



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Gestión Ambiental y Energética en las
Organizaciones

Cálculo de la huella de carbono de una refinería

Trabajo fin de estudio presentado por:	Elisabete Bañales Belaunde
Tipo de trabajo:	Tipo 3: Gestión de la contaminación
Director/a:	Elisabet Amat Guasch
Fecha:	22 de septiembre de 2021

Resumen

El cambio climático derivado de la actividad antropogénica, principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), constituye una amenaza para las sociedades actuales y venideras. Surge de esta manera la necesidad urgente de un plan de acción para procurar minimizar al máximo los efectos de este cambio climático, el cual pone en riesgo no sólo a la especie humana, sino a todos los seres vivos y ecosistemas del planeta.

Las principales estrategias para reducir estas emisiones consisten en la cuantificación de dichas emisiones, para la posterior ejecución de una serie de medidas enfocadas a las que se han cuantificado como principales actividades emisoras de GEI. El presente proyecto se llevó a cabo sobre el cálculo de la huella de carbono de una refinería, esto es, la obtención de un valor o indicador de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para poder abordar un plan de mejora que permita la reducción de las mismas en pro de mitigar el cambio climático. El cálculo de la huella de carbono se realizó siguiendo las directrices de la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019. El interrogante que orientó el proyecto fueron las hipótesis de que tanto los procesos de combustión de la refinería, como los tanques de almacenamiento, son los principales emisores de GEI. Finalmente, se diseñó un plan con acciones de mejora para un periodo de 4 años centrado en las actividades que mayoritariamente contribuían a la huella de carbono.

Palabras clave: cambio climático, gas de efecto invernadero, refinería, emisiones, huella de carbono

Abstract

One of the main sources of greenhouse gas (GHG) emissions, the anthropogenic activities, are increasing the rhythm of climate change. This scenario is a threat to current and future life in this planet. For this reason, organisations around the world realised about the urgent need of an action plan to try to minimize the effects of climate change as much as possible, arise from the risk that it supposes for not only the human species, but all living beings and ecosystems in the planet.

The main strategies to reduce these emissions are focused on the quantification of the emissions, for the subsequent execution of a series of measures focused on those that have been quantified as the main GHG emitting activities.

This project was carried out on the determination of this indicator about emissions of GHGs, what is called carbon footprint. Precisely, this master thesis project will be focused on determining the carbon footprint of a refinery. Secondly, it is going to be addressed an improvement plan that would let to the reduction of these emissions. The method to calculate the carbon footprint is established on the guidelines of the UNE-EN ISO 14064-1:2019 standard. The project was born with the hypothesis that both the refinery's processes of stable combustion and the storage tanks, are the main GHG sources. Finally, it was designed an improvement plan for a period of four years, which is based on implementation of measures on activities that mostly contribute to the carbon footprint.

Keywords: climate change, greenhouse gas, refinery, emission, carbon footprint

Índice de contenidos

1.	Justificación	9
2.	Introducción y marco teórico.....	12
2.1.	Introducción.....	12
2.2.	Marco teórico	13
2.2.1.	Refinería.....	13
2.2.2.	Cambio climático	16
2.2.3.	Indicadores de impacto ambiental.....	19
3.	Objetivos del TFE	26
3.1.	Objetivo general.....	26
3.2.	Objetivos específicos	26
4.	Hipótesis de trabajo	27
5.	Descripción de la organización.....	28
5.1.	Actividad	29
5.2.	Organigrama de la refinería	31
6.	Identificación y evaluación de los aspectos ambientales	32
6.1.	Emisiones directas de GEI	34
6.2.	Emisiones indirectas de GEI	37
7.	Cálculo de la huella de carbono	41
7.1.	Emisiones GEI.....	41
8.	Plan de mejora	54
8.1.	Plan de mejora a corto plazo	54
8.2.	Plan de mejora a medio-largo plazo	62
9.	Resultados	65
10.	Conclusiones.....	70

Referencias bibliográficas.....	73
Bibliografía.....	79

Índice de figuras

Figura 1. Fracciones obtenidas tras el proceso de destilación del crudo.	15
Figura 2. Esquema del funcionamiento de una refinería.	16
Figura 3. Modelo de cambio climático que compara la actividad natural con la actividad antropogénica.....	17
Figura 4. Esquema del efecto invernadero en la atmósfera.	18
Figura 5. Datos actualizados sobre parámetros que afectan al cambio climático.....	18
Figura 6. La sobrecapacidad por países.....	20
Figura 7. Descripción de los componentes de la huella hídrica de una organización.....	22
Figura 8. Acciones para la mitigación del cambio climático.....	23
Figura 9. Emplazamiento de la refinería en Muskiz (País Vasco, España).....	28
Figura 10. Diagrama del funcionamiento de la refinería.....	30
Figura 11. Esquema a modo de organigrama de la refinería.	31
Figura 12. Esquema del Ciclo de Vida de un producto.....	32
Figura 13. Esquema de los límites de la organización.....	33
Figura 14. Categorización de las emisiones de la organización.	40
Figura 15. Rutas de importación de crudo a la refinería.....	44
Figura 16. Continentes destinados a la exportación de los productos de la refinería.....	44
Figura 17. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado a las turbinas de gas.	59
Figura 18. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado al desplazamiento de los trabajadores.	60
Figura 19. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado al desplazamiento de los barcos.	61
Figura 20. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado al sistema de climatización. .	61

Figura 21. Esquema de las nuevas rutas para la eficiencia energética en el sector de las refinerías.....	64
Figura 22. Distribución en porcentaje de las emisiones directas e indirectas.....	65
Figura 23. Distribución de las emisiones directas de la refinería.....	66
Figura 24. Distribución de las emisiones indirectas de la refinería.....	67

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de los criterios de evaluación para los aspectos ambientales directos..	35
Tabla 2. Descripción del factor de significancia.	36
Tabla 3. Evaluación de emisiones directas.	36
Tabla 4. Descripción de los criterios de evaluación de las emisiones indirectas.	38
Tabla 5. Evaluación de emisiones indirectas.	39
Tabla 6. Clasificación de emisiones para el cálculo de huella de carbono.....	41
Tabla 7. Datos de actividad mensuales de la refinería para el cálculo de la huella de carbono (año 2018).....	48
Tabla 8. Datos de actividad anuales de la refinería para el cálculo de la huella de carbono (año 2018).....	49
Tabla 9. Valores de factores de emisión desde el año 2007 hasta el 2018.	51
Tabla 10. Valores de PCI y Factor de Emisión para los diferentes combustibles.	52
Tabla 11. Valores tabulados de PCG.....	53
Tabla 12. Descripción del plan de mejora para el periodo establecido 2019-2022.....	56
Tabla 13. Estimación de la huella de carbono aplicando el plan de mejora, en función del año y de la fuente.....	58
Tabla 14. Resultados de huella de Carbono de la organización según UNE-EN ISO 14064-1:2019	65
Tabla 15. Datos para el cálculo de los ratios de emisión.	68
Tabla 16. Valores de ratios calculados para la refinería.....	69

1. Justificación

El cambio climático es hoy en día, y ya desde hace décadas, un hecho innegable. La intensa actividad antropogénica produce emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, entre ellos, los conocidos como gases de efecto invernadero o GEI (CO_2 , CH_4 , N_2O , ...). La excesiva emisión de estos GEI intensifica el fenómeno natural del efecto invernadero, dando lugar a un cambio climático en términos de aumento de la temperatura media del planeta. Esto se traduce en fenómenos cada vez más frecuentes como el deshielo de los glaciares, desastres naturales, deforestación, agotamiento de recursos, entre otros (Naciones Unidas, 2020).

Además, las emisiones atmosféricas generan, aparte del cambio climático, otros impactos ambientales como es, por ejemplo, la degradación de la capa de ozono. Este fenómeno tiene su origen principalmente en la emisión de gases de tipo fluoro clorados que destruyen la capa de ozono, permitiendo la entrada directa de la radiación ultravioleta, con el riesgo que la exposición a este tipo de radiación supone en cuanto al desarrollo de enfermedades cancerosas de la piel, daños en la visión, entre otros (Zabala, 2008).

Del 5 al 16 de junio de 1972, en Estocolmo, tiene lugar la Conferencia Científica de las Naciones Unidas, conocida como la Primera Cumbre de la Tierra, primera reunión de los países desarrollados para tratar sobre la problemática medioambiental (Jackson, s.f.).

En esta Conferencia se adopta una Declaración en la que se trata por primera vez el cambio climático. También se propone la disposición de estaciones de seguimiento de la evolución a largo plazo de componentes atmosféricos que puedan provocar un impacto meteorológico. Se propone además la celebración de una segunda reunión sobre el medio ambiente y se establecen el Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Fondo para el Medio Ambiente y la Junta de Coordinación para el Medio Ambiente. Sin embargo, el cambio climático no es aún el eje principal de la reunión (Jackson, s.f.).

Sin embargo, durante los próximos 20 años, aumenta la preocupación por la atmósfera y el clima mundial, además de una mayor toma de conciencia sobre el cambio climático, de manera que se adoptan medidas para mitigar sus consecuencias.

Entre ellas, a destacar en el año 1985, la celebración de la Convención de Viena, cuyo objetivo es la reducción de las emisiones de azufre en un 30% (Jackson, s.f.).

Más adelante, en 1989, entra en vigor el Protocolo sobre Sustancias que erosionan la Capa de Ozono o Protocolo de Montreal. Tres años más tarde, en 1992, se convoca en Río de Janeiro (Brasil), la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, también conocida como Cumbre de la Tierra. En ella, a través de la Declaración de Río y el Programa 21, se establecen medidas internacionales para la protección de la integridad del medio ambiente a nivel mundial. Para finales de 1992, habían firmado la Convención 158 Estados (Jackson, s.f.).

En diciembre de 1997, en Japón, se adopta el Protocolo de Kioto, que se convierte en la acción con mayor influencia en materia de cambio climático hasta la fecha. El objetivo del Protocolo se estableció para el periodo de 2008 a 2012, y consistía en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en al menos un 5% con respecto a los niveles de 1990 (Jackson, s.f.).

Ya recientemente, en el año 2015, los Estados Miembros de la Unión establecen 17 Objetivos que marcarán la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Uno de ellos, el Objetivo 7, cita “garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos” (Naciones Unidas, 2015).

En este contexto se busca encontrar maneras de satisfacer la mayor parte de la demanda energética a través de energías renovables y reducir la contaminación atmosférica que producen los combustibles fósiles.

Precisamente uno de estos combustibles fósiles es el petróleo, un hidrocarburo de cadenas largas compuesto en su mayoría por carbono e hidrógeno. Procedente de la descomposición, en medios anaeróbicos, de la materia orgánica, su procesado se lleva a cabo en plantas petrolíferas, convirtiéndose estas en importantes focos de emisión de gases contaminantes y de gases de efecto invernadero. Por tanto, es de gran importancia el estudio del nivel de emisiones de este sector (Repsol YPF, 2002).

Si bien las emisiones atmosféricas no son el único impacto ambiental producido por las refinerías, sí es el de mayor trascendencia. Sobre todo, por la gran cantidad de gases contaminantes que se emiten, teniendo en cuenta que se procesan cantidades de materia prima del orden de cientos de miles de barriles de crudo diariamente.

Con el objetivo de poder cumplir esa Agenda 2030, se establecen una serie de indicadores medioambientales que permiten cuantificar el daño o perjuicio de la actividad en concreto que se esté llevando a cabo.

Uno de los indicadores ambientales para estudiar las emisiones de GEI de una actividad u organización, es la Huella de Carbono (en adelante, HC). Se trata de un indicador que, además de cuantificar las emisiones de GEI de la organización, gracias a su método de cálculo, permite identificar el foco de dichas emisiones y posibilita la toma de acciones al respecto. A través de la Norma UNE-EN ISO 14064:1 se establecen los requisitos para proceder con el inventario de gases de efecto invernadero y cálculo de la HC.

2. Introducción y marco teórico

2.1. Introducción

La contaminación atmosférica es uno de los graves problemas a los que se enfrenta el medio ambiente desde la década de la Revolución Industrial (Black, 2013). Más tarde, con la explotación del petróleo, recurso natural no renovable, se introdujo en la sociedad un nuevo sector en la industria energética, el de las refinerías (Larraz, 2019). De esta manera, a partir de la extracción del crudo de su respectivo yacimiento, y tras ser transportado hasta la refinería, donde se somete a una serie de procesos de transformación, se obtienen diversos productos: desde la gasolina para el combustible de vehículos, o el queroseno como combustible para los aviones, hasta materiales para textiles como nylon o estireno, pasando por plásticos para envases o asfaltos, entre otros.

A partir de mediados del siglo XVIII, coincidiendo con el auge de la industria del carbón, empiezan a surgir acciones y reuniones a nivel internacional para controlar y reducir las emisiones contaminantes derivadas de este tipo de actividades antropogénicas (Jackson, s.f.).

Así, en 1992, las Naciones Unidas define, en su Convención Marco de las Naciones Unidas (UNFCCC), el cambio climático como: “Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Naciones Unidas, 1992). Y aunque en 1997 se aprueba el Protocolo de Kioto, no es hasta 2005 cuando entra en vigor, con el compromiso de la reducción de las emisiones de gases de GEI, los cuales son definidos y regulados en el mismo Protocolo. Dicho Protocolo se basa en los principios concretados en la Convención Marco de las Naciones Unidas de 1992.

Es en esta época, en concreto en 1962, cuando los autores Wackernagel y Rees (1962) definen el concepto de huella ecológica como un indicador del consumo de recursos y de la capacidad de asimilación de residuos de un conjunto concreto de población o grupo económico, referido a un terreno concreto. Y es a raíz de la huella ecológica que aparece el concepto de huella de carbono, como un indicador del nivel de emisiones de dióxido de carbono que emite una actividad concreta de origen humano.

Una vez presentado en el capítulo 1 la justificación del trabajo, en este capítulo 2 se analiza el contexto general donde se desarrolla el trabajo, realizando una revisión del estado actual del arte. En el capítulo 3 se detallan los objetivos generales y específicos del proyecto. A continuación, en el capítulo 4, se exponen las hipótesis que sirven de orientación en el desarrollo del proyecto. Tras la descripción de la organización en el capítulo 5, se procede al estudio de los aspectos ambientales en el capítulo 6. En el capítulo 7 se lleva a cabo el cálculo de la huella de carbono, explicando la metodología a seguir para obtener la huella de carbono total de la organización. Una vez obtenido dicho valor, se procede, en el capítulo 8, a la presentación del plan de mejora para la reducción de la huella de carbono. Finalmente, se presentan los resultados y conclusiones en los capítulos 9 y 10, respectivamente.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Refinería

La industria de la refinería comprende diversos y complejos procesos, entre ellos, los principales: precalentamiento en el horno, destilación del crudo, craqueo, hidrotratamiento y desulfuración (Al Jamimi, 2021).

Previo procesado del crudo, este llega a la refinería a través de una serie de oleoductos, a los cuales a su vez se introduce tras llegar al puerto portuario correspondiente mediante buques específicos para el transporte de crudo, que lo importan desde sus países de origen.

Una vez el crudo llega a la refinería a través de los oleoductos, se almacena en los tanques de almacenamiento para proceder con su procesamiento. En primer lugar, se hace llegar el crudo al horno a través de bombas impulsoras, para su calentamiento hasta temperaturas que oscilan entre 300 -360°C, temperatura a la cual el crudo entra a la columna de fraccionamiento o torre de destilación, donde tiene lugar la siguiente etapa, la destilación (Cortés del Pino, 2014).

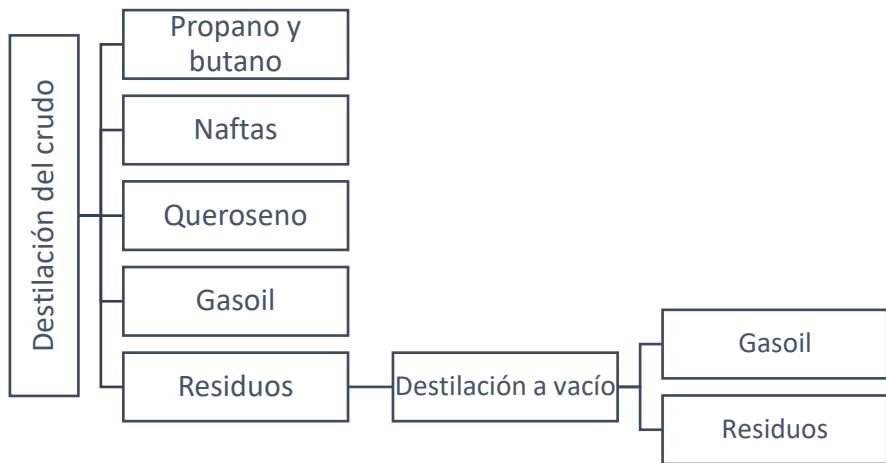
Señalar que previo precalentamiento se lleva a cabo un proceso de desalado del crudo con el objetivo de reducir su contenido de sales (principalmente, cloruro sódico y magnésico en concentraciones en torno a 0,2 y 0,4 kg/m³). La presencia de sales puede ocasionar la formación de incrustaciones en los depósitos y columnas de manera que pueden por efecto de las altas temperaturas, generar ácido clorhídrico y provocar corrosión en los metales (Cortés del Pino, 2014).

A continuación, se procede con la primera etapa principal para su procesado, la destilación o destilación atmosférica. Se define esta como el proceso de separación, en torres de fraccionamiento o columnas de destilación, de una mezcla de distintos fluidos, que pueden ser líquidos o gases, mediante evaporación y condensación. Es decir, el proceso consiste en la separación de estos fluidos según su temperatura de ebullición. Así, en el caso de la destilación del crudo, se hace llegar a la columna de fraccionamiento, la fase ya vaporizada del mismo. A medida que asciende, las fracciones menos ligeras van condensando en una serie de platos dispuestos a diferentes alturas de la columna. Es decir, en los platos superiores condensan las fracciones más volátiles y en los platos inferiores, las menos volátiles (Cortés del Pino, 2014).

Por tanto, en la parte inferior de la columna queda la fracción de crudo no destilado o residuo, el cual supone aproximadamente el 40% del volumen de crudo inicial. Como residuo no destilado, su composición se basa en compuestos poco volátiles y de elevado peso molecular (alto contenido en azufre, nitrógeno, metales, entre otros). Dado que su utilidad como residuo es limitada, para lograr un mayor aprovechamiento, se somete este residuo a un proceso de destilación a vacío. El proceso es similar al de la destilación atmosférica, con la diferencia de que, en este caso, se lleva a cabo en condiciones de vacío, aumentando la eficiencia de la destilación. La fracción ligera de la destilación a vacío se denomina gasoil, mientras que el residuo, la fracción pesada, se conduce a la unidad de craqueo (Cortés del Pino, 2014).

El craqueo se define como un proceso de descomposición térmica de, en este caso, las fracciones más pesadas derivadas de las torres de fraccionamiento. De esta manera, mediante la aplicación de calor, se producen una serie de reacciones de ruptura de las largas cadenas de hidrocarburos que forman estos residuos, para la obtención de productos más livianos y de mayor interés y aplicación (Cortés del Pino, 2014).

Figura 1.Fracciones obtenidas tras el proceso de destilación del crudo.



Fuente: elaboración propia. Datos tomados a partir de (Cortés del Pino, 2014).

Por último, las distintas fracciones obtenidas, son sometidas a diferentes procesos para mejorar la calidad de las mismas. El contenido en azufre de las fracciones obtenidas es una de las principales impurezas que se procuran reducir con estos tratamientos, mediante los procesos de desulfuración (Al Jamimi, 2021).

La desulfuración o eliminación de azufre del petróleo es también una etapa clave en el procesado en las refinerías. Su importancia no radica sólo porque consiste en la retirada del azufre o al menos en minimizar su presencia, sino que dicho proceso produce emisiones de CO₂ a la atmósfera, de manera que esta etapa es crucial a la hora de estudiar las emisiones de GEI producidas en las refinerías. Además de la desulfuración o eliminación de azufre, se encuentran los hidrotratamientos (Al Jamimi, 2021).

Estos últimos tienen también el objetivo de mejorar la calidad de los productos o fracciones petrolíferas obtenidas mediante la adición de hidrógeno. Se pueden llevar a cabo en cualquier etapa del procesado del crudo, y los métodos se dividen en dos grupos:

- Reducción al máximo posible del contenido en azufre, nitrógeno y metales.
- Saturación de dobles enlaces, altamente reactivos, de manera que aumente la estabilidad de los productos obtenidos (Cortés del Pino, 2014).

Figura 2. Esquema del funcionamiento de una refinería.



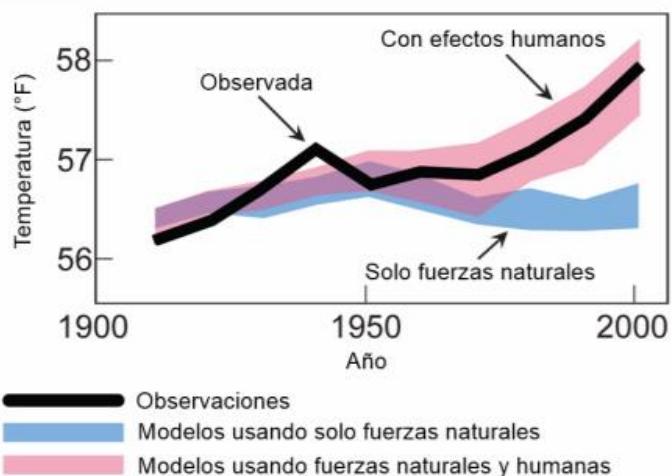
Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Cambio climático

En el siglo XVIII, con la Revolución Industrial, se produjo un cambio radical del sistema de producción, con la implantación de fábricas, mediante la combustión de materiales como el carbón, con importantes emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Todo ello ha provocado la alteración de la composición de la atmósfera por la actividad humana, perjudicando el medio ambiente y la salud.

Se define el cambio climático como el cambio producido en el clima debido a la actividad humana, tanto de forma directa como indirecta, que provoca una alteración en la composición de la atmósfera a nivel global (MITECO, s.f.).

Figura 3. Modelo de cambio climático que compara la actividad natural con la actividad antropogénica.



Fuente: Karl, 2009.

El aumento de la temperatura del planeta no es más que una consecuencia del incremento del efecto invernadero. De hecho, el concepto de efecto invernadero es un fenómeno natural del planeta, gracias a él, la vida en el planeta es posible ya que se encarga de retener parte de la radiación solar incidente. De esta manera se mantiene un rango de temperatura adecuado para el desarrollo de la vida en el planeta. Ahora bien, la actividad humana ha provocado tal cantidad de emisiones de gases, entre ellos los conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), que se ha intensificado este efecto, dando lugar al incremento del efecto invernadero, hasta niveles acentuados no deseables. Este incremento del efecto invernadero provoca el llamado cambio climático que conlleva el aumento de la temperatura y consecuencias derivadas (Power Porto, 2009).

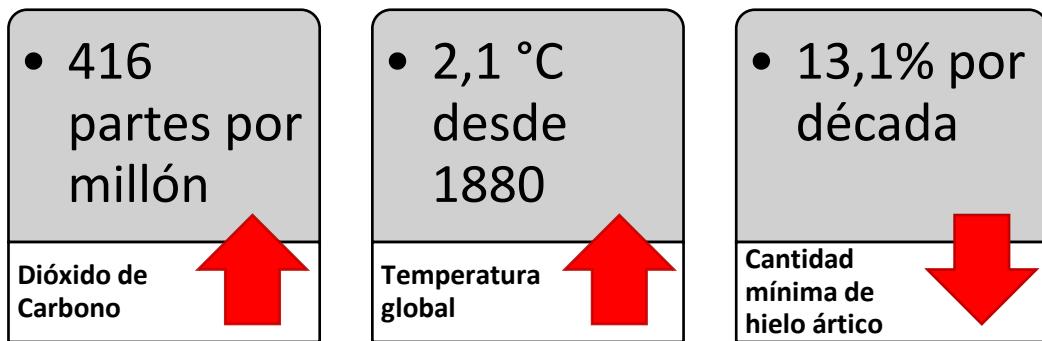
Figura 4. Esquema del efecto invernadero en la atmósfera.



Fuente: elaboración propia.

Son numerosas las herramientas informáticas que informan sobre indicadores de impacto ambiental del cambio climático. Por ejemplo, en la página de la NASA (NASA, s.f.), se pueden encontrar datos actualizados en tiempo real sobre la subida del nivel de los océanos, el deshielo de los polos, el aumento de la temperatura del planeta, entre otros.

Figura 5. Datos actualizados sobre parámetros que afectan al cambio climático.



Fuente: elaboración propia. Datos tomados a partir de (NASA, s.f.).

2.2.3. Indicadores de impacto ambiental

Las actividades altamente extractivas que se abastecen de recursos no renovables, como son las refinerías, son actividades generadoras de grandes impactos ambientales, no solo de emisiones de gases de efecto invernadero u otro tipo de emisiones sino también de impactos ambientales relacionados con la sobreexplotación y agotamiento de recursos.

En este apartado se presentan brevemente tres conceptos de huellas (ecológica, hídrica y de carbono), entendidos como indicadores de impacto ambiental, todos ellos relacionados con los impactos derivados de las actividades de las refinerías. Aunque se presentan los tres, el concepto a partir del cual se desarrolla el análisis de este trabajo es solo el de huella de carbono.

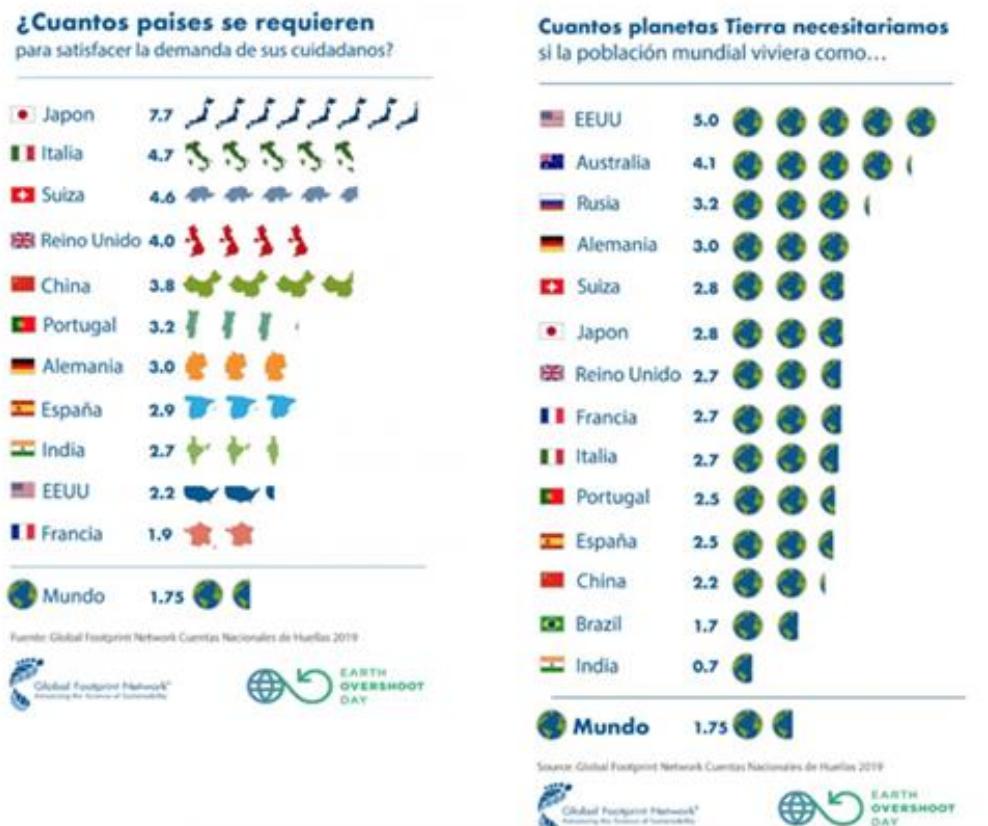
2.2.3.1. Huella ecológica

A través de la Red de la Huella Global es posible determinar el Día de la Sobrecapacidad, fecha en la que la demanda de recursos anuales excede lo que la Tierra puede regenerar en ese mismo año. Para ello, se estudian dos parámetros:

- Biocapacidad: capacidad de regeneración biológica
- Huella ecológica: demanda de recursos de la población humana

En España el Día de la Sobrecapacidad se alcanzó este último año el 29 de julio. Si la población mundial viviera como España, por ejemplo, se necesitarían aproximadamente 2,5 planetas para abastecer el ritmo actual de consumo y desarrollo económico de los países. Ahora bien, en el caso de que la población mundial llevara un ritmo de consumo como el de EEUU, se podrían llegar a necesitar hasta 5 planetas (WWF, s.f.).

Figura 6. La sobrecapacidad por países.



Fuente: WWF(S.f.).

La sobreexplotación de los recursos de los que dispone la naturaleza hace indispensable la toma de acciones para frenar este desabastecimiento de recursos por parte del ser humano. Para ello, previa toma de cualquier decisión, se requieren de datos cuantitativos que permitan analizar este uso de los recursos en las distintas regiones del planeta. De esta necesidad de cuantificar el impacto que la actividad humana sobre el planeta surgió el concepto de huella ecológica.

Fue a principios de los años 90 cuando Mathis Wackernagel y William Rees (1996) definieron la huella ecológica como un indicador para mostrar el ritmo de consumo de los recursos biológicos y la generación de residuos en términos de la superficie de ecosistema apropiada. El objetivo principal es evaluar el impacto del hombre sobre la tierra y para su cálculo existen en Internet distintas calculadoras. Entre ellas, la más destacada, la Calculadora de Global Footprint Network.

2.2.3.2. Huella hídrica

Es un indicador que trata sobre la gestión de los recursos hídricos (Hoekstra, 2011). Es decir, permite conocer el volumen de agua utilizada, evaporada, agua perdida o contaminada durante la producción de un servicio o un bien.

Se mide en términos de volumen de agua consumida y/o contaminada por unidad de tiempo. Se puede calcular para un proceso, producto, organización, consumidor, grupo de consumidores o productor. Igualmente, para su cálculo se deben tener en cuenta cuatro factores: el volumen de consumo, los hábitos de consumo, el clima y las prácticas agrícolas.

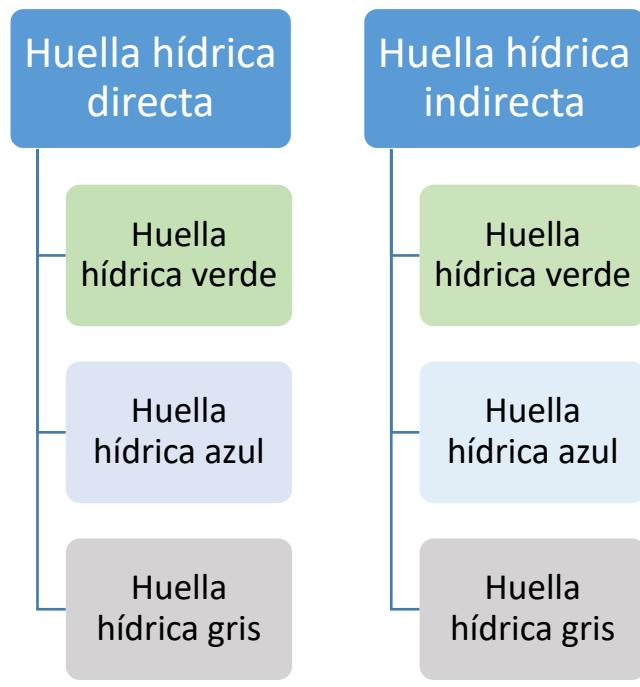
En el caso de la huella hídrica de una organización, se distinguen dos componentes:

- Huella hídrica operativa o directa: volumen de agua dulce consumida o contaminada por operaciones de la propia organización.
- Huella hídrica de la cadena de suministro o indirecta: volumen de agua dulce consumida o contaminada durante la cadena de distribución (Water Footprint Network, s.f.).

Los componentes de la huella hídrica, en términos de volumen de agua, son:

- Verde: corresponde a la precipitación que se evapora durante la producción o que se incorpora al producto.
- Azul: agua dulce que se extrae del agua superficial o subterránea y se devuelve al medio durante la producción o que se incorpora al producto.
- Gris: volumen de agua que se ha contaminado. En general el método de cuantificación consiste en determinar el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes que contiene hasta que el nivel de calidad del agua se encuentre dentro de los estándares permitidos (Water Footprint Network, s.f.).

Figura 7. Descripción de los componentes de la huella hídrica de una organización.



Fuente: elaboración propia

Es de tal importancia este concepto, que en 2014 el organismo International Organization for Standardization (ISO) elaboró una norma al respecto. La Norma ISO 14046: huella del agua: Principios, Requisitos y Directrices fue adaptada a la norma UNE en España en 2016 por AENOR (Asociación Española de Normalización).

2.2.3.3. Huella de carbono

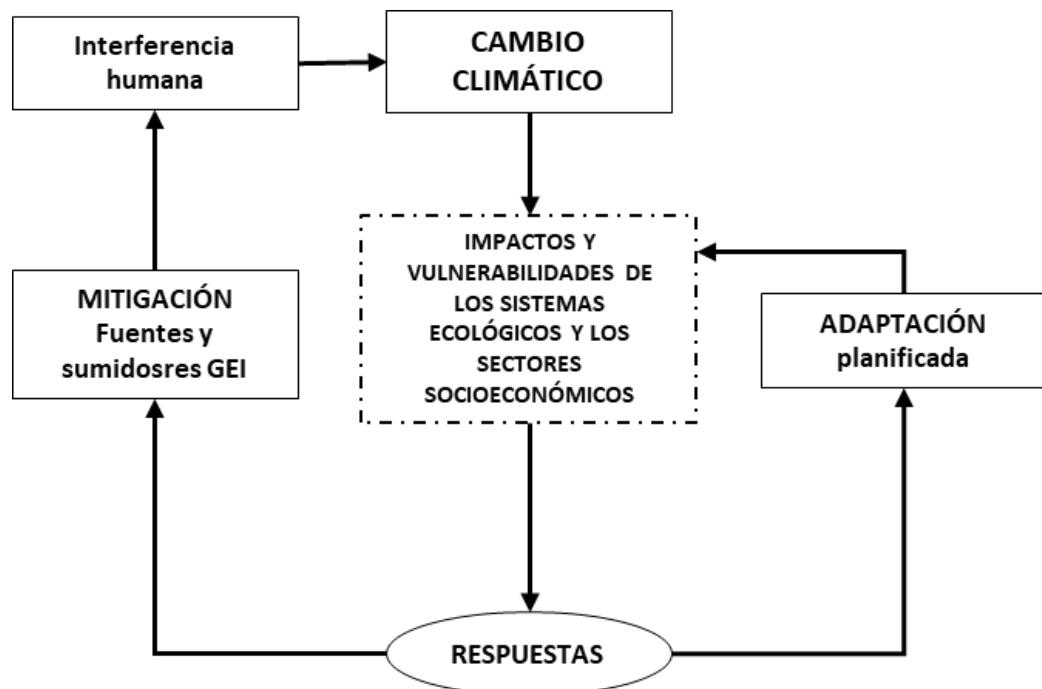
La definición comúnmente más aceptada para el concepto de la huella de carbono es la publicada por Wiedman y Minx (2008) como: «La Huella de Carbono es una medida de la cantidad total exclusiva de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que son directa o indirectamente causadas por una actividad, o acumuladas a lo largo de las etapas de vida de un producto».

Pero esta no es la única definición de la que se dispone. El Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO), en su Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización, define la huella de carbono como «la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto por un individuo,

organización, evento o producto» (MITECO, 2016). También se conoce como inventario de gases de efecto invernadero, medido en toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), y analiza las emisiones de los gases del Protocolo de Kioto (CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs y SF₆).

Por tanto, el cálculo de la huella de carbono resulta de una herramienta de gran conocimiento sobre las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas directa o indirectamente a la atmósfera por parte de una organización, bien o individuo. A partir de esta información de concentración de contaminante emitido, así como de su fuente de emisión, permite a la organización responsable, la toma de medidas para su reducción y así contribuir a una mitigación del cambio climático.

Figura 8. Acciones para la mitigación del cambio climático.



Fuente: MITECO (S.f.)

Como se ha mencionado, se puede calcular la huella de carbono tanto de la actividad procedente de una organización, como la derivada del ciclo de vida de un producto. En este proyecto, se procede al cálculo de la huella de carbono de una organización.

En primer lugar, y siguiendo las directrices de la Norma sobre gases de efecto invernadero UNE-EN ISO 14064-1:2019, se deben clasificar las emisiones de GEI:

- **Directas:** aquellas bajo el control de la organización. Son las liberadas directamente por procesos que tienen lugar en la ubicación de la organización.
- **Indirectas:** no se encuentran bajo el control directo de la organización, ya que se trata de emisiones de actividades de la organización, pero controladas por otra organización diferente.

Hay que señalar las denominadas emisiones indirectas corresponden a lo que, en la normativa de *The Greenhouse Gas Protocol* denomina las emisiones denominadas de Alcance 2 y 3. A continuación, se expone la clasificación de las emisiones en función de esta normativa:

- **Alcance 1:** emisiones directas de GEI, controladas por la organización. Son ejemplo de ello: emisiones procedentes de combustión de calderas, hornos, etc., Incluye también emisiones fugitivas (fugas de aire acondicionado, fugas de CH₄ de conductos, etc.).
- **Alcance 2:** se relaciona con las emisiones indirectas debidas a la electricidad (generación y consumo).
- **Alcance 3:** otro tipo de emisiones indirectas. Como ejemplo, el transporte de materias primas o combustibles, entre otros (World Resources Institute, s.f.).

El cálculo de la huella de carbono se realiza siguiendo la expresión:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato de Actividad} \times \text{Factor de Emisión}$$

El dato de actividad, se refiere al nivel de actividad que genera las emisiones de GEI. El factor de emisión (FE) indica la cantidad de GEI emitidos por unidad del parámetro de “dato de actividad” y es propio de cada tipo de actividad (MITECO, 2016).

Por último, en el caso de las emisiones directas de gases, como puede ser en el caso de emisiones de gases de refrigeración o similar, en lugar del factor de emisión, se debe tener en cuenta de disponer directamente del valor de Potencial de Calentamiento Global (PCG), para poder convertir las emisiones de cada GEI a unidades de CO₂ equivalentes (normalmente en toneladas, es decir, tCO₂e).

El PCG se define como el factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad de un determinado GEI en relación a una unidad de CO₂. Es decir, permite determinar las emisiones generadas por un gas en comparación a las generadas por la misma masa de CO₂. Por ello es adimensional. De esta manera, se puede calcular el impacto de los distintos GEI unificados a una unidad, tCO₂e (UNE-EN ISO 14064-1:2019).

También se disponen de estos datos en el documento de ‘Factores de emisión’ del Ministerio para la Transición Ecológica. Además, en el Greenhouse Gas Protocol también se dispone de esta información (MITECO, 2016) (World Resources Institute, s.f.).

$$\text{Toneladas de } CO_2e = \text{Dato emisión} \times PCG$$

2.2.3.4. Normativa

Son numerosas las metodologías reconocidas a nivel internacional para el cálculo de la huella de carbono, entre ellas a destacar:

- **Protocolo de Gases de Efecto Invernadero** o Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol): se trata de un estándar corporativo, que desarrolló el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Se ha convertido en uno de los más utilizados por la comunidad internacional.
- **Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019:** Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
Se define emisión de GEI como la liberación de un GEI a la atmósfera. Por otro lado, una remoción de GEI se refiere al proceso de retirar un GEI de la atmósfera mediante sumideros de GEI, es decir, mediante procesos para retirar los GEI de la atmósfera (UNE-EN ISO 14064-1:2019).

Para el desarrollo del presente trabajo se ha seguido la norma UNE-EN ISO 14064-1, pero también se ha consultado el GHG Protocol de forma puntual cuando ha sido necesario.

3. Objetivos del TFE

El presente trabajo se desarrolla para la consecución de distintos objetivos, relacionados con la reducción de la huella de carbono de una organización, en concreto de una refinería.

3.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de fin de master es analizar la huella de carbono en una refinería para poder presentar un plan de mejora de las mismas que permitan reducir el impacto ambiental de este tipo de industrias altamente contaminantes.

3.2. Objetivos específicos

Para llegar a la consecución del objetivo general anteriormente mencionado, los objetivos específicos de este trabajo son:

- Identificar las fuentes generadoras de GEI directas e indirectas en el alcance planteado de una refinería.
- Cuantificar las emisiones de esas fuentes identificadas dentro del alcance y convertir en emisiones de CO₂ equivalente para calcular el indicador de HC según norma ISO 14064-1.
- Establecer un plan de reducción de las emisiones de GEI, y cuantificar de forma específica las diferentes medidas propuestas.
- Crear un proceso o sistemático de medición confiable que permitan extrapolar estos cálculos realizados a otros años y/o otras organizaciones similares.

4. Hipótesis de trabajo

El cálculo de la huella de carbono permite la identificación de cuál de los alcances, directo o indirecto, así como cuál de las actividades de la organización es aquel que contribuye en mayor medida a la emisión de gases de efecto invernadero.

Este estudio parte de la hipótesis de que en una refinería es probable que los procesos directos de la propia actividad sean los principales responsables de las emisiones de GEI. Para ello se evaluará dentro del alcance de actividades definido, tanto esas emisiones directas como indirectas que sean significativas, permitiendo, no solo comprobar la hipótesis de partida, sino también estudiar la repercusión de cada una de las actividades en la huella de carbono de la organización.

Otra de las hipótesis planteadas es la probabilidad de que dentro de las emisiones directas de GEI, sean las derivadas de los procesos directos de combustión estacionaria y de los tanques de almacenamiento las de mayor huella de carbono y, por tanto, mayor impacto ambiental.

Por otro lado, como última hipótesis de este trabajo se evaluará si el plan de mejora diseñado supone una reducción mínima esperada de un 15% en las emisiones de CO₂.

5. Descripción de la organización

La organización bajo estudio es ficticia, por no poder disponer de datos directos de ninguna refinería existente. Aun así, para situar la organización en un emplazamiento concreto, así como dimensionar su plantilla, producción y procesos, los datos presentados se inspiran en la refinería Petronor (participada en un 85,9% por Repsol), refinería ubicada en la localidad vizcaína costera de Muskiz, en la Comunidad Autónoma del País Vasco (España). La refinería abarca 200 hectáreas en la zona cercana a la costa y Playa de la Arena. Se escoge esta zona por la proximidad del puerto a la refinería, a través del cual llega el transporte marítimo con la materia prima, el crudo, para ser transportado a través de una serie de oleoductos a la refinería. Todos los datos tomados de esta refinería que sirve de orientación son datos públicos correctamente referenciados en el apartado Referencias de este trabajo de fin de máster.

Figura 9. Emplazamiento de la refinería en Muskiz (País Vasco, España).



Fuente: Google Maps.

Para efectos de los cálculos presentados en este proyecto, se considera que la organización dispone de una plantilla de 1000 trabajadores y se procesan, al año, una cantidad promedio de 11 millones de toneladas de petróleo.

5.1. Actividad

Se agrupa la actividad de la refinería en tres sectores: transporte y almacenamiento del crudo; proceso de refino y, por último, distribución del petróleo y demás productos derivados.

En primer lugar, se lleva a cabo el transporte del crudo en buques al puerto. Una vez allí, a través de oleoductos, se hace llegar a la refinería, donde se almacena en tanques hasta el momento de su procesado.

A continuación, se procede con su transformado. Esta etapa es la parte central de la refinería, y la torre de destilación de crudo es el elemento de mayor importancia. A partir de aquí se obtendrán los siguientes productos petrolíferos:

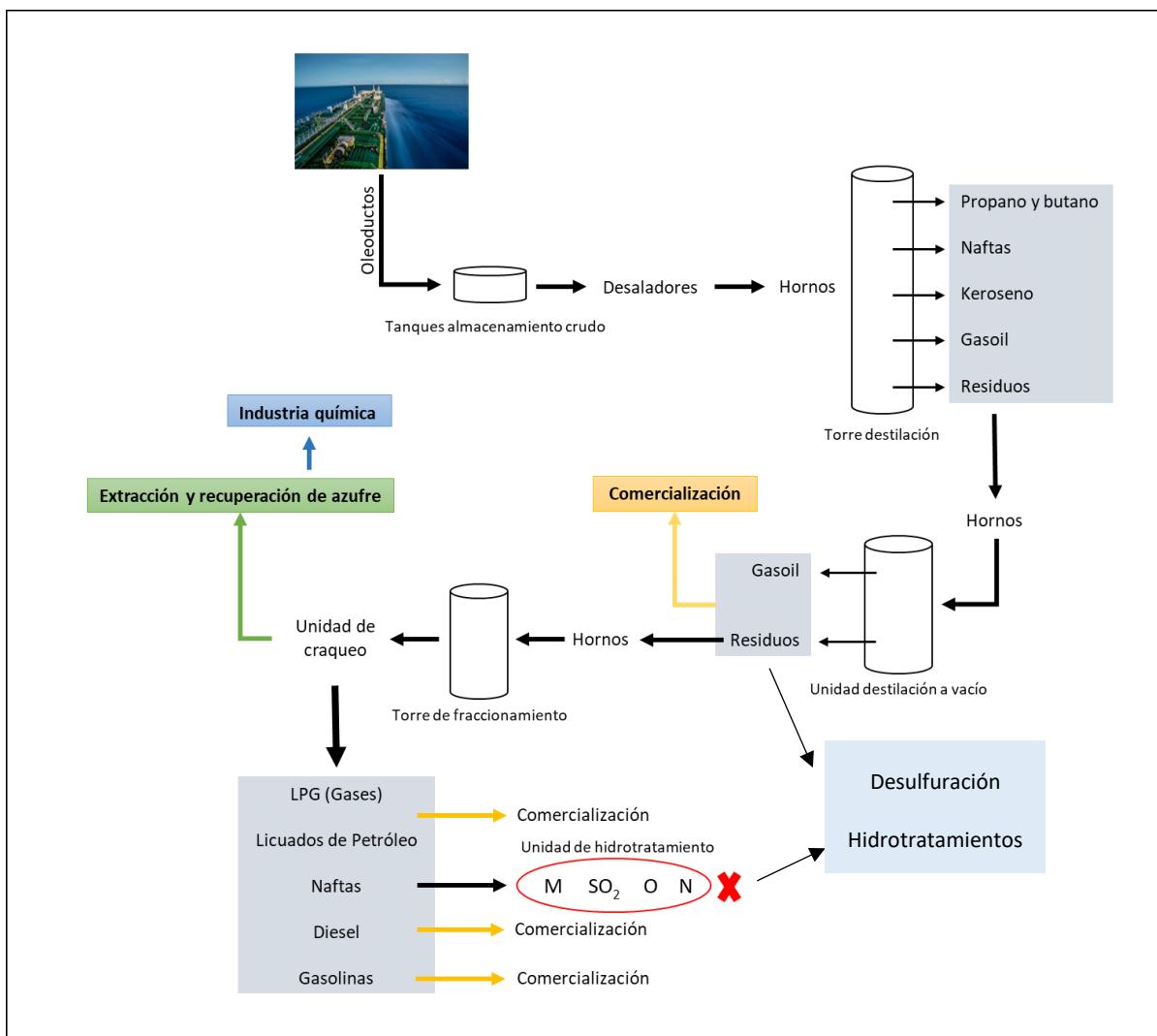
1. Gases licuados del petróleo (GLP): que constituyen la materia prima para las gasolinas y todo tipo de productos químicos. Principalmente, se encuentran butano y propano.
2. Queroseno como combustible para aviones
3. Asfaltos para el pavimento de las carreteras
4. Lubricantes
5. Energía eléctrica
6. Adicionalmente al proceso de refinado, la refinería dispone de una torre de desulfuración, de la cual se obtienen combustibles para automoción y calefacción doméstica, principalmente.

Desde que llega el crudo a través de los oleoductos a los tanques que dispone la refinería para su almacenamiento, se distinguen las siguientes etapas principales en su procesado:

1. Desaladores: para eliminar las sales presentes en el crudo, el cual en un inicio contiene un porcentaje de agua.
2. Hornos: que alcanzan aproximadamente temperaturas de 300-360 °C, desde donde el crudo calentado se transfiere a la torre de destilación.

3. Torre de destilación o columna de fraccionamiento: en función de la temperatura de ebullición de cada componente del crudo, ascienden aquellos más volátiles y se quedan en las bandejas inferiores de la torre, los menos volátiles. De esta manera se recogen los componentes separados y se obtienen los distintos productos.
4. Unidad de craqueo: se produce la ruptura de las largas cadenas de hidrocarburos de las fracciones pesadas derivadas de la parte inferior de las torres de destilación, para obtener productos de mayor aprovechamiento.
5. Desulfuración: eliminación de las fracciones de azufre contenidas en los productos del refino del crudo, para obtener productos de mayor calidad.
6. Hidrotratamientos: eliminación de impurezas de los productos, mediante tratamientos que se basan en la adición de hidrógeno.

Figura 10. Diagrama del funcionamiento de la refinería.



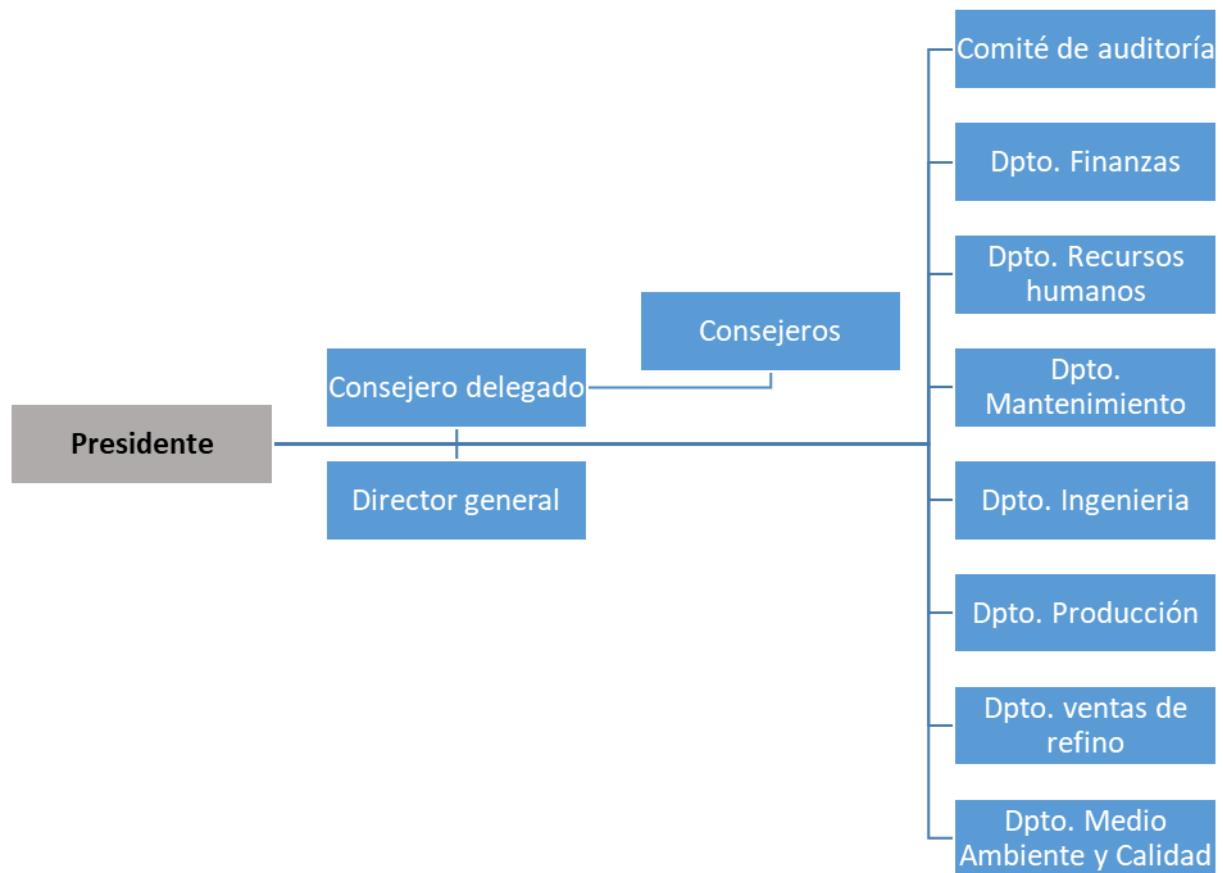
Fuente: elaboración propia. Datos tomados a partir de: (YPF, 2016).

5.2. Organigrama de la refinería

El sector de la refinería se caracteriza por presentar en su estructura organizativa una red compleja y muy diversa de departamentos. Desde la figura del presidente, apoyado en el consejero delegado y el director general, hasta los diferentes departamentos cada uno con sus respectivos equipos, dirigidos a su vez por un director de departamento.

Así, en la figura 11, se muestra de manera esquemática la organización de la empresa.

Figura 11. Esquema a modo de organigrama de la refinería.



Fuente: elaboración propia.

6. Identificación y evaluación de los aspectos ambientales

Identificar los principales aspectos ambientales asociados a la actividad de la organización es de ayuda para determinar las actividades que más influyen en la huella de carbono.

Para ello, atendiendo a lo establecido en la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019, en este capítulo se identifican todas las actividades fuente de emisiones y remociones directas e indirectas de GEI, dentro de los límites de la organización.

Una de las metodologías que permite esta identificación de todas las actividades de la cadena de valor de una organización, sobre todo permitiendo identificar las emisiones indirectas, consiste en tener en cuenta el impacto ambiental de los productos que esa organización produce, desde la adquisición de las materias primas, en este caso desde la extracción del yacimiento del crudo, su transporte vía marítima desde los distintos pozos de extracción hasta el puerto de Bilbao, y del mismo hasta la refinería, pasando por todas las etapas de su ciclo de vida, hasta su disposición final. La metodología de ciclo de vida, aunque se cita en la norma ISO 14001, tiene su norma concreta ISO 14040 e ISO 14044. En este trabajo de fin de máster para delimitar el alcance de las emisiones de la organización, se tiene en cuenta el ciclo de vida de sus productos de refinería, desde la adquisición de la materia prima hasta la distribución de los productos, excluyendo del estudio el impacto del uso de los productos obtenidos y su disposición final.

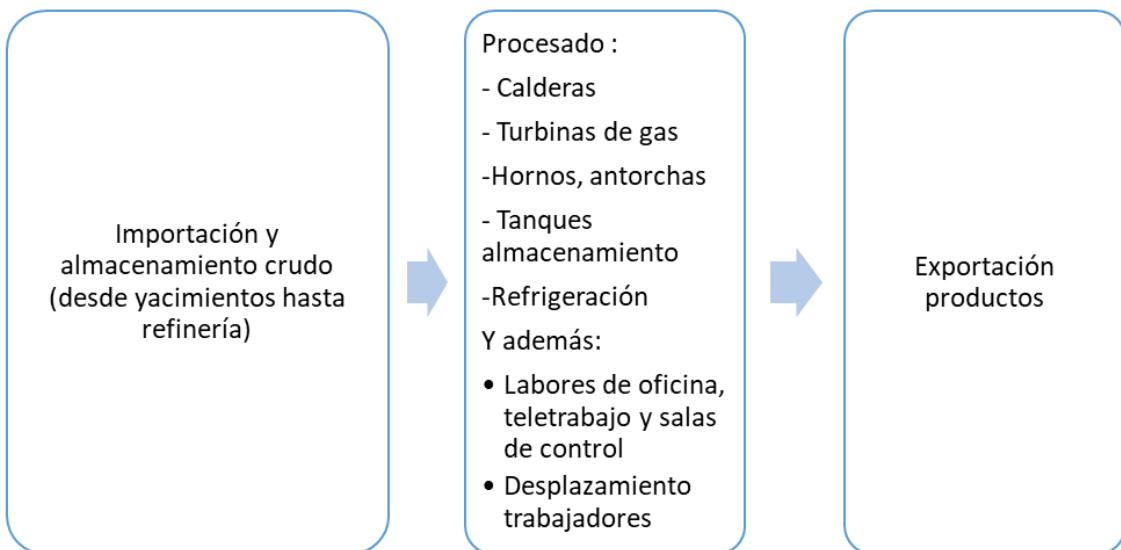
Figura 12. Esquema del Ciclo de Vida de un producto.



Fuente: IHOBE, 2007.

Por tanto, como se ha comentado, el primer paso consiste en determinar los límites de las actividades de la organización que serán incluidos en el estudio de la Huella de carbono.

Figura 13. Esquema de los límites de la organización.



Fuente: elaboración propia.

Una vez identificados los límites, se identifican las fuentes de emisiones directas e indirectas de GEI dentro de los límites establecidos.

En cuanto a las emisiones directas, tal como indica la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019: "la organización debe cuantificar las emisiones directas de GEI por separado para CO₂, CH₄, N₂O, NF₃, SF₆ y otros grupos de GEI apropiados (HFC, PFC, etc.) en toneladas de CO₂e".

En este informe se recogen datos de emisiones directas e indirectas solo de CO₂ (excepto en esos casos que el factor de emisión escogido ya sea una conversión a CO₂eq), ya que se consideran las emisiones del resto de GEI no significativas. Se debe tener en cuenta también la desestimación de datos debido a la falta de acceso a cierta información. Además, se considera que esta refinería no realiza tareas de remoción de GEI ni de combustión de biomasa, y por ello no se incluyen en este informe.

6.1. Emisiones directas de GEI

Según la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019, las emisiones directas de GEI (y también las remociones, pero como se ha comentado en el inicio del Capítulo 6, no se estudian en este informe ya que la refinería no lleva a cabo ninguna actividad de este tipo), se clasifican en diferentes grupos:

- Emisiones directas por combustión estacionaria, es decir, por combustión de cualquier combustible en equipos fijos o estacionarios: turbinas de gas, calentadores, calderas.
- Emisiones directas por combustión móvil, en referencia al consumo de combustible por parte de equipos de transporte como vehículos de motor, camiones, barcos, aviones, ...
- Emisiones directas de procesos industriales. Como ejemplo de este tipo de actividades se encuentran: producción de sustancias químicas, refinación de petróleo y gas, ...
- Emisiones fugitivas directas por la liberación de GEI en sistemas antropogénicos o de origen humano.
- Emisiones directas por el uso y los cambios del suelo.

Además de esta clasificación, la Norma indica que las emisiones causadas por quema y viento se deben incluir como emisiones directas. Como ejemplo ilustrativo de este tipo de emisiones se encuentran las labores de purga para mantenimiento de los equipos, liberación controlada de CH₄ o CO₂, entre otros.

Por tanto, atendiendo a los límites de la refinería y las actividades que se incluyen dentro de los mismos, se procede a la evaluación de su significancia. Para ello, en este caso, se seleccionan dos indicadores, A y B, que son:

- A: acceso a la información.
- B: exactitud de los datos.

Entonces, tomando como base esta información, se determina si las actividades son significativas o no, y, en consecuencia, se calculará la huella de carbono de aquellas que sean significativas, es decir, aquellas que en un principio mayor repercusión tienen en la huella de carbono de la organización.

En la tabla 1 se describen los dos criterios de evaluación de las emisiones directas de GEI. A cada criterio de evaluación se le asigna una puntuación, para poder determinar el factor de significancia de cada aspecto ambiental, valor que define la significancia de cada aspecto ambiental.

Tabla 1. Descripción de los criterios de evaluación para los aspectos ambientales directos.

Criterio de evaluación	Descripción	Puntuación
A. Acceso a la información	Se dispone del acceso al 100% de la información relativa a los datos de actividad de la refinería	1 pto
	Se dispone del acceso a menos de 100% de los datos de actividad de la refinería	3 pto
B. Exactitud de los datos	Se aportan datos por parte de entidades en informes oficiales	1 pto
	Las fuentes de los datos no proceden de informes oficiales, poca veracidad de la información	3 pto

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se establece que el aspecto ambiental correspondiente no es significativo si el factor de significancia supera el valor de 0,4. En ese caso, se marca la casilla correspondiente en verde, mientras que si supera el valor de 0,4 se indica marcando la casilla en rojo. Se define el factor de significancia:

$$\text{Factor de significancia} = \frac{A + B}{6} \text{ Ec. 1)$$

Así, en la tabla 2, se define el factor de significancia que permitirá determinar si cada tipo de emisión es de carácter significativo o no.

Tabla 2. *Descripción del factor de significancia.*

Factor de significancia < 0,4	Significativo
Factor de significancia > 0,4	No significativo

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3 se exponen los resultados de la evaluación de las emisiones directas dentro de los límites fijados, en función de los indicadores A y B, acceso a la información y exactitud de los datos, respectivamente.

Tabla 3. *Evaluación de emisiones directas.*

Emisiones directas según UNE-EN ISO 14064-1:2019	Criterios		Factor de significancia	Significativo/ No significativo
	A. Acceso información	B. Exactitud datos		
Combustión estacionaria	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		
Combustión móvil	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		
Fugitivas: almacenamiento	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		
Fugitivas: refrigeración	A	B	1>0,4	No Significativo
	3 pto	3 pto		

Procesos quema y venteo	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		
Uso del suelo	A	B	1>0,4	No Significativo
	3 pto	3 pto		

Fuente: elaboración propia.

De todas las emisiones directas estudiadas, se desestiman las emisiones fugitivas por refrigeración y las emisiones derivadas del uso del suelo. Luego se calculará la huella de carbono del resto de emisiones directas.

A continuación, se procede siguiendo la misma metodología para las emisiones de tipo indirectas.

6.2. Emisiones indirectas de GEI

De la misma manera que se han analizado las emisiones indirectas, la organización debe determinar cuáles emisiones indirectas va a incluir en el informe. Por ello, se deben explicar los criterios utilizados para definir las emisiones indirectas significativas, así como aportar una justificación de la exclusión de cualquier emisión indirecta significativa (UNE-EN ISO 14064-1:2019).

Para ello, se elige primero el criterio para seleccionar dichas emisiones indirectas que tienen mayor relevancia para estudiar su huella de carbono. En este caso, se eligen como criterios el acceso a la información y el nivel de influencia. Al tratarse de un caso ficticio, y la organización a estudio una refinería, se debe tener en cuenta la complejidad en cuanto a la toma de datos y la capacidad de la empresa para llevar a cabo el seguimiento de las emisiones.

De entre las emisiones indirectas que categoriza la Norma UNE-EN ISO 14064-1: 2019, y siguiendo los criterios fijados, se seleccionan las emisiones indirectas a estudio.

Tabla 4. *Descripción de los criterios de evaluación de las emisiones indirectas.*

Criterio de evaluación	Descripción	Puntuación
A. Acceso a la información	Se dispone del acceso al 100% de la información relativa a los datos de actividad de la refinería	1 pto
	Se dispone del acceso a menos de 100% de los datos de actividad de la refinería	3 pto
B. Nivel de influencia	La empresa tiene capacidad de seguimiento y reducción de las emisiones indirectas	1 pto
	La empresa no tiene capacidad de seguimiento y reducción de las emisiones indirectas	3 pto

Fuente: elaboración propia.

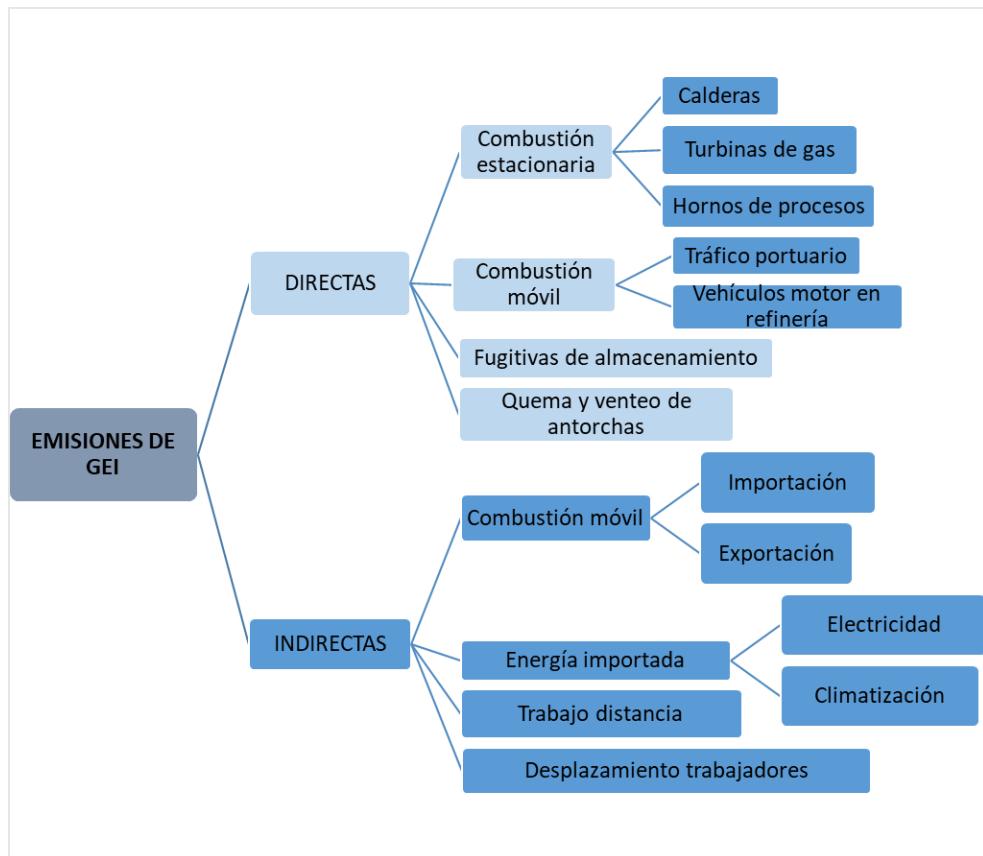
Tabla 5. *Evaluación de emisiones indirectas.*

Emisiones indirectas según UNE-EN ISO 14064-1:2019	Criterios		Puntuación	Significativo/ No significativo
	A. Acceso información	B. Nivel de influencia		
Combustión móvil	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		
Energía importada	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		
Trabajo a distancia	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		
Productos que utiliza la organización	A	B	1>0,4	No Significativo
	3 pto	3 pto		
Uso de los productos de la organización	A	B	1>0,4	No Significativo
	3 pto	3 pto		
Desplazamientos trabajadores	A	B	0,33 < 0,4	Significativo
	1 pto	1 pto		

Fuente: elaboración propia.

Una vez realizada la evaluación de todas las emisiones, e identificadas aquellas significativas para la huella de carbono, a continuación, en la figura 14 se muestran de modo esquemático las emisiones significativas para la organización en su conjunto.

Figura 14. Categorización de las emisiones de la organización.



Fuente: elaboración propia.

7. Cálculo de la huella de carbono

Una vez identificadas, en el capítulo anterior, las actividades que de manera significativa producen emisiones de GEI, a lo largo de este capítulo se detalla la metodología para el cálculo de la huella de carbono total de la organización. Para ello, se siguen las directrices de la Norma UNE-EN ISO 14064-1. Tomando como base la misma, se siguen los siguientes pasos:

- Definición de los límites de la organización (Capítulo 6 del informe)
- Identificación de las emisiones (Capítulo 6 del informe)
- Cálculo de las emisiones

La definición de los límites y emisiones se describe en el Capítulo 6 de este trabajo.

7.1. Emisiones GEI

Para el correcto cálculo de la huella de carbono, se deben identificar los tipos de emisiones dentro del alcance. Se distinguen, como indica la Norma ISO 14064-1, entre emisiones directas e indirectas de GEI. A pesar de que en la norma se indican una serie de emisiones, se debe concretar para la cuáles se estudiarán y cuáles no, siempre con su debida justificación. Esta justificación se ha llevado a cabo en el Capítulo 6 de este trabajo.

Y de acuerdo con ello, en este trabajo se evalúan las siguientes emisiones de GEI:

Tabla 6. *Clasificación de emisiones para el cálculo de huella de carbono.*

EMISIONES DIRECTAS	EMISIONES INDIRECTAS
Combustión estacionaria	Energía importada (electricidad)
Combustión móvil (barcos)	Energía importada (climatización)
Fugitivas	Trabajo a distancia (calefacción)
Quema y venteo	Desplazamiento diario trabajadores

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se procede a la descripción de las emisiones directas.

1. Combustión estacionaria: se distinguen entre procesos de combustión en calderas, turbinas de gas y hornos de proceso.

- a) Calderas: la refinería cuenta con dos calderas de tipo lecho fluidizado circulante de vapor de carbón. Dentro de la gama de calderas, este tipo en concreto corresponde con el tipo de baja contaminación. Al tratarse de una técnica la de lecho fluidizado de baja temperatura, los niveles de emisiones son menores que si se tratase de una caldera de carbón pulverizado. Además, permite la desulfuración (eliminación de azufre) directa durante los procesos de combustión de hidrocarburos, con una capacidad térmica de 10 a 75 t/h. Este tipo de equipos actúan de fuente de calor para los otros equipos que intervienen en el procesado del crudo como las turbinas de gas o los hornos.
 - b) Turbinas de gas: de potencia 38 MW, y modelo Frame-6. Es de señalar que, en la refinería, se emplea como combustible para las turbinas, además de propano y gas natural, un tipo de gas de la propia refinería, de modo que se observa el aprovechamiento de una cantidad de los gases residuales de la refinería.
 - c) Hornos de proceso: se cuentan en la refinería con tres hornos de procesos, previos a las unidades de torres de destilación, cámaras de reacción, entre otros. Todos los hornos utilizados son de tipo cabina, pudiendo alcanzar temperaturas de hasta 600 °C. Dado que previa reacción de transformación del crudo, se requiere de un calentamiento de este, el empleo de hornos en las refinerías son elementos indispensables.
2. Combustión móvil: en la refinería se cuenta con 15 unidades de vehículos a motor para el desplazamiento de los trabajadores dentro de las instalaciones y facilitar sus respectivas tareas. Además, en situaciones de emergencia, pueden ayudar a la evacuación de las instalaciones.
- Asimismo, dentro de equipos de combustión móvil, se encuentran los cinco barcos que la refinería dispone en la unidad portuaria para transportar el crudo que llega a puerto desde los países de origen, hasta los oleoductos que lo transportan hasta los tanques de almacenamiento de la refinería.
3. En cuanto a las emisiones fugitivas, se estudian las que derivan de los tanques de almacenamiento. La mayoría se trata de pequeñas cantidades de compuestos sulfurados pero que requieren de un control exhaustivo debido a la proximidad de los

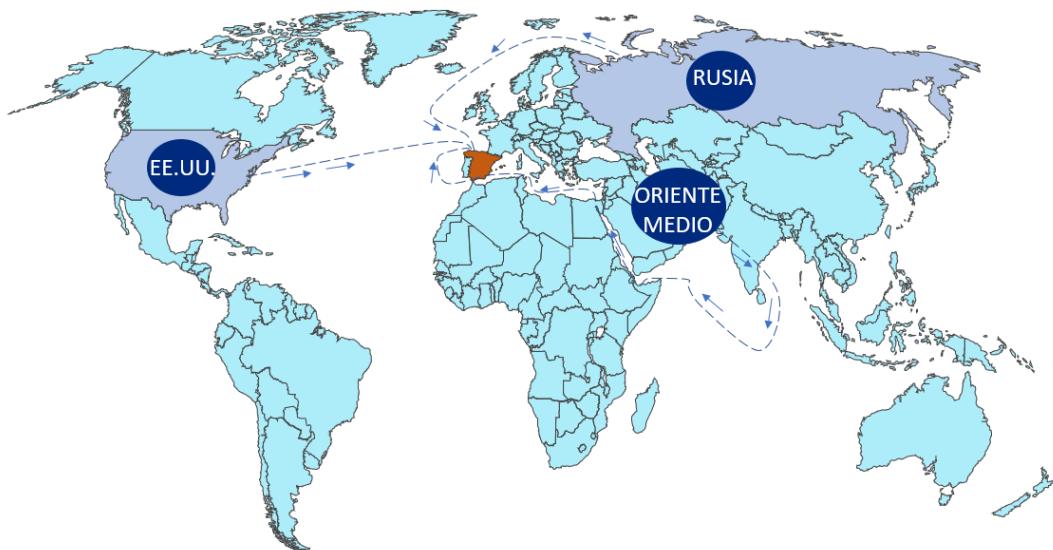
tanques con las redes de aguas y su posible afectación a aguas de consumo, o incluso afectación al suelo de la zona, pudiendo alterar la flora de alrededores.

4. Los procesos de quema y venteo a través de las antorchas son una de las principales herramientas de seguridad en las refinerías. A través de las mismas, se eliminan los vapores de las reacciones de combustión de las reacciones. En la refinería se dispone de 2 antorchas, de 50 y 80 metros de altura, respectivamente, y monitorizadas en todo momento. Se mide su caudal, temperatura y apariencia de la llama. Su función es la de quemar los gases que deriven de alguna eventualidad, de manera que se evite su emisión.

Por otro lado, se describen las emisiones indirectas:

1. Combustión móvil: principalmente, corresponde con la importación del crudo y exportación de los productos de la refinería. La refinería contrata dos flotas, una primera que consta de tres buques petrolíferos, que se encargan de las rutas de importación del crudo desde Estados Unidos, Rusia y Oriente Medio. Los porcentajes de importación de estos países con respecto al total de entrada de crudo son del 10, 12 y 21%, respectivamente. En la figura 15 se muestran las rutas de los buques. En total, se contabilizan aproximadamente 10 Millones de toneladas de entrada de crudo anual.

Figura 15. Rutas de importación de crudo a la refinería.



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la flota de exportación, se contratan 3 unidades de buques, que se encargan de distribuir los productos obtenidos a América y a Europa. Se registra anualmente un nivel de exportaciones de productos derivados del petróleo de en torno a 8 Millones de toneladas. En la figura 16 se muestran las rutas de exportación de dichos productos agrupadas en continentes.

Figura 16. Continentes destinados a la exportación de los productos de la refinería.



Fuente: elaboración propia.

2. Energía importada: en cuanto a la energía importada, se estudian las emisiones asociadas al uso de calefacción, los sistemas de climatización de las oficinas y salas de control de la refinería. Se tiene en cuenta también la electricidad para luz y equipos de la oficina.

Además, y para terminar con el estudio de la huella de carbono derivada de emisiones indirectas, se estudian las derivadas de la calefacción en períodos de teletrabajo, y las derivadas del desplazamiento diario de los trabajadores desde sus domicilios a la organización.

A continuación, se procede al cálculo de las emisiones. Para ello, el primer paso es la recogida del dato de Actividad de cada una de dichas emisiones. Después, se deben convertir todos los datos de Actividad a toneladas de CO₂e(tCO₂e) utilizando los valores de factor de emisión (FE) o, en el caso de compuestos fluorados, potencial de calentamiento global (PCG) correspondientes. En algunos casos, es posible que se requiera del valor del Poder Calorífico Inferior (PCI). En las ecuaciones 2 y 3 se indican los pasos a seguir para determinar el valor de las emisiones de GEI, en tCO₂e.

$$\text{Emisiones de GEIs (tCO}_2\text{e)} = \text{Dato Actividad(litros)} \times \text{FE} \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{litros}} \right) \text{ ó PCG} \times \frac{1t}{1000kg} = \text{tCO}_2\text{e} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Emisiones de GEIs (tCO}_2\text{e)} = \text{Dato Actividad(toneladas)} \times \text{PCI} \left(\frac{GJ}{t} \right) \text{FE} \left(\frac{\text{kgCO}_2}{GJ} \right) \times \frac{1t}{1000kg} = \text{tCO}_2\text{e} \quad \text{Ec.3}$$

Finalmente, se calcula la huella de carbono total de la organización, en tCO₂e, como la suma de las emisiones directas e indirectas, una vez llevado a cabo la conversión de los datos de actividad a tCO₂e, aplicando las ecuaciones 2 y 3.

Ahora bien, previa toma de datos se debe establecer el año base histórico de emisiones de GEI, tal como indica la norma ISO 14064-1:2019. En este caso, como año base para el estudio se selecciona el año 2018 (Refino España, 2011).

Una vez explicada la metodología a seguir para el cálculo de la huella de carbono, tal como se ha mencionado anteriormente, y establecido el año base de 2018, se recogen en la tabla 6 los datos de actividad mensuales de la organización.

La toma de datos de actividad se ha llevado a cabo de la siguiente manera:

- Procesos de combustión estacionaria (calderas, turbinas de gas y hornos): se disponen de salas de contadores que informan sobre el consumo a tiempo real de combustible. Se considera un funcionamiento de estos equipos de aproximadamente 6h/día, durante 6 días a la semana. Por tanto, excepto durante paradas programadas para el mantenimiento de los equipos, se estima un periodo de funcionamiento de 36 horas semanales. El consumo de combustible estimado para cada caldera, turbina de gas y horno es de unas 18, 59 y 2 toneladas a la hora, respectivamente.
- Combustión móvil: el dato de actividad se refiere a los litros de gasolina consumido por la flota de 15 vehículos a motor. Se considera un promedio de 1.000 kilómetros a la semana en trayectos que comprenden los desplazamientos dentro de la refinería de los trabajadores y los correspondientes a viajes comerciales (reuniones con clientes, compra y venta de productos, ...).
- Combustión móvil: corresponde al consumo de gasóleo B en el transporte del crudo por el puerto, desde los buques de importación hasta los oleoductos. Se cuenta con 5 barcos para ello. Y en este caso se considera un consumo de aproximadamente 100 litros a la hora.
- Tanques de almacenamiento: el consumo de combustible en los tanques se debe al mantenimiento de una serie de condiciones de temperatura y humedad para una óptima preservación del crudo que llega desde los oleoductos a la refinería. El dato de actividad se estima teniendo en cuenta que su funcionamiento es continuo, con paradas excepcionales por labores de limpieza de los tanques. El consumo estimado es de unos 15 litros de HFC-41 CH₃F.
- Quema y venteo: se estima un consumo aproximado de 15 toneladas de gas natural al día, con periodos de funcionamiento de 18 horas/día.

En cuanto a las emisiones indirectas, la obtención de los datos de actividad se describe de la siguiente manera:

- Combustión móvil: corresponde al consumo de gasóleo B en el transporte del crudo a través de la flota de buques, que está formada en total por 6 navíos. Del total, tres de ellos cubren las rutas de importación y los tres restantes, las de exportación. Se debe tener en cuenta que en periodos de temporales marítimos los buques pueden tomar rutas alternativas que producen picos de consumo ya que suelen ser de mayor distancia. Además, estos buques presentan un mayor consumo de gasóleo B que los buques propiedad de la refinería, al tratarse de empresas contratadas por la refinería. El consumo estimado es de unos 250 litros a la hora.
- Energía importada (electricidad, equipos de calefacción y climatización): corresponde al consumo derivado de la actividad de las oficinas y zonas comunes, siendo de aproximadamente unos 300 kWh. Para su estimación se han considerado periodos de 10 horas al día en funcionamiento. En el caso de la calefacción, el consumo se ha estimado de unos 100 kWh. Por último, el consumo de los equipos de climatización se ha considerado de unas 3 toneladas semanales de recarga de gas refrigerante.
- Desplazamientos trabajadores: se estima en este caso un consumo aproximado de 100 litros de gasolina. En general, se trata de desplazamientos de unos 30 kilómetros, con algunos casos de hasta 70 kilómetros hasta el lugar de trabajo. Los desplazamientos se llevan a cabo mediante 4 autobuses que cubren 3 itinerarios a primera hora de la jornada, al mediodía y al horario de salida.

Tabla 7. Datos de actividad mensuales de la refinería para el cálculo de la huella de carbono (año 2018).

EMISIONES	Actividad (mensual)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Emisiones y remociones directas de GEI en toneladas de CO₂e												
Combustión estacionaria: calderas	7.683,21	7.683,12	7.683,31	7.685	7.683,43	7.683,31	7.685	7.683	7.683,52	7.683	7.682,91	7.683
Combustión estacionaria: turbinas de gas	76.033,70	75.641,64	77.923,66	79.638,51	78.229,31	69.964,90	64.521	70.022,62	77.199,26	77.410	76.129,11	78.451,52
Combustión estacionaria: hornos de proceso	8.392,30	8.392,61	8.392	8.392,42	8.391	8.389,81	8.392,31	8.392,51	8.392	8.392,51	8.392,21	8.394
Combustión móvil: vehículos de motor (15 unidades)	21.000,30	20.841,31	20.841,20	20.841,44	20.900,22	20.850,15	20.845,34	20.842,28	20.841,47	20.841	20.841	20.841,37
Combustión móvil: tráfico puerto-barcos (5 unidades)	8.330,20	8.330	8.329	8.330,56	8.330	8.332	8.332,16	8.331,64	8.330	8.328,97	8.330	8.331,23
Fugitivas: tanques almacenamiento	4.175	4.169,84	4.169,91	4.171,20	4.175,72	4.178	4.174,44	4.176,82	4.174,71	4.176,35	4.177,54	4.175,61
Fugitivas: torre de refrigeración												
Quema y venteo a través de antorchas	7496,50	7.502,20	7.500,61	7.499,34	7.489,44	7.500	7.499,20	7.992,31	7.1995,51	7.500,12	7.501,71	7.500,41
Uso del suelo (fuera límites del informe)												
Remociones GEI (fuera límites del informe)												
TOTAL EMISIONES DIRECTAS CO₂ (t)	133.111,20	132.560,51	134.839,64	136.558,34	135.199	126.898,18	121.449,36	127.441	134.616,32	134.331,84	133.054,45	135.377
Emisiones indirectas en toneladas de CO₂e												
Combustión móvil: importación-barcos (3 unidades)	83.185,12	83.185	83.184,22	83.185,61	83.185,20	83.185	83.184	83.185,34	83.185,23	83.185	83.184,84	83.185,21
Combustión móvil: exportación barcos (3 unidades)	61.250,90	61.252,21	61.251,45	61.252,35	61.2515	61.249,24	61.251,28	61.252	61.251,36	61.252,48	61.251	61.252,34
Energía importada (electricidad)	166.623,50	166.662,84	166.664,74	1666.65,88	1666.66,16	166.666,83	166.623,77	166.666,67	166.665,90	166.668,70	166.668,71	166.666,71
Energía importada (climatización)	0,70	0,81	1,11	1,24	1,11	1,42	1,71	1,80	1,87	1,55	1,16	0,72
Trabajo a distancia (calefacción)	81.333,51	80.334,10	80.332,85	80.333,15	80.333	80.339,76	80.333,22	80.333,14	80.332,87	80.333	80.332,90	80.333
Transporte: desplazamiento diario trabajadores	65.000	64.956,23	65.001,21	65.005	65.006,22	65.025,61	65.005,83	65.005	65.050	65.000,42	65.010	65.025,26
TOTAL EMISIONES INDIRECTAS CO₂ (t)	312.980,51	311.975,77	312.022,38	312.026,90	312.028,70	312.054,86	311.985,91	312.027,97	312.072,14	312.025,61	312.035,64	312.049

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Datos de actividad anuales de la refinería para el cálculo de la huella de carbono (año 2018).

EMISIONES	Actividad	Unidad	PCI (GJ/t)	FE	Unidad	PCG	EMISIONES CO ₂
							Toneladas CO ₂ e
Emisiones y remociones directas de GEI en toneladas de CO₂e							
Combustión estacionaria: calderas	92.201,61	toneladas fuelóleo	40,4	77,4	kgCO ₂ /GJ		288310,71
Combustión estacionaria: turbinas de gas	90.116,52	toneladas gas natural	48	56,4	kgCO ₂ /GJ		2439633,88
Combustión estacionaria: hornos de proceso	100.705,62	toneladas GLP	47,3	63,1	kgCO ₂ /GJ		300568,95
Combustión móvil: vehículos de motor (15 unidades)	250.326,70	litros gasolina		2.157	kgCO ₂ /l		539,95
Combustión móvil: tráfico puerto-barcos (5 unidades)	99.965,51	litros gasóleo B		2.493	kgCO ₂ /l		249,21
Fugitivas: tanques almacenamiento	50.094,95	litros HFC-41 CH ₃ F				92	4608,73
Fugitivas: torre de refrigeración	-	NO FLUORADOS					
Quema y venteo a través de antorchas	90.977,26	toneladas gas natural	48	56,4	kgCO ₂ /GJ		246293,47
Uso del suelo (fuera límites del informe)							
Remociones GEI (fuera límites del informe)							
TOTAL EMISIONES DIRECTAS CO₂ (t)							3280204,93
Emisiones indirectas en toneladas de CO₂e							
Combustión móvil: importación-barcos (3 unidades)	998.219,61	litros gasóleo B		2.493	kgCO ₂ /l		2.488,56
Combustión móvil: exportación-barcos (3 unidades)	735.017,22	litros gasóleo B		2.493	kgCO ₂ /l		1.832,39
Energía importada (electricidad)	1.999.910,07	kWh		0,41	kg CO ₂ /kWh Mix 2018		819,96
Energía importada (climatización)	14,90	litros R-404A				3.922	58.437,80
Trabajo a distancia (calefacción)	965.004,25	kWh		0,41	kg CO ₂ /kWh Mix 2018		395,65
Transporte: desplazamiento diario trabajadores	780.090,66	litros gasolina		2.157	kgCO ₂ /l		1.682,65
TOTAL EMISIONES INDIRECTAS CO₂ (t)							65.657,03
TOTAL EMISIONES CO₂ (t)							3.345.861,96

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8 se muestran los valores anuales de actividad, juntos con los factores de emisión y potenciales de calentamiento inferior correspondientes. En la última columna se indican los resultados de emisiones de CO₂e para cada actividad, además del valor de huella de carbono total de la refinería.

En cuanto a las emisiones directas, se observa que las turbinas de gas de los procesos de combustión estacionaria son los que mayor dato de actividad presentan, coincidiendo con el de mayor valor en cuanto a PCI y FE. Por tanto, era de esperar que sea la actividad con mayor cantidad de emisiones, en unidades de toneladas de CO₂e. Por otro lado, la actividad con menor cantidad de emisiones corresponde al tráfico en el puerto por parte de los barcos para transportar el crudo a los oleoductos y que lleguen a la refinería. Este dato se puede entender ya que la distancia que estos barcos deben recorrer es pequeña.

Ahora se procede al análisis de los resultados de la tabla 8 con respecto a las emisiones indirectas. Se obtiene que las principales emisiones indirectas son las procedentes de los equipos de climatización. Se puede observar que pese a no ser de las emisiones con mayor actividad, en comparación por ejemplo con los procesos de combustión móvil o el desplazamiento de los trabajadores, en el caso de los equipos de climatización, el valor del PCG del gas de recarga (R-404A), es muy elevado. Un valor tan elevado de PCG es un indicativo de alto nivel de emisiones, debido a que su permanencia en la atmósfera una vez se ha emitido, es de un elevado periodo de tiempo.

A continuación, en la tabla 9, se observan los valores de factores de emisión utilizados.

Tabla 9. *Valores de factores de emisión desde el año 2007 hasta el 2018.*

	Combustible (Unidades FE)	Factores de emisión (FE)											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vehículos (A)	Gasolina (kgCO ₂ /l)	2,295	2,295	2,295	2,295	2,205	2,201	2,205	2,205	2,205	2,196	2,180	2,157
	Gasóleo A o B (kgCO ₂ /l)	2,653	2,653	2,653	2,653	2,493	2,467	2,544	2,544	2,544	2,539	2,520	2,493
	E10 (kgCO ₂ /l)	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065
	E85 (kgCO ₂ /l)	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344
	E100 (kgCO ₂ /l)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B7 (kgCO ₂ /l)	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467
	B10 (kgCO ₂ /l)	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387
	B30 (kgCO ₂ /l)	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857
	B100 (kgCO ₂ /l)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	GNL (kgCO ₂ /kWh)*	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,203
Equipos de combustión fija (B)	GNC (kgCO ₂ /kWh)*	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,203
	GLP (kgCO ₂ /l)	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671
	Gas natural (kgCO ₂ /kWh)*	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,203
	Gasóleo C (kgCO ₂ /l)	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868
	Gasoleo B (kgCO ₂ /l)	2,653	2,653	2,653	2,653	2,493	2,467	2,544	2,544	2,544	2,539	2,520	2,493
	Gas butano (kgCO ₂ /kg)	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964
	Gas propano (kgCO ₂ /kg)	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938
	Fuelóleo (kgCO ₂ /kg)	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127
	GLP genérico (kgCO ₂ /l)	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671
	Carbón nacional (kgCO ₂ /kg)	2,297	2,297	2,297	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,006	2,227
Equipos de combustión fija (B)	Carbón de importación (kgCO ₂ /kg)	2,527	2,527	2,527	2,579	2,579	2,579	2,579	2,579	2,579	2,430	2,444	2,444
	Coque de petróleo (kgCO ₂ /kg)	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169

* Para el paso de PCS a PCI en el gas natural se utiliza el factor de conversión de 0,901. Fuente: *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*.

Fuente: Informe de Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero, 2021.

En este caso concreto, sólo se han usado los factores del año 2018 por ser el año base del estudio realizado. Sin embargo, se indica toda la serie desde el año 2007 a modo de observación de la evolución de algunos valores de los factores de emisión, del mismo modo que se observa que hay factores cuyos valores son fijos independientemente del año.

En el caso de vehículos, se han utilizado los valores de factores de emisión correspondientes a los combustibles:

- Gasolina: 2,157 kg CO₂/l
- Gasóleo B: 2,493 kg CO₂/l

Del mismo modo, en las Tablas 10 y 11 se muestran los valores utilizados de conversión para poder calcular la huella de carbono según las ecuaciones mostradas al comienzo de este capítulo.

Tabla 10. Valores de PCI y Factor de Emisión para los diferentes combustibles.

Poder Calorífico Inferior (GJ/t)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gas natural*	48,66	48,48	47,99	48,59	48,57	48,24	48,28	48,28	47,66	48,00	48,00	48,00
Gasolina	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30	44,30
Gasóleo	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00
Gas butano	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78	44,78
Gas propano	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20	46,20
Fuelóleo	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40	40,40
GLP genérico	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30	47,30
Carbón nacional	20,51	20,51	20,51	23,12	23,12	23,12	23,12	23,12	23,12	20,18	22,40	22,40
Carbón de importación	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53	24,06	24,20	24,20
Coque de petróleo	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50	32,50

* Para el paso de PCS a PCI en el gas natural se utiliza el factor de conversión de 0,901. Fuente: *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*.

Factor de emisión de CO₂ (kg CO₂/GJ_{PCI})

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gas natural	56,10	56,10	56,10	56,10	56,10	56,10	56,10	56,10	56,10	56,10	56,40	56,40
Gasolina	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30	69,30
Gasóleo	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10	74,10
Gas butano	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20	66,20
Gas propano	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60	63,60
Fuelóleo	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40	77,40
GLP genérico	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10	63,10
Carbón nacional	112,00	112,00	112,00	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,40	99,40
Carbón de importación	99,00	99,00	99,00	101,00	101,00	101,00	101,00	101,00	101,00	101,00	101,00	101,00
Coque de petróleo	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50

Fuente: Informe de *Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero*, 2021.

De las tablas 10 y 11 se han utilizado los valores necesarios para los combustibles: fuelóleo, gas natural y GLP. Del mismo modo que en la tabla 9, se indica toda la serie de datos desde el año 2007 de manera que se observe, en aquellos casos en los que se ha dado, la evolución de los valores correspondientes a cada combustible.

Tabla 11. *Valores tabulados de PCG.*

Gases refrigerantes

Nombre	Fórmula química	PCG ⁽¹⁾
HFC-23	CH ₂ F ₃	14.800
HFC-32	CH ₂ F ₂	675
HFC-41	CH ₃ F	92
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	1.640
HFC-125	C ₂ HF ₅	3.500
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	1.100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1.430
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	353
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	4.470
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	53
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	38
HFC-161	C ₂ H ₂ F	12
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	3.220
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	1.340
HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃	1.370
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	9.810
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	693

Preparados

Nombre	Composición (%)	PCG ⁽¹⁾
R-404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	3.922
R-407A	R-32/125/134a (20/40/40)	2.107
R-407B	R-32/125/134a (10/70/20)	2.804
R-407C	R-32/125/134a (23/25/52)	1.774
R-407F	R-32/125/134a (30/30/40)	1.825
R-410A	R-32/125 (50/50)	2.088
R-410B	R-32/125 (45/55)	2.229
R-413A	R-218/134a/600a (9/88/3)	1.258
R-417A	R-125/134a/600 (46,6/50/3,4)	2.346
R-417B	R-125/134a/600 (79/18,25/2,75)	3.026
R-422A	R-125/134a/600a (85,1/11,5/3,4)	3.143
R-422D	R-125/134a/600a (65,1/31,5/3,4)	2.729
R-424A	R-125/134a/600a/600/601a (50,5/47/0,9/1/0)	2.440
R-426A	R-134a/125/600/601a (93,5/1,1,3/0,6)	1.508
R-427A	R-32/125/143a/134a (15/25/10/50)	2.138
R-428A	R-125/143a/600a/290 (77,5/20/1,9/06)	3.607
R-434A	R-125/143a/134a/600a (63,2/18/16/2,8)	3.245
R-437A	R-125/134a/600/601 (19,5/78,5/1,4/06)	1.805
R-438A	R-32/125/134a/600/601a (8,5/45/44,2/1,7/0,6)	2.264
R-442A	R-32/125/134a/152a/227ea (31/31/30/3/5)	1.888
R-507A	R-125/143a (50/50)	3.985

Fuente: Reglamento (UE) Nº 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 842/2006.

En la tabla 11 se muestran los valores de PCG de gases fluorados, clasificados en gases refrigerantes y preparados. En este proyecto se han utilizado los valores correspondientes al gas HFC-41, de fórmula química CH₃F, y al preparado R-404A, de valor 3.922. Asimismo, se observa en la tabla de gases refrigerantes, la diferencia significativa entre unos valores y otros de PCG, de manera que el menor valor de PCG es de 12, mientras que el mayor es de 14800.

8. Plan de mejora

El cálculo de la huella de carbono permite además de la cuantificación de las emisiones de GEI, la identificación de las fuentes principales de emisión de GEI dentro de la actividad de la organización. De esta manera, se puede diseñar un plan de mejora enfocado a los puntos críticos o más significativos de emisiones de GEI de la organización (MITECO, 2016).

Del mismo modo que para el cálculo de la huella de carbono se toma un año base de referencia sobre el que realizar la comparación de los resultados obtenidos, en el caso del diseño del plan de mejora, la referencia temporal no tiene por qué ser un año, sino que puede ser el promedio de varios años o el año anterior al año de cálculo (The Greenhouse Gas Protocol, 2014).

En este capítulo se presenta un plan de mejora dividido en dos tipologías de estrategias: plan de mejoras a corto plazo (implantación prevista en un periodo inferior o igual a 4 años) y un plan de mejoras o estrategias de reducción a medio-largo plazo.

8.1. Plan de mejora a corto plazo

El plan de mejora diseñado a corto plazo se refiere a un periodo de 4 años en los que se llevarán a cabo las acciones dentro del plan para la reducción de emisiones en aquellas actividades que se han identificado a partir del cálculo de la huella de carbono como principales fuentes emisoras.

Se programa por tanto un plan de mejora que incluye las medidas que se presentarán a continuación, basadas en el plan de estrategia de Petronor (Refino España, 2011). Los porcentajes de reducción obtenidos se deben a la sustitución de combustibles fósiles por combustibles procedentes de fuentes renovables. Dado que las emisiones de CO₂e se calculan a partir de dos factores, esto es, el dato de actividad y el factor de emisión del correspondiente combustible asociado a dicha actividad, el plan de mejora se enfoca a la elección de combustibles que permitan mantener el mismo ritmo de actividad de la organización, pero reducir su factor de emisión. De este modo, las emisiones se verán reducidas y, en consecuencia, se reducirá la huella de carbono de la organización.

A continuación, se describen las medidas planteadas:

- Sustituir los combustibles de los equipos de combustión fija en 4 años, en concreto, de las turbinas de gas. Se propone utilizar en su lugar combustibles que contengan en un porcentaje por encima del 60% de composición de energías renovables los 2 primeros años, lo cual permite obtener una reducción de las emisiones de un 7%. A lo largo de los dos últimos años del plan se lleva a cabo la implantación del 100% de composición de energías renovables. De esta manera, en el año 2022, se mejorará su eficiencia un 5%. En total por tanto se obtiene una reducción del 12% en emisiones.
- Renovar la flota de barcos en 4 años por otra nueva que utilice combustible tipo diésel que reducirá el consumo en un 7%. El combustible actual, el gasóleo B, es un combustible fósil que produce un porcentaje elevado de emisiones. Entonces se decide sustituir el combustible actual por otro de menor nivel de emisiones, como es el diésel. Ahora bien, dentro del plan de mejora, se decide cambiar el combustible el último año del plan, debido a que resulta muy costoso y esta no es la actividad que más contribuya a la huella de carbono, y por tanto, no es prioritario.
- Sustituir el sistema de climatización en 4 años por uno cuyo refrigerante tenga un PCG menor que el actual. Se propone sustituir el gas refrigerante R-404A por el R-407A. Así se obtiene una reducción de un 10% de consumo. Además, al poseer menor PCG el nuevo refrigerante, se reducirán las emisiones de GEI.
- Renovar el equipo de desplazamiento diario de los trabajadores. La flota, que consta actualmente de 4 autobuses que cubren 3 itinerarios a primera hora de la jornada, al mediodía y al horario de salida. Se propone reducir el número de autobuses a 2 y que sean eléctricos. Se pretende que sea una incorporación gradual y no inmediata en el primer año, sino a lo largo de los 4 años fijados en el plan. De esta manera, en los 2 primeros años, se pretende primero sustituir uno de los autobuses por otro eléctrico, y cuando se reestructuren las rutas, reducir la flota. Se reducirá así el consumo en los dos primeros años en un 6%, mientras que en 4 años el ahorro será del 16%.

Tabla 12. *Descripción del plan de mejora para el periodo establecido 2019-2022.*

Emisiones	Fuente	Reducción de emisiones esperada por año y fuente (%)			
		2019	2020	2021	2022
Directa	Combustión estacionaria	0	7%	0	5%
Directa	Transporte barcos	2019	2020	2021	2022
		0	0	0	7%
Indirecta	Sistema climatización	2019	2020	2021	2022
		0	10%	0	0
Indirecta	Transportes trabajadores	2019	2020	2021	2022
		0	6%	0	10%

Fuente: elaboración propia.

De esta manera de cumplirse los objetivos fijados en el plan de mejora, se obtendrán los valores de huella de carbono que se indican en la tabla 13.

A continuación, se explica la obtención tanto de los valores de HC de cada año dentro del plan, como de los porcentajes de reducción de emisiones obtenidos tras la aplicación de las medidas.

Se parte del dato de HC del año base, y se calcula el valor de HC aplicando el porcentaje de reducción. Luego se calcula la diferencia entre la HC del año base y la HC que supone ese porcentaje de reducción. Ese es el valor de HC obtenido tras la aplicación correspondiente del plan de mejora.

A modo ilustrativo, se procede al cálculo de la HC estimada en el plan de mejora del proceso de combustión, en concreto, las turbinas.

1. $(HC \text{ año base} (2018) = 2.439.633 \text{ tCO}_2e) \times \% \text{reducción} \quad Ec. 4)$

Se aplica el 7% de reducción esperado para el año 2020, de manera que se establece cuanto corresponde este porcentaje de reducción:

2. $(HC \text{ año base} (2018) = 2.439.633 \text{ tCO}_2e) \times \frac{7}{100} = 170.774,3 \text{ tCO}_2e$

Luego se calcula el valor de HC para el año 2020 como la diferencia entre el valor del año 2018, el valor inicial, y el valor de HC aplicado el porcentaje de reducción que le corresponde para ese año, en este caso, el 7% de reducción. Dicho valor se ha calculado en la ecuación 5:

3. $HC(2020) = 2.439.633 - 170.774,3 = 2.268.859 \text{ tCO}_2e \quad Ec. 5)$

Luego se repite el proceso de cálculo de las ecuaciones 4 y 5, pero esta vez aplicando el porcentaje de reducción del año 2022, es decir, un 5%:

4. $(HC(2020) = 2.268.859) \times \frac{5}{100} = 113.442,9 \text{ tCO}_2e$

5. $HC(2022) = 2.268.859 - 113.442,9 = 2.155.416 \text{ tCO}_2e$

Finalmente, se calcula el porcentaje de reducción de las emisiones tras el plan de 4 años:

$$\frac{HC(\text{año base}) - HC(2022)}{HC(\text{año base})} \times 100 \quad Ec. 6)$$

Y en el caso a modo de ilustración que se detalla, se obtiene un porcentaje de reducción:

$$\frac{2.439.633 - 2.155.416}{2.439.633} \times 100 = 12\%$$

Se procede de manera análoga con el resto de actividades sobre las que se aplica el plan de mejora.

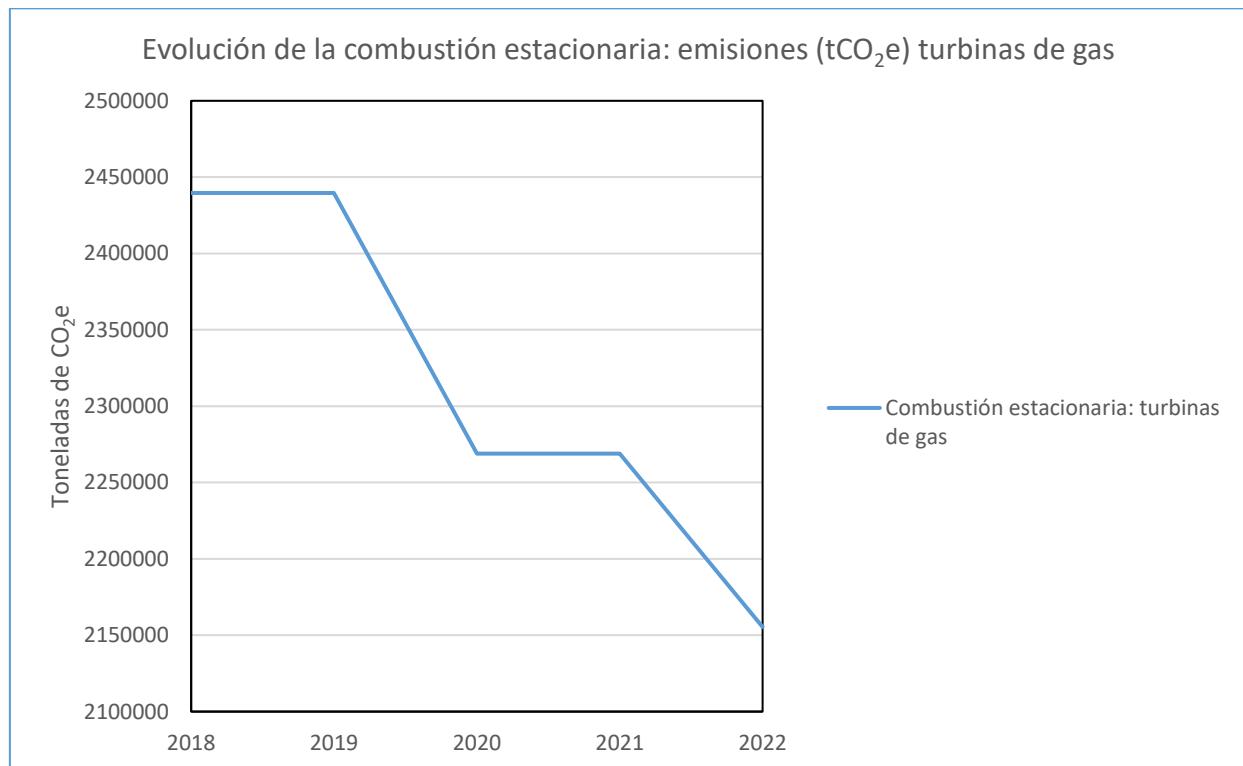
Tabla 13. *Estimación de la huella de carbono aplicando el plan de mejora, en función del año y de la fuente.*

Emisiones	Fuente	HC año base 2018 (t CO ₂ e)	HC estimada (t CO ₂ e)			
			2019	2020	2021	2022
Directa	Combustión estacionaria Turbinas	2.439.633	2.439.633	2.268.859	2.268.859	2.155.416
Directa	Transporte barcos	249,20	249,20	249,20	249,20	231,77
Indirecta	Sistema climatización	58.437,81	58.437,81	52.594	52.594	52.594
Indirecta	Transportes trabajadores	1.682,60	1.682,60	1.581,71	1.581,71	1.423,53

Fuente: elaboración propia.

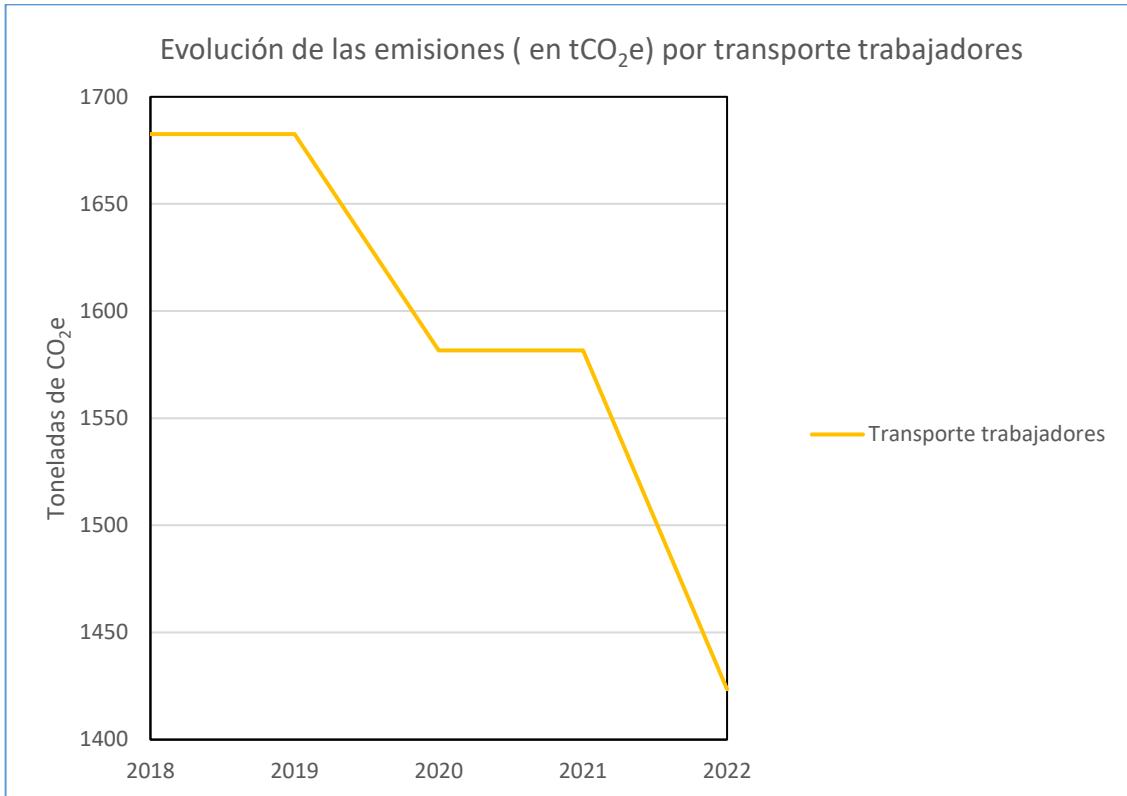
A la vista de los resultados, se observa en las siguientes gráficas la evolución de la huella de carbono estimada a medida que se vayan cumpliendo los objetivos del plan de mejora. En las figuras 17-20 se observa la evolución del plan de mejora a lo largo de los años:

Figura 17. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado a las turbinas de gas.



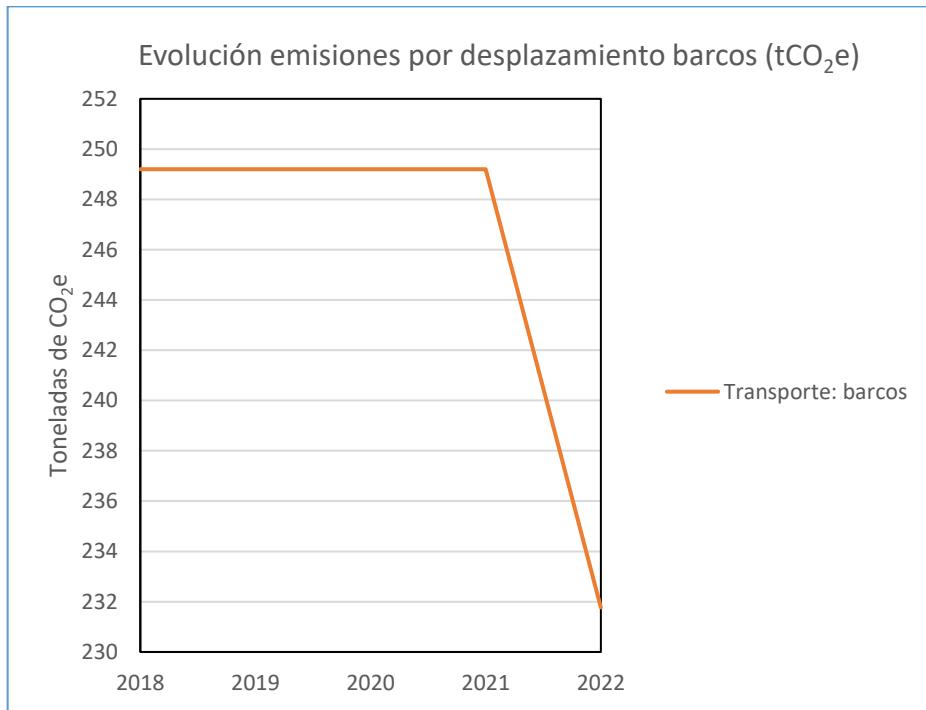
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado al desplazamiento de los trabajadores.



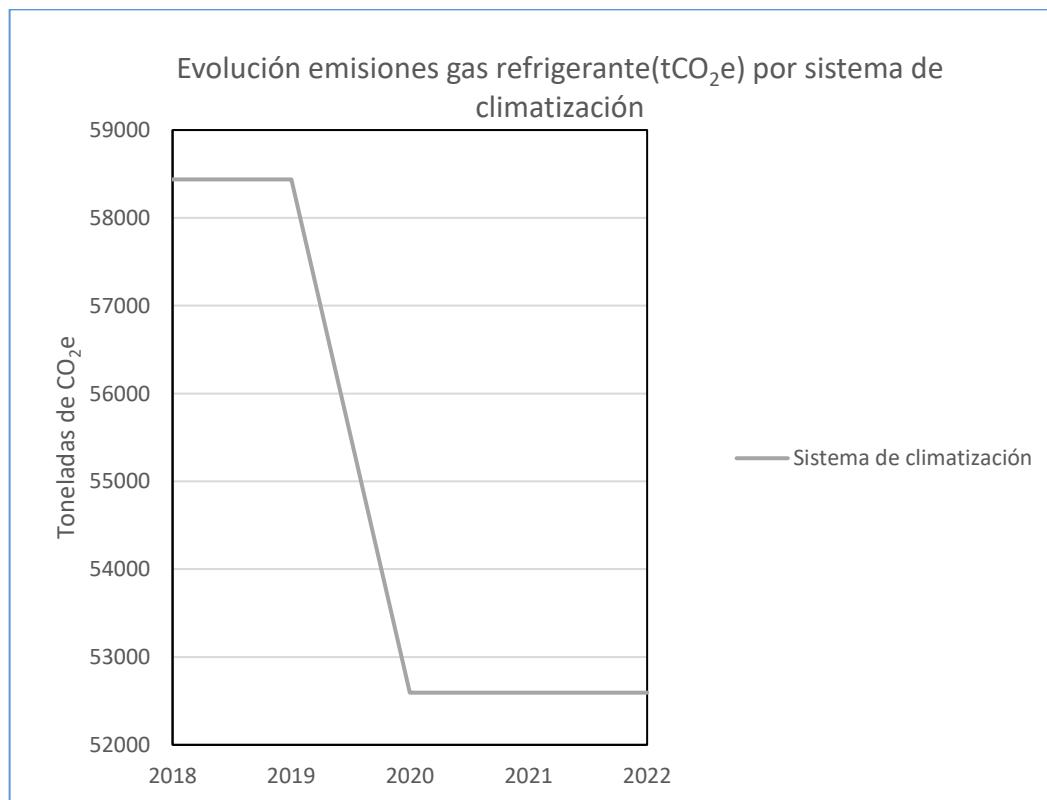
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado al desplazamiento de los barcos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Gráfico de la evolución del plan de mejora aplicado al sistema de climatización.



Fuente: elaboración propia.

De las figuras 17-20 se observa la tendencia descendente en cuanto a las emisiones de CO₂, tras aplicar las medidas del plan de mejora a corto plazo. A continuación, se describe el plan de mejora a medio-largo plazo.

8.2. Plan de mejora a medio-largo plazo

En el apartado anterior se han presentado una serie de medidas a corto plazo (<4 años), pero como ya se ha mencionado en la introducción de este capítulo, en este trabajo también se presentan estrategias de mejora para cumplir durante periodos de tiempo prolongados. Normalmente, este tipo de estrategias a medio-largo plazo, son estrategias que requieren de una mayor inversión económica por su propia complejidad de recursos y tecnologías innovadoras, lo cual implica que su implantación y observación de resultados conlleva un mayor periodo de tiempo.

Actualmente, son varios los ámbitos en los que el sector de la refinería se centra para la reducción de las emisiones de CO₂ derivadas de su actividad como se puede leer en el informe Estrategia para la evolución hacia los ecocombustibles (AOP, 2019). Entre ellos, a destacar la eficiencia energética, el uso de fuentes de energía bajas en carbono, técnicas de captura y almacenamiento de CO₂ para su posterior uso y la incorporación de materias primas no tan densas en CO₂ que permitan la obtención de ecocombustibles.

A continuación, se detallan cada una de estas estrategias más a largo plazo, y se estima el porcentaje de reducción de emisiones que supondría su aplicación:

- Hidrógeno (H₂) verde: consiste en producir hidrógeno mediante la reacción de agua y electricidad procedente de fuentes renovables. Esta técnica, además de suponer una reducción de emisiones de CO₂, será de utilidad para el desarrollo de uno de los tipos de ecocombustibles como son los combustibles sintéticos o “e-fuels”. Se estima que la aplicación de este tipo de tecnologías podría suponer hasta un 14% de reducción de las emisiones totales en un periodo de 10 años.

Recientemente, la empresa Repsol ha anunciado junto a Enagás, el desarrollo de una tecnología para la producción de hidrógeno renovable a partir de sólo agua y energía solar, denominado fotoelectrocatalisis. Hasta ahora, era la electrólisis la técnica utilizada para producir hidrógeno renovable, que requiere de un electrolizador para

separar la molécula de agua en oxígeno e hidrógeno. Sin embargo, con la fotoelectrocatalisis, el dispositivo recibe la radiación solar y es mediante un material fotoactivo que directamente hace que se separen las moléculas de agua (Repsol, s.f.).

- Captura, almacenamiento y uso de CO₂: en las refinerías actualmente como técnica de absorción se emplean las aminas, las cuales ya se encuentran en las unidades de aminas tradicionales de las refinerías, de manera que no habría que invertir en el estudio de implantación de otras materias o reactivos. Esta técnica es la que más desarrollo en las refinerías presenta, desde que en el sector se comenzara a implantar rutas para la eficiencia energética. Luego el CO₂ generado se transporta y almacena en yacimientos. Pero, además, permite su uso como materia prima para obtener desde polímeros, cementos o ecocombustibles, entre otros. (AOP, 2019). Se estima un porcentaje de reducción de emisiones de en torno al 20%.

Dado que la principal actividad de la refinería es el procesado del crudo para la obtención de combustibles para el sector transporte, la aplicación de esta estrategia de emplear materias primas con una baja concentración de CO₂ resulta de gran interés pues abre una vía para obtener combustibles de manera que su impacto a nivel de contaminación sea el mínimo posible.

Dentro de los ecocombustibles, destacan los combustibles de tipo sintético o “e-fuels”. Estos se obtienen a partir de una primera etapa de la combinación del CO₂ capturado y el H₂ verde. De esta reacción se obtiene un gas de síntesis que mediante una segunda etapa denominada Fischer-Tropsch (FT), permite la obtención de los correspondientes hidrocarburos.

Una manera eficiente de las refinerías de producción de estos combustibles consiste en el uso de las propias emisiones de CO₂ para llevar a cabo el proceso FT.

Por otro lado, se encuentran los biocombustibles avanzados, los cuales se basan en el uso de materias primas de origen biológico que, mediante diferentes procesos, véase pirólisis, hidrotratamiento, entre otros. Estos procesos permiten obtener biocombustibles cuya integración en el esquema de producción de las refinerías resulta viable. Hay que señalar que se encuentran otros tipos de combustibles bajos en carbono, como aquellos producidos a partir de residuos urbanos o plásticos (AOP, 2019).

Figura 21. Esquema de las nuevas rutas para la eficiencia energética en el sector de las refinerías.



Fuente: AOP,s.f.

En la figura 21 se observa de manera esquematizada las diferentes vías para hacer del sector del refino un sector con el máximo grado posible de eficiencia energética. En un principio existía una única ruta, con el crudo como entrada y una amplia gama de productos, principalmente combustibles, como salidas. Sin embargo, en la figura se observa la evolución del sector de manera que se van introduciendo nuevas entradas además del crudo, obteniendo a través de técnicas cada vez con mayor carácter de eficiencia energética, productos con baja composición en carbono. En definitiva, rutas con huellas de carbono cada vez menores.

A continuación, en el capítulo 9 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la huella de carbono de la organización.

9. Resultados

En este apartado de resultados se analizan los resultados del estudio realizado del cálculo de la huella de Carbono dentro de los límites establecidos de la refinería, según los criterios fijados en la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019. Para el estudio se estableció como año base de cálculo el 2018.

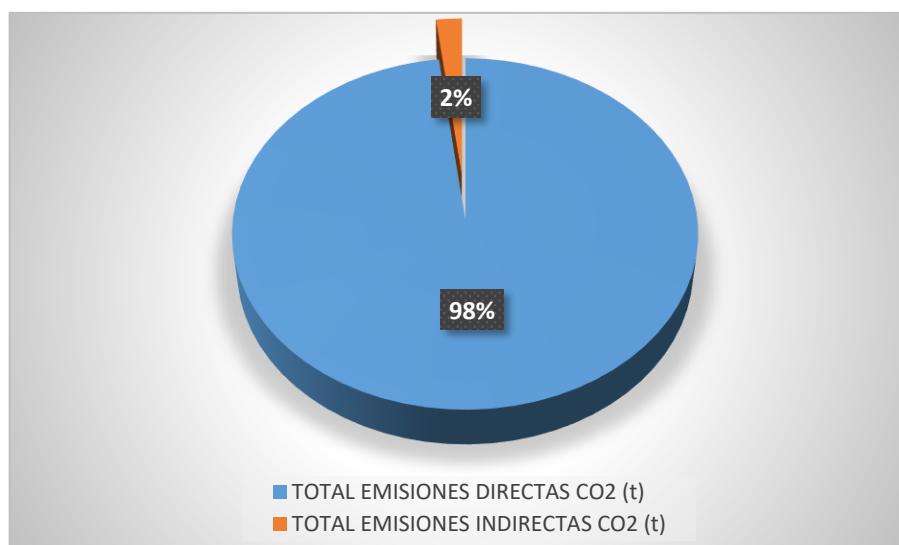
Tabla 14. Resultados de huella de Carbono de la organización según UNE-EN ISO 14064-1:2019

EMISIONES	EMISIONES TOTALES (tCO ₂ e)
DIRECTAS	3.280.204,93
INDIRECTAS	65657,03
TOTALES (DIRECTAS E INDIRECTAS)	3.345.861,96

Fuente: elaboración propia

En la figura 22 se observa cómo el 98% de las emisiones del alcance evaluado proceden de las emisiones directas. Este resultado era esperado, dado que las actividades directas de la refinería son las actividades que mayores emisiones producen, además de ser las que más datos de actividad se disponen. El restante 2% corresponden a las emisiones indirectas.

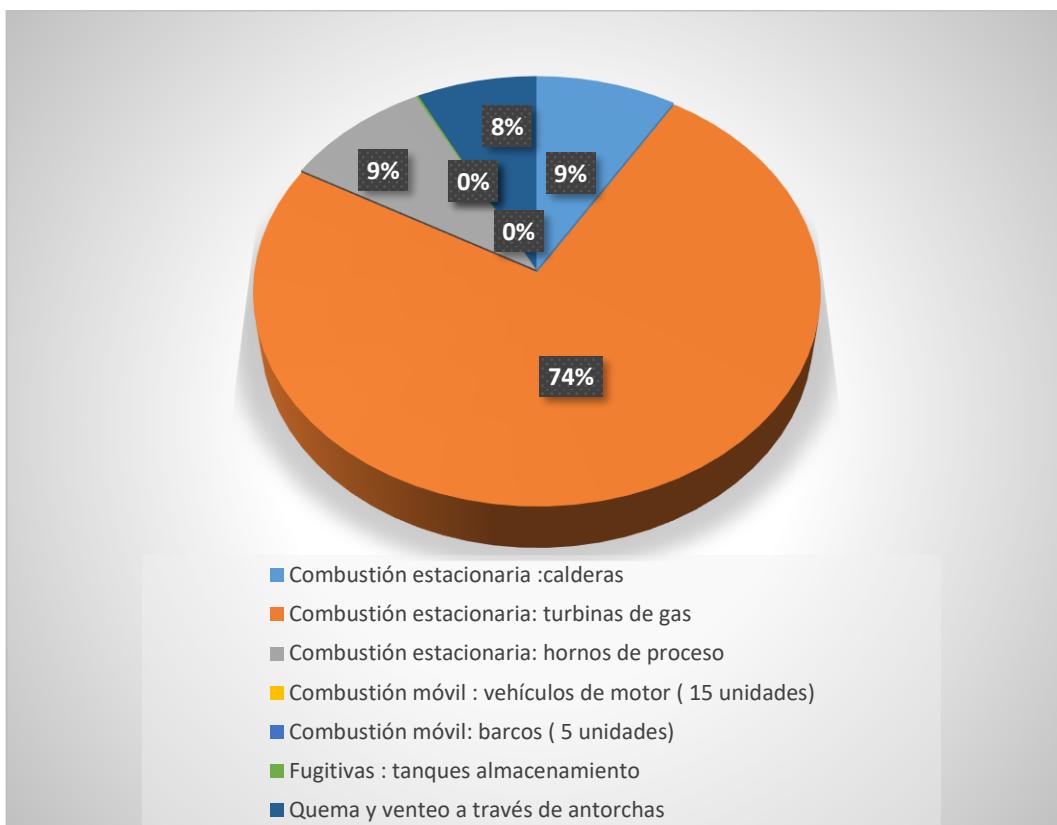
Figura 22. Distribución en porcentaje de las emisiones directas e indirectas.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 23 se observa cómo de manera mayoritaria, en concreto, el 74% de las emisiones directas corresponden a procesos de combustión estacionaria derivados de las turbinas de gas, seguido de los procesos de combustión estacionaria de calderas y hornos de procesos. Estos resultados corroboran que la mayor parte de emisiones proceden del procesado del crudo en la planta petroquímica.

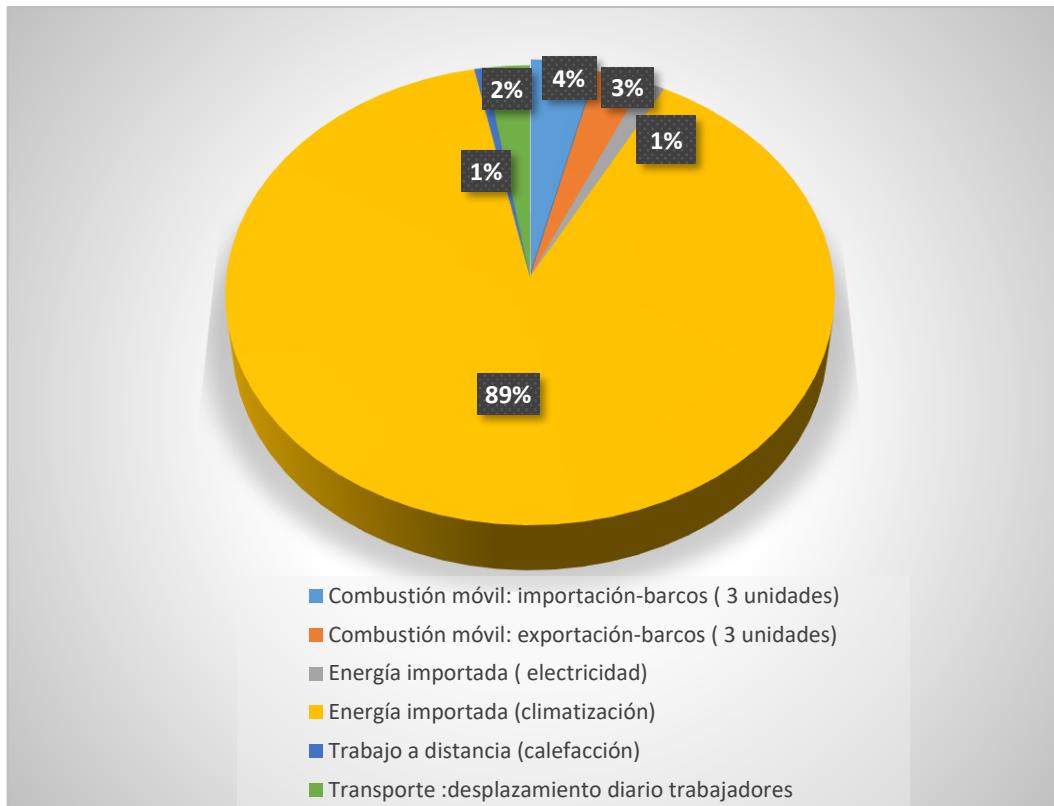
Figura 23. Distribución de las emisiones directas de la refinería.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la figura 24 se observa claramente que el principal foco emisor, en el alcance de emisiones indirectas evaluadas, corresponde con los sistemas de climatización de oficinas y salas de control. El motivo de este resultado deriva del hecho de que el gas refrigerante que se emplea, el denominado R-404 A, tiene un valor elevado de Potencial de Calentamiento Global (PCG).

Figura 24. Distribución de las emisiones indirectas de la refinería.



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, una vez calculada la huella de carbono, se procede al cálculo de los ratios de emisión para el año 2018.

A continuación, se indican los cálculos para cada ratio.

$t\ CO_2/capital\ empleado$

$t\ CO_2/ventas\ productos$

$t\ CO_2/producción\ total$

$t\ CO_2/exportaciones$

$t\ CO_2/trabajadores$

Dado que se trata de un caso ficticio, se recogen datos publicados por la refinería Petronor sobre su Informe Anual del año 2017. En concreto, en la tabla 15 se recogen los datos tomados de esta fuente para el posterior cálculo de los ratios, cuyos resultados se observan en la tabla 16.

Tabla 15. **Datos para el cálculo de los ratios de emisión.**

Capital empleado (Millones de €)	1.353,80
Ventas productos (miles de toneladas)	10.959
Producción total (toneladas)	10.354.819
Exportación total (toneladas)	4.007.342
Número de trabajadores	1.035

Fuente: Petronor,2017.

En la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes ratios, calculados a partir de los datos de la tabla 15.

Tabla 16. *Valores de ratios calculados para la refinería.*

RATIOS	VALOR
tCO ₂ e/ Millones €	2.471,4
tCO ₂ e / miles toneladas ventas	305,3
tCO ₂ e / toneladas producción	0,32
tCO ₂ e / toneladas exportación	0,83
tCO ₂ e/ trabajadores	3.232,7

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en los resultados de la Tabla 16, se obtiene el mayor valor de ratio de tCO₂e/ Millones €, con un valor de 2.471,4. Igualmente, se observa que el menor ratio es de 0,83, correspondiente a tCO₂e/ toneladas producción. El estudio de la evolución de estos valores tras la aplicación de un plan de mejora es importante ya que permite analizar el estado de consecución de dicho plan, además de tratarse de indicadores con valor para los informes de seguimiento de la actividad de la organización.

10. Conclusiones

En el desarrollo de este proyecto se ha abordado la problemática medioambiental desde la perspectiva del cálculo de la huella de carbono de una organización o, en este caso concreto, de una refinería.

Se ha realizado una descripción de los procesos de la refinería, a la vez que se han clasificado dichas actividades en función del tipo de emisiones: directas o indirectas. Del total de actividades, se han desestimado aquellas no significativas tras un proceso de evaluación utilizando diferentes criterios. Esto junto con la recopilación de los datos de actividad y factores de emisión correspondientes, ha permitido el cálculo de la huella de carbono, a nivel global de la organización, así como de las emisiones directas e indirectas, respectivamente.

Del total de emisiones, como suma de las directas e indirectas, se ha obtenido que el 98% proceden de las emisiones directas, las cuales a su vez corresponden con las actividades que más emisiones generan, además de ser de las que más información se dispone en cuanto a datos de actividad. En concreto, las actividades de mayor aporte a la huella de carbono se corresponden con los procesos de combustión estacionaria, esto es, los procesos que se relacionan en mayor medida con el procesado del crudo. Por otro lado, en cuanto a las emisiones indirectas, son los equipos de climatización los de mayor contribución a la huella de carbono.

A continuación, se revisan los objetivos específicos trabajados a lo largo del proyecto, con el fin de alcanzar el objetivo principal (Capítulo 3), que ha sido calcular la huella de carbono de la refinería como vía para diseñar un plan de mejora a 4 años que permita reducir el impacto en el medio ambiente de este tipo de actividades.

Identificar las fuentes generadoras de GEI directas e indirectas en el alcance planteado de una refinería

Se ha realizado un estudio de la actividad de la refinería, desde la importación del crudo a la refinería, hasta la obtención de los distintos productos derivados de su refinado.

Se ha hecho una identificación y clasificación de emisiones directas e indirectas derivadas de las actividades descritas. Se han descrito un mayor número de fuentes generadoras de GEI directas, lo cual resulta lógico ya que interesa sobre todo conocer el impacto ambiental de la

actividad que controla directamente la organización. Ya que, al tener mayor control, resultará más sencillo poder luego aplicar medidas de mejora sobre dichas actividades. En el caso de las emisiones indirectas, se han tenido en cuenta aquellas con mayor impacto ambiental.

Cuantificar las emisiones de esas fuentes identificadas dentro del alcance y convertir en emisiones de CO₂ equivalente para calcular el indicador de HC según norma ISO 14064-1.

Como primer paso para el cálculo de la HC, se ha estimado el dato de actividad de cada una de las emisiones, que junto con el correspondiente factor de emisión o PCG, ha dado lugar a la obtención de la HC de, las emisiones directas e indirectas por separado, así como de la organización al completo, como suma de las emisiones directas e indirectas.

Se concluye que las emisiones directas presentan un 98% del total de las emisiones de la refinería, y en concreto, las emisiones que derivan del uso de las turbinas de gas en las actividades de combustión estacionaria. En cuanto a las emisiones indirectas, se concluye que el 74% corresponde a los equipos de climatización.

Establecer un plan de reducción de las emisiones de GEI, y cuantificar de forma específica las diferentes medidas propuestas.

El plan de mejora diseñado a 4 años se ha centrado en la reducción del impacto ambiental que deriva de los procesos de combustión estacionaria (turbinas de gas), el transporte (emisiones directas e indirectas), y los sistemas de climatización.

Se concluye que para el año 2022, se obtendrá una reducción de un 12% en combustión estacionaria; un 7% en el transporte del crudo mediante los barcos de la refinería, hasta los oleoductos; un 10% de reducción en el transporte diario de los trabajadores; y un 10% en los equipos de climatización. En conclusión, se podrán reducir las emisiones de CO₂ de la refinería hasta un 19% en cuanto a las emisiones directas, y un 26% en las emisiones indirectas.

De esta manera, en el 2022 se podrá concluir el cumplimiento o no del plan, si bien es cierto que anualmente se procede al cálculo de la huella de carbono y servirá como medida de seguimiento de los objetivos marcados.

Crear un proceso o sistemático de medición confiable que permitan extrapolar estos cálculos realizados a otros años y/o otras organizaciones similares.

Mediante el proceso desarrollado para el cálculo de la HC, se concluye que la metodología se puede aplicar a cualquier otra organización. Para ello los puntos clave son por un lado, el acceso a la información respectiva a los datos de actividad, así como una correcta identificación de las emisiones directas e indirectas dentro del alcance establecido.

La HC se convierte en una herramienta eficaz a la hora de estudiar la evolución de un plan de mejora, permitiendo comparar los niveles de emisiones de un año a otro.

A continuación, se comprueban las hipótesis planteadas al comienzo del proyecto. Se comprobó el no cumplimiento de la hipótesis inicial de que una de las principales fuentes emisoras de la refinería son las procedentes de los tanques de almacenamiento, que apenas suponen un 1% del total de las emisiones directas. De hecho, son las emisiones directas derivadas de los procesos de combustión estacionaria las principales fuentes emisoras. De esta manera se corrobora el cumplimiento de la segunda hipótesis.

Con respecto a la última hipótesis de este trabajo, sobre si el plan de mejora diseñado supone una reducción mínima de un 15% en las emisiones de CO₂, se concluye que se cumple y de hecho se supera este porcentaje mínimo. Se ha obtenido una reducción de las emisiones directas e indirectas de un 12 y 26%, respectivamente.

Por último, se proponen algunas ideas sobre posibles líneas futuras de trabajo:

- Mejora del acceso a la información correspondiente a los datos de actividad de las organizaciones. Se ha comprobado la utilidad de conocer la HC de una organización, como indicador de las emisiones de GEI. Por ello, una mayor accesibilidad a los detalles de las actividades a través de informes de la organización, puede facilitar este cálculo y acelerar el desarrollo de planes para reducir estas emisiones.
- Investigación en procesos de menor impacto ambiental para el refinado del crudo: se ha demostrado en el proyecto que la principal fuente de emisiones de la refinería con los procesos de combustión estacionaria. Luego una futura línea dedicada al desarrollo de tecnologías de refinado mediante el empleo de energías renovables, supondría un gran avance en el sector.

Referencias bibliográficas

Al-Jamimi, H. A., BinMakhshen, G. M., Deb, K. y Saleh, T. A. (2021, marzo 15). Multiobjective optimization and analysis of petroleum refinery catalytic processes: A review. *Fuel*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119678>

Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP). (2019, octubre). *Estrategia para la evolución hacia los ecocombustibles*. https://www.aop.es/wp-content/uploads/2019/11/Estrategia-para-la-evolucion-hacia-los-ecocombustible_WEB_v3.pdf

Black, R. (2013, septiembre 26). Las cicatrices del calentamiento global desde la Revolución Industrial. *BBC News*. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/09/130926_ciencia_historia_cambio_climatico_np

Carballo-Penela, A. (2010). Utilidad de la huella ecológica y del carbono en el ámbito de la responsabilidad social corporativa (RSC) y el ecoetiquetado de bienes y servicios. *Desarrollo Local Sostenible (DELOS)*, 3(8). [file:///C:/Users/eliss/Downloads/Dialnet-UtilidadDeLaHuellaEcologicaYDelCarbonoEnElAmbitoDe-3240494%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/eliss/Downloads/Dialnet-UtilidadDeLaHuellaEcologicaYDelCarbonoEnElAmbitoDe-3240494%20(2).pdf)

Carretero-Peña, A. (2007). *Aspectos ambientales. Identificación y evaluación*. <http://www.recaiecuador.com/Descargacursogestionambiental/Aspectos%20ambientales.pdf>

Cortés del Pino, A. (2014, abril). *Proceso de refino del petróleo para la obtención de combustibles marinos*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21742/PROYECTO%20FINAL%20D>

[E%20CARRERA%20ETN%20ADRIA%20CORTES%20DEL%20PINO.pdf?sequence=7&isAllowed=y](#)

Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Gobierno Vasco. IHOBE (2007). *Guía para el desarrollo de la norma de Ecodiseño UNE 150301:2003 (base de ISO 14006). Evaluación de Aspectos Ambientales de producto.*
[https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/une150301/es_def/adjuntos/PUB-2004-038-f-C-001_UNE%20CAST.pdf](#)

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. y Mekonnen, M.M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard.*
[https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf](#)

Jackson, P. (S.f.). *De Estocolmo a Kyoto: Breve historia del cambio climático.* Crónica ONU.
[https://www.un.org/es/chronicle/article/de-estocolmo-kyotobreve-historia-del-cambio-climatico](#)

Karl, T.R., Melillo, J.M. y Peterson, T.C. (2009). *Global Climate Change Impacts in the United States.* Cambridge University Press.
[https://downloads.globalchange.gov/usimpacts/pdfs/climate-impacts-report.pdf](#)

Larraz, R. (2019, agosto). *A brief history of Oil Refining.*
[file:///C:/Users/eliss/Downloads/RefiningHistoryRev21.pdf](#)

Martínez-Vergara, M. (s.f.). *El cálculo de la huella de carbono y cómo generar un valor añadido en tu bodega desde el punto de vista ambiental.*
[http://www.innovarioja.tv/docs/1932/Maribel-Mart%C3%ADnez.pdf](#)

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)(S.f.). *Qué es el cambio climático.* <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>

Ministerio para la Transición Ecológica. (2016). *Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización.* https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia-huella-carbono_tcm30-479093.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica. (2019, abril). *Factores de Emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono.* https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores-emision_tcm30-479095.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021, marzo). *Informe de Inventario Nacional. Gases de efecto invernadero.* https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es-2021-nir_tcm30-523942.pdf

Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.* <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Naciones Unidas. (2020, septiembre 9). *El cambio climático avanza implacablemente a pesar de la pandemia COVID-19, advierten los científicos.* <https://news.un.org/es/story/2020/09/1480142>

Naciones Unidas (2015, octubre 21). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.* Asamblea General. 70/1. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

NASA. (S.f.). *Global Climate Change.* <https://climate.nasa.gov/>

Página de Google Maps (<https://www.google.es/maps>)

Página de AOP (<https://www.aop.es/transicion-energetica/>)

Petronor. (2008, marzo). *Proyecto: Nuevas unidades para reducir la producción de fuel-oil. Proyecto Técnico y Estudio de Impacto Ambiental.* (Rev.1)https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/esia_urf_petronor/es_doc/adjuntos/esia_urf.pdf

Petronor (2017). *Un doble reto. La eficiencia y diseñar la Petronor del futuro* (Informe anual). <https://petronor.eus/wp-content/uploads/2018/07/memoria-2017-es.pdf>

Power Porto, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Ingeniería industrial*, 27, 101-122. <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493007.pdf>

Refino España (2011). *Informe de Gases de Efecto Invernadero.* https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Refino_Espana_tcm13-51983.pdf

Refino España (2011). *Informe de Gases de Efecto Invernadero.* https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Refino_Espana_tcm13-51983.pdf

Reglamento (UE) Nº 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 842/2006. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 150, de 20 de mayo de 2014, 195-230.
<https://www.boe.es/doue/2014/150/L00195-00230.pdf>

Repsol YPF (2002). *El petróleo. El recorrido de la energía.* <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>

UNE-EN ISO 14064-1. Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. *Norma Española, de octubre de 2019.*

Wackernagel, M. y Rees, W. (1962). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth.* New Society Publishers.
http://w.tboake.com/2013/EF_Reading_Assignment_1of2.pdf

Water Footprint Network. (S.f.). *Manual para la evaluación de la huella hídrica.*
<https://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>

Wiedmann, T. y Minx, J. (2008). A definition of Carbon Footprint. *Ecological Economics Research Trends.* (1-11). Nova Science.,
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.467.6821&rep=rep1&type=df>

World Resources Institute. (S.f.). *The Greenhouse Gas Protocol.*
<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

World Wildlife Fund (WWF). (S.f.). *Día de la Sobrekapacidad de la Tierra.*
https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/informe_planeta_vivo_ipv/huella_ecologica/dia_de_la_sobrekapacidad_de_la_tierra/

Zabala, V. (2008, febrero 1). *Con el cambio climático: un futuro con más sol y peor piel.* El Economista. <https://www.eleconomista.es/generales/noticias/355570/02/08/Con-el-cambio-climatico-un-futuro-con-mas-sol-y-peor-piel-.html>

Bibliografía

Departamento de Desarrollo económico, sostenibilidad y medio ambiente. Gobierno Vasco (2019). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del País Vasco.* <file:///C:/Users/eliss/Downloads/Inventario%20de%20Gases%20de%20Efecto%20Invernadero%20de%20Euskadi%202019.%20Informe%20Completo.pdf>

Espinoza-Eche, J.J. (2003). Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 6 (11), 20-31. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v6i11.746>

Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006). AENOR, 2006.

Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. (ISO 14044:2006). AENOR, 2006.

Greenhouse Gas Protocol (2014). *Global Warming Potential Values.* https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%202016%202016%29_1.pdf

ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. *Asociación Española de Normalización y Certificación*, 2015, Madrid: AENOR.

Myhre, G., Shindell, F. M., Bréon, W., Collins, J., Fuglestvedt, J., Huang, D., Koch, J.F., Lamarque, D., Lee, B., Mendoza, T., Nakajima, A., Robock, G., Stephens, T., Zhang, T. y Zhang, H. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative forcing. *Cambridge University Press.* https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. *Boletín Oficial del Estado*. núm. 77, de 29 de marzo de 2014, 27437-27452.
<https://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3379.pdf>

Repsol. (S.f.). *10 años de investigación en Respol Technology Lab. Fotoelectrocatalisis.* [Infografía].
https://www.repsol.com/imagenes/infografias/global/prensa/news/47/articulos_es.pdf