daños a especies marinas y a especies terrestre, llegando a afectar a los ecosistemas.

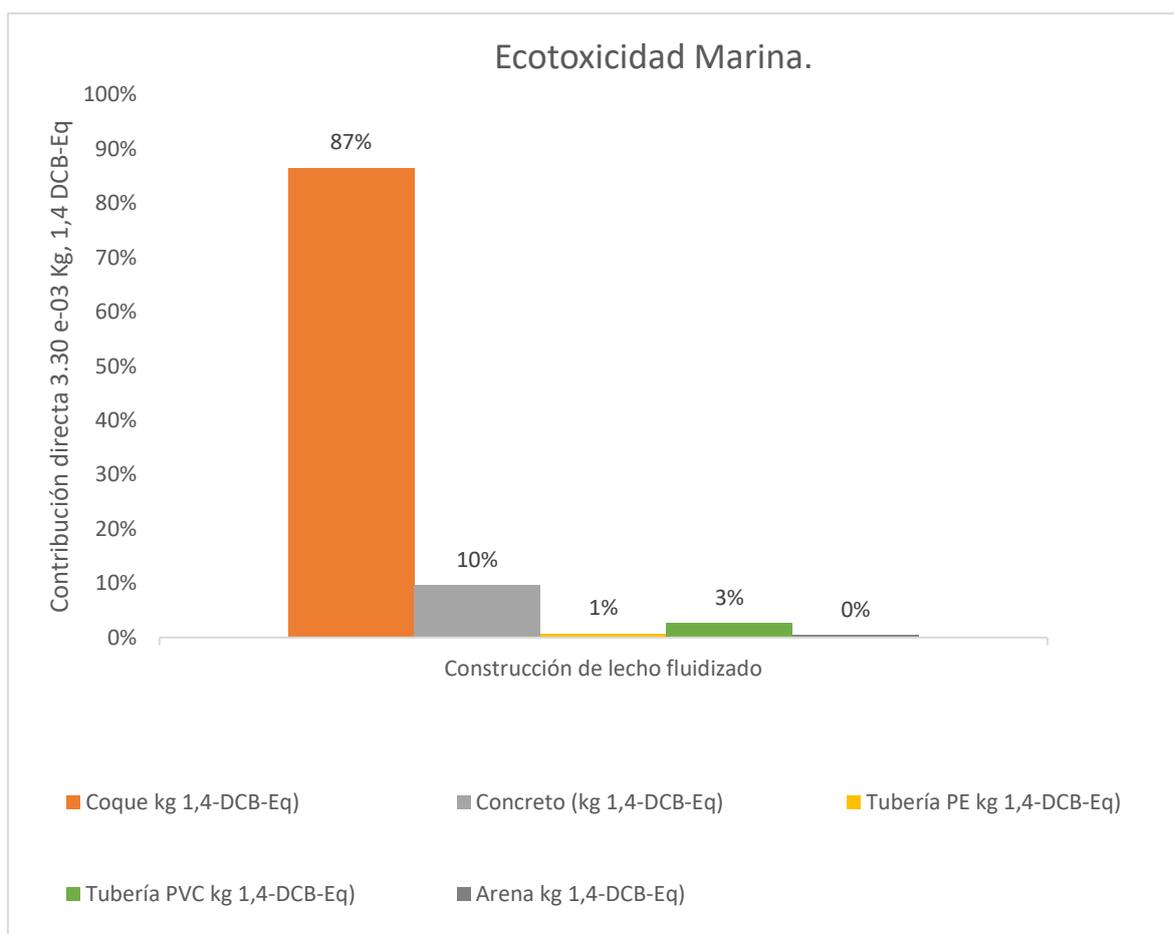


Figura 8. Categoría ecotoxicidad marina.

### 6.2.5. Eutrofización marina, midpoint.

Los resultados en la figura 9, demuestran que los materiales para la construcción del lecho fluidizado, emiten a las aguas superficiales, aguas subterráneas, al aire un  $2.77e^{-04}$  Kg N-Eq, seguido por la contribución de los materiales como el coque que emiten a las aguas superficiales, al aire el valor de  $1.49e^{-04}$  Kg N-Eq, el concreto emite al aire un  $8.00e^{-05}$  Kg N-Eq, la tubería PE emite al aire  $1.58e^{-05}$  Kg N-Eq, la tubería PVC emite al agua superficial y al aire  $2.87e^{-05}$ , finalmente la arena emite al aire y a las aguas subterráneas un valor de  $3.68 e^{-06}$  Kg N-Eq, afectando a los ecosistemas acuáticos.

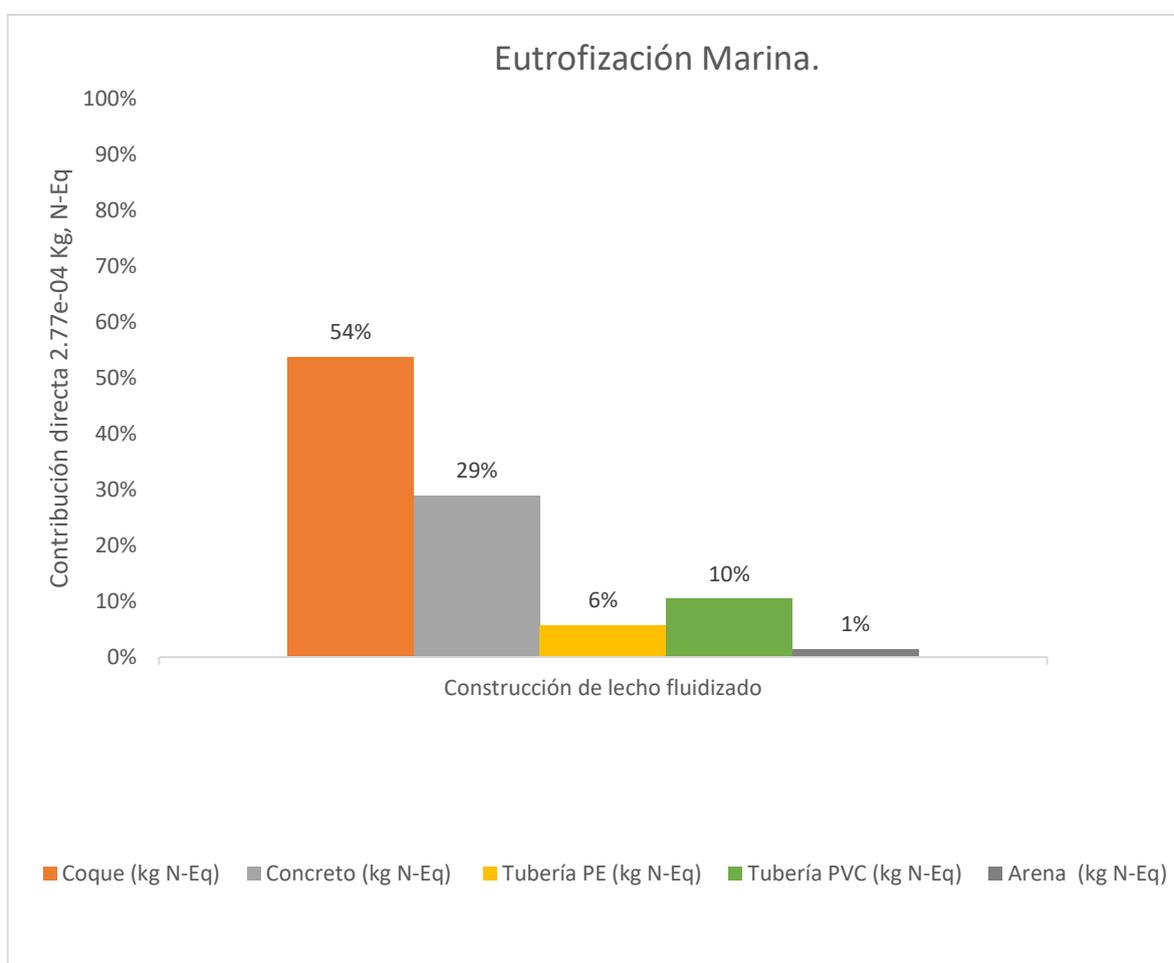


Figura 9. Categoría eutrofización marina.

### 6.2.6. Ecotoxicidad Terrestre, midpoint

Dentro de la categoría de Ecotoxicidad Terrestre, existen resultados de emisión diaria al aire, suelo y agua de  $5.06e^{-05}$  Kg de 1.4 DCB-eq, (Dicloro benceno), este total de aportación, incluye a los materiales considerados para la construcción del lecho fluidizado, con la siguiente distribución; coque emisión al suelo, aire y agua de  $1.62e^{-06}$  Kg de 1.4 DCB-eq, concreto emisión al suelo y aire de  $4.65e^{-05}$  Kg de 1.4 DCB-eq, tubería PE emisión al agua y aire de  $4.16 e^{-07}$  Kg de 1.4 DCB-eq, tubería PVC emisión a las aguas subterráneas de  $1.68 e^{-06}$  Kg de 1.4 DCB-eq y arena emisión a las aguas superficiales de  $3.83 e^{-07}$  Kg de 1.4 DCB-eq, aquí se esperaba que el concreto sea el mayor aportante directo, ya que el concreto cuenta con un mix de materiales que interrelacionan con la toxicidad terrestre, sin embargo las rutas de daño de esta categoría afecta a las especies terrestres para finalmente llegar hasta a daños de los ecosistemas.

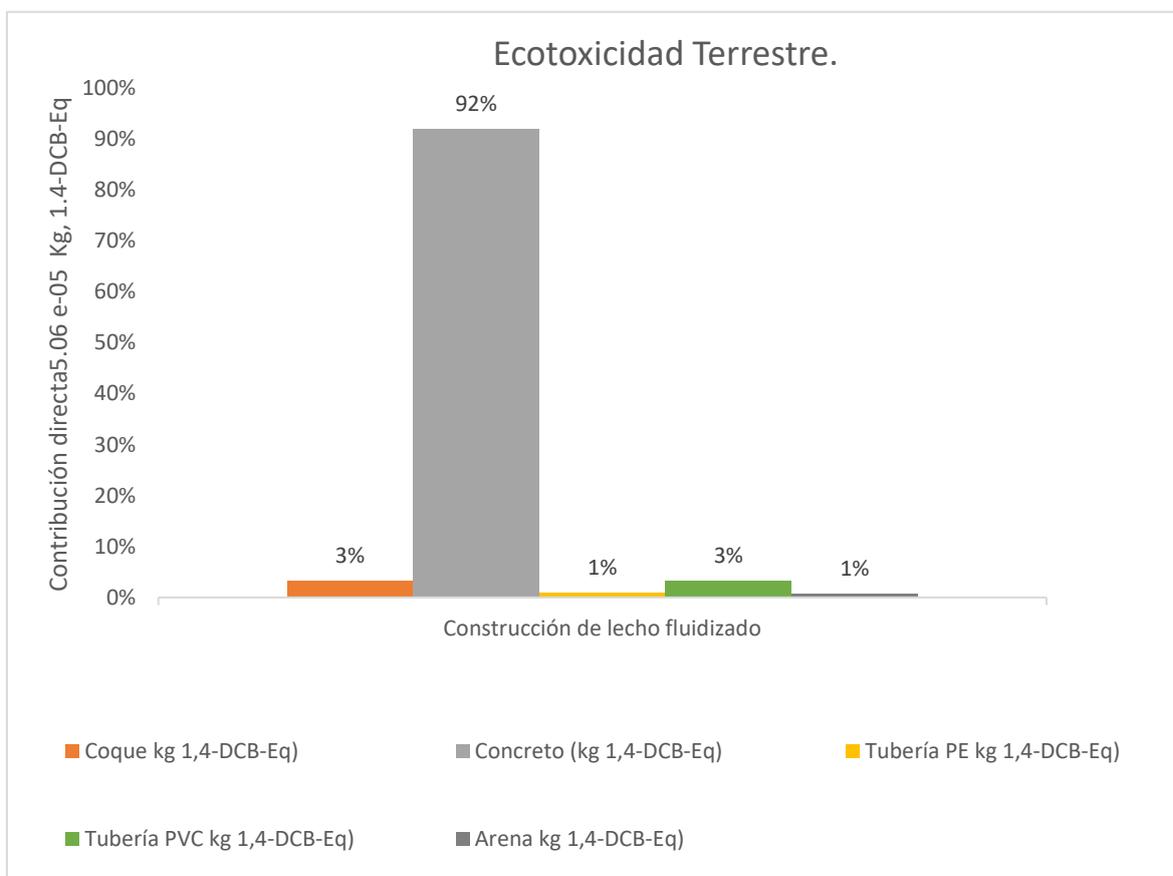


Figura 10. Categoría ecotoxicidad terrestre.

### 6.2.7. Eutrofización de agua dulce, midpoint

En la figura 11, se identifica que la aportación de emisiones desde la categoría de eutrofización de agua dulce, tiene una aportación a las aguas superficiales y subterráneas la EuA es de  $1.62 \times 10^{-4}$  kg de P Eq, sin embargo la contribución directa de los materiales utilizados para el proceso de construcción del lecho, es relativamente menor a comparación con otras categorías, esto debido al “P”, los aportes al midpoint de coque terminan en las aguas superficiales y subterráneas  $1.49 \times 10^{-6}$  kg de P Eq, el concreto emite a las aguas superficiales y subterráneas de  $1.06 \times 10^{-6}$  kg de P Eq, la tubería PE emite hacia las aguas superficiales y subterráneas un  $4.12 \times 10^{-7}$  kg de P Eq, tubería PVC emite a las aguas superficiales y subterráneas un  $1.12 \times 10^{-6}$  kg de P Eq, la arena emite a las aguas superficiales y subterráneas un  $3.63 \times 10^{-7}$  kg de P Eq, las rutas de daño para esta categoría son los daños en especies de agua dulce, con daños en los ecosistemas.

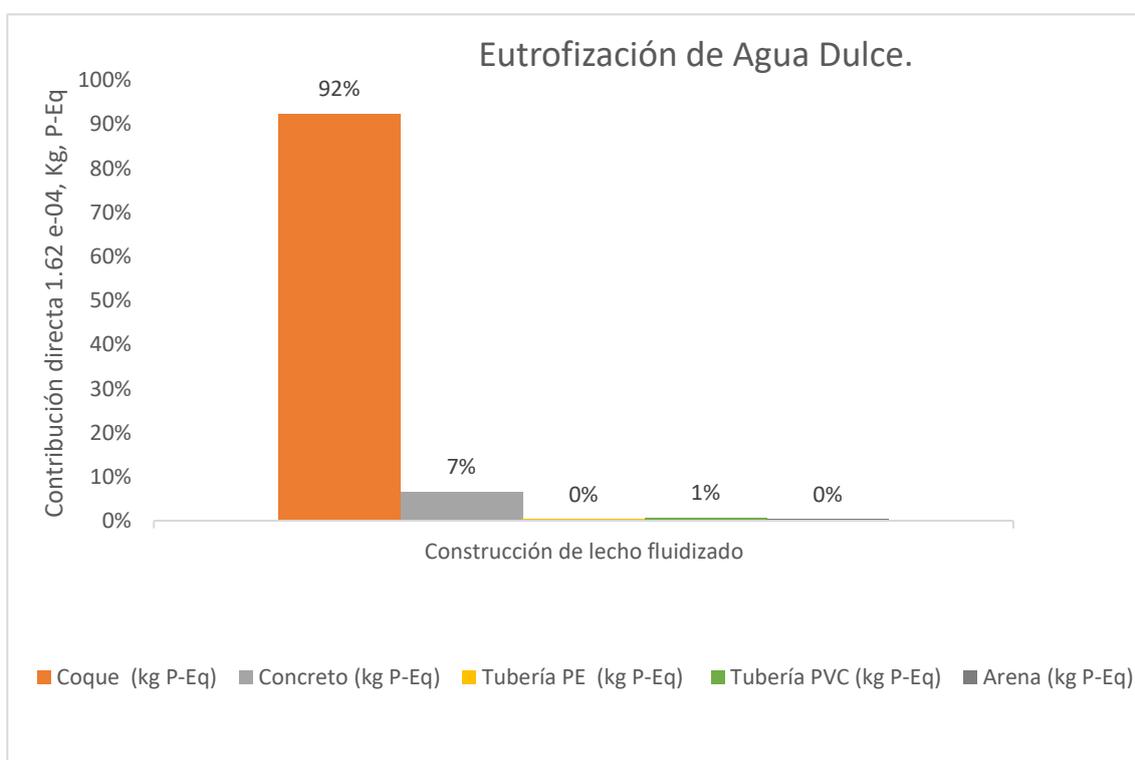


Figura. 11 Categoría eutrofización de agua dulce.

### **6.3. Análisis del ciclo de vida y evaluación ambiental del agua tratada.**

Para constatar la efectividad del tratamiento del agua, como efluente dentro de la UF de 1 m<sup>3</sup>, hemos partido de la evaluación del impacto a través del inventario del ciclo de vida, en los que hemos considerado los puntos críticos ocasionados por un producto, material o energía como resultado se observó que existe diferentes contribuciones directas, más sin embargo entre las entradas (inputs) utilizadas, hemos normalizado por unidad filtrada, las salidas (outputs) el mismo que cuenta con un rendimiento de reducción como tratamiento óptimo en DQO del 87% de Nitrógeno total 66% y fósforo total del 75%, según (Y. Asensio, 2021), ahora las contribuciones permiten la comparación del impacto en cada uno de los escenarios que mencionamos a partir de la incorporación como una entrada el lecho fluidizado con material granular electroconductor, energía del mix español y el tratamiento a partir de los análisis químicos, como resultado obtenemos que las categorías de (CC, EA, EuA, TH, EM, EuM, ET), cuentan con una contribución directa de impacto como punto medio, incluido los procesos previos de cada aporte, los perfiles de contribución general para todas las categorías de impacto son los siguientes:

- Residuos de la minería de la hulla
- Coque (kg P-Eq)
- Residuos de la minería del lignito
- Concreto
- Agua tratada
- Otros

Considerando el resultado en la figura 12, se muestra un escenario en el cual, el tratamiento de agua residual industrial cuenta con aportes diarios al ambiente con emisiones de 1.4 kg de CO<sub>2</sub> eq, de Cambio Climático así como también la Toxicidad Humana llega hasta emisiones de 1.34 e-1 kg de en 1,4-DCB-Eq de (Dicloro Benceno), manteniéndose la tendencia de impacto en los dos aspectos ambientales, similar a la construcción del lecho fluidizado, los resultados son conforme se esperaba, es decir una mayor incidencia frente al ambiente y a la salud humana, esto debido al aporte de la energía del mix español utilizado en el tratamiento de agua residual como UF para la presente investigación.

### 6.3.1. Cambio Climático, midpoint.

En la figura número 13, podemos apreciar que las exposiciones de la categoría de cambio climático, cuenta con emisión al aire de 1.11 kg de CO<sub>2</sub>- Eq, implicando a dos procesos con contribución directa para la obtención del total de CO<sub>2</sub> dentro de esta categoría, los procesos de aportación son; La generación eléctrica al ser energía necesaria para la funcionalidad del tratamiento de agua atribuye resultados con emisiones al aire de  $7.87e^{-01}$  y una aportación al aire del lecho fluidizado de  $3.19e^{-01}$ , sin embargo, esta generación de emisiones afecta a la salud humana.

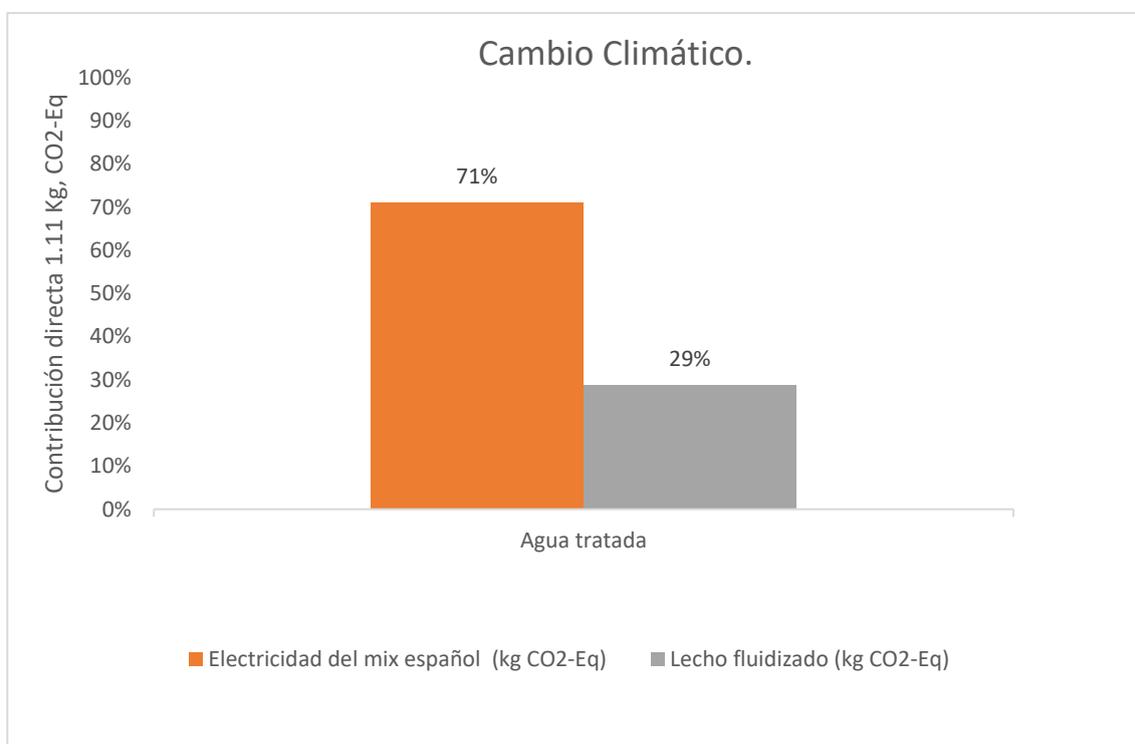


Figura 12. Categoría cambio climático en agua tratada.

### 6.3.2. Toxicidad Humana, midpoint.

En la figura 14 apreciamos que las emisiones diarias son al aire, agua y suelo con un valor de  $3.67 \text{ e}^{-01} \text{ kg, 1.4 - DCB - Eq}$ , con efectos a la salud humana, no obstante la contribución directa se acredita a la incidencia de la energía del mix español el mismo que cuenta con un aporte al aire de  $2.34 \text{ e}^{-01} \text{ kg, 1.4 - DCB - Eq}$  y la construcción del lecho fluidizado emite aire, aguas superficiales y subterráneas con una emisión de  $1.33 \text{ e}^{-01} \text{ kg, 1.4 - DCB - Eq}$ , se aprecia que en la UF aporta de forma directa la electricidad del mix español, las emisiones de toxicidad humana afecta incrementa enfermedades, con daños a la salud humana.

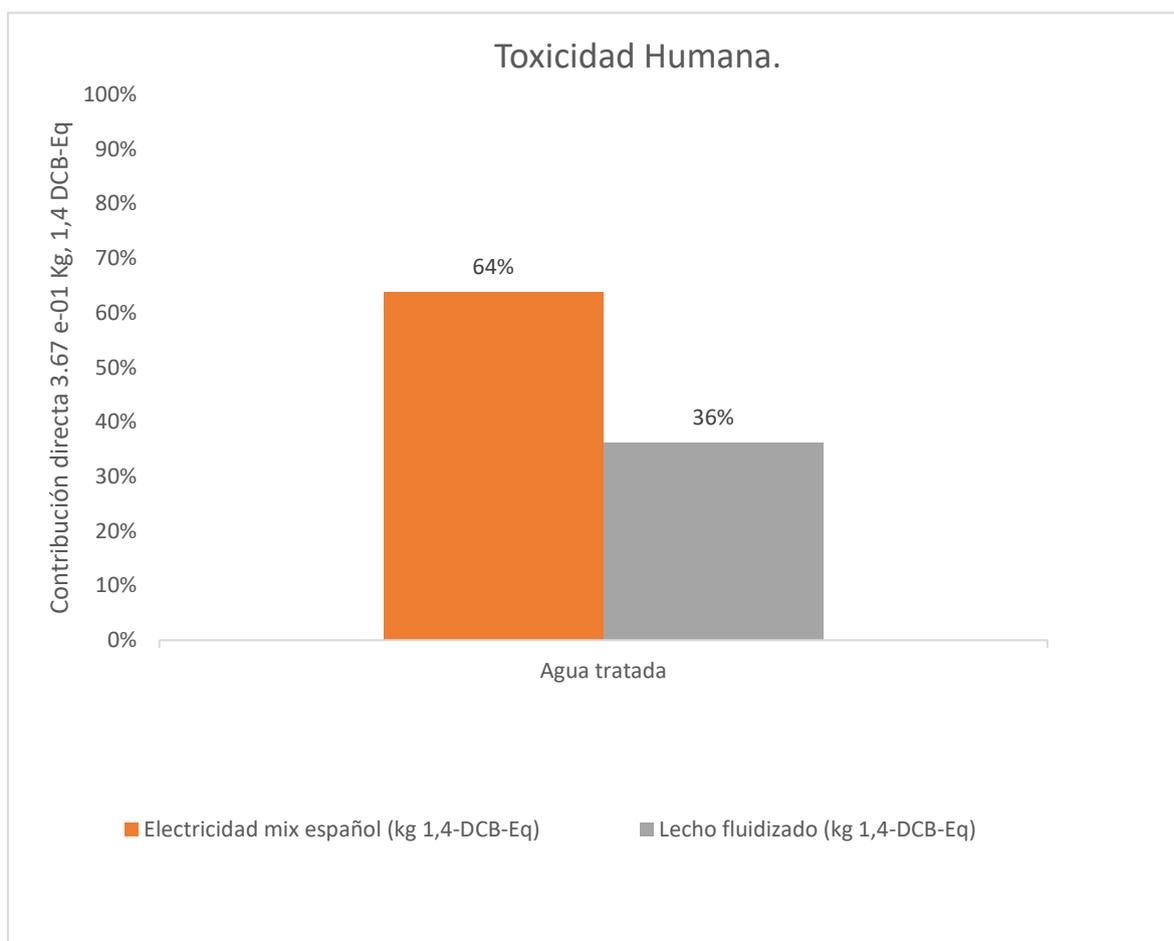


Figura 13. Categoría toxicidad humana en agua tratada.

### 6.3.3. Ecotoxicidad en Agua Dulce, midpoint.

Dentro de esta categoría es fundamental mencionar que el aporte diario de emisiones de la categoría de ecotoxicidad en agua dulce, son a las aguas superficiales, subterráneas y el suelo con emisiones de  $9.51 \text{ e}^{-01} \text{ Kg}$  en 1,4, DCB – Eq, en esta categoría se involucra a dos procesos con aportación directa; primero es la generación eléctrica con una aportación a la agua con  $7.20 \text{ e}^{-03} \text{ Kg}$  en 1,4, DCB – Eq, así como el lecho fluidizado emite a aguas subterráneas y superficiales  $3.40 \text{ e}^{-03} \text{ Kg}$  en 1,4, DCB – Eq, sin embargo en el tratamiento de las aguas existe un factor de impacto negativo debido a la eliminación de fósforo, evitando que  $-1.41 \text{ e}^{-03} \text{ Kg}$  en 1,4, DCB – Eq llegue hasta las aguas superficiales, subterráneas y al suelo, disminuyendo el impacto ambiental.

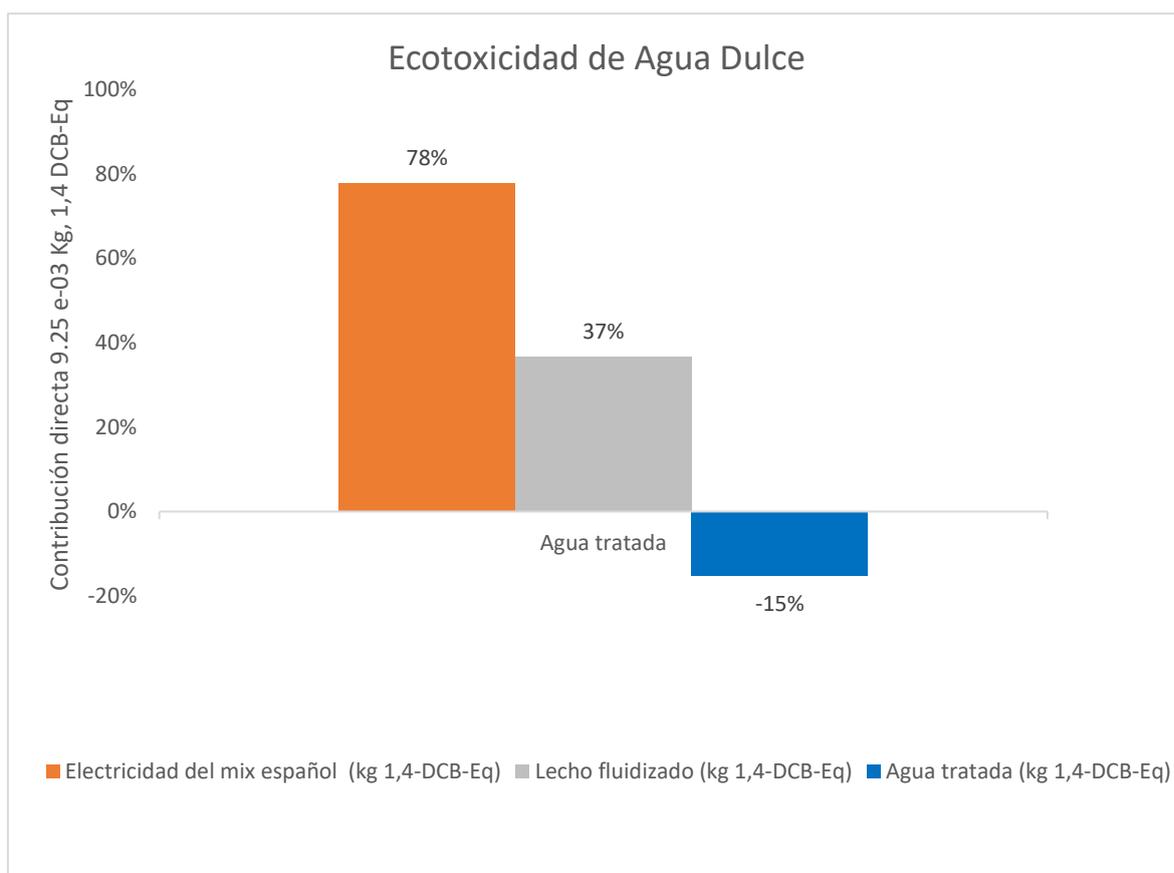


Figura 14. Categoría ecotoxicidad en agua dulce.

### 6.3.4. Ecotoxicidad Marina, midpoint.

En la figura 16, se detalla las emisiones diarias a las aguas superficiales, subterráneas y al aire con un aporte de  $1.01 \text{ e-}^{02}$  Kg en 1,4, DCB – Eq, de ecotoxicidad marina al ambiente, sin embargo, las emisiones de electricidad del mix español son al aire con un aporte de  $6.80\text{e-}^{03}$  Kg en 1,4, DCB – Eq y el lecho fluidizado emite a las aguas superficiales y subterráneas  $3.30\text{e-}^{03}$  Kg en 1,4, DCB – Eq , las rutas de daño en esta categoría son dos, daños a especies marinas y a especies terrestre, el mismo que afectar a los ecosistemas.

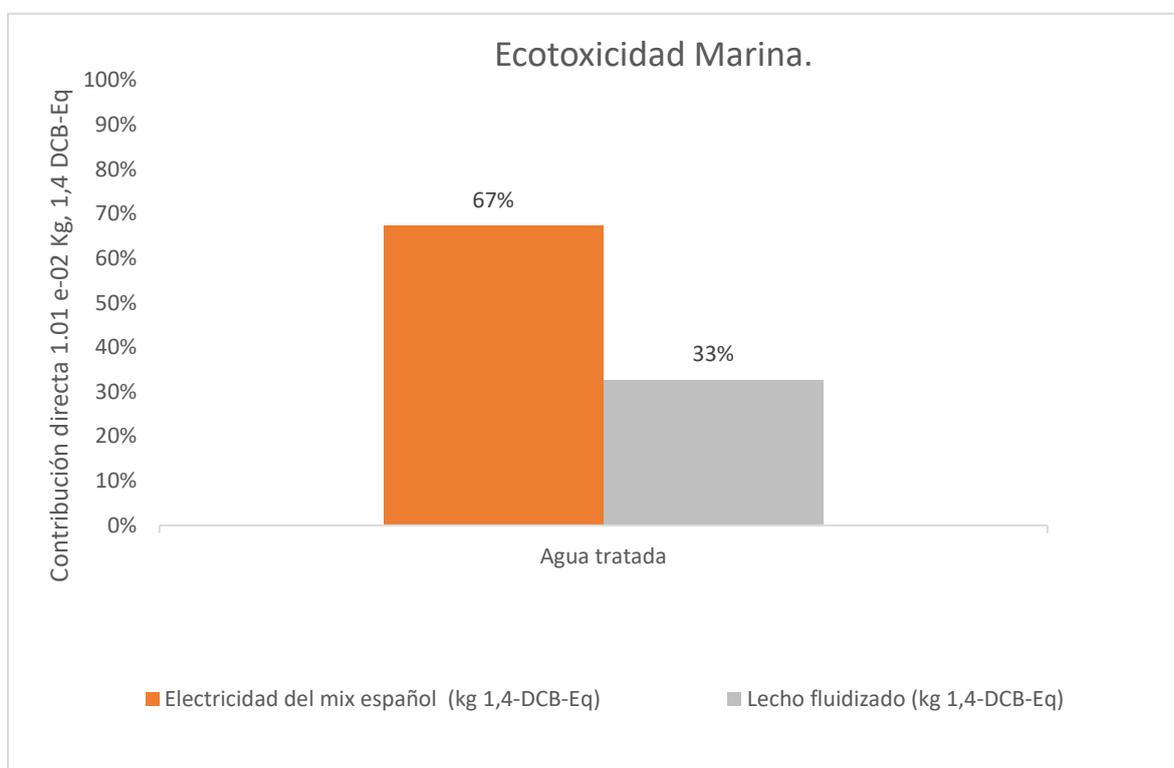


Figura 15. Categoría ecotoxicidad marina.

### 6.3.5. Eutrofización Marina, midpoint.

En la figura 17, los resultados de emisiones de la categoría de la eutrofización marina, es hacia el aire, aguas superficiales y aguas subterráneas con  $1.27 \text{ e}^{-03}$  kg de N-eq, más sin embargo implica a dos procesos como contribución directa; la generación eléctrica del mix español emite con sus aporte al aire con  $1.03\text{e}^{-03}$  kg de N-eq y la construcción del lecho fluidizado con una emisión a las aguas superficiales, aguas subterráneas, al aire de  $2.80\text{e}^{-04}$ , en el tratamiento de agua existe un factor de impacto negativo debido a la eliminación de N, evitando que  $-3.80\text{e}^{-05}$  kg de N-eq llegue como emisión las aguas superficiales, subterráneas, disminuyendo el impacto ambiental, esta categoría afecta a los ecosistemas acuáticos.

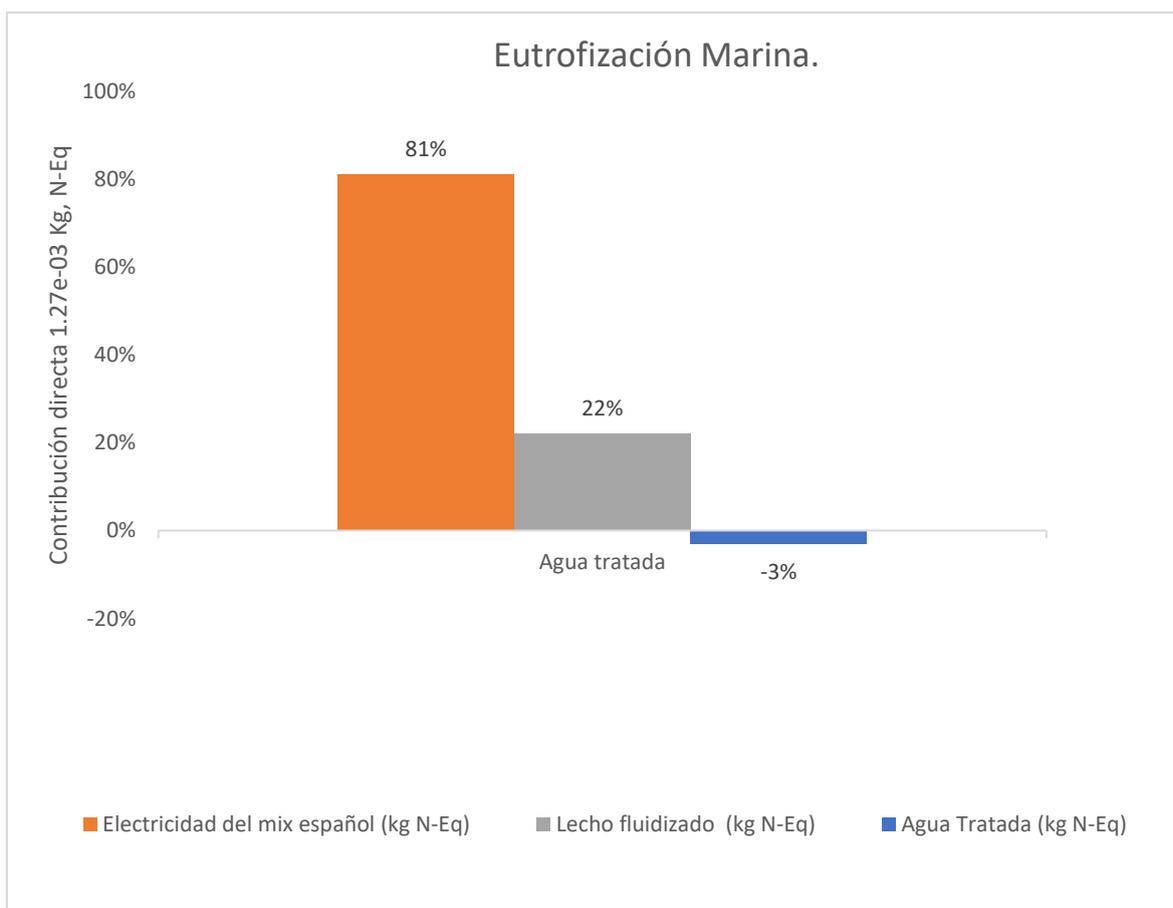


Imagen 16. Categoría eutrofización marina

### 6.3.6. Ecotoxicidad Terrestre, midpoint.

Como se puede evidenciar en la figura 18, la emisión en la categoría de ecotoxicidad terrestre, aporta emisiones al aire, suelo y aguas superficiales con un valor de  $7.30 \times 10^{-5}$  Kg de 1,4 DCB-eq, (Dicloro benceno), las aportaciones directas para la producción de esta cantidad vienen dadas a partir de la electricidad del mix español, el cual se emiten al aire con un valor de hasta el  $4.65 \times 10^{-5}$  Kg de 1,4 DCB-eq, así como también las del lecho fluidizado que se aportan al aire, suelo y aguas superficiales con  $7.02 \times 10^{-6}$  Kg de 1,4 DCB-eq, (Dicloro benceno), las rutas de daño de esta categoría afecta a las especies terrestres hasta los daños en los ecosistemas.

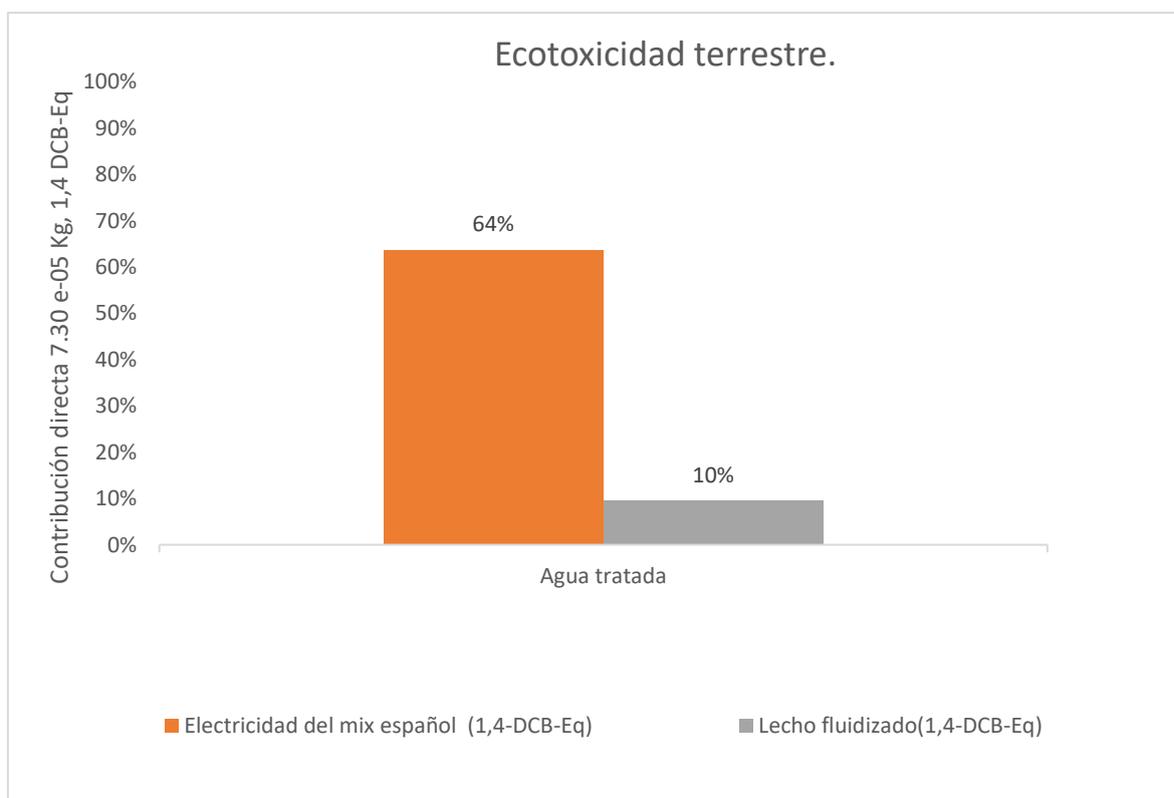


Figura 17. Categoría ecotoxicidad terrestre tratamiento de agua.

### 6.3.7. Eutrofización de Agua Dulce, midpoint.

En la categoría de eutrofización de agua dulce, las emisiones llegan hasta las aguas superficiales y subterráneas, las cuales cuenta con emisiones de  $4.23e^{-04}$  kg, P-Eq diariamente, la electricidad del mix español se emite al aire con un valor de  $2.70e^{-04}$  kg, P-Eq y del lecho fluidizado se emite al agua superficial y subterránea con el  $1.60 e^{-04}$  kg, P-Eq, en el tratamiento contamos con un factor de impacto negativo debido a la eliminación de fósforo, evitando que  $-1.29e^{-05}$  Kg en 1.4, DCB – Eq llegue hasta las aguas superficiales y subterráneas, disminuyendo el impacto ambiental que esta pudiera causar, las rutas de daño para esta categoría son los daños en especies de agua dulce, con daños en los ecosistemas.

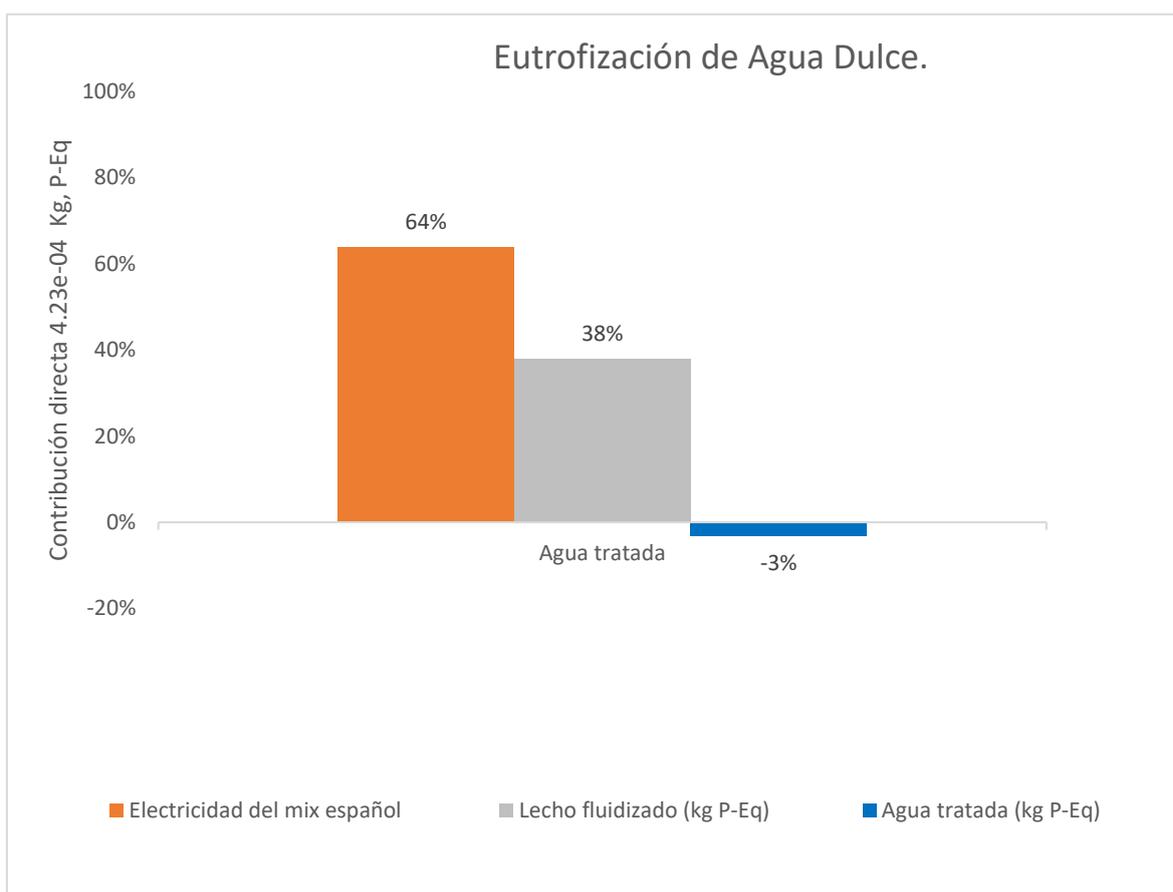


Figura 18. Categoría de eutrofización de agua dulce.

## **7. CONCLUSIONES.**

- Las emisiones que se reducen en el tratamiento de las aguas residuales, no es suficiente para compensar el impacto de la construcción del lecho fluidizado con material granular.
- El consumo eléctrico es el principal proceso que interviene en el tratamiento del agua residual, con un aporte de hasta el 81%, siendo el principal generador de emisiones, principalmente en las categorías de Cambio Climático y Toxicidad Humana.
- En la construcción del lecho fluidizado el proceso que interviene con más aportaciones es el coque, principalmente en las categorías de Cambio Climático y Toxicidad Humana, sin embargo, la aportación en la categoría de Ecotoxicidad Terrestre el mayor aporte es concreto (92%).
- El Análisis de Ciclo de Vida, nos ha servido para valorar, cuantificar y cualificar las entradas y salidas de un producto, para la toma de decisiones.

## **8. RECOMENDACIONES.**

- Para la construcción del lecho fluidizado con material granular, se deberá considerar otro material más amigable con el ambiente, con el objetivo de reducir su aportación de impacto.
- Es recomendable la elección de energía renovable o energías limpias, con intención de reducir sus flujos de impacto como entradas en los procesos de un tratamiento de agua.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

- C. Alfonsín\*, A. H. (2014). PPCPs in wastewater - Update and calculation of characterization factors for their inclusion in LCA studies . *Journal of Cleaner Production*, 245-255.
- Comisión Europea. (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. Luxemburgo.: Office of the European Union.
- García, P. L. (2018). EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA: METODOLOGÍAS Y APLICACIONES. . Compra pública verde .
- Lorena Peñacoba - Antona, J. S.-S.-S.-C.-N. (2021). Assessing METland® Design and Performance Through LCA: Techno-Environmental Study With Multifunctional Unit Perspective . *frontiers in Microbiology*, 1-14.
- Mark AJ Huijbregts, Z. J. (2016). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at mindpoint and endpoint level. *Springer* .
- Menoufi, K. A. (13 de 10 de 2011). Análisis del ciclo de vida y metodologías de evaluación del impacto del ciclo de vida: un estado del arte. *Análisis del ciclo de vida y metodologías de evaluación del impacto del ciclo de vida: un estado del arte*. Lérida, Lérida, España: Universitat de Lleida.
- MITECO. (2020). *Censo Nacional de Vertidos, resumen ejecutivo 2020*. España: Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Secretaría Genral Técnica.
- MITECO, .. (18 de Julio de 2021). Plan Nacional de Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización. España.
- Olcina Cantos, J., & Moltó Mantero, E. (2010). RECURSOS DE AGUA NO CONVENCIONALES. *Redalyc, Investigaciones Geográficas (Esp)*, 131-163.
- Red electrico español. (2022). *El sistema eléctrico español*. Madrid: RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA - Paseo del Conde de los Gaitanes, 177 28109 Alcobendas.
- Rintelen Fransitorra, Y. (11 de 2013). Análisis del Ciclo de Vida de los tratamientos terciarios de la EDAR de El Prat para la reutilización del agua. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech.
- Salinas, J. S. (08 de Junio de 2015). Análisis del ciclo de vida de un sistema de depuración convencional, con uso de OpenLCA y perspectiva de análisis de metabolismo urbano: el caso de Guadalajara . Alcalá de Henáres , Madrid, España: Universidad de Alcalá de Henares.
- Serenella Sala, A. M. (2021). The evolution of life cycle assessment in European policies over three. *La revista internacional de evaluación del ciclo de vida*, 1-20.
- Smita Raghuvanshi, V. B. (2017). Waste water treatment plant life cycles assessment: treatment process to reuse of water. *Elsevier*, 761-766.
- Smita Raghuvanshib, V. B. (2017). Waste water treatment plant life cycle assessment: treatment process to reuse of water. *ScienceDirect* , 6.
- Sonnemann G, G. S. (2018). *Life Cycle Thinking and the Use of LCA in Policies Around the World*. Recherches Géologiques et Minières, France: Springer, Cham.
- Y. Asensio, M. L.-S.-L.-N. (2021). Microbial electrochemical fluidized bed reactor (ME-FBR): An energy-efficient advanced solution for treating real brewery wastewater with different initial organic loading rates. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.

## 10. ANEXOS.

### Flujos según su categoría y procesos de la construcción del lecho fluidizado.

Procesos		Categorías		Lecho fluidizado	Coque	Concreto	Tubería PE	Tubería PVC	Arena
<b>Aire</b>	Alta densidad de población			89	78	25	11	9	5
	Baja densidad de población			86	75	45	32	15	7
	Baja densidad de población a largo plazo			18	12	8	5	2	1
	Estratósfera más troposfera superior			12	4	2	1	2	1
	No especificado			160	160	160	160	160	160
<b>Recurso</b>	Biótico			2	1	1	1	1	1
	En aire			2	2	2	1	1	
	Suelo			38	1	10	90	11	14
	En agua			8	2	1	1	1	1
	En tierra			108	108	108	108	108	108
<b>Emisión al agua</b>	Sin especificar			91	91	91	91	91	91
	Aguas superficiales			91	91	91	91	91	91
	Océano			87	87	87	87	87	87
	Aguas subterráneas, a largo plazo.			46	46	46	46	46	46
	Aguas subterráneas			244	244	244	244	244	244
<b>Emisión al suelo</b>				316	316	316	316	316	316
<b>Totales</b>				<b>1398</b>	<b>1318</b>	<b>1237</b>	<b>1285</b>	<b>1185</b>	<b>1173</b>

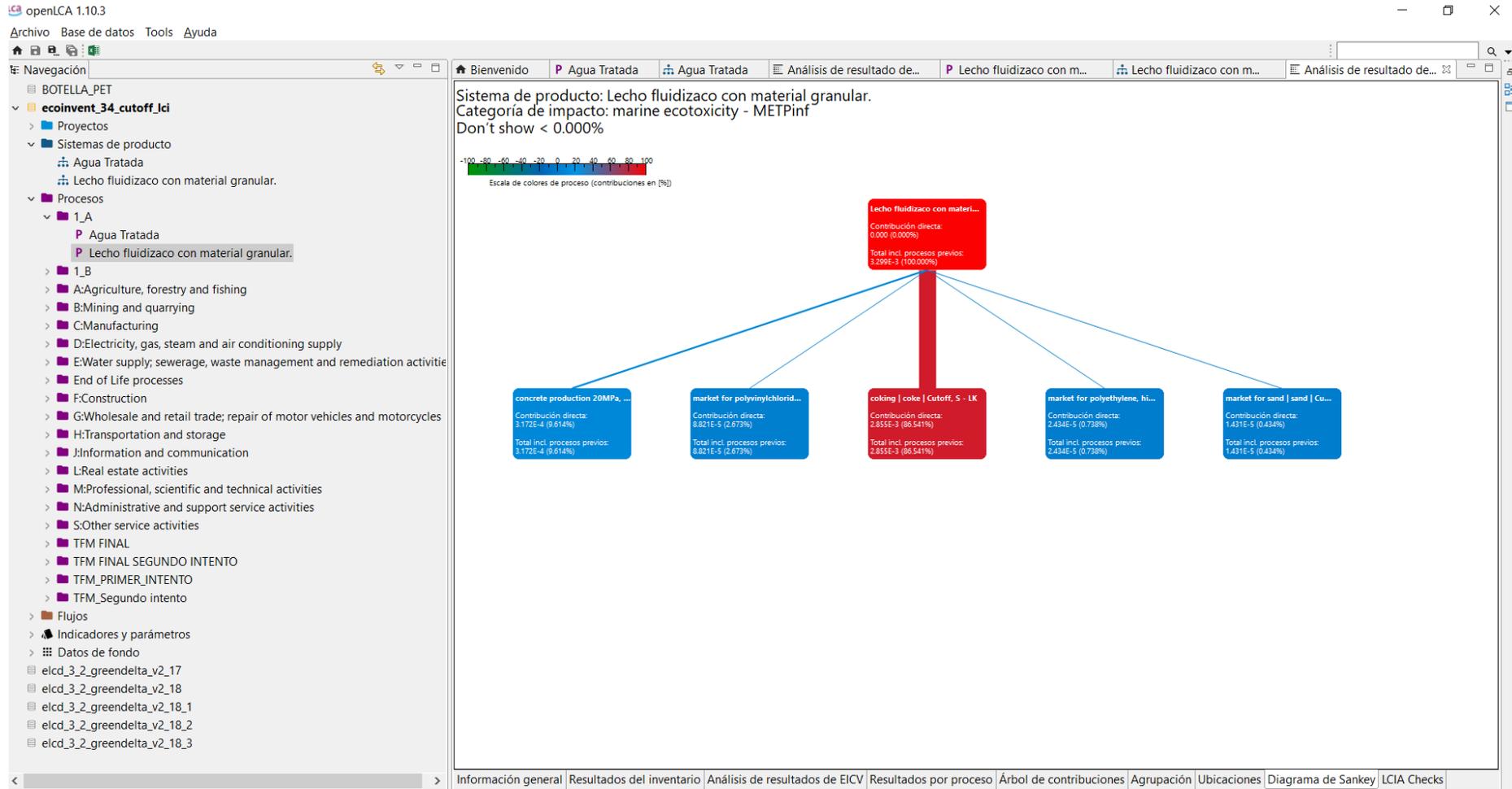
Elaboración propia

**Flujos según su categoría y procesos del tratamiento de agua.**

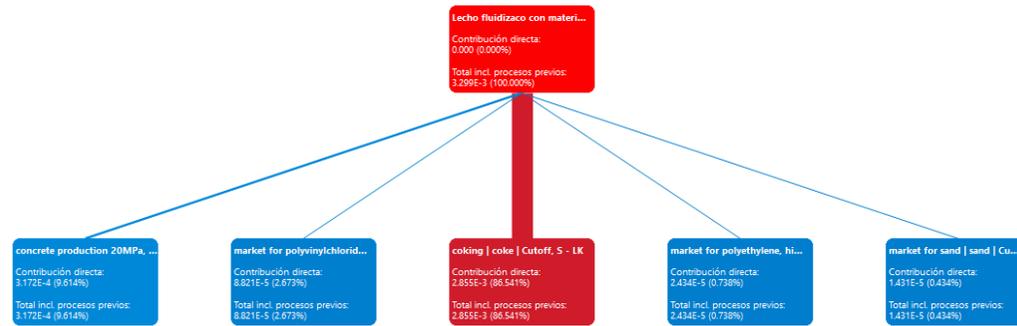
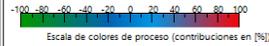
		<b>Proceso</b>	<b>Tratamiento de agua</b>
		<b>Categorías</b>	
<b>Aire</b>		Alta densidad de población.	88
		Baja densidad de población, a largo plazo.	66
		Baja densidad de población.	45
		Estratósfera inferior más troposfera superior	23
		No especificado	93
<b>Recurso</b>		Biótico	6
		En aire	8
		Suelo	97
		En agua	13
		En tierra	80
<b>Emisión al agua</b>		Sin especificar	81
		Aguas superficiales	203
		Océano	71
		Aguas subterráneas, a largo plazo.	40
		Aguas subterráneas	50
		Río	1
<b>Emisión al suelo</b>		Agricultura	68
		Industrial	30
		Sin especificar	39
<b>Totales</b>			<b>1102</b>

Elaboración propia

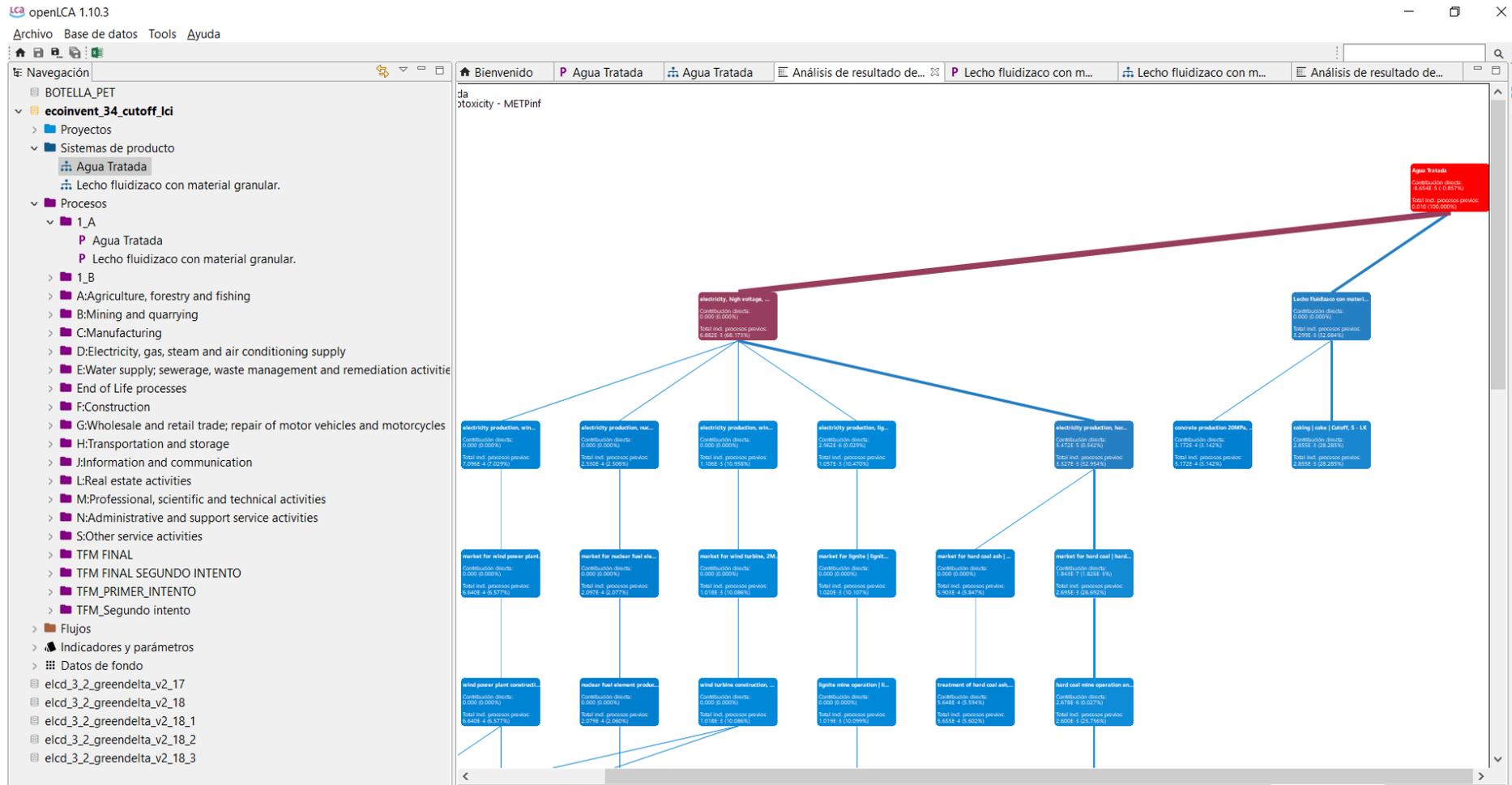
## Aportación de lecho fluidizado.



Sistema de producto: Lecho fluidizado con material granular.  
 Categoría de impacto: marine ecotoxicity - METPinf  
 Don't show < 0.000%



# Aportaciones del agua tratada.



## Inputs – Outputs del Agua tratada.

openLCA 1.10.3

Archivo Base de datos Tools Ayuda

Navegación

- BOTELLA\_PET
- ecoinvent\_34\_cutoff\_lci
  - Proyectos
  - Sistemas de producto
    - Agua Tratada
    - Lecho fluidizado con material granular.
  - Procesos
    - 1\_A
      - Agua Tratada
        - Lecho fluidizado con material granular.
      - 1\_B
      - A:Agriculture, forestry and fishing
      - B:Mining and quarrying
      - C:Manufacturing
      - D:Electricity, gas, steam and air conditioning supply
      - E:Water supply; sewerage, waste management and remediation activities
      - End of Life processes
      - F:Construction
      - G:Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles
      - H:Transportation and storage
      - J:Information and communication
      - L:Real estate activities
      - M:Professional, scientific and technical activities
      - N:Administrative and support service activities
      - S:Other service activities
      - TFM FINAL
      - TFM FINAL SEGUNDO INTENTO
      - TFM\_PRIMER\_INTENTO
      - TFM\_Segundo intento
    - Flujos
    - Indicadores y parámetros
    - Datos de fondo
      - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_17
      - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18
      - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_1
      - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_2
      - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_3

### Entradas/Salidas: Agua Tratada

#### Entradas

Flujo	Categoría	Cantidad	Unidad	Costes/Ingr...	Incertidum...	Avoided w...	Proveedor ...	Entrada de ...	Descripci...
☒ COD, Chemical Oxygen Demand	Emission to water/unspe...	0.00295	kg		none				
☒ electricity, high voltage	351:Electric power gene...	2.40000	kWh		none		P electricit...		
☒ Lecho fluidizado con material g...	1_A	1.00000	kg		none		P Lecho fl...		
☒ Nitrogen	Emission to water/unspe...	5.82000E-5	kg		none				
☒ Phosphorus	Emission to water/unspe...	1.72000E-5	kg		none				

#### Salidas

Flujo	Categoría	Cantidad	Unidad	Costes/Ingr...	Incertidum...	Producto e...	Proveedor ...	Entrada de ...	Descripci...
☒ <b>Agua Tratada</b>	<b>1_A</b>	<b>1.00000</b>	<b>m3</b>		<b>none</b>				
☒ COD, Chemical Oxygen Demand	Emission to water/unspe...	0.00059	kg		none				
☒ Nitrogen	Emission to water/unspe...	1.98000E-5	kg		none				
☒ Phosphorus	Emission to water/unspe...	4.30000E-6	kg		none				

## Inputs – Outputs del lecho fluidizado.

openLCA 1.10.3

Archivo Base de datos Tools Ayuda

Navegación

- BOTELLA\_PET
- ecoinvent\_34\_cutoff\_lci
  - Proyectos
  - Sistemas de producto
    - Agua Tratada
      - Lecho fluidizado con material granular.
  - Procesos
    - 1\_A
      - Agua Tratada
        - Lecho fluidizado con material granular.
      - 1\_B
      - A:Agriculture, forestry and fishing
      - B:Mining and quarrying
      - C:Manufacturing
      - D:Electricity, gas, steam and air conditioning supply
      - E:Water supply; sewerage, waste management and remediation activities
      - End of Life processes
      - F:Construction
      - G:Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles
      - H:Transportation and storage
      - J:Information and communication
      - L:Real estate activities
      - M:Professional, scientific and technical activities
      - N:Administrative and support service activities
      - S:Other service activities
      - TFM FINAL
      - TFM FINAL SEGUNDO INTENTO
      - TFM\_PRIMER\_INTENTO
      - TFM\_Segundo intento
  - Flujos
  - Indicadores y parámetros
  - Datos de fondo
    - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_17
    - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18
    - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_1
    - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_2
    - elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_3

Bienvenido | P Agua Tratada | Agua Tratada | Análisis de resultado de... | P Lecho fluidizado con m... | Lecho fluidizado con m... | Análisis de resultado de...

**Entradas/Salidas: Lecho fluidizado con material granular.**

Entradas 1.23

Flujo	Categoría	Cantidad	Unidad	Costes/Ingr...	Incertidum...	Avoided w...	Proveedor ...	Entrada de ...	Descripci...
F <sub>e</sub> coke	191:Manufacture of cok...	9.58000	MJ		none		P coking   ...		
F <sub>e</sub> concrete, 20MPa	239:Manufacture of non...	0.00038	m3		none		P concrete...		
F <sub>e</sub> polyethylene, high density, gran...	201:Manufacture of basi...	0.01080	kg		none		P market f...		
F <sub>e</sub> polyvinylchloride, bulk polymeri...	201:Manufacture of basi...	0.01400	kg		none		P market f...		
F <sub>e</sub> sand	081:Quarrying of stone, ...	0.13650	kg		none		P market f...		

Salidas 1.23

Flujo	Categoría	Cantidad	Unidad	Costes/Ingr...	Incertidum...	Producto e...	Proveedor ...	Entrada de ...	Descripci...
F <sub>e</sub> Lecho fluidizado con material ...	1_A	1.00000	kg		none				

Información general | Entradas/Salidas | Información administrativa | Modelado y validación | Parámetros | Asignación | Aspectos sociales | Análisis de resultados de EICV