

Proyecto Fin de Máster

Máster en Ingeniería Industrial

Huella de carbono del basculante de la motocicleta del equipo USRacing de la Universidad de Sevilla

Autor: Enrique Casado Manzano

Tutora: Rocío González Falcón

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Huella de carbono del basculante de la motocicleta del equipo USRacing de la Universidad de Sevilla

Autor:
Enrique Casado Manzano

Tutora:
Rocío González Falcón

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Proyecto Fin de Máster: Huella de carbono del basculante de la motocicleta del equipo USRacing de la
Universidad de Sevilla

Autor: Enrique Casado Manzano

Tutor: Rocío González Falcón

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

como todo lo que hago.

Lealtad y sacrificio.

Agradecimientos

Este Trabajo de Fin de Máster está dedicado especialmente a mis padres, por su infinita y muchas veces inmerecida paciencia y cariño.

Quisiera mostrar también mi gratitud a Rocío González Falcón, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su tutelaje y a la vez dotarme de libertad para darle forma con autonomía y de manera autodidacta.

Asimismo, agradecer a todo el equipo USRacing Engineering de la Universidad de Sevilla.

A mis amigos y compañeros que me han acompañado y que de una manera u otra han aportado su granito de arena para que este trabajo se termine.

A Inés, por apostar por crecer juntos.

A todos los que conformáis mi familia, muchas gracias.

Enrique Casado Manzano

Sevilla, 2020

El estudio medioambiental hoy en día adquiere remarcable relevancia tanto a nivel investigador por parte de entidades gubernamentales internacionales como a nivel industrial por parte de las empresas. Diversas organizaciones invierten tiempo y capital en conocer su contribución al calentamiento global a través del cálculo de la huella de carbono de sus productos y procesos.

Este proyecto pretende con el mismo fin estimar la huella de carbono del basculante de la motocicleta del equipo USRacing Engineering de la Universidad de Sevilla.

Primeramente, se dedica un espacio a conocer la evolución de las temperaturas y el aumento de emisiones desde los últimos cincuenta años del siglo XX, recalando cuál ha sido y es el papel del sector tecnológico en este ámbito. Tras conocer esta situación y definir los principales gases de efecto invernadero que intervienen en este calentamiento, el trabajo prosigue con el concepto de la huella de carbono y las principales metodologías en las que están basados la mayoría de los estudios científicos y académicos relacionados.

Finalmente, se calcula siguiendo la norma UNE-EN ISO 14067 la huella de carbono parcial del basculante para la fase de diseño, fabricación y transporte de su ciclo de vida.

Nowadays, environmental studies are of great importance both at the research level for international governmental entities and at the industrial level for companies. Several organizations invest time and resources in knowing their contribution to global warming through the calculation of the carbon footprint of their products and processes.

This project aims to estimate the carbon footprint of the motorcycle swinging arm of the USRacing Engineering team at the University of Seville.

Firstly, a chapter is dedicated to understanding the evolution of temperatures and the increase of emissions since the last fifty years of the 20th century, emphasizing the role of the technology sector in this area. After learning about this situation and defining the main greenhouse gases involved in this warming, the work continues with the concept of the carbon footprint and the main methodologies on which most of the related scientific and academic studies are based.

Finally, the partial carbon footprint of the swinging arm is calculated according to the UNE-EN ISO 14067 standard for the design, manufacturing and transport phases of its life cycle.

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
NOTACIÓN	XIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS, MOTIVACIÓN Y DIFICULTADES	1
1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO	2
2 CONTEXTO HISTÓRICO	5
2.1 MARCO HISTÓRICO INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO	6
2.2 IMPORTANCIA DEL SECTOR TECNOLÓGICO PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO	12
3 ANTECEDENTES	21
3.1 PREOCUPACIÓN POR LA TIERRA	21
3.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO	28
3.2.1 <i>Qué son</i>	28
3.2.2 <i>Vapor de agua</i>	29
3.2.3 <i>Dióxido de carbono</i>	29
3.2.4 <i>Óxido nitroso</i>	30
3.2.5 <i>Metano</i>	30
3.2.6 <i>Ozono</i>	30
3.2.7 <i>Halocarbonos</i>	30
3.3 DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE	31
4 ACERCAMIENTOS AL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	35
4.1 HUELLA DE CARBONO	35
4.2 PRINCIPALES ENFOQUES	37
4.3 MÉTODOS ACTUALES	41
4.3.1 <i>GHG Protocol</i>	41
4.3.2 <i>Bilan Carbone</i>	42
4.3.3 <i>ISO 14064</i>	42

4.3.4	MC3.....	43
4.3.5	PAS 2050	44
4.3.6	ISO 14067.....	45
4.4	COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS	48
5	CASO PRÁCTICO	51
5.1	INTRODUCCIÓN	51
5.2	MÉTODO ESCOGIDO.....	52
5.3	DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE	53
5.4	ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA.....	55
5.5	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL CHASIS	59
5.6	INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA.....	61
6	CONCLUSIONES	67
7	TRABAJOS FUTUROS.....	69
8	ANEXOS.....	71
A.	FACTOR DE EMISIÓN PARA EL CONSUMO DE AGUA	71
B.	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS EN EL PROCESO DE SOLDADURA	71
C.	CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y FACTOR DE EMISIÓN ASOCIADO	73
D.	COMPARACIÓN DEL ALUMINIO 6062 T6 CON OTROS MATERIALES.....	73
	ÍNDICE DE CONCEPTOS	79
	GLOSARIO.....	83
	REFERENCIAS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Metodología escogida por distintas empresas en sus informes de sostenibilidad y medio ambiente.	28
Tabla 4-1: Principales métodos de estudio de la huella de carbono.	41
Tabla 5-1: Datos recopilados sobre la fase de diseño del basculante.	55
Tabla 5-2: Datos recopilados sobre las piezas de partida para la fabricación del basculante.	56
Tabla 5-3: Datos recopilados sobre el corte por chorro de agua.	56
Tabla 5-4: Datos recopilados sobre las etapas del mecanizado del basculante.	57
Tabla 5-5: Datos recopilados sobre la soldadura del basculante.	58
Tabla 5-6: Datos recopilados sobre la fase de transporte del basculante.	58
Tabla 5-7: Datos recopilados sobre el gasto de luz y agua en la fase de ensamblaje del basculante.	59
Tabla 5-8: Factores de emisión de las actividades que forman parte del ciclo de vida del basculante.	60
Tabla 5-9: Cálculo del dióxido de carbono equivalente por actividad del ciclo de vida del basculante.	61
Tabla 5-10: Cálculo del dióxido de carbono equivalente del basculante incluyendo la fase de obtención de materia prima.	64
Tabla 6-1: Comparación de la huella de carbono del basculante de USRacing con la de una motocicleta real.	68
Tabla 8-1: Datos recopilados para el factor de emisión por consumo de agua.	71
Tabla 8-2: Datos de las fichas técnicas de las máquinas de soldadura para calcular la potencia de trabajo con aluminio.	72
Tabla 8-3: Consumo medio de los principales modelos de transporte ligero en España.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: “Comparación entre las simulaciones y las observaciones del aumento de temperatura desde el año 1860” (IPCC 2001).	8
Figura 2-2: “Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del hemisferio norte” (IPCC 2007a).	9
Figura 2-3: “Pauta geográfica del calentamiento en superficie” (IPCC 2007a).	10
Figura 2-4: “Cambio de la temperatura global observado y respuestas de los modelos a las trayectorias de las emisiones antropógenas y del forzamiento” (IPCC 2018d).	11
Figura 2-5: “Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico” (IPCC 2014).	17
Figura 2-6: “Cuota de empleo en las industrias de gran consumo de energía y fabricación de vehículos” (Comisión Europea 2018).	19
Figura 3-1: Evolución de la temperatura superficial media mundial (IPCC 2018c).	22
Figura 3-2: “Trayectorias estilizadas de las emisiones globales netas de CO ₂ ” (izquierda) y “Trayectorias del forzamiento radiativo distinto del CO ₂ ” (derecha) (IPCC 2018d).	23
Figura 3-3: “Impactos y riesgos asociados a los motivos de preocupación” (IPCC 2018d).	23
Figura 3-4: Proyección de las emisiones directas de CO ₂ en el sector industrial (IPCC 2018c).	25
Figura 3-5: “Emisiones directas de CO ₂ por el sector industrial y proyección para un planteamiento sostenible” (IEA 2019).	26
Figura 3-6: Concentraciones de los distintos gases de efecto invernadero (IPCC 2007b).	31
Figura 4-1: Análisis bottom-up y top-down respectivamente. Diagrama adaptado (Espíndola y Valderrama 2012a).	38
Figura 4-2: Descripción del enfoque top-down. Figura adaptada (Espíndola y Valderrama 2012a).	39
Figura 4-3: Descripción del enfoque bottom-up. Figura adaptada (Espíndola y Valderrama 2012a).	39
Figura 4-4: Método AbaniCO ₂ . Figura adaptada (Espíndola y Valderrama 2016).	40
Figura 4-5: Relación entre los distintos estándares del GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol Team 2011)	42
Figura 4-6: Diagrama relacional entre las normas ISO que estudian la huella de carbono, la emisión y gestión de GEI (UNE 2019d).	43

Figura 5-1: Diseño de un basculante de doble brazo de una motocicleta.	53
Figura 5-2: Diseño del basculante para la edición 2020 del equipo USRacing Engineering.	53
Figura 5-3: Diagrama del ciclo de vida del basculante hasta el final de su fabricación y delimitación del alcance de estudio.	54
Figura 5-4: Reparto proporcional de la huella de carbono parcial del basculante según cada fase del ciclo de vida.	62
Figura 5-5: Reparto proporcional de la huella de carbono del basculante según las fases del ciclo de vida incluyendo la obtención de materia prima.	65
Figura 8-1: Curva de potencia en las máquinas de soldadura (Maureira González 2007).	72
Figura 8-2: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales en la obtención de materia prima.	74
Figura 8-3: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales en un mecanizado basto.	75
Figura 8-4: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales en un mecanizado fino.	76
Figura 8-5: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales según densidad y límite elástico.	77

Notación

A	Amperio
equiv.	Equivalente
GtC yr-1	Giga toneladas de Carbono anuales
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
l	Litro
m ³	Metro cúbico
°C	Centígrado
ppm	Partes por millón
V	Voltio
W	Vatio

1 INTRODUCCIÓN

Con este trabajo se aspira a finalizar el Máster en Ingeniería Industrial por parte del alumno tras dos años de gran dedicación. Es un proyecto que abarca desde una amplia perspectiva el actual tema del medio ambiente conscientes de la necesidad de generar en la Universidad de Sevilla la idea de una transición tecnológica hacia una sociedad baja en carbono con el fin de mejorar la salud de la sociedad, como de los ecosistemas y la Tierra en su conjunto.

Se incluye un caso práctico en el que se calcula la huella de carbono del chasis de la motocicleta del equipo USRacing con el fin de proporcionar un ejemplo real y cercano que muestre la importancia que tiene el sector tecnológico y los procesos de fabricación como emisores de gases de efecto invernadero.

Por último, se pasará a analizar las conclusiones no solo del caso práctico sino de todo el proyecto, valorando la situación ecológica actual, la importancia que adquieren los estudios universitarios e investigadores relacionados con el calentamiento global y la eficiencia energética.

1.1 Objetivos, motivación y dificultades

Este proyecto se plantea fundamentalmente con el objetivo de crear una base para el cálculo de la huella de carbono y las pérdidas energéticas que se producen en el diseño, fabricación y ensamblaje de la motocicleta del equipo USRacing de la Universidad de Sevilla. Con motivo de esto, el trabajo se centrará en un elemento en particular de la motocicleta, el basculante.

Además, se propondrán mejoras a nivel de materiales y técnicas a utilizar en el caso de que fuera posible la implantación para un equipo de Motostudent.

Para lograr estos objetivos, el proyecto se fundamentará en los propios documentos del equipo USRacing, en los que se detallan los procedimientos para la fabricación de la motocicleta, en las normas de gestión medioambiental que actualmente empresas y organizaciones utilizan, informes sobre la contaminación y gases de efecto invernadero y otra bibliografía académica y de investigación relacionada con estudios de la huella de carbono tanto en organizaciones como en productos.

Más allá del objetivo principal que es crear el primer trabajo en la Universidad de Sevilla sobre la huella de carbono de un producto, la misión de este trabajo es generar conciencia sobre la importancia que hoy en

día tiene para el ser humano la contaminación y concretamente para el sector industrial, donde desde hace unos años atrás se busca ser competitivo de manera medioambiental intentando generar menos gases de efecto invernadero en los procesos.

Como todo proyecto, en su desarrollo se encuentran ahogos y dudas, y en el caso particular de este trabajo la dificultad extraordinaria de este proyecto ha sido la falta de bibliografía que se encuentra relacionada con los procesos de fabricación de vehículos estandarizados y la contaminación que supone la utilización de la maquinaria en cuestión para su ensamblaje.

Se deduce que entre otras razones, destaca el mercado actual en el cual la imagen corporativa de la marca u organización es de vital importancia, y declarar explícitamente la contribución a la atmósfera que supone el montaje del vehículo en muchos de los casos empeoraría la situación de estas, traduciéndose a una disminución de ingresos e incluso a paralizaciones en la producción.

Acorde a esto, se suma la privacidad de las empresas con el fin de evitar el plagio o copia de sus procesos por parte de la competencia, lo que contribuye a la dificultad también de calcular las emisiones por parte de un agente externo.

El alumno personalmente ha encontrado dificultades además en la estructuración del trabajo, así como su alcance ya que al ser la primera vez que se elabora un trabajo similar no se podía seguir ningún modelo que sirviese de marco para el proyecto. Con esto, el alumno pretende que su trabajo sí pueda servir en un futuro como guía para el estudio de la huella de carbono en otros ejemplos de la Universidad de Sevilla, favoreciendo así proyectos relacionados con mejoras medioambientales en procesos industriales.

1.2 Estructura del trabajo

El presente documento se divide en cinco capítulos más allá de este. El primero de ellos, Contexto histórico, recoge una recopilación bibliográfica desde 1950 aproximadamente por parte de grandes organismos internacionales sobre la evolución del medio ambiente y la contaminación antropógena extraordinaria que se viene generando desde la primera revolución industrial y como esto ha repercutido en un aumento de las temperaturas, empeoramiento de la calidad de vida, especies en peligro de extinción y otros perjuicios. Con ello, se pretende hacer consciente al lector de la importancia que tiene la actuación humana en este ámbito y como si no es de la mano entre organizaciones gubernamentales, empresas y organizaciones y la responsabilidad civil, no se logrará mejorar la situación en la que actualmente se encuentra todo el planeta. La segunda parte del mismo capítulo sigue la misma premisa, pero se centra en la contribución que supone el sector industrial y tecnológico en esta situación, valorando el consumo energético, los procesos, los residuos que se generan y la importancia que tiene la investigación y desarrollo de nuevas energías. Especialmente se presta especial atención al subsector industrial y de transporte ya que el objeto de estudio de este trabajo es la huella de carbono de una motocicleta.

Seguidamente, Antecedentes recoge toda la información que sirve de base para el estudio real de la huella de carbono. En un primer momento, se resume el momento actual al que la sociedad y las empresas se enfrentan y se incluye información relativa a los agentes contaminantes y las emisiones de los últimos años. En un segundo lugar, Gases de Efecto Invernadero resume la información relativa a los principales GEI que se consideran en la actualidad, valorando la importancia y origen de cada uno de ellos. Por último, una vez entendida la situación en la que se encuentra la sociedad, la importancia que tiene el estudio de las emisiones de los gases de efecto invernadero y haber identificado los de mayor relevancia, en la sección Dióxido de carbono equivalente se define dicho concepto y se comenta la utilidad que hoy en día tiene como unidad de referencia para poder medir el potencial de calentamiento global del resto de gases y en

procesos en los que no siempre se puede rescatar información de todos los gases que se emiten en la atmósfera.

A continuación, el trabajo se enfoca ya en la huella de carbono, explicando primeramente que es la huella de carbono. Una vez el concepto se aclara se pasa a estudiar los principales enfoques que se le puede dar al concepto, si uno más corporativo dedicado especialmente a empresas y organizaciones que quieren conocer su contribución atmosférica de forma conjunta o un enfoque más exhaustivo centrado solo en algunos procesos o productos. Posteriormente, se estudian los principales métodos que destacan en la actualidad, tanto con enfoque corporativo como de producto, aunque se remarcan y detallan los últimos para así concluir con una comparación entre las tres principales metodologías: la ISO 14067, el PAS 2050 y el Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard de GHG Protocol.

En el Caso práctico se realiza, siguiendo la ISO 14067 y el modelo que debe de tener un informe de la huella de carbono basado en esta norma, un estudio de la huella de carbono parcial del basculante desde la fase de diseño al final de su fabricación. Siguiendo el modelo, se detallan los datos de partida, el procedimiento para la recogida de estos datos, los factores de emisión considerados y los resultados finales. Se analizan las fases con mayor repercusión con el objetivo de valorar alguna posible mejora.

Los últimos capítulos del proyecto corresponden a las conclusiones y posibles trabajos futuros basados en el estudio realizado.

2 CONTEXTO HISTÓRICO

En la actualidad cada día resulta de vital importancia para mejorar la situación a la que la sociedad se enfrenta con el cambio climático.

El cambio climático ataca a todo el planeta, aunque es cierto que puede llegar a ser más peligroso y cobrar más importancia en lugares más vulnerables y países en vías de desarrollo.

Desde el comienzo de la revolución industrial hasta el momento, el calentamiento global se ha acelerado, y bien, aunque no se puede determinar de forma congruente, sí es cierto que científicos corroboran que el ser humano y las actividades que desarrollan son causantes de al menos una aceleración del empeoramiento de esta situación.

Y es que, en nuestros días, casi todos los sectores de la sociedad generan emisiones de gases de efecto invernadero, aumentando sus niveles en la atmósfera (Moreno Aznar 2013), y el estudio del cambio climático debe envolverlos a todos.

Con todo esto, la importancia del cambio climático puede ser resumida en los siguientes cinco aspectos claves, (Moreno Aznar 2013):

- Es considerado un asunto de impacto mundial.
- Los Gases de Efecto Invernadero y otras sustancias se mantienen en el tiempo y en el aire, siendo trasladados hasta otros lugares del mapa.
- El cambio climático actúa de forma vertiginosa, dificultando así la adaptación por parte de las distintas sociedades a la nueva situación.
- Debido a los dos últimos puntos, se llega a la conclusión que este fenómeno conlleva cierto grado de imprevisibilidad.
- Es un problema que atañe a distintas disciplinas.

2.1 Marco histórico intergubernamental del cambio climático

En 1950 se crea la Organización Meteorológica Mundial (en adelante, OMM), encargada de la meteorología, la hidrología y ciencias geofísicas (Organización Meteorológica Mundial 2019), la cual sustituyó a la Organización Meteorológica Internacional (en adelante, OMI) constituida desde 1873, cuya función era el intercambio de información meteorológica. Pero hubo que esperar hasta finales de siglo para que se elaborasen los primeros estudios científicos relacionados con la situación de la atmósfera.

Es en 1987 con el Informe Brundtland o Nuestro Futuro común (Naciones Unidas 1987), establecido por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, donde por primera vez se aborda la economía mundial y los aspectos en los que se puede trabajar para que ésta sea más sostenible (Rivas Cobo y Martín Romero González 2015).

Ante esta realidad, ha sido clave desde el comienzo el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático (en adelante, IPCC), creado en 1988 por la OMM y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (en adelante PNUMA); encargado principal de estudiar la situación y divulgar la información al respecto. Gracias a este organismo, la importancia del asunto creció de forma notable y se comenzó a incluir el problema en las reuniones internacionales.

Desde 1992, cuando la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en adelante, CMNUCC) (Naciones Unidas 1992) define el cambio climático como: “Aquellas variaciones del clima que se puedan achacar directa o indirectamente a las actividades humanas que modifican la composición de la atmósfera terrestre y se suman a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”; se hace entender cómo ha aumentado su alcance y magnitud a una escala internacional, llegándose a contemplar como el problema ambiental más importante en el momento (Corrales 2002).

Es en ese momento, en el que 195 países ratifican la Convención, y a partir de entonces se les llamarán Partes. Como objetivo último de la Convención se decreta en el artículo segundo: “lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas (causadas por el ser humano) peligrosas en el sistema climático.” (Naciones Unidas 1992). En el mismo artículo se prosigue con el establecimiento de plazos que permitan la adaptación natural al cambio climático sin amenazar al desarrollo económico.

Con el fin de que se lleven a cabo medidas reales, se realizan desde 1995, una vez al año, una Conferencia de las Partes (en adelante, COP), pudiendo así revisar lo implementado y contemplar nuevos compromisos para disminuir el calentamiento global.

El primero de todos fue en Berlín, en 1995, y como resultado se obtiene el denominado “Mandato de Berlín” (Naciones Unidas 1995) ya con la intención de reducir estos gases. Es por entonces cuando se considera que la acción humana interviene en la situación actual de cambio climático.

Una de las conferencias más relevantes a nivel mundial donde ya se consideran los Gases de Efecto Invernadero es la COP de 1997, donde se desarrolla el “Protocolo de Kyoto” en 1997 (Naciones Unidas 1997). En este documento se resumen los compromisos establecidos por distintos países para reducir las emisiones de algunos Gases de Efecto Invernadero (en adelante, GEI). La diferencia con los textos elaborados hasta la fecha reside en que los compromisos que redactan en el Protocolo de Kyoto son compromisos jurídicos, en relación a esta reducción o limitación de emisiones, pudiendo por tanto ser penados si no se llegasen a cumplir (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2014). A pesar de todo esto, hubo que esperar a principios de 2005 para que entrara en vigor el Protocolo; y que entre los países que firmaron el Protocolo no se encontraban ni Estados Unidos ni Canadá.

Por primera vez, se trata como objetivo disminuir las emisiones netas de GEI para las Partes y economías en transición con unas fechas detalladas; el primer periodo es 2008-2012 para el que los firmantes deberían haber reducido un 5% sus emisiones respecto al estándar considerado, que son los niveles de 1990 (Naciones Unidas 1997). Solo nueve países no llegaron al compromiso, incluido entre ellos España.

En el caso de la Unión Europea (en adelante, UE), el Protocolo daba un paso más, ya que se comprometía con sus estados miembros a reducir en un 8% estas emisiones. El compromiso se toma conjuntamente por los países, realizándose un reparto interno en función de unos parámetros de referencia según los niveles de contaminación que cada país produzca (Rivas Cobo y Martín Romero González 2015). A España, se le impuso no superar en el primer periodo las emisiones en un 15% del año base (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2014).

Para el segundo periodo, establecido entre 2013 y 2020, la UE comunicó (Comisión Europea 2017b) un paquete de medidas para garantizar el cumplimiento de los objetivos climáticos y de energía ya establecidos en 2007 aunque incorporados a la legislación en 2009. Los tres principales son:

- 20% de reducción de los GEI.
- 20% de uso de energías renovables.
- 20% de mejora en eficiencia energética.

Será, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2020 (COP 2020) donde se valorarán si se han llegado a cumplir o no dichos acuerdos.

Para por entonces, la Comisión Europea establece el Programa Europeo sobre el Cambio Climático (en adelante, PECC) en el año 2000, que supuso un refuerzo de las medidas llevadas a cabo en el Protocolo de Kyoto, con el fin de lograr una mayor cooperación e integración (Comisión Europea 2000). Su objetivo era identificar las políticas y estrategias que ayudasen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y así cumplir con el Protocolo de Kyoto (Comisión Europea 2017a).

Un año más tarde, se redacta el Tercer Informe de Evaluación del IPCC (en adelante, TIE IPCC). Entre las preguntas que intentan responder, las dos primeras resultan de interés en este apartado.

En primer lugar, manifiestan cómo ha evolucionado el clima a través de las actividades humanas; entendiendo que el calentamiento global ha crecido de forma extraordinaria por una “interferencia antropógena peligrosa en el sistema climático” (IPCC 2001). Aseguran que el sistema ha cambiado nacional e internacionalmente desde la época preindustrial y que algunos de estos cambios se deben a la actividad humana en su mayor parte, adquiriendo mayor importancia en los últimos 50 años. Los ejemplos claros de esta actividad son el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y aerosoles.

En la Figura 2-1 citada del mismo informe, TIE IPCC, se puede observar como la gráfica que mejor corresponde con las simulaciones realizadas es aquella que incluye tanto los comportamientos antropogénicos como los naturales; y, sin embargo, la que peor se asemeja a las observaciones es la que incluye solo el comportamiento natural del planeta.

Como consecuencia de ello, se asume que los cambios en el nivel del mar, las capas de hielo y precipitaciones guardan relación con este sobrecalentamiento.

En segunda instancia, en el tercer apartado del informe, analizan las posibles consecuencias en el futuro. Respecto a esto, lo que preocupa es que resultado de otras simulaciones se obtuvo un aumento de la temperatura media del planeta entre 1,4 y 5,8 °C desde 1990 a 2100, lo que supondría un aumento de 2 a 10 veces mayor al calentamiento real observado en el siglo XX (IPCC 2001).

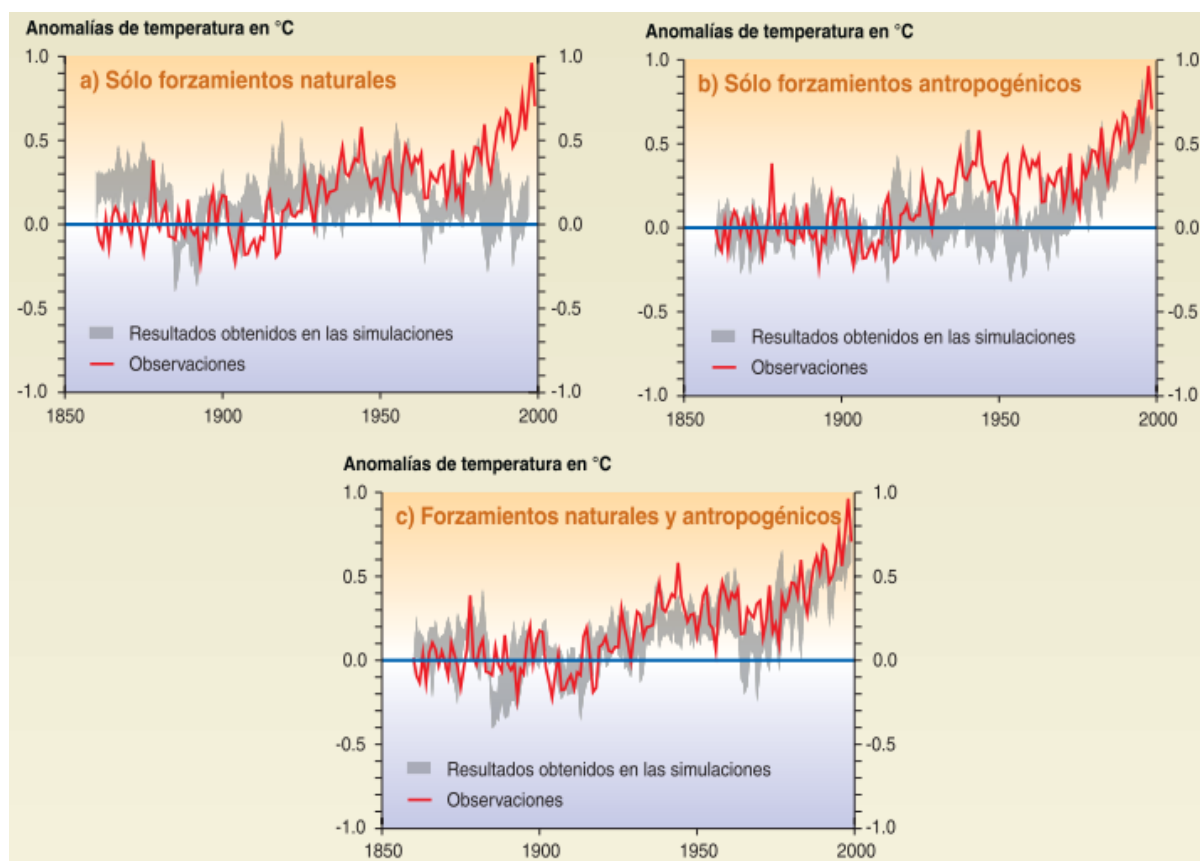


Figura 2-1: “Comparación entre las simulaciones y las observaciones del aumento de temperatura desde el año 1860” (IPCC 2001).

Debido a esta preocupación, se elabora en 2007 el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (en adelante, CIE IPCC) en el que se reafirma el calentamiento del sistema climático, evidenciado por los notables aumentos de temperatura del aire y océano a nivel mundial, el deshielo generalizado y en consecuencia, el aumento del nivel del mar (IPCC 2007a), tal y como evidencian en la Figura 2-2; siendo la temperatura el factor que más afecta a estos cambios en el clima.

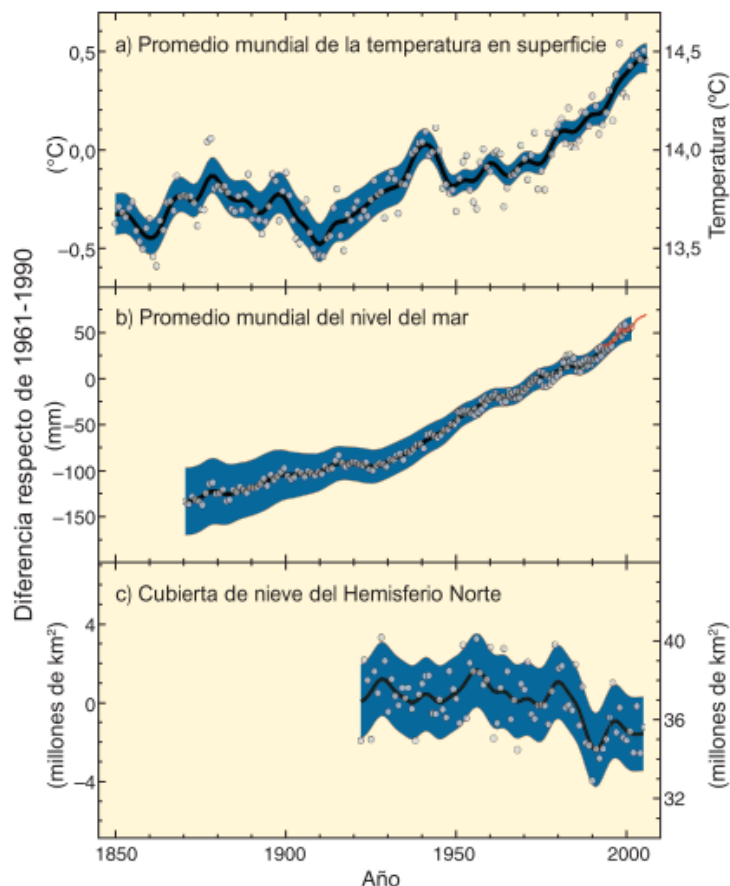


Figura 2-2: “Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del hemisferio norte” (IPCC 2007a).

En este Cuarto Informe de Evaluación, aclaran que la seguridad es mayor que en Tercer Informe, TIE IPCC, con relación a la alteración del viento y precipitaciones, así como los valores máximos y mínimos y el deshielo. En la Figura 2-3 se aprecia el cambio de la temperatura superficial estimado para finales del siglo XXI.

En el TIE ya se marcan “*cinco aspectos preocupantes*” (IPCC 2001), que adquieren si cabe mayor relevancia en el CIE ya que el grado de confianza de estos es mayor. Según redacta el IPCC (IPCC 2007a), son:

- Riesgos que amenazan a sistemas únicos y amenazados.
- Riesgos de fenómenos meteorológicos extremos.
- Distribución de impactos y vulnerabilidades.
- Impactos totalizados.
- Riesgos de singularidades de gran escala.

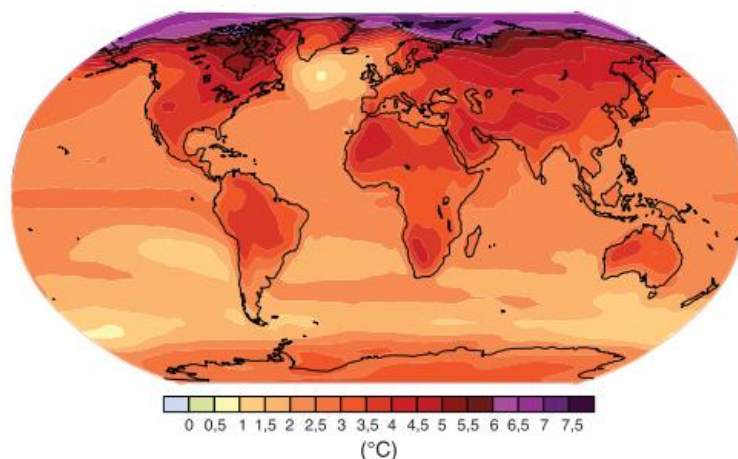


Figura 2-3: “Pauta geográfica del calentamiento en superficie” (IPCC 2007a).

Tras analizar en profundidad estos aspectos, el CIE concluye advirtiendo que algunos de estos impactos pueden ser reducidos o retardados con herramientas de mitigación, aunque el retraso por parte de las distintas naciones en disminuir las emisiones reduce las oportunidades para ello.

Ante esta preocupación por parte del IPCC y de los propios países, en la cumbre de Doha de 2012 o COP de 2012 se elabora la Enmienda de Doha. La Enmienda es un documento elaborado por el Grupo de Trabajo para la Cooperación a Largo Plazo, en el que se incluyen medidas para paliar la situación del momento y mejorar la futura dentro de las posibilidades. Se puede entender como una continuación o mejora del Protocolo de Kyoto para el segundo periodo del mismo; entre las medidas destacan (Naciones Unidas 2013):

- Nuevos compromisos de las Partes para el segundo periodo del Protocolo de Kyoto.
- Revisión y actualización de los distintos gases de efecto invernadero.
- Actualización de artículos del Protocolo de Kyoto para su posterior aplicación en el segundo periodo.

Otro hecho destacable ocurre en 2015 durante la COP de ese mismo año, se adopta un acuerdo que se estuvo elaborando desde 2011 por el Grupo de Trabajo Ad Hoc (en adelante ADP) establecido en la Cumbre de Durban (COP17). Este Grupo de Trabajo se encargó de elaborar el Acuerdo de París para así completar el Protocolo de Kyoto con nuevas reducciones adicionales de emisiones y cumplir con los objetivos extraordinarios de la CMNUCC que se habían desarrollado desde entonces (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2018).

El Acuerdo de París consigue que los países actúen bajo una causa común y así sus fuerzas sirvan para lidiar con el cambio climático. Se divide en áreas de trabajo relacionadas pero diferenciadas, que son: mitigación, adaptación, financiación, desarrollo y transferencia de tecnología, fortalecimiento de capacidades y transparencia en materia de acciones y apoyo; y los principales objetivos que conlleva dicho acuerdo en relación al cambio climático son, (Naciones Unidas 2015):

- El propósito central es impedir que el aumento de temperatura mundial en el siglo XXI esté por debajo de 2 grados centígrados respecto a los niveles preindustriales. Si fuera posible, intentar proseguir para que este límite sea de 1,5 grados centígrados.

- Como se ha comentado en el párrafo anterior, robustecer la unión entre países para combatir el cambio climático.
- Y, además, apoyar de forma notoria a los países en vías de desarrollo.

Poco más de se ha avanzado desde entonces, excepto una hoja de ruta que se elaboró al año siguiente del Acuerdo de París, en la siguiente Conferencia de las Partes, COP de 2016 en Marrakech para regir de mejor modo cómo hacer factible las medidas tomadas en el Acuerdo.

En 2018, el IPCC elabora un informe extraordinario para recalcar la importancia ya no de limitar el aumento de temperatura a 2 grados centígrados sino por debajo de 1,5 grados centígrados; promulgando como beneficios clarividentes una sociedad más sostenible y equitativa, así como beneficios para los ecosistema y disminución de problemas en la salud y bienestar humano. En este mismo informe se basan además en la situación actual para validar los datos tal y como dijo Panmao Zhai, Copresidente del Grupo de trabajo I del IPCC, que afirmó que ya se padecen algunas consecuencias debido al incremento de 1 grado centígrado en la superficie con condiciones meteorológicas más extremas, subidas del nivel del mar y disminución del hielo en el Ártico (IPCC 2018b).

En el mismo documento, en el primer apartado, acompañan esta explicación con la Figura 2-4 en la que muestran cómo según la tendencia actual, se sobrepasaría el aumento de 1.5 °C entre 2030 y 2050, sabiendo que la intención desde un primer momento es no sobrepasar ese incremento en ningún momento o en su defecto, atrasarlo hasta final de siglo.

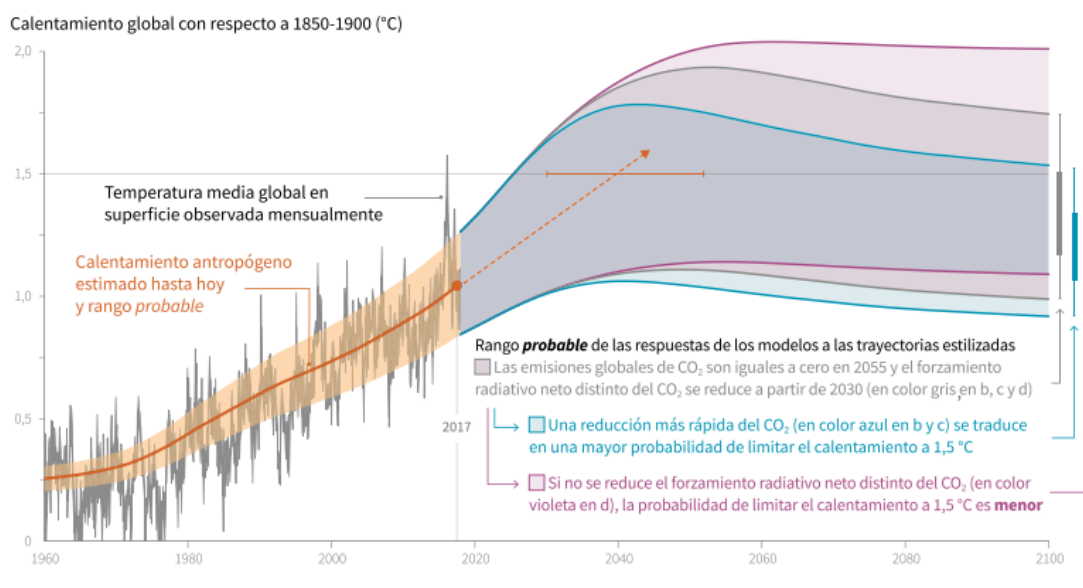


Figura 2-4: “Cambio de la temperatura global observado y respuestas de los modelos a las trayectorias de las emisiones antropógenas y del forzamiento” (IPCC 2018d).

Sin embargo, el Grupo de Expertos, conscientes de la dificultad de aplicar todas las medidas necesarias y de que la adaptación y mitigación para cumplir dicho objetivo se están produciendo, alienta a las naciones a continuar con las disposiciones y acelerarlas cuanto antes.

La última Cumbre del Clima o Conferencia de las Partes realizada hasta la fecha fue la COP 2019 o COP25 y fue celebrada en Madrid, aunque bajo la Presidencia del Gobierno de Chile. El objetivo principal de esta convención no era otro sino revisar aspectos pendientes de la Conferencia de las Partes de 2018 celebrada

en Polonia sobre normas de aplicación directa para el Acuerdo de París y su total funcionamiento y cumplimiento. La conferencia hizo especial hincapié en animar a los países para que en 2020 presenten planes de medida más ambiciosos contra el cambio climático (Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2019).

Confirman al final de la conferencia que el cambio climático es una “cuestión transversal” que involucra múltiples sectores sociales y áreas de actuación. Por esto, se dedica especial atención en la conferencia al papel de la ciencia, adaptación, energía, finanzas, agricultura y bosques (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; Secretaría de Estado de Medio Ambiente; Oficina Española de Cambio Climático 2020). Prosiguiendo, se hace presente la brecha existente entre las emisiones actuales de los países y el compromiso acordado en el Acuerdo de París para no superar en 1,5 grados centígrados el calentamiento global.

Destacan como resultados de la conferencia, un nuevo paquete de medidas contra el cambio climático llamado “Green New Deal” y hacer del Banco Europeo de Inversiones (en adelante, BEI) un “Banco Climático” para así obtener fondos de inversión para los próximos años. De acuerdo con este planteamiento, se alinearon con estas medidas varios bancos españoles.

2.2 Importancia del sector tecnológico¹ para el cambio climático

El movimiento industrial adquiere relevancia en el ámbito medioambiental una vez se ha expandido en la era postindustrial, que comienza a mediados del siglo XIX. El crecimiento de dicho sector supone un avance sin igual para la humanidad, facilitando en muchos casos el trabajo a realizar, sustituyendo el trabajo manual de los operarios por maquinaria.

La Revolución Industrial, que data del siglo XVIII y dio paso a este movimiento, supuso un crecimiento tecnológico exponencial que ha avanzado hasta la actualidad permitiendo la producción en masa y automatizada para la mayoría de los productos y servicios que se consumen actualmente.

En contraposición, durante esta evolución histórica y el desarrollo de estos avances, el foco principal por parte de los empresarios y propietarios de empresas ha sido el máximo beneficio sin llevar cuentas del uso de los recursos que se consumían en la producción. Esto ha dado lugar a que el consumo de combustibles fósiles por parte del sector industrial sea uno de los principales exponentes causantes de la emisión de gases de efecto invernadero antropógenos a la atmósfera (Ecenarro Díaz-Tejeiro 2014).

Hoy en día ya se ha tomado conciencia por parte de las organizaciones, administraciones y estados para favorecer el aprovechamiento de energías renovables y reducir las emisiones de los distintos GEI.

Por parte de las distintas organizaciones, no solo el sector industrial, sino la economía de forma general y los combustibles fósiles han sido temas distinguidos a lo largo del siglo XX.

Desde 1987 año en el que como se comentó previamente, se elaboró el Informe Brundtland por parte de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se abordan estos temas. De todos los capítulos del documento, se resumen a continuación dos de ellos: el capítulo séptimo lo dedican en exclusividad a la energía y su integración en la economía, ya citan como “*dilema permanente*” (Naciones Unidas 1987) al consumo de combustibles fósiles y mencionan el potencial desaprovechado que existía por entonces con

¹ El presente trabajo trata el término tecnológico de igual forma que el IPCC en sus informes de evaluación englobando en el mismo a los siguientes subsectores: industria, transporte, energía, agricultura, silvicultura y edificios comerciales y residenciales.

las energías renovables; el octavo, y más estudiado en detalle, es el dedicado a la industria, especialmente a la producción eficiente con menos recursos.

En el preámbulo de este último capítulo, recalcan la importancia en la sociedad moderna para su crecimiento y ya por entonces intuyen que la era informática no supondrá desechar la maquinaria sino una confluencia de ambos avances; del mismo modo, exponen que la industria posee la capacidad de mejorar o empeorar el medioambiente a través de los productos que genera y la contaminación que produce. En el primer punto analizan el crecimiento relativo de los distintos subsectores industriales, y el segundo punto es dedicado al daño al medio ambiente: el efecto de la industria tiene repercusión desde la extracción de la materia prima a la eliminación del producto por parte de los consumidores. Comentan la iniciativa por parte de países industrializados por tomar conciencia de la situación desde 1960 pero la falta de medidas para suavizar la situación. Resume la situación del momento de manera esperanzadora explicando como las empresas e industrias de elevada contaminación han sido las que propiamente han tomado medidas para el control y eliminación de residuos siendo así más eficientes. En el subcapítulo segundo abordan el planteamiento de un desarrollo sostenible en el tiempo, poniendo el foco en los sistemas de calidad de las mismas empresas; además como consejo plantea la estimulación a los altos cargos para ser más eficiente en la obtención de recursos, planteando el uso de energías renovables. Se exponen la dificultad para parar este rápido aumento de la contaminación si además se suman los países en vías de transición a este modo de producción. Las estrategias para atacar el planteamiento se recogen en el tercer subcapítulo, estableciendo como prioridad identificar los elementos esenciales en cada situación para disminuir la contaminación, al mismo tiempo que insiste a los gobiernos a redactar objetivos propios y claros para las empresas industriales. La segunda medida a implantar es aumentar la eficiencia de los sistemas de producción, motivando a las empresas a entender la contaminación como un mal uso de sus materias primas y una pérdida económica. A las empresas a cambio le piden no solo cumplir las medidas impuestas en cada país sino establecer normas propias para mejorar la gestión de sus recursos.

Una década más tarde, en 1995 se redacta el Segundo Informe de Evaluación del IPCC (en adelante, SIE IPCC). Aunque todavía no existía con un grado de confianza elevado la influencia que ejercen las actividades humanas en el calentamiento global ya sugieren que los cambios de temperatura media y algunos cambios geográficos podrían ser atribuidos a la especie humana. El tema tercero del informe, dedicado a la adaptación de los sistemas, se valora como la creciente demanda de recursos energéticos y su gestión no sostenible ya ha afectado a ecosistemas y se espera que afecta al bienestar humano y distintos sistemas socioeconómicos, siendo más propensos a sufrir estas consecuencias los países en vías de desarrollo (IPCC 1995). En el mismo capítulo pronostican que los avances en tecnología favorecerán las opciones de adaptación de los sistemas afectados, aunque para ello se necesite disponibilidad de recursos financieros, la transmisión de conocimiento referente a estos avances y la correcta gestión institucional a nivel nacional e internacional.

Dedican un bloque en su totalidad a la tecnología y opciones para mitigar su impacto. En 1995, año en el que se publica el informe, ya se considera viable técnica y económicamente realizar estas reducciones siempre y cuando las medidas de política aceleren y fomenten esta evolución en los sectores tecnológicos como son, entre otros: la energía, industria, transportes y agricultura. Lo que ha ocurrido desde entonces hasta hoy es que aquello que avecinaban sobre las políticas de emisiones no se ha llegado a cumplir de una forma clara, encontrándose en muchos casos, obstáculos culturales, financieros y económicos. Respecto a la demanda energética por parte de los sectores tecnológicos calculan la posibilidad de economizar hasta un 30% de la demanda energética sin que esto supusiera pérdidas económicas destinando medidas de conservación y de gestión hasta la actualidad. Conocedores del posible aumento de emisiones que se ha acabado produciendo a pesar de la inclusión de tecnología más eficiente, proponían medidas para los bloques de industria y transporte.

- En el caso de la industria, mencionan la mejora de la eficiencia a través del reciclaje y materias primas con menores emisiones al aire, así como procesos que requieran de menos energía.
- En cuanto al transporte, las medidas van relacionadas con un mejor uso por parte del cliente, estableciendo normas de movilidad. Por otro lado, un mejor diseño más aerodinámico y ligero que favorezca un menor consumo de combustible. Por último, se añade una mención a la utilización de combustibles procedentes de fuentes renovables o con menor contenido de gases contaminantes.

Lo mismo sucede con el suministro de energía utilizando alternativas y realizando inversiones para sustituir la infraestructura anticuada; destacan medidas relacionadas con los combustibles fósiles, principales causantes de las emisiones de gases:

- Mejora de la eficiencia en el uso de combustibles fósiles, mejorando su conversión y reduciendo así las emisiones.
- Reducción de fugas en la extracción y distribución.
- Sustitución por energías renovables.

En dicho informe se opta y se sugiere a los países reducir las emisiones antes que fomentar la investigación para nuevas tecnologías y una optimización de la energía por facilidad en encontrar y emplear otros combustibles y reducir además su demanda.

Conforme a la industria pesada indican que deberían centrarse todos los medios en reducir las emisiones de gases liberados en los procesos de fabricación como la producción de hierro, acero y aluminio, advirtiendo que esto supondrá la modificación de los procesos, sustitución de materias primas, mayor y mejor reciclaje y menor consumo de combustibles fósiles.

De cara a las Conferencias de las Partes que sucederían a partir de ese año, el IPCC termina dirigiéndose a los máximos responsables de los gobiernos con objeto de tomar medidas para poder realizar todo lo que se recoge en el documento, las primeras son (IPCC 1995):

- Impuestos sobre el carbono y la energía.
- Estímulo para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.
- Incentivos a la energía renovable.

En el Anexo A del Protocolo de Kyoto, documento previamente, se enumeran los principales sectores causantes de las emisiones de GEI. En la quema de combustible destacan la industria de la energía, la manufacturera y el transporte; los procesos industriales considerados más perjudiciales son la industria química, la producción de metales y productos minerales (Naciones Unidas 1987).

Siguiendo el orden cronológico hasta el momento, al sector tecnológico se le da especial relevancia ya en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC 2007a). En él, en el tema cuarto se describen de nuevo la situación a la que se enfrentan las tecnologías, medidas de adaptación y mitigación y sus propios obstáculos. En este informe se recoge una tabla² interesante en la que se presenta por primera vez cómo afecta la alteración de los fenómenos climáticos según los estudios realizado hasta el momento a los

² Tabla RRP.3, p.13 del Informe de Síntesis del IPCC (IPCC 2007a)

distintos sectores, y no al revés como se venía haciendo desde el principio; para la industria los impactos de mayor magnitud que pueden ocurrir de manera prácticamente segura son:

- Disminución de demanda energética de calefacción y aumento de la de refrigeración.
- Empeoramiento de la calidad del aire en ciudades.

De manera muy probable:

- Empeoramiento de la calidad de vida en poblaciones de zonas cálidas.
- Impactos en ancianos, niños pequeños y empobrecidos.

Adentrándonos en el tema cuarto, el IPCC narra como la capacidad de adaptación está relacionada con el desarrollo tanto social como económico, es decir, de la base productiva social, entre ellos: los bienes, el capital humano, instituciones, gobernanza, ingresos nacionales, salud y tecnología. De forma especial insisten a los gobiernos en tomar medidas políticas climáticas de desarrollo, normas, permisos y actividades de investigación, desarrollo y demostración (I-D-D).

Las opciones de adaptación y mitigación cada vez son más concretas, y IPCC asume que, aunque de forma limitada, las naciones están tomando planes de adaptación. Siguiendo este plan, proponen algunas opciones reales para aplicar de forma inmediata con bajo coste y una relación de beneficio frente a costo elevada.

Para el transporte se plantea una reordenación de este, un rediseño de carreteras e infraestructuras, que a pesar de los obstáculos financieros se podría aplicar si se considerara el cambio climático en las políticas de transporte nacional.

Para el sector industrial energético, se presenta la posibilidad de fortalecer la infraestructura de transmisión y distribución, el cableado subterráneo, mejora de la eficiencia energética y utilización de fuentes renovables. Los mecanismos principales para lograrlo serían políticas energéticas nacionales e incentivos fiscales y financieros por uso de fuentes de energía renovables. De acuerdo con esto, los países exportadores de combustibles fósiles podrían presentar una menor demanda de estos y por tanto una disminución de su PIB.

Si antes se mencionaban las medidas de adaptación concretas que propone el IPCC en 2007, lo mismo ocurre para las de propuestas de mitigación. En el caso de la industria, considera factible hacer un uso final más eficiente de los equipos eléctricos, acompañado de una recuperación del calor y energía en las fábricas, así como el reciclado de materiales y un control de las emisiones de gases distintos al dióxido de carbono. Haciendo uso de las nuevas tecnologías propone el uso de diseño asistido por ordenador, programas *CAD*, para la fabricación. Se podrían lograr con instrumentos como normas de calidad de funcionamiento, permisos comerciales y fiscales y acuerdos voluntarios y por supuesto una fuerte cooperación entre el gobierno y la industria; lo que sería estimulante para incorporar las nuevas tecnologías a la industria.

El otro sector que nos concierne es el transporte, en este caso, se propone en el mismo documento el desarrollo de vehículos híbridos, con mayor aprovechamiento de combustibles, con uso de biocombustibles y baterías más potentes y fiables. La manera para conseguir esto a través de las instituciones y empresas es obligar al ahorro de combustibles y establecer normas sobre el dióxido de carbono; así como la imposición de pagos sobre combustibles.

Para establecer medidas de mitigación en el sector energético se propone sustituir el carbono como combustible por gas natural, además de hacer uso del calor y las energías renovables de forma combinada.

Los impuestos al carbono ayudarían a los países a llevar a cabo estas medidas, de igual modo que establecer subvenciones para las energías renovables.

El informe de síntesis, en una de las conclusiones afirma que, entre todos los escenarios posibles, entre el 60 y 80 por ciento de las reducciones de emisiones provendrá de una mejora en la utilización de la energía y procesos industriales, siendo la eficiencia energética el factor más influyente, por lo que las naciones deberán realizar importantes inversiones para conseguir estos niveles.

Se ha estudiado en profundidad el cuarto informe ya que es el que aporta información relevante a los temas de estudio que conciernen este proyecto; sin embargo, el último documento redactado, el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (en adelante, QIE IPCC) sirve para robustecer las medidas ya mencionadas y las consecuencias actuales.

El quinto informe guarda estrecha relación con el Acuerdo de París del año posterior. Ambos documentos nos describen la situación actual del planeta, el medio ambiente y los climas, así como la intervención humana y los futuros planteamientos.

El prólogo del QIE IPCC insta una vez más a actuar, puesto que la actividad humana es la principal causa del calentamiento global y cuánto más se tarde, mayor será el costo y los retos que combatir.

A día de hoy se conoce por los grupos de trabajo del IPCC (IPCC 2014) que las emisiones de CO₂ a la atmósfera por parte de los procesos industriales y la quema de combustibles fósiles ha supuesto el 78% del total desde 1970 a 2010, manteniéndose esta proporción si nos fijamos solamente en la última década, lo que supone que poco efecto han tenido las medidas tomadas hasta la fecha con intención de reducir los gases de efecto invernadero; este aumento del uso del carbón ha afectado de forma negativa al plan de descarbonización mundial establecido por las naciones en 2011 en la Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica³.

La Figura 2-5, representa las emisiones antropógenas totales de GEI en 2010. Se aprecia el porcentaje de contribución por parte de cada sector a las emisiones de gases de efecto invernadero. En cuanto a las emisiones directas, el sector energético es el que destaca de forma notable con un 35% de las mismas, y de seguida en orden están la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (en adelante, ALOFU), la industria y transporte. No obstante, si contabilizan las emisiones debidas a la producción eléctrica y térmica a los sectores que las emplean finalmente como si fueran emisiones indirectas, la industria alcanzaría hasta el 31% del total de estas.

Igualmente afirman que desde 2007, año en el que se publica el CIE IPCC, la certeza de saber que la sociedad humana afecta en el clima y los ecosistemas ha aumentado; se estima que la más de la mitad del aumento de temperatura desde 1951 se deba a actuaciones antropógenas y sus respectivos gases. Para conseguir reducir estas emisiones, hoy es imprescindible realizar inversiones importantes en el suministro de energético y en mejoras de la eficiencia en sectores del transporte, industria y edificios.

Para poder mitigar estas emisiones, igual que se trató el tema en el informe anterior (CIE IPCC), manifiestan con una mayor certeza, una serie de medidas más concretas bajo la premisa de que sean medidas intersectoriales centradas en tecnologías, de esta manera la solución tendrá un coste menor y será más

³ Véase (Comisión Europea 2011).

efectiva. Los principales sectores en los que se pueden reducir emisiones son agricultura, energía e industria.

Atendiendo al transporte, se ataca por un lado a la posibilidad de usar combustibles con bajas emisiones, si bien podría estar limitado por los desafíos actuales asociados a estos combustibles. Por otro lado, se reincide en la mejora de la eficiencia en los sistemas de producción y diseño de vehículos y así reducir la intensidad energética. Así se llegaría de forma prácticamente segura a reducir la contaminación atmosférica urbana y, en consecuencia, menor impacto en los ecosistemas.

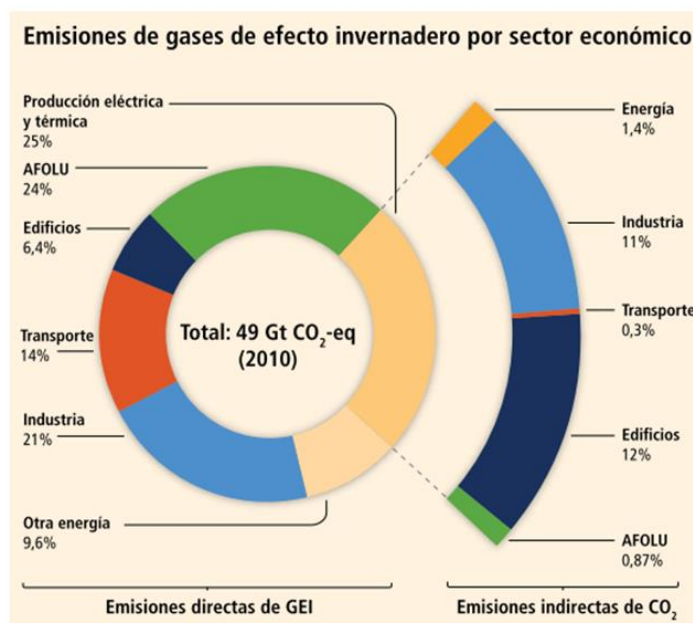


Figura 2-5: “Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico” (IPCC 2014).

Apuntando al otro sector, la industria, se hace referencia a la eficiencia en el uso de materiales, su reciclaje y reutilización, así como de sus productos. Mejorando además su eficiencia y usando la tecnología óptima disponible. Aunque no existe la misma certeza que en el ámbito del transporte, el IPCC afirma que puede mejorar la competitividad y productividad en el sector, así como una mayor seguridad energética debido a la mejor eficiencia; la salud mejoraría también si se llegase a optimizar este uso de recursos en los puestos de trabajo, donde las emisiones son mayores; y menor impacto en los ecosistemas.

A diferencia del informe anterior, el IPCC afirma en su último apartado del informe de síntesis que la política principal debe ser el fomento de la tecnología, incluyendo investigación y desarrollo, para que el resto se puedan cumplir. Otras medidas políticas posibles que se comentan resultan ser las mismas que se mencionaron en el CIE IPCC tales como: impuestos a combustibles fósiles con gran carga de CO₂, normativas relacionadas con las emisiones, subsidios para biocombustibles y bioenergía, así como acuerdos voluntarios dentro de los propios sectores. Los impedimentos políticos y financieros que pueden surgir podrían tener más efecto en medidas sectoriales como las previamente mencionadas más que si se planteará alguna medida a todo el conjunto, pero de igual modo el IPCC plantea que al dividir las medidas en subsectores, supone un cambio incremental con mayor posibilidad de ser implementado.

En 2017, en la Cumbre de Bonn y en relación con el Acuerdo de París, se publica un comunicado por parte de la CMNUCC sobre la labor que la industria estaba desarrollando para cumplir el acuerdo de 2015. Durante la cumbre, un día fue dedicado en exclusividad a la industria y los líderes empresariales dejaron ver cómo por su parte estaban dispuestos a acometer medidas para reducir emisiones. El presidente del

Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), Peter Bakker, acuñó que la industria estaba involucrada tomando medidas como nunca antes. Otros expertos que acompañaban al anterior aseguraron que era el momento para que, junto con la unión empresarial, los negociadores de las naciones cumplieran con los objetivos climáticos.

Durante ese día dedicado a la industria dedicado a la industria, se manifestó además la necesidad de políticas claras para progresar. Por parte de las empresas, se habían creado ya coaliciones como “*We Mean Business*” (We Mean Business 2014) en la que, en la actualidad, más de 1000 empresas líderes se comprometen a impulsar las medidas políticas que aceleren la economía hipocarbónica. Otras empresas hoy en día se han reunido en una iniciativa mundial a favor de la electricidad totalmente renovable llamada *RE100* (RE100 2014), el propósito es acelerar este cambio también a redes con emisión cero de carbono. Con medidas como las mencionadas los representantes de las industrias pretendían mostrar durante la cumbre su contribución al cumplimiento del Acuerdo de París.

Así, quedó aclarado como hoy en día, el gobierno, la industria y la sociedad han de trabajar juntos para aplicar los cambios a distintos niveles, mejorando así el futuro de todos (Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2017), tal y como dijo Manuel Pulgar-Vidal, director de Clima y Energía en WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza). Otra sentencia con la que se cerró el Día de la Industria fue el uso de la economía circular como medida principal por parte de las empresas e industria para combatir estas emisiones y cumplir los objetivos, apoyados de infraestructuras cada vez más bajas en emisiones y la tecnología digital, avanzando hacia la Industria 4.0 como solución.

De cara al futuro, conforme a la situación presente, la Comisión Europea realizó un informe de comunicación a finales de 2018 en el que conscientes de que, si bien en la actualidad se están llevando a cabo medidas, no son las suficientes para cumplir todos los objetivos propuestos, proponen una estrategia para convertir a Europa en una sociedad competitiva y neutra en cuanto a emisiones. En este documento, se le solicitaba de nuevo a los Estados miembros a aplicar por completo el Acuerdo de París manteniendo como medida clave la modernización de la industria y economía (Comisión Europea 2018).

Para agilizar la transición, convendría invertir en adelantos en la digitalización, información y comunicaciones. Actualmente, el ejemplo es la economía circular adoptada por empresas de distintos sectores para reutilizar los desechos, aunque esto no será suficiente si no existe una cooperación entre los estados.

En el momento, el sector energético sigue arraigado en el uso de combustibles fósiles, por lo que se hace necesario cumplir el objetivo para usar las energías renovables y reducir así las otras fuentes primarias de energía. La industria automovilística ya invierte en el desarrollo de tecnologías de bajas emisiones, sin embargo, sigue siendo responsable de un cuarto de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que se espera que en los próximos años se generen ventajas que mitiguen su aportación. En el caso de la industria y sus procesos, eliminar sus emisiones parece difícil según la Comisión Europea sobre todo en la industria del acero, cemento y productos químicos, los cuales son los principales generadores, no obstante, se exige reutilizar el CO₂ de las emisiones y así reducir el impacto.

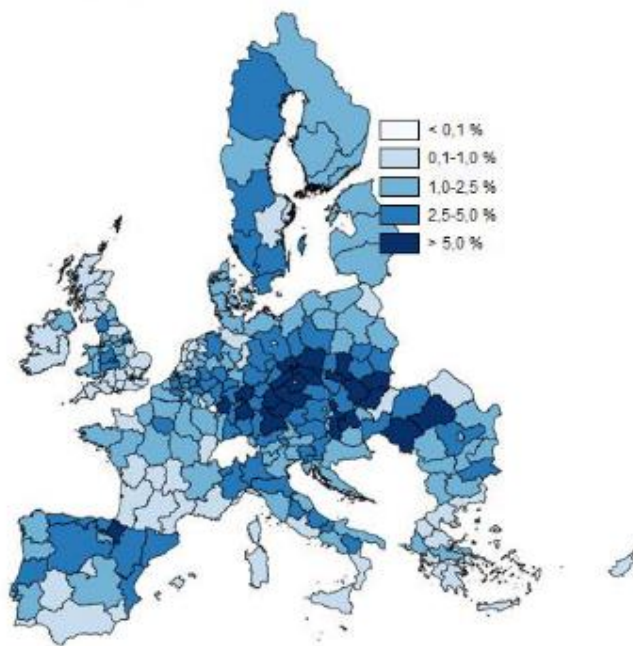


Figura 2-6: “Cuota de empleo en las industrias de gran consumo de energía y fabricación de vehículos”
(Comisión Europea 2018).

Uno de los inconvenientes principales que se aprecian en este periodo de transición es el cambio que supondrá para los trabajadores donde sea necesario llevar a cabo más medidas. En la Figura 2-6, se aprecia como no todos los países dependen igual del sector energético y automovilístico, por lo que la transición debe realizarse de forma adecuada garantizando una gestión justa y aceptable para no generar desigualdades sociales en la UE, impidiendo posteriormente la cooperación entre Estados.

Con este informe la UE pretende hacer visible el compromiso por cumplir el Acuerdo de París y su intención de llegar a ser en 2050 una economía con cero emisiones netas de gases de efecto invernadero y al mismo tiempo solicitar apoyo a las partes interesadas para desarrollar industrias innovadoras.

3 ANTECEDENTES

Avanzando en el trabajo, este capítulo nuevo acerca los cambios que se han ido produciendo a lo largo de estos últimos siglos y que han sido comentado en el capítulo previo. Se muestra la situación actual, y por tanto la bibliografía consultada en este caso procede de fuentes contemporáneas y últimos artículos. Se vuelve a hacer hincapié en el sector industrial y su contribución en el momento.

En segunda instancia, antes de avanzar hacia la metodología que envuelve la huella de carbono, se describen brevemente los principales gases de efecto invernadero que hoy se consideran y su procedencia.

Lo último que trata el capítulo es el origen del dióxido de carbono equivalente como unidad de referencia para tratar las emisiones del resto de gases invernadero y su importancia para facilitar el cálculo, la interpretación de informes e inventarios de emisión y su comunicación.

3.1 Preocupación por la Tierra

Tras haber realizado un repaso por los distintos acuerdos que se han realizado desde mediados del siglo XX hasta la actualidad por las distintas naciones a favor de la lucha contra el cambio climático y, tras haber analizado dentro de estos acuerdos la importancia que ha ido adquiriendo el sector industrial y el de transporte, se procede en esta nueva sección a detallar con datos concretos la situación actual en la que la sociedad se encuentra inmersa y cuál es la aportación de los sectores tecnológicos previamente mencionados a estos datos.

Para ello, y así no realizar de nuevo un repaso bibliográfico desde los primeros informes del IPCC y otros organismos, la información que en este capítulo se va a ofrecer pertenece principalmente a dos documentos: el Informe especial del IPCC sobre el Calentamiento Global de 1.5°C (IPCC 2018c) y además, el resumen del mismo para los responsables de políticas (IPCC 2018d). Ambos documentos presentan la información actualizada hasta 2018 de la situación, haciendo de ellos los textos a nivel internacional más actuales posibles.

En dicho año, se actualizan los datos conocidos hasta el momento y se estima que si se continua el ritmo actual, entre 2030 y 2052 se llegue a incrementar el calentamiento global en 1.5°C con altas probabilidades de incumplir posteriormente el Acuerdo de París, 2°C. Hasta el momento, según los estudios realizados por el IPCC se considera que más de la mitad de este incremento se debe a actividades antropógenas. La línea

amarilla de la Figura 3-1 muestra la contribución al incremento de temperatura debido a estas actividades humanas, la contribución total que tiene en cuenta además la contribución natural se muestra en la línea naranja. La discontinua azul muestra la evolución del aire en la superficie y como si sigue la tendencia actual se sobrepasará de manera inminente; la continua azul muestra la combinación de la temperatura del aire y del mar según el CMIP5⁴. La estela celeste estima la proyección de temperatura media según el QIE IPCC.

Como se aprecia en la misma figura (Figura 3-1), actualmente se ha superado ya el incremento de 1°C sobre los niveles preindustriales, estimando que para 2040 si prosigue el mismo crecimiento económico e industrial se superen los 1.5°C.

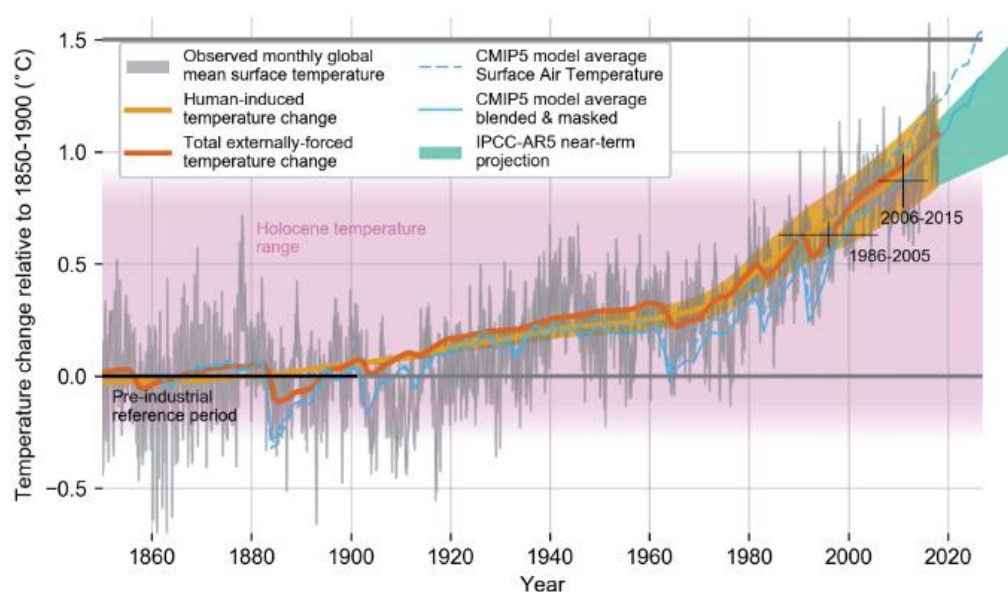


Figura 3-1: Evolución de la temperatura superficial media mundial (IPCC 2018c).

Esto también se observaba en la Figura 2-4, donde se aprecia en color grisáceo la temperatura media observada mes a mes y el calentamiento global debido a la acción humana asociado. En el lado derecho de la misma imagen, la zona gris responde a la respuesta más probable de calentamiento suponiendo que a partir de 2020 se reducen las emisiones de CO₂ llegando a cero en 2055 y las emisiones distintas de CO₂ crecen hasta 2030 y luego siguen la misma tendencia decreciente. El espectro azul corresponde a una urgente reducción de emisiones llegando a cero en 2040 (Figura 3-2 izquierda); por último, el espectro violeta corresponde a una situación en la que las emisiones netas de CO₂ son nulas en 2055 pero las distintas de CO₂ se mantienen constantes (Figura 3-2 derecha).

⁴ El CMIP5 corresponde a la quinta fase del proyecto CMIP (Taylor, Stouffer y Meehl 2012). Suponen treinta y cinco experimentos que pretenden ser de utilidad entre otras cosas para evaluar las situaciones más posibles del clima en un corto plazo y plantear respuestas a estas situaciones.

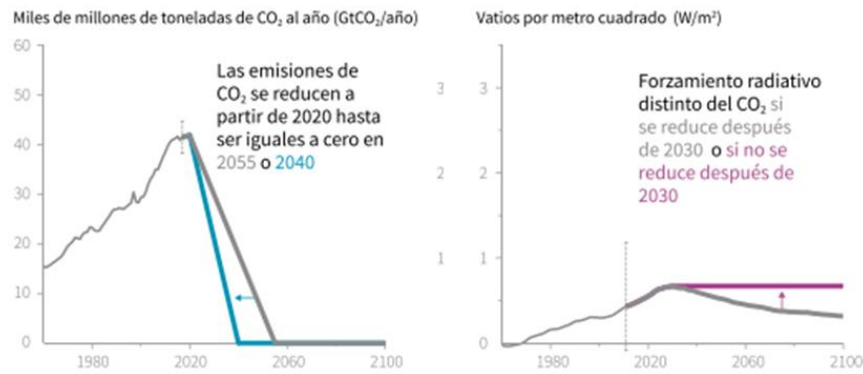


Figura 3-2: “Trayectorias estilizadas de las emisiones globales netas de CO₂” (izquierda) y “Trayectorias del forzamiento radiativo distinto del CO₂” (derecha) (IPCC 2018d).

Como consecuencia de esto se prevén problemas para la especie humana en el ámbito de la salud, suministro de agua y crecimiento económico, siendo más notables estos problemas según sea mayor el incremento de temperatura. Los efectos del cambio climático no serán uniformes en todo el globo, siendo las poblaciones desfavorecidas, indígenas y sociedades en las que predominen la agricultura las zonas más afectadas, además se considera que el Ártico y sus ecosistemas queden desprotegidos ante tal peligro.

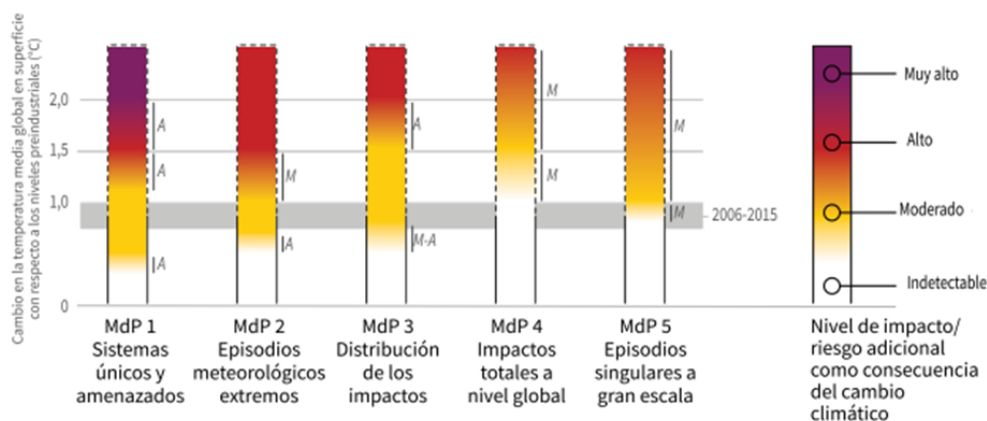


Figura 3-3: “Impactos y riesgos asociados a los motivos de preocupación” (IPCC 2018d).

Estas secuelas están directamente relacionadas con los motivos de preocupación que se describieron ya el tercer informe de evaluación, TIE IPCC, por los que se estudia el calentamiento global y las emisiones. Los motivos de preocupación resumen las consecuencias de una manera genérica para personas, economías y ecosistemas. En la Figura 3-3 se evalúa como afecta el incremento de temperatura a cada uno de los motivos de preocupación.

Con el objetivo de conseguir un sobrepaso nulo o reducido de 1.5°C se necesitan transiciones sin precedentes en el sistema energético, terrestre, transporte e industrial; esto implica importantes reducciones de emisiones y optar por alternativas de mitigación en todos los sectores.

En los sectores que requieren de la energía para su producción⁵, el objetivo principal es disminuir la demanda energética, a través de mejoras en la eficiencia y descarbonización de los sectores a través de la electrificación. Estas medidas serán distintas y no igualmente aplicables en todos los sectores.

La industria es en cuanto a demanda y emisiones de gases de efecto invernadero el sector que contribuye en mayor medida. Las emisiones directas de CO₂ corresponden al 25% del total, creciendo desde 2010 un 3.4% al año (Hoesly et al. 2018). Las de mayor repercusión son las industrias de fabricación de materiales: acero, materiales no ferrosos, químicos, papel y minerales no metálicos; son causantes del 66% de la demanda dentro de la industria y del 72% de las emisiones. El uso que las industrias manufactureras hacen de la energía es para procesos de calentamiento y generación de vapor, la electricidad por otro lado, aunque en menor medida, se suele destinar para trabajos mecánicos (Banerjee et al. 2012). Las medidas de mitigación en el sector se dividen en distintas estrategias:

- Reducir la demanda energética.
- Aumentar la eficiencia energética.
- Aumentar la electrificación de la demanda energética.
- Reducir los combustibles fósiles.
- Desarrollo de procesos para la captura y almacenamiento de dióxido de carbono.

Para reducir la demanda energética y las emisiones de forma genérica se debe optar por extender el ciclo de vida de los materiales y productos, favoreciendo su reciclado y reutilización en otras industrias. Con respecto a la eficiencia, conviene cambiar la materia prima actual basada en combustibles fósiles por una materia prima más baja en carbono como el gas natural o la biomasa (IEA 2017).

Las emisiones de CO₂ en 2050 debidas al sector si se sigue el ritmo hasta ahora incrementarán en un 30%; sin embargo, en los modelos para no superar los 1.5°C y los 2°C se calculan unas reducciones del 80 y 50% respectivamente (Figura 3-4).

Con el fin de descarbonizar la industria, la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (en adelante CAC⁶) juega un papel importante en estos modelos, especialmente en industrias con altas emisiones en sus procesos como la industria del acero, hierro y cemento.

Concretamente, en el sector industrial supondría reducir respecto a los niveles de 2010 entre un 65 y 90% de las emisiones de CO₂ para 2050. Los medios que se estudian posibles para conseguirlo son: investigación de nuevas formas de tecnologías como la electrificación e hidrógeno y su combinación con la tecnología existente, materias primas biológicas sostenibles, producción en estructura circular y captura, utilización y almacenamiento de dióxido de carbono (en adelante, CUAC⁷). Esta expansión de las medidas, como se ha dicho anteriormente, sin precedentes podría estar sujeta a limitaciones económicas e institucionales. Podría llegar a suponer una inversión a nivel mundial de 830 000 millones de dólares estadounidenses de 2010.

⁵ En inglés, son los llamados *energy end-use sectors*: transporte, industria, edificación, agricultura, forestal y desechos.

⁶ También conocido por sus siglas en inglés, CCS: carbon dioxide capture and storage.

⁷ A veces conocido también por sus siglas en inglés CCUS: carbon dioxide capture, utilization and storage.

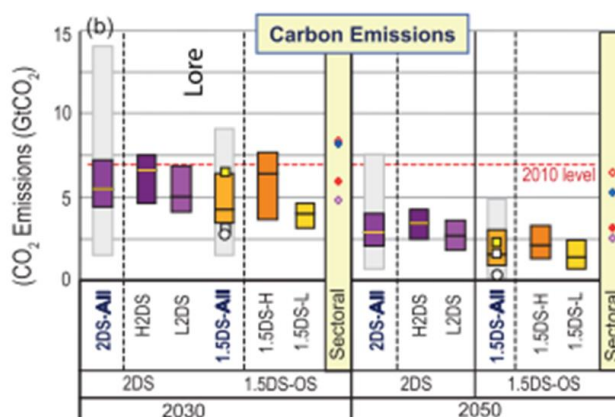


Figura 3-4: Proyección de las emisiones directas de CO₂ en el sector industrial⁸ (IPCC 2018c).

Algo parecido ocurre en el sector transporte. La diferencia principal es que gran porcentaje de las emisiones que se producen en este sector se debe al uso del transporte y no a su producción por lo que la mayoría de las medidas siempre están destinadas a reducir ese aspecto. Aun así, algunos de los medios para reducir emisiones que también intervienen en la producción son la mejora de eficiencia energética y el cambio por otros combustibles. Para el transporte de carretera, se esperan mejoras incrementales en el vehículo, especialmente en el motor, posibilitando el empleo de vehículos totalmente eléctricos en un futuro a corto y medio plazo. A consecuencia de esto, se necesitará aumentar la electrificación en el sector, ya no solo en el propio vehículo aumentando la capacidad de carga de la batería sino rediseñando las infraestructuras para permitir la implementación de estos vehículos en la día a día. Aunque el sector incluye también el transporte marítimo y aeroespacial y su demanda presenta un crecimiento durante este siglo, las medidas para reducir el empleo de carbón en estos ámbitos están todavía en desarrollo y efectuar los cambios es un desafío para la tecnología aún (IEA 2017).

Pretendiendo alcanzar para 2050 el propósito de una economía neutra en carbono y no superar los 1.5°C de incremento, en general se tiene que producir una transición medida de forma que sea eficaz, pero sin aumentar las injusticias y desigualdades con otras naciones y ecosistemas más vulnerables.

Actualmente la industria emite, contabilizando las emisiones directas e indirectas, un tercio de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, para 2050 deberá reducir sus emisiones totales solo a 2 GtCO₂, lo que supone una reducción de hasta el 91% respecto a los niveles de 2010.

⁸

- 1.5DS-OS: modelos de proyección para no superar el incremento de 1.5 grados centígrados en 2100, aunque haya una probabilidad de superarlo en algún momento del siglo y luego volver a disminuir.
- 2DS: modelos de proyección para no superar el incremento de 2 grados centígrados en 2100.

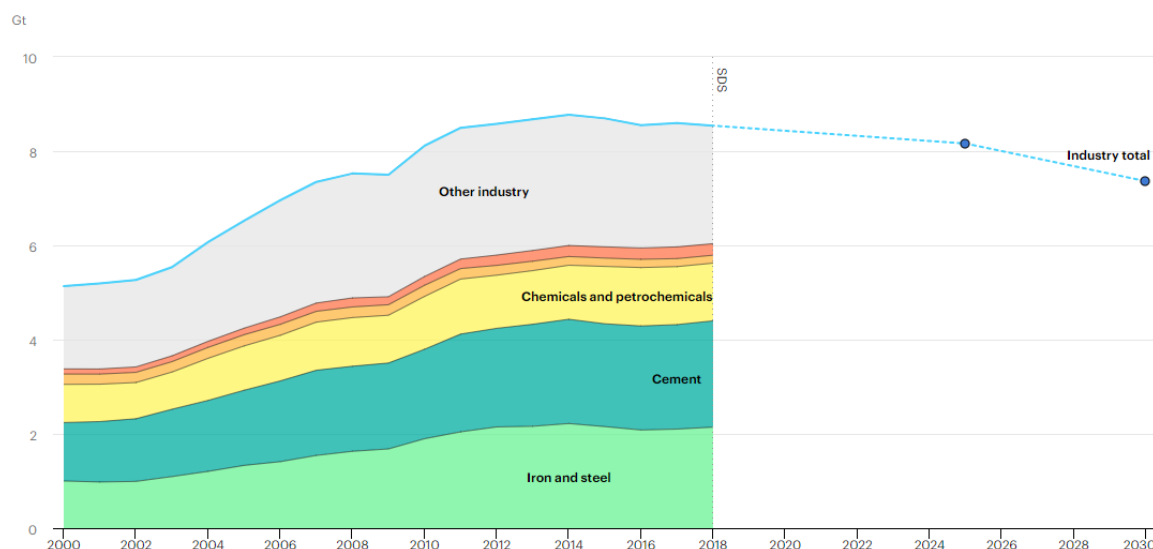


Figura 3-5: "Emisiones directas de CO2 por el sector industrial y proyección para un planteamiento sostenible" (IEA 2019).

La mejora de la eficiencia por sí sola no será suficiente para disminuir estas emisiones (Napp et al. 2014). La viabilidad depende de la capacidad para reducir los costes de capital y aumentar tanto la sensibilización como los conocimientos técnicos, las nuevas tecnologías y herramientas para la gestión de la energía harían mejorar la eficiencia desde distintos ámbitos (Wesseling et al. 2017).

La economía circular y en especial el reciclaje de materiales supondrá importantes avances. De todos los aspectos es el que más limitaciones a nivel institucional presenta (Cooper-Searle, Livesey y Allwood 2018), no obstante, supone ventajas relevantes en cuanto a costes, salud y medioambiente.

En desarrollo está todavía el empleo de materias primas de origen orgánico para introducirlo en el sistema de economía circular favoreciendo así el almacenamiento de dióxido de carbono. Un ejemplo actual es el uso de algas y energía renovable para la producción de fibra de carbono (Arnold et al. 2018). A pesar de esto, y uno de los motivos por los que todavía está en desarrollo esta técnica es porque normalmente la energía necesaria para transformar este tipo de materia prima, los costes asociados y con todo esto, las emisiones en todo el ciclo siguen siendo de gran importancia (Wesseling et al. 2017).

Mayor repercusión tendría la electrificación y el empleo de hidrógeno como fuente de energía para llegar a las cero emisiones en 2050. Para poder efectuarlo en la fabricación de materiales se requería mayores avances tecnológicos, así como suministros rentables de electricidad de bajo carbono. El hidrógeno de baja emisión se obtendrá a partir de gas natural y captura y almacenamiento de CO2 (CAC) o a partir de electrólisis con electricidad de baja emisión; para obtener este resultado se vuelve a recaer en los avances tecnológicos necesarios (Philibert 2017).

El sector industrial cuenta con mayor posibilidad de llegar a realizar procesos con CO2 que previamente ha sido capturado y almacenado que con fuentes de bioenergía. Pese a esto, la heterogeneidad del sector puede suponer acuerdos institucionales específicos en cada subsector dificultando así su viabilidad (Mikunda et al. 2014).

Resulta beneficioso afrontar la misma situación desde otra perspectiva, esta perspectiva nace del modo en el que las empresas y distintas organizaciones han decidido tomar conciencia a partir de todos estos informes, datos, análisis y evaluaciones se han ido elaborado y se recogido previamente en este escrito.

Esta preocupación por parte de las empresas en favor de la sostenibilidad ha aumentado a lo largo del tiempo, y es por eso por lo que hoy en día marcas importantes apuestan por dedicar un espacio al cálculo de gases de efecto invernaderos que se producen en la fabricación, montaje, ensamblaje y distribución de sus productos. De este modo, además de estudiar y si es posible, disminuir sus emisiones a la atmósfera, generan una reacción positiva en terceras partes ajenas a la empresa

De igual modo es conveniente tener en cuenta el método en el que las distintas organizaciones y empresas calculan su huella de carbono e impacto y qué incluyen realmente en estos cálculos, ya que como se verá posteriormente, existen distintas versiones de lo que se entiende como huella de carbono y por tanto varias formas de calcularla, qué dependiendo del caso puede dar como resultado una mayor o menor huella según la metodología que se escoja.

Tras una búsqueda bibliográfica se percibe que no en todos los sectores se encuentran informes de evaluación de emisiones con la misma facilidad. Tal es el caso en el ámbito de automoción que, aunque en la mayoría de las páginas web y documentación aparece el tema medioambiental, el hincapié suele estar en la contaminación que se produce en la fase del uso del automóvil o motocicleta, más que en lo que las generadas durante el diseño y fabricación de los vehículos.

A continuación, se muestra en la Tabla 3-1, algunas empresas de las que se ha podido rescatar sus informes de sostenibilidad y el estándar por el que han optado. Se aprecia que la mayoría de ellas, a nivel organizacional, se han apoyado en la guía que proporciona el GHG Protocol Team, aunque en los casos que mencionan las emisiones producidas durante la fabricación de algún producto la referencia está en la ISO 14040/44, que estudia las emisiones según el ciclo de vida del producto en sus distintas fases. Igualmente, como se comentará posteriormente cuando se expliquen las normas (sección 4.3), para obtener una certificación oficial sobre la gestión de emisiones esas empresas han debido recurrir a la ISO 14001, la única que posee un certificado respaldado por otras normas.

Empresa / organización	Protocolo	Fuente	Observaciones
Apple Inc.	GHG Protocol y Apple Internal Protocol.	(Apple Inc. 2019)	ACV según ISO 14040/44.
EMASESA	ISO 14064	(EMASESA 2017)	
Heineken N.V.	GHG Protocol	(Heineken 2019)	
Honda Motor Co. Ltd	GHG Protocol	(Honda Motor Co. Ltd 2019)	Certificado ISO 14001.

Metal Ferrol S.A.L	ISO 14064	(Metal Ferrol S.A.L 2018)	Para la evaluación del consumo eléctrico utiliza el GHG Protocol. Certificado de acuerdo con la ISO 14001.
Volkswagen AG	GHG Protocol	(Volkswagen AG 2019)	
Yamaha Corporation	GHG Protocol	(Yamaha Corporation 2019)	Certificado ISO 14001.

Tabla 3-1: Metodología escogida por distintas empresas en sus informes de sostenibilidad y medio ambiente.

3.2 Gases de Efecto Invernadero

3.2.1 Qué son

En 1987 se adopta el Protocolo de Montreal que se elabora en el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono dos años antes, en 1985. En ese documento (Naciones Unidas 2020)⁹ se reconoce la emisión de sustancias derivadas de actividades humanas, es decir, antropógenas, que pueden agotar y modificar la capa de ozono provocando repercusiones en la salud y medio ambiente. Se recogen medidas con intención de limitar y controlar los siguientes gases: clorofluorocarbonos (en adelante, CFCs), halones, tetracloruro de carbono, metilcloroformo, hidroclofluorocarbonos (en adelante, HCFCs), hidrobromofluorocarbonos (en adelante, HBFCs), metilbromuro, bromoclorometano e hidrofliorocarbonos (en adelante, HFCs).

Aun así, los gases de efecto invernadero se redefinen en el Protocolo de Kyoto (1997) en su Anexo A, incluyendo: dióxido de carbono (CO₂), metano (en adelante, CH₄), óxido nitroso (en adelante, N₂O), HFCs, perfluorocarbonos (en adelante, PFCs) y el hexafluoruro de azufre (en adelante, SF₆).

El IPCC, siguiendo el modelo de definición de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Naciones Unidas 1992), define de la siguiente manera los gases de efecto invernadero (GEI) en sus informes de síntesis:

Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Además, la atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO₂,

⁹ Aunque el documento original del Protocolo de Montreal se publica en 1987, la bibliografía consultada corresponde a la decimotercera edición (2020) del mismo manual.

N₂O y *CH₄*, el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (*SF₆*), los hidrofluorocarbonos (*HFC*) y los perfluorocarbonos (*PFC*) (IPCC 2018a).

Por gases de efecto invernadero primarios se hace referencia a los que de una manera natural se han producido y siguen produciéndose en la Tierra que son la mayoría, aunque las actividades humanas pueden además generar este tipo de gases contribuyendo así de forma antropógena a sus emisiones (IPCC 2007b).

La siguiente información relativa a cada uno de los principales agentes contaminantes de la atmósfera pertenece en su mayor parte al Resumen para Responsables de Políticas elaborado por el Grupo de Trabajo I del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de 2007, si no fuera el caso se citará como hasta el momento. En la Figura 3-6 se muestran los principales agentes climáticos perjudiciales de forma separada. Desde (a) hasta (e) en naranja se muestra la contribución antropógena, en azul verdoso se muestran las fuentes y sumideros naturales.

3.2.2 Vapor de agua

En 2013 cuando se comienza a preparar el Quinto Informe de Evaluación del IPCC los científicos ya consideran el vapor de agua como el gas de efecto invernadero más abundante en la atmósfera, dato que se llevaba trabajando desde 2007 por el IPCC cuando elaboraban el cuarto informe¹⁰. La relación con el siguiente gas con mayor aportación a la atmósfera, el dióxido de carbono es de dos a tres veces mayor, aunque existen diferencias notables entre ambos.

El vapor de agua es el mayor contribuyente también de forma natural y su existencia es esencial para el clima en la Tierra. Actualmente se participa con emisiones antropógenas que derivan de refrigeración de plantas industriales, de la evaporación en los cultivos y de combustiones en la industria. La diferencia principal reside en que el vapor de agua se condensa y precipita normalmente, siendo el tiempo que permanece en la atmósfera de diez días de media, y la aportación antropógena es bastante menor que la natural; esto hace que la contribución del vapor de agua al efecto invernadero a largo plazo no sea considerado por los científicos (Stocker et al. 2013).

Por tanto, el vapor de agua troposférico, por debajo de diez kilómetros de altitud, no es un gas antropógeno que contribuya al forzamiento radiativo. La proporción restante estratosférica sí es mucho menor que la del dióxido de carbono y el metano. Aunque la oxidación del metano en la atmósfera genera una fuente adicional de vapor de agua todavía no se puede verificar que actúe como forzamiento o como agente de retroalimentación¹¹.

3.2.3 Dióxido de carbono

El CO₂ es el principal agente invernadero antropógeno y también tiene un importante papel como agente natural.

Debido al equilibrio que existe de forma natural, el incremento observable de CO₂ en la atmósfera no corresponde con las emisiones totales ya que parte se absorbe por las plantas terrestres y océanos, de hecho, exactamente se muestra únicamente el 55% del CO₂ liberado de manera antropógena. De toda esta cantidad, más del 75% de las emisiones se deben a la combustión de combustibles fósiles y la producción

¹⁰ Véase *The Physical Science Basis* (IPCC 2007b), donde se dedica un apartado a los gases de efecto invernadero que predominan en la atmósfera, siendo el primero el vapor de agua.

¹¹ La retroalimentación climática consiste en un aumento de concentración del vapor de agua que intensifica el efecto invernadero y en consecuencia, incrementa el calentamiento (Stocker et al. 2013).

de cemento, y lo restante debido al uso de suelos. Los expertos aclaran que el ciclo natural del carbono no explica este incremento sin la aportación humana. Desde hace 25 años se ha aumentado la concentración en la atmósfera de 3.2 a 4.1 GtC yr⁻¹ en forma de CO₂¹². Los sumideros naturales de CO₂, que han producido un insumo de 3.3 GtC yr⁻¹, han permitido compensar gran parte de las emisiones humanas; de otra manera el incremento hubiera sido aún mayor. En la Figura 3-6(a) se muestran las principales fuentes y sumideros de CO₂: en primer lugar, la quema de combustibles fósiles y producción de cemento, así como el uso de las tierras; por otro lado, el sumidero terrestre y oceánico.

Actualmente, la concentración de CO₂ es de 379 ppm¹³, con una tasa de crecimiento de 30 ppm desde hace 17 años.

3.2.4 Óxido nitroso

En el caso del N₂O, las emisiones por ambos lados ya sean por actividades humanas o de forma natural están igualadas. Este gas se genera de forma antropógena debido al uso de fertilizantes, en la agricultura y cría de animales y en algunas actividades industriales (fabricación de nylon), tal y como se muestra en la Figura 3-6(d). Además de forma natural, en el suelo y los océanos también se libera. El óxido nitroso puede llegar a estar 114 años en la atmósfera antes de su absorción.

3.2.5 Metano

Actualmente las fuentes antropógenas superan a las naturales. De forma natural el CH₄ surge de humedales, aunque en menor medida también de océanos, y la vegetación. El metano generado en actividades humanas procede principalmente de la producción de energía con carbón y gas natural, la eliminación de residuos, la ganadería, agricultura del arroz y quema de biomasa (Figura 3-6(c)). Suele permanecer 8.5 años en la atmósfera, cuando se elimina por oxidación química en la troposfera.

3.2.6 Ozono

El ozono es otro gas que cuenta con cierta particularidad ya que reacciona químicamente con otros gases. El ozono dura en torno a pocas semanas en la atmósfera, y aparece como producto de reacciones en la troposfera en las que intervienen partículas emitidas por procesos biológicos y actividades humanas como el monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de nitrógeno, aunque los halocarbonos son capaces de destruirlo dando lugar a huecos de ozono que se ha producido en la Antártida estos años. Aun así, el incremento del ozono troposférico desde la época preindustrial se estima, con evidencia media, del 38% (Figura 3-6(e)).

3.2.7 Halocarbonos

Con el término halocarbonos se define a las especies orgánicas halogenadas, se incluyen en este grupo los CFC, HCFC, HFC, halones, cloruro de metilo y bromuro de metilo, los halocarbonos con cloro y bromo también se recogen en esta definición (IPCC 2018a). Principalmente destacan los clorofluorocarbonos por su explotación para refrigeración y otros procesos industriales antes de conocer su poder para destruir el ozono de la atmósfera.

Desde 1950 aproximadamente se implantaron nuevas técnicas químicas en la industria que trajo consigo el uso de esos gases. Dependiendo de su composición, estos gases tienen un periodo de vida distinto: los PFC

¹² GtC yr⁻¹ quiere decir Giga toneladas de Carbono al año.

¹³ ppm quiere decir partes por millón.

duran miles de años, los HFC hasta 270, los CFC entre 45 y 100 años y los HCFC 18 años como mucho; esto hace que su aportación sea distinta en función del tiempo que persistan. Aunque los HCFC deben eliminarse para 2030 según el Acuerdo de Montreal, aún siguen aumentando junto con los HFC y PFC.

En la Figura 3-6(b), se recoge la aportación de los principales en dos momentos distintos, la línea naranja clara corresponde a niveles en 1990 y la oscura a 2002.

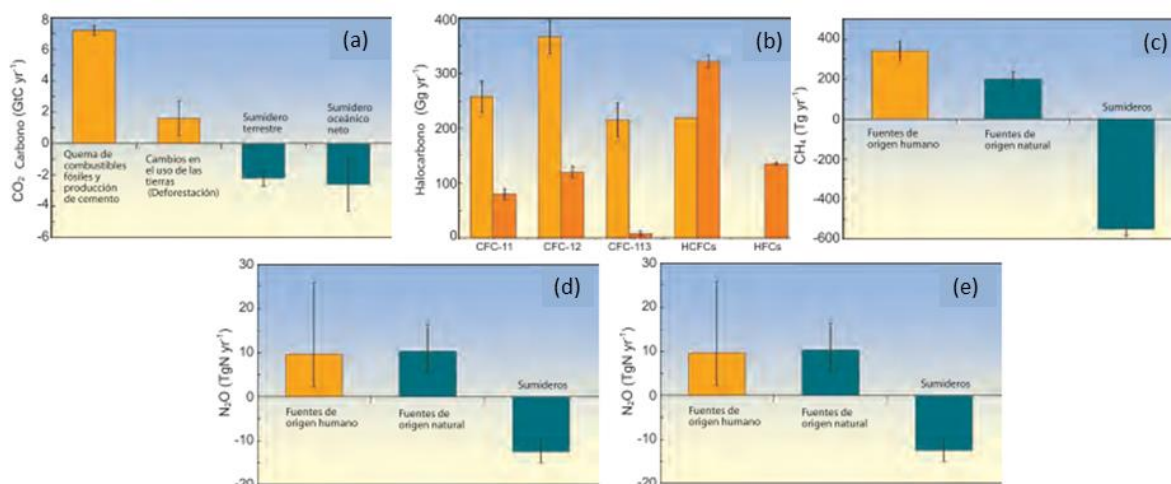


Figura 3-6: Concentraciones de los distintos gases de efecto invernadero (IPCC 2007b)¹⁴.

3.3 Dióxido de carbono equivalente

En el artículo 3 del Protocolo de Kyoto se hace mención a que las emisiones antropógenas agregadas por las Partes deberán estar expresadas en dióxido de carbono equivalente (Naciones Unidas 1997) y cede la responsabilidad de confeccionar una metodología para ello al IPCC junto la Conferencia de las Partes. Además de la metodología, el IPCC es el encargado de determinar los potenciales de calentamiento globales (en adelante, PCG) para los distintos gases. Relacionado con esto, exige que a las Partes del protocolo que lo ratifiquen deberán realizar un inventario anual de sus fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero siguiendo la metodología acordada.

Dicho esto, en las posteriores publicaciones del IPCC vinculadas con este tema se define lo que se considera actualmente una emisión de CO₂ equivalente:

Cuantía de emisión de dióxido de carbono (CO₂) que causaría el mismo forzamiento radiativo integrado o cambio de temperatura, en un plazo dado, que cierta cantidad emitida de un gas de efecto invernadero (GEI) o de una mezcla de GEI. Hay varias maneras de calcular esas emisiones equivalentes y de elegir los plazos adecuados. La emisión de CO₂ equivalente suele calcularse habitualmente multiplicando la emisión de un GEI por su potencial de calentamiento global (PCG) en el plazo de 100 años. En el caso de las mezclas de GEI, se suman las emisiones de CO₂ equivalente correspondientes a cada gas. La emisión de dióxido de carbono equivalente constituye una escala común para comparar las emisiones de diferentes GEI, aunque no implica una equivalencia exacta en las respuestas correspondientes en términos de cambio climático (IPCC 2018a).

¹⁴ Gg equivale a 10e9 gramos, de igual modo que Tg equivale a 10e12 gramos.

De este modo, la emisión de dióxido de carbono equivalente por otros gases queda resumida en esta sencilla ecuación:

$$CO_2eq = Kg \text{ emisión gas} \times PCG_{100}$$

Ecuación 3-1: CO2 equivalente para otros GEI.

La unidad que se suele emplear en estos casos son las toneladas de CO2 equivalente, aunque dependerá del conjunto que se estudie en cada caso.

La utilización del potencial de calentamiento global resulta interesante exclusivamente para los gases de efecto invernadero de larga vida (en adelante, GEILV). Sirve para comparar el cambio climático potencial de distintos gases de efecto invernadero estableciendo como base una emisión de referencia (IPCC 2007b). Esta unidad de referencia que se establece es la fuerza de radiación del dióxido de carbono por lo que su PCG será unidad; y aunque el PCG puede utilizarse para distintos periodos de tiempo, lo más utilizado es un espacio temporal de 100 años (PCG100).

En el informe de 2013 del Grupo de Trabajo I para el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (Myhre et al. 2013) se recoge en una tabla los distintos potenciales de calentamiento global para los gases de efecto invernadero de larga vida que actualmente se utilizan en la mayoría de los casos.

De acuerdo con publicaciones relacionadas con el tema, los gases que comúnmente se incorporan a este cálculo debido a la claridad con la que se pueden hallar datos sobre sus emisiones y la magnitud de estas son, el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano y los halocarbonos. Sin embargo, siempre que se tenga la posibilidad de calcular datos de otros gases se deben incluir con la intención de proporcionar un resultado más objetivo de las emisiones derivadas de los productos o actividades que se estudien. Las importantes metodologías, como se verá posteriormente, actúan de acuerdo a este hecho, prestando especial dedicación a los gases previamente mencionados.

Siguiendo el modelo del GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol Team 2013), convendría además tener en cuenta el hexafluoruro de azufre (SF6) y el trifluoruro de nitrógeno (NF3) para calcular el equivalente en dióxido de carbono de los HFC y PFC.

El término dióxido de carbono equivalente ha resultado de gran utilidad desde su nacimiento, consiguiendo que hoy en día no solo sirva de referencia como suma de las contribuciones de otros gases, sino que, además, muchos procesos y actividades complejas que envuelven otros subprocesos actualmente cuentan con un factor de emisión de dióxido de carbono equivalente. Tal es el caso del consumo eléctrico, el suministro de agua, mecanizados y otras actividades industriales. Este factor de emisión lo ofrece cada empresa en sus informes medioambientales ya que depende de las tareas que lleven a cabo y el estudio de emisiones que hayan realizado, por lo que, aunque dos empresas estén dedicadas a la misma actividad pueden diferir en su factor de emisión si sus actividades no son idénticas. Dicho factor no es de obligado cumplimiento ofrecerlo ni hacerlo público por lo que no siempre es fácil la tarea de búsqueda.

El IPCC a través de su documento Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Rypdal y Paciorek 2006) ofrece una guía para los países para estimar el factor de emisión de un proceso o actividad que se repite de forma sistemática en el sector energético, la industria, agricultura y otros usos del suelo y los desechos.

El cálculo de la huella de carbono del basculante de este trabajo a través de las distintas actividades que conforman su ciclo de vida está basado en estos factores de emisión calculados con la metodología del

IPCC ya que han sido obtenidos del Informe de Inventario Nacional de GEI (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020b) que se sustenta las estimaciones obtenidas por el método marcado según el IPCC. Ha debido ser de esta manera ya que no se posee material como para realizar un estudio en campo de las emisiones durante la ejecución de las actividades y las empresas que intervienen en la fabricación tampoco tienen recopilada dicha información.

4 ACERCAMIENTOS AL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

En este capítulo se aborda en primer lugar la definición de la huella de carbono, un concepto útil a día de hoy para contabilizar y documentar las emisiones que se producen en organizaciones, empresas y además en productos.

La huella de carbono es un concepto relativamente moderno, de unas décadas de maduración, que ha adquirido en multitud de países y organizaciones una gran aceptación.

Tras definir lo que actualmente se considera huella de carbono, en el capítulo se procede a analizar y desglosar los dos principales enfoques que conlleva el estudio: el enfoque corporativo y el enfoque de producto.

A continuación, se presentan las principales metodologías que actualmente tienen relevancia y se utilizan para calcular la huella de carbono, especificando en cada caso al enfoque que corresponde.

Se presta especial atención y desarrollo a la norma ISO 14067 ya que en cuanto al enfoque de producto es la norma más reciente y que más se estaba esperando para ofrecer un estándar que adoptar por todos. En consecuencia, es la norma que posteriormente sustentará el caso práctico.

Concluyendo, se realiza una comparativa de los tres principales métodos que se utilizan para el cálculo de la huella de carbono en productos.

4.1 Huella de Carbono

Con la importancia que ha adquirido en estas décadas la situación medioambiental y el calentamiento global, la Huella de Carbono (en adelante, HdC) ha sido una de esas herramientas que ha ido desarrollándose al mismo nivel. La HdC ha crecido sobre todo en campos de eficiencia energética y costes en organizaciones con el fin de contribuir a mejorar la rentabilidad de la misma y su relación con el medio ambiente, pero para lograr un éxito en la utilización debe resultar de interés tanto por los consumidores de

esos productos y servicios en los que se ha tenido en cuenta las emisiones generadas y los productores y extractores de materias primas (Foran et al. 2005).

La Huella de Carbono es un concepto que, de forma genérica, ayuda a calcular la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos en procesos, actividades de producción, productos y organizaciones.

Este concepto, que puede ser también utilizado para bienes y servicios (Pandey, Agrawal y Pandey 2011), realmente no posee una definición aceptada comúnmente dando lugar a controversia sobre la forma de su utilización (Wiedmann y Minx 2007). Esto ha posibilitado que se desarrollen metodologías diversas para su aplicación, posibilitando que de manera arbitraria las organizaciones gubernamentales y empresas hayan escogido la que más se ajuste a sus intereses (Plassmann et al. 2010).

Tener en cuenta las emisiones de efecto invernadero es la forma de hacer visible la preocupación por el medio ambiente y una economía sostenible, aunque en la práctica la adopción de medidas sea mucho más lenta. Considerar este tipo de factores y apoyar una fabricación sostenible hoy en día hace aumentar la eficiencia energética y la competitividad, consiguiendo así también destacar en el mercado. Actualmente los mayores partícipes que han adoptado medidas son grandes empresas con comercio internacional (CEPAL 2011; Espíndola y Valderrama 2016; Burritt y Tingey-Holyoak 2012).

Comenzar a exigir la Huella de Carbono como un indicador de emisiones en las empresas supone un reto importante para la mayoría, ya que muchos sistemas de producción, aunque se terminen en Europa y otros países desarrollados cuentan con gran parte de las actividades en países en vías de desarrollo. Esto es un riesgo a la hora de contabilizar adecuadamente el dióxido de carbono equivalente en toda la línea de fabricación. Por otro lado, a sabiendas de las exigencias que las naciones están imponiendo respecto a la contaminación, no contar con esta nueva herramienta podría suponer pérdidas económicas por restricciones en el comercio (Brenton, Edwards-Jones y Jensen 2009; Macgregor y Vorley 2006; Kasterine y Vanzetti 2010).

Existen varias controversias principalmente a la hora de definir esta herramienta que César Espíndola y José Valderrama (2012b) recogen brevemente:

- El alcance que debe de abordar la Huella de Carbono: aquí se incluyen las emisiones que deben de considerarse, las distintas etapas del ciclo de vida y las fronteras del sistema a considerar.
- La exactitud y origen de los datos. La inclusión o no de los bienes de capital y flujos monetarios dentro de la empresa.
- Las distintas metodologías y enfoque que dificultan la comparación de distintas Huellas de Carbono.
- La introducción de la electricidad renovable, así como la de actividades destinadas a disminuir o compensar la Huella: uso de sumideros, almacenaje de carbón y el reciclado.

Respecto a los gases, las dos vertientes que se enfrentan difieren en qué se debe tener en cuenta. La más restrictiva opina que debe de tenerse en cuenta únicamente el dióxido de carbono¹⁵ (Wiedmann y Minx 2007), otros dedicados a su cálculo se apoyan en los principales gases de efecto invernadero que contribuyen de una mayor manera a este calentamiento, calculando su equivalente en dióxido de carbono

¹⁵ Como ejemplo real, Narag (2007) estudia la huella de carbono que realiza la famosa cadena cafetera Starbucks y comprueba que los encargados dentro de la empresa de realizar el análisis solo tienen en cuenta el dióxido de carbono.

para poder expresarlo todo bajo una misma unidad funcional (Doménech 2007; Carbon Trust 2007; The British Standards Institution 2011). Estos gases normalmente son los que se enumeran en el Protocolo de Kyoto¹⁶, a sabiendas de que existen otros agentes contaminantes y generando un nuevo debate dentro de esta vertiente. Sumándose a esto, aparece para los partidarios de considerar todos los GEI el dilema sobre el trifluoruro de nitrógeno (NF₃), gas que se considera a partir del segundo período del protocolo de Kyoto (2012-2020) y que cuenta con el segundo mayor potencial de calentamiento tras el hexafluoruro de azufre (CEPAL 2008).

A favor de la vertiente más restrictiva que solo considera el dióxido de carbono, cabe decir que es una manera más hacedera de comenzar, con cálculos y soluciones más prácticas, aunque por otro lado el truncamiento de datos sobre las emisiones de los otros gases limitará las medidas que se lleguen a adoptar. En contraposición, teniendo en cuenta todos los gases, la Huella calculada será más completa a pesar de los cálculos y la toma de datos extraordinaria que se requiera (Wiedmann y Minx 2007; Carballo et al. 2009). Para facilitar estos cálculos, el IPCC desde su Tercer Informe de Evaluación (2007b), proporciona los potenciales de calentamiento global (PCG) de cada gas para poder transformarlo todo a la kilogramos o toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Carballo et al. (2009) comentan como los más restrictivos apoyan la utilización de otra magnitud, llamada *climate footprint*, en la que se consideran los otros gases distintos del CO₂; herramienta que carece de utilidad si de forma adecuada se calcula la Huella de Carbono permitiendo conocer las emisiones emitidas de cada uno de los gases y además, el cómputo total.

Enfocando el alcance, el dilema reside en la extensión que debe abarcar la huella. La opción más restringida exclusivamente considera únicamente las emisiones directas generadas por la organización o empresa. La otra opción es incluir tanto las emisiones directas como las indirectas es decir, tener en cuenta las producidas en la cadena de suministro de la empresa y en la eliminación del producto o la utilización del servicio (Carbon Trust 2007; Wiedmann y Minx 2007).

Incluso teniendo claro que para la Huella de Carbono se va a realizar un estudio de todas las emisiones que afectan el producto, actividad u organización, y por tanto se va a estudiar el ciclo de vida completo ya sea del producto o servicio. Predominan dos orientaciones, de arriba hacia abajo, también llamado enfoque corporativo, y el enfoque de abajo hacia arriba, o enfoque del producto¹⁷.

4.2 Principales enfoques

La perspectiva de arriba hacia abajo, según J. Minx (2009), en un primer momento enfoca la organización en su conjunto y desde ahí parte para conseguir la HdC de los puntos o actividades de interés. El otro enfoque, por el contrario, nace con un estudio concreto de la HdC en una situación, proceso añadiendo las actividades agregadas relacionadas para así obtener la del producto o servicio completo (Wiedmann y Minx 2007).

¹⁶ Véase Marco histórico intergubernamental del cambio climático.

¹⁷ Ambos métodos, debido a la influencia anglosajona también se conocen por su nombre en inglés, respectivamente son: *top-down* y *bottom-up*.

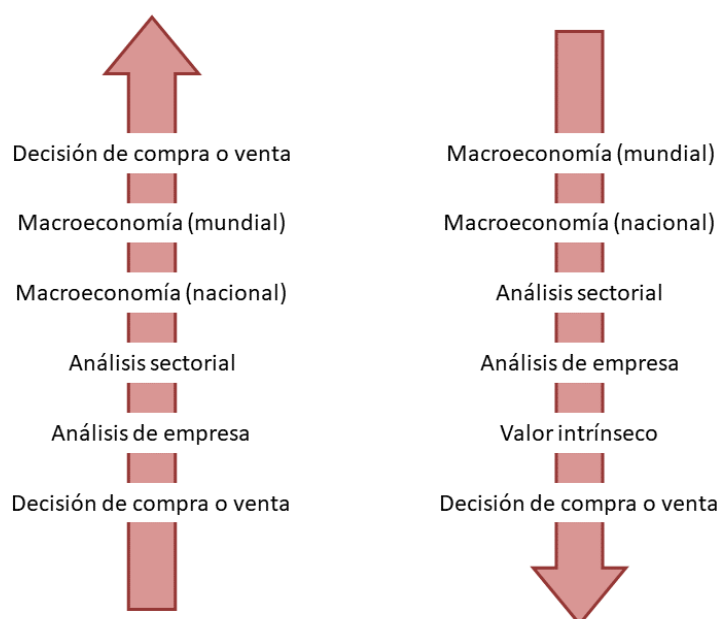


Figura 4-1: Análisis bottom-up y top-down respectivamente. Diagrama adaptado (Espíndola y Valderrama 2012a).

El enfoque *top-down* (Figura 4-1 derecha) se puede entender que actúa como un embudo, en el que se comienza por una visual conjunta del mercado y conforme se realiza el análisis se concretiza el estudio, obteniendo así la Huella de la empresa (Espíndola y Valderrama 2012a). El análisis que se realiza es un análisis de entrada-salida de la organización (*Input-Output Analysis*), esto es, el alcance se determina teniendo en cuenta el entorno cercano que rodea a la empresa (Doménech et al. 2010; Minx et al. 2009). En la Figura 4-2 se aprecia la manera de proceder cuando se realiza este tipo de enfoque para obtener la Huella de Carbono corporativa: el alcance 1 o directo estudia las emisiones que se deben al uso de diferentes combustibles en la empresa, el alcance 2 o indirecto las emisiones por consumo de electricidad y el alcance 3 o indirecto subsidiario estudia las que se deben a actividades empresariales pero suceden fuera de la misma (Espíndola y Valderrama 2012b).

Este modelo ha sido utilizado por organismos intergubernamentales, empresas y otras organizaciones, aunque como se ha comentado previamente, no ha habido consenso respecto a los aspectos que se deciden incluir y por tanto se sospecha que los términos pueden diferir en cada caso (Carballo et al. 2009).

Bottom-up (Figura 4-1 izquierda) estudia realmente en detalle desde el primer momento dando mayor importancia a lo concreto, aunque no por eso olvida la situación más allá de la propia empresa o producto. Pretende analizar los productos o servicios de forma individual en su cadena de transformación desde la obtención de la materia prima a su utilización final. De este modo se obtienen resultados precisos para las diferentes actividades, sin embargo, la dificultad de su aplicación reside en establecer el alcance, difiriendo donde se corta el cálculo y por tanto aumentan los errores. Este estudio implica recursos y fuentes tecnológicas potentes, aumentando en consecuencia el coste de esta metodología por encima de otros enfoques (Espíndola y Valderrama 2012a; Minx et al. 2009). La Figura 4-3 muestra la secuencia que se sigue en este enfoque para calcular la Huella de Carbono del producto, los procesos que de forma generar se consideran son (Espíndola y Valderrama 2012b):

1. Extracción y producción de materias primas.
2. Transporte de materias primas.

3. Producción.
4. Distribución.
5. Uso del producto.
6. Reciclaje o estado final del producto o servicio.

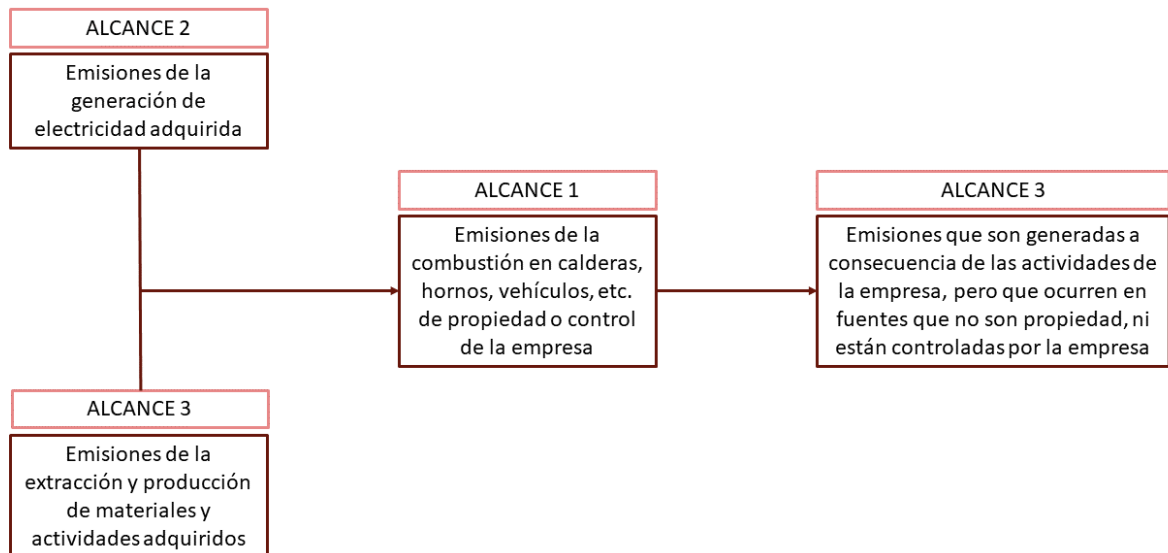


Figura 4-2: Descripción del enfoque top-down. Figura adaptada (Espíndola y Valderrama 2012a).

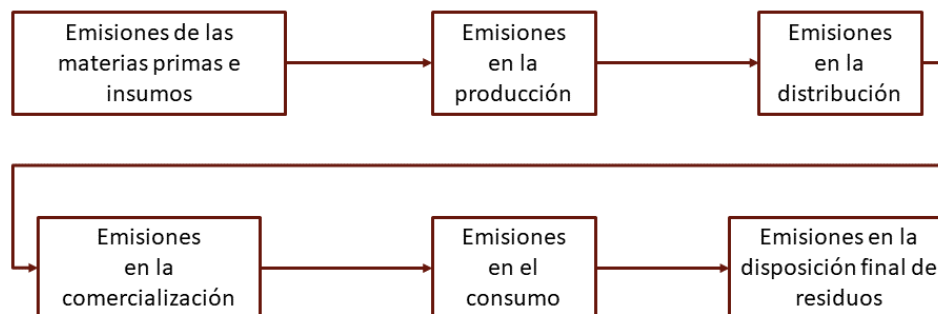


Figura 4-3: Descripción del enfoque bottom-up. Figura adaptada (Espíndola y Valderrama 2012a).

Resulta de interés tener en cuenta otras opciones que surgen al combinar los enfoques comentados hasta el momento. Se denomina enfoque del ciclo de vida híbrido y lo presenta H. Matthews (2008) en un artículo sobre fronteras de cada uno de los métodos conocidos hasta el momento. Pretende con esta nueva visión conservar los detalles del bottom up en los procesos considerados realmente relevantes y en las otras actividades calcular las emisiones a partir de un estudio de entradas y salidas como se realiza en el top down. Si cabía opción, esta nueva orientación abre más el debate ya que se deja pendiente de quién realice el análisis determinar qué etapas serán las de mayor prioridad y por tanto donde se centrará la precisión y exactitud del cálculo, impidiendo la normalización del método (Minx et al. 2009; Espíndola y Valderrama 2012a). Dóminech (2010) de acuerdo a este enfoque ha desarrollado el método MC3 (Método de las Cuentas Contables) que actualmente está adquiriendo relevancia para los estudios españoles fundamentado en los cálculos de Wackernagel y Rees (1996).

Espíndola y Valderrama (2016) con objetivo de facilitar la elección de una de las principales perspectivas desarrollan el método AbaniCO2 (Figura 4-4). Su intención es elaborar un modelo sencillo para sistematizar la elección del método correcto; para ello, entre todos los enfoques buscan los puntos comunes sobre los que se sostienen, adicionalmente para facilitar la selección de uno de los enfoques, estiman necesario identificar los elementos específicos de cada uno.

Así elaboran un ciclo común para el cálculo de la huella de carbono que consta de las siguientes etapas.

1. Detallar el objetivo de cálculo, es decir, motivos fundamentales por los que se pretende calcular la Huella de Carbono.
2. Unidad de análisis, puede ser un producto o servicio, una entidad corporativa o ambos.
3. Detallar el punto de vista. De acuerdo con el paso 1, especificar el motivo de la selección, que principalmente pueden ser:
 - a. Determinar fallos en la fabricación.
 - b. Establecer herramientas de gestión sobre las fuentes de emisión.
 - c. Conocer impactos en el medio ambiente.
4. Criterios de selección de emisiones, según la capacidad de control que se tenga de ellas.
5. Clasificación de emisiones. Por alcances según el enfoque top down, por etapas según el bottom up o huellas parciales según el método híbrido.
6. Cálculo de las emisiones, según las técnicas asociadas a cada método.

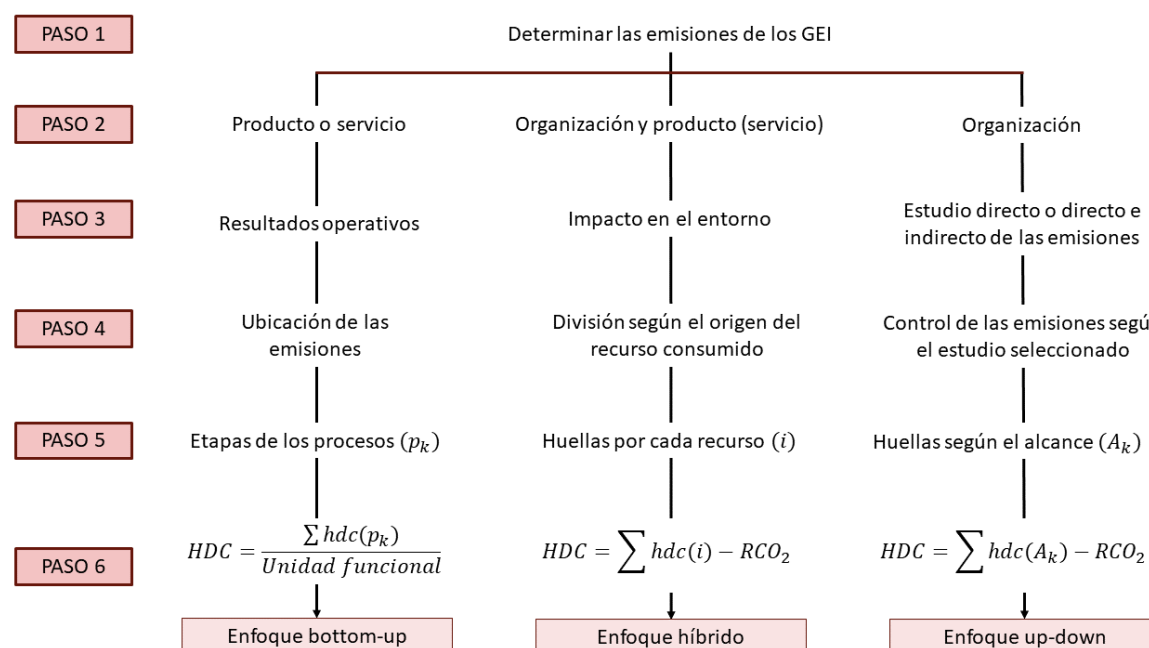


Figura 4-4: Método AbaniCO2. Figura adaptada (Espíndola y Valderrama 2016)¹⁸.

¹⁸ RCO₂ hace mención a actividades que impliquen captura de CO₂.

4.3 Métodos actuales

En este apartado se hace mención de los principales métodos que estudian la huella de carbono tanto a nivel organizacional como a nivel del producto.

Se presta especial atención y detenimiento a los estándares internacionales ISO que, aunque no son de obligatorio cumplimiento en el momento suponen una solución para las hasta ahora discrepancias entre los métodos.

Huella de Carbono organizacional	Huella de Carbono de productos
GHG Protocol	GHG Protocol
Bilan Carbone	PAS 2050
ISO 14064	ISO 14067

Tabla 4-1: Principales métodos de estudio de la huella de carbono.

Además de los métodos mencionados en la Tabla 4-1, también se considera importante el método mixto MC3 o Método de las Cuentas Contables, el cuál relaciona ambos enfoques en una misma metodología de aplicación.

4.3.1 GHG Protocol

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, GHG Protocol en inglés, nace en 2001 como una asociación entre el Instituto de Recursos Mundiales (WRI¹⁹) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD²⁰), con la intención de asentar las bases para analizar y contabilizar las emisiones de los distintos GEI tanto en los sectores públicos como privados (Greenhouse Gas Protocol Team 2001).

Este Protocolo responde adecuadamente al enfoque corporativo principalmente, ofreciendo guías para el cálculo, herramientas para el cálculo de la Huella de Carbono en empresas. Junto a la norma ISO 14064²¹, el Protocolo de GEI se ha configurado como una referencia mundial, viéndose favorecido por el hecho de encontrar gratuitamente todos los estándares y herramientas que hasta el momento ellos mismos han desarrollado (Pandey, Agrawal y Pandey 2011).

El grupo GHG Protocol también cuenta con un estándar para el cálculo de la huella de carbono en productos, es el Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard (Greenhouse Gas Protocol Team 2011). Esta norma supone para las empresas una guía para poder cuantificar y evaluar las emisiones que genera un producto determinado.

El objetivo fundamental del Protocolo es generar un marco completo para las organizaciones y empresas que les ayude para en primer lugar tomar conciencia de su contribución en forma de emisiones al medio

¹⁹ Del inglés World Resources Institute.

²⁰ Del inglés World Business Council for Sustainable Development.

²¹ Véase ISO 14064.

ambiente, y posteriormente para evaluar estas emisiones desde todos los ámbitos, con un enfoque corporativo centrado en los distintos alcances y la posibilidad añadida de calcular las emisiones de los productos que compran, diseñan, venden o utilizan (Atance Laura, Marin Ignacio, Olatz Ripoll 2012). En la Figura 4-5 se puede apreciar la relación entre las tres diferentes normas.

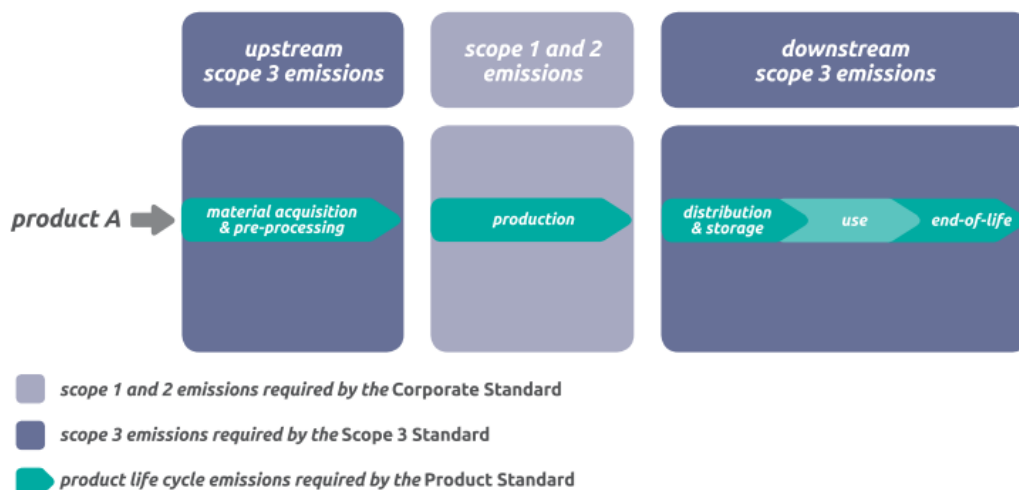


Figura 4-5: Relación entre los distintos estándares del GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol Team 2011)

4.3.2 Bilan Carbone

El Balance de Carbono es otra de esas herramientas que cuenta con reconocimiento mundial. Fue desarrollada en Francia en 2004 por la Agencia del Medio Ambiente y Energía (ADEME). Bilan Carbone es realmente una metodología concreta que pretende proporcionar a las empresas y organizaciones soluciones para lograr una transición ecológica hacia una sociedad baja en carbono. En 2011 era ya el método más utilizado en Francia y desde entonces se sigue actualizando para incorporar nuevas. Inicialmente fue elaborado para convertir los datos productivos relacionados como el consumo de energía, el transporte hasta fábrica y adquisición de materias en emisiones a través de unos factores de emisión; actualmente el método permite separar las emisiones según el alcance, según directas (alcance 1) o indirectas (alcance 2 y 3). Con esta metodología, la organización al finalizar el cálculo de emisiones puede diferenciar cuales son las actividades que generan más emisiones en todo el sistema productivo y la dependencia de estas con los combustibles fósiles pautas (Association Bilan Carbone 2020; Espíndola y Valderrama 2012a).

4.3.3 ISO 14064

Actualmente la norma ISO 14064 se divide en tres documentos que abarcan el acercamiento, cálculo y comunicación de la huella de carbono de organizaciones, actividades y empresas. Hoy en día es una norma voluntaria pero que supone un estándar internacional a nivel global facilitando la comparación de las huellas entre distintas organizaciones. En la Figura 4-6 se aprecia un esquema útil para visualizar la relación entre las distintas normas ISO que intervienen en la gestión medioambiental y la huella de carbono.

- ISO 14064-1: “Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero” (UNE 2019a). Se puede considerar como la base de la norma, dónde se recogen los principios y requisitos para el cálculo y el desarrollo del informe. Además, detalla las

pautas a seguir para establecer los límites de los alcances de las empresas y así determinar claramente las emisiones y reducciones de los distintos gases de efecto invernadero.

- ISO 14064-2: “Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero” (UNE 2019b). Centrada en los proyectos que se realizan con el objetivo de cuantificar y reducir emisiones, detalla los principios en los que se tienen que sustentar, así como las pautas que deben de seguir para realizar el informe del proyecto.
- ISO 14064-3: “Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero” (UNE 2019c). Recoge los elementos necesarios para llevar a cabo la verificación del inventario realizado durante el estudio de la huella.

La norma ISO/TR 14069 (UNE 2015) proporciona una guía de aplicación directa para la norma 14064 previamente descrita, facilitando así la recopilación y cuantificación de datos de las emisiones.

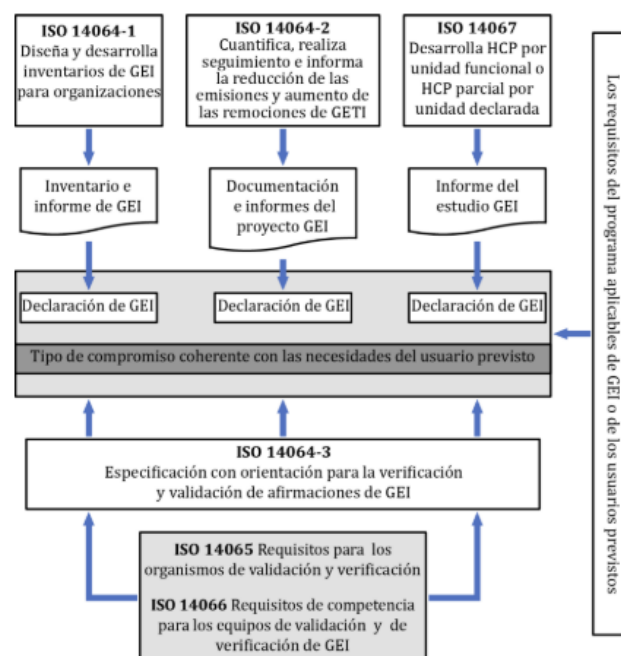


Figura 4-6: Diagrama relacional entre las normas ISO que estudian la huella de carbono, la emisión y gestión de GEI (UNE 2019d).

4.3.4 MC3

Entre el enfoque corporativo y el de producto se encuentra la alternativa desarrollada por Doménech desde 2004 (Doménech et al. 2010) y su versión actualizada MC3 2.0. El Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3), que parte de la idea previa de Wackernagel y Ress (1996), es un método desarrollado en España y aunque no cuenta de momento con la misma repercusión que el resto ha sido empleado en diversos trabajos (Arias y Arruez 2011; Quezada, Hsieh y Valderrama 2013; Penela 2009; Carballo Penela 2010; Doménech y Arenales 2008).

Según Carballo (2010), se define por un método que permite calcular la Huella de organizaciones y productos a la vez. Resumen los beneficios de esta norma en cuatro importantes ventajas:

- Enfoque corporativo que posibilita el ecoetiquetado de la organización y sus productos. Por un lado, el enfoque bottom-up para los consumos de la empresa y por otro, el top-down en sus salidas (los resultados de sus operaciones y actividades) permiten un cálculo simultáneo de la huella.
- El resultado final tras el cálculo es posible mostrarlo en toneladas de dióxido de carbono equivalente o hectáreas de terreno bioproductivo²².
- Existe relación con el flujo monetario de la organización, obteniendo datos de las cuentas contables, permitiendo así obtener nuevas fuentes de emisión y la dependencia de la empresa con estas fuentes.
- A su vez, a los consumos de entrada se les realiza el correspondiente ciclo de vida para sumarlo a la Huella de la organización resultando definido por completo el alcance y sin necesidad de realizar un análisis al empleo del producto o servicio por parte del consumidor.

El método proporciona una plantilla en formato Excel en los que los datos de entrada son los consumos, residuos y el uso de suelo por su capacidad para secuestrar CO₂, a partir de ahí con unos factores de conversión se desarrolla la Huella de Carbono por el método MC3. Actualmente, el método mejorado calcula las emisiones de todos los GEI controlados por el Protocolo de Kyoto utilizando los potenciales de calentamiento global del IPCC.

4.3.5 PAS 2050

El PAS 2050 fue conformado en el Reino Unido por el Instituto Británico de Estandarización (BSI 2011) en conjunto con el Departamento de Medio Ambiente, de Energía y Cambio Climático (DEFRA) y el de trabajo e innovación en 2008. El principal objetivo de la norma PAS 2050 es calcular las emisiones que se producen a lo largo del ciclo de vida de productos y servicios. Actualmente se ha consolidado como una norma de gran relevancia que utiliza como referencia otras normas ISO relacionadas con el mismo concepto como es la ISO 14064 o la ISO 14065²³. En 2010 surge el PAS 2060 de la mano del BSI y siguiendo la norma mencionada previamente, siendo esta nueva norma la análoga a la anterior, pero para el cálculo de emisiones en organismos, empresas y otras organizaciones.

Es una norma de ímpetu internacional aplicable a un amplio abanico de bienes y servicios, aunque en la última revisión de 2011 se incluyeron un conjunto de requisitos complementarios para centrar el enfoque en los sectores industriales y categorías específicas de productos, permitiendo así una aplicación coherente por todos los interesados en usarla.

Si se sigue la metodología que marca el PAS 2050, conviene prestar atención a lo siguiente: las emisiones que se obtengan del ciclo de vida de los productos no proporcionan un indicador de impacto medioambiental global, no se consideran factores sociales, impactos económicos o problemas relacionados con la prestación de los productos, así como otros aspectos del ciclo de vida de los productos como son la acidificación, toxicidad o normas laborales (Atance Laura, Marin Ignacio, Olatz Ripoll 2012).

²² Esta última unidad, las hectáreas de terreno bioproductivo, corresponden a otro indicador medioambiental relacionado con la huella de carbono denominado huella ecológica.

²³ ISO 14065: Requisitos para los organismos que realizan la validación y la verificación de gases de efecto invernadero, para su uso en acreditación u otras formas de reconocimiento.

Permite conocer la magnitud de las emisiones, su potencial de ahorro y establecer una base para la comparación y comunicación, tanto internamente como externamente.

La evaluación de las emisiones de los gases de efecto invernadero se realiza siguiendo el ciclo de vida del producto según la norma ISO 14040²⁴ e ISO 14044²⁵. Los gases que considera son los mencionados en el IPCC (2007b) pudiendo así comparar las emisiones de todos los gases.

En la verificación y constatación final de los resultados se debe demostrar que los datos son consistentes, precisos y exponer con transparencia la metodología adoptada según los principios del PAS 2050.

4.3.6 ISO 14067

Recientemente, en 2018, surge la norma europea ISO 14067 como un nuevo estándar que pretende servir de solución para resolver las discrepancias entre los distintos métodos de cálculo de huella de carbono en productos. Esta nueva norma tiene su origen en la Especificación Técnica ISO/TS 14067:2013 la cual ahora sustituye y anula (UNE 2019d; Espíndola y Valderrama 2012a).

En la misma se define su objetivo principal como:

Cuantificar las emisiones de GEI asociadas con las etapas del ciclo de vida de un producto, comenzando con la extracción de recursos y el abastecimiento de materia prima y extendiéndose a través de las etapas de producción, uso y finalización de la vida del producto (UNE 2019d).

Por otro lado, especifica que la *compensación de carbono*²⁶ queda fuera del alcance del documento, así como otras cuestiones relativas a aspectos económicos y sociales.

Para realizar el análisis del *ciclo de vida*²⁷ se apoya en dos normas principalmente, la ISO 14040 y la ISO 14044 (UNE 2006). La suma de los impactos producidos en las fases consideradas del ciclo de vida será la huella de carbono del producto.

La norma a su vez se puede dividir en dos partes tal y como estaba dividida la Especificación Técnica a la que sustituye. La primera está destinada a la cuantificación de la huella y se aplica tanto a productos como a *huellas de carbono de producto parciales*²⁸. Por otro lado, la segunda parte de la norma se dedica a establecer los estándares de comunicación de la huella de carbono calculada previamente, es decir, requisitos y condiciones para comparar con la huella de otros productos, así como para la comunicación con los consumidores.

Entre los beneficios que proporciona esta norma gracias a la claridad en el cálculo de la huella de carbono de productos destacan (UNE 2019d):

- Con una metodología marcada, facilita el seguimiento de la huella para una posterior reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejor comprensión de la huella, posibilitando identificar oportunidades para la remoción y reducción de gases.

²⁴ ISO 14040: Análisis de ciclo de vida, principios y estructura.

²⁵ ISO 14044: Análisis de ciclo de vida, requisitos y directrices.

²⁶ Véase Índice de Conceptos.

²⁷ Véase Índice de Conceptos.

²⁸ Véase Índice de Conceptos.

- Incentiva a seguir una economía baja en carbono.
- Perfecciona la credibilidad, coherencia y transparencia tanto en la cuantificación como en la comunicación de la huella de carbono, generando así una información confiable.

La ISO 14067 pretende establecer ese marco estandarizado de forma intergubernamental, al menos en Europa, que con el resto de las normas no se ha conseguido y aclarar así los cuestionamientos y criterios que difieren en el resto de literatura (Espíndola y Valderrama 2012b).

De acuerdo con la norma, se procede a detallar cada uno de los pasos necesarios para la cuantificación y desarrollo de la Huella de Carbono del producto. La información aquí recogida procede de la última versión actualizada de la norma UNE-EN ISO 14067:2019 (UNE 2019d).

4.3.6.1 Aspectos de aplicación y principios

Lo primero que se recoge (UNE 2019d) son los posibles motivos por lo que se puede aplicar la norma, entre ellos, recoger información para investigación y desarrollo de productos, así como su mejora y la de las tecnologías que los envuelven, realizar un seguimiento y comunicar la huella del producto.

Para la posterior cuantificación de las emisiones se deberá considerar el ciclo de vida del producto en su totalidad, desde la adquisición de materia prima, como su diseño, producción y fabricación, el transporte, uso y final de vida. Con intención de realizar un estudio completo se debe incluir todas las emisiones y remociones de GEI que intervengan a un nivel representativo en la huella de carbono del *sistema producto*²⁹. El nivel considerado representativo será el determinado en los criterios de corte que se establezcan durante el análisis.

4.3.6.2 Metodología

Conviene tener en cuenta las fases del análisis del ciclo de vida (en adelante, ACV) que conforman parte del estudio:

1. Definición del objetivo y alcance.
2. Análisis del inventario del ciclo de vida.
3. Evaluación del impacto de la huella de carbono del producto.
4. Interpretación del ciclo de vida.

Cada uno de los procesos que se describan se deben acoger a una etapa del ciclo de vida, así como las emisiones y remociones de los GEI.

Lo que se pretende conseguir a modo general es calcular la contribución que supone un producto al calentamiento global, todo ello expresado en dióxido de carbono equivalente. No obstante, en cada informe se debe detallar la aplicación y razones por las que se lleva a cabo el estudio, a quién va destinado y la comunicación y divulgación de la información obtenida.

En el momento de definir el alcance, se deberá tener en cuenta: el sistema que se estudia y su función, una unidad funcional, los límites del sistema, medios de la obtención de datos, límite temporal, las suposiciones

²⁹ Véase Índice de Conceptos.

y supuestos realizados, las emisiones consideradas, limitaciones y una revisión crítica. Es un proceso iterativo que permite realizar modificaciones en el proceso si se documentan en el informe.

La unidad funcional debe estar claramente especificada para proporcionar una referencia para las entradas y salidas de los procesos, cabe mencionar que, si el motivo del informe es realizar una posterior comparación con otro producto, ambos deberán estar expresados en la misma unidad funcional.

Los procesos que se incluyan deberán estar recogidos dentro de los límites del sistema. Los procesos que no se consideren deberán ser identificados y explicar los motivos por los que se quedan fuera. Lo mismo se aplica para las etapas y flujos del ciclo de vida. De forma general se deberán incluir todos los procesos salvo que se considere que el mismo o los flujos de consumo (materia o energía) no son de relevancia para la huella de carbono de una actividad o *proceso unitario*³⁰, los que podrán ser excluidos siempre y cuando se declare debidamente. Igualmente se deberá establecer un marco temporal para el cual la huella de carbono calculada es representativa.

Si se hace un estudio que incluya tanto el uso del producto o servicio se deberá de analizar el tipo de usuario y la forma en la que se utiliza el producto, quedando todo especificado en el estudio.

De igual modo, si la etapa de fin de vida se incluye en el estudio, se deben contabilizar las emisiones que se producen durante esta fase y su procedencia. Algunos de los procesos comunes en esta etapa son: recogida y transporte, reciclado, trituración, incineración y recuperación de la energía. Esta etapa destaca en cuanto que las posibilidades para generar remociones de GEI y disminuir la huella del producto.

Una vez determinado el alcance, se realiza el análisis del inventario. En esta fase lo que se procura es recopilar y cuantificar los datos del ciclo de vida del producto, sus entradas y salidas; para ello se sigue el mismo procedimiento que se marca en la ISO 14044 (UNE 2006): recopilar, validar, adaptar al sistema, ajustar dentro de los límites y asignar.

Respecto a la recogida de datos, se debe de realizar de forma exhaustiva indicando la procedencia de los datos, los métodos de obtención, fecha de recopilación e información adicional que se pretenda aportar sobre los datos.

Con el fin de validarlos, posteriormente se deben contrastar los datos con las fuentes para confirmar que los datos obtenidos sobre los procesos son reales y cumplen la calidad deseada.

En esta norma se considera que la emisión y remoción de los GEI que se calculen se libera en su conjunto en el momento en el que se evalúa el sistema, sin tener en cuenta las emisiones diferidas en el tiempo. Si se pretende calcular el efecto de las emisiones en un espacio temporal concreto se documentará en otro informe anexo aparte. Si en las etapas de uso y fin de vida se emiten GEI durante más de diez años³¹ una vez el producto o servicio ha sido puesto en marcha, se especificará en el inventario la relación de estas emisiones con la producción del producto.

La electricidad se tendrá en cuenta por las emisiones que su uso supone, se incluirá el suministro, la extracción y transporte de combustible al generador y emisiones aguas abajo si hubiese.

³⁰ Véase Índice de Conceptos.

³¹ La ISO 14067 propone un período de diez años como espacio suficiente para recopilar datos de uso y evitar una excesiva recopilación de datos.

En el caso en el que se haga uso del uso del suelo respecto a cambios en reservas de carbono y biomasa se deberán incluir en el estudio, si no se hiciese debe justificarse en el informe.

Todo el impacto ambiental producido por cada GEI que se considere y se pretenda calcular se realizará multiplicando la masa del GEI emitida o removida por su PCG para 100 años en CO₂ equivalente por kg de gas emitido o eliminado, tal y como se mostraba en la Ecuación 3-1: CO₂ equivalente para otros GEI. Los datos del potencial de calentamiento global serán los estipulados por el IPCC (Myhre et al. 2013). Si se desea emplear otro horizonte temporal se realizará en un informe separado.

El último paso de la metodología es la interpretación de los resultados. La interpretación se compone por la identificación según los resultados de los puntos más importantes de la huella de carbono del producto según el análisis realizado; una posterior evaluación para asegurar la integridad del análisis y la elaboración de unas conclusiones y recomendaciones.

Tanto los objetivos, como el alcance y el inventario del análisis del ciclo de vida y resultados se recogerán en un informe con el fin de demostrar que se ha seguido lo establecido por la norma.

4.4 Comparativa entre métodos

Como se ha comentado en la introducción del capítulo, esta subsección está destinada a realizar una comparativa entre las tres principales potencias en la gestión, evaluación y cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero en productos. Estas tres metodologías son las que se recogen en la Tabla 4-1: el GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol Team 2011), el PAS 2050 (BSI 2011) y la norma ISO 14067 (UNE 2019d).

Junto con las normas, la principal fuente de información que ha servido de base para la comparativa procede el Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental de EOI (Atance Laura, Marin Ignacio, Olatz Ripoll 2012).

Las tres normas parten con objetivo que es la evaluación de los gases que se producen en la fabricación o utilización de productos de las empresas, aunque es cierto que el GHG Protocol, remarca el interés por la comunicación y la transparencia de los informes y en contraposición, el PAS se limita a la evaluación del inventario de gases (Liu, Wang y Su 2016).

Respecto a la información que se queda fuera del alcance o el umbral de corte si existen diferencias. El PAS especifica que se deben englobar todas las emisiones asociadas. En cambio, las otras dos permiten exclusiones siempre y cuando se justifique y quede recogido en el informe.

Por este motivo, el PAS 2050 abarca un horizonte temporal de cien años desde que se termina la fabricación del producto con el fin de contabilizar todas las emisiones; la ISO y el GHG Protocol dejan a elección de las organizaciones y los encargados de realizar el informe la justificación del horizonte temporal.

Existen además diferencias en cuanto a las etapas del ciclo de vida que consideran los métodos. Principalmente se usan dos variaciones del ciclo de vida, de cuna a puerta (cradle to gate), el cual considera desde la extracción de la materia prima hasta el final de la fabricación del producto, y de cuna a tumba (cradle to grave), en el que se incluye la fase de transporte después de la fabricación, la etapa de uso y la de final de vida. El PAS 2050 y el GHG Protocol consideran estas dos opciones de igual modo que lo hace la ISO 14067, que sin embargo, es un poco más completa y aporta otras dos interpretaciones: de puerta a

puerta (gate to gate), que serviría para evaluar las emisiones en el transporte y distribución del producto únicamente, y la *huella de carbono parcial de un producto*³² (Liu, Wang y Su 2016).

Para que la asignación de estas emisiones sea lo más concreta posible, los métodos se basan en el concepto de *proceso unitario*³³ definido en la norma ISO 14044; es el proceso más pequeño en el que se puede dividir el ciclo de vida que consta de entradas y salidas.

La norma ISO 14067 es la más exigente de las tres y la elaboración del informe supone por tanto un esfuerzo mayor. Igualmente, es la única que precisa de la validación de un tercero del informe para la aprobación del método, los otros dos se auto verifican sin necesidad de otra parte externa.

Otro dato diferenciador de la ISO es que es la única que tiene un coste, como la mayoría de las normas ISO, por tanto, la elaboración del informe según este estándar conllevará un coste extraordinario que no habría que considerar si se utilizase alguno de los otros dos.

A favor de la ISO 14067 destaca su influencia y reconocimiento internacional. Esto se debe al respaldo de otras normas ISO, su amplio abanico de aplicación y la certificación por parte un tercero independiente. Aun así, está seguida del GHG Protocol que presume de reputación también en todo el mundo. Es el PAS 2050 el que, de momento, no ha conseguido destacar notablemente más allá de las fronteras británicas. Esta realidad se ve acompañada por el hecho de que el PAS solo esté disponible en el idioma anglosajón.

Como se ha dicho previamente, GHG y el PAS son las más fáciles de llevar a cabo y con las que realizar el informe de evaluación de los gases ya que son normas mucho más explícitas que la ISO, la cual, al abarcar un espectro mayor, utiliza unos términos más abstractos y genéricos.

Por último, y relacionado con la validación de las normas, es conveniente decir que la ISO junto a esa mayor repercusión es la única que dispone de un certificado oficial respaldado por otras normas relacionadas tras la posterior verificación del correcto uso de la norma.

³² Véase Índice de Conceptos.

³³ Véase Índice de Conceptos.

5 CASO PRÁCTICO

“La lealtad tiene un corazón tranquilo”

- William Shakespeare -

Esta sección muestra el caso práctico en el que se pretende calcular la huella de carbono del basculante del equipo de competición USRacing de la Universidad de Sevilla.

Siguiendo la norma ISO 14067 como base metodológica se realiza el estudio de la huella de carbono del basculante con toda la información que se ha podido recopilar. La evolución del capítulo sigue los cuatro pasos definidos en la norma con el fin de exponer el caso práctico de tal forma que se pueda comparar con un informe completo y detallado de la huella de carbono de otro basculante de una motocicleta.

5.1 Introducción

Hasta el momento se ha realizado un trabajo de recopilación bibliográfica para en primera instancia conocer la evolución del calentamiento global desde 1950 en mayor medida hasta la actualidad, y así valorar en qué punto se encuentra la sociedad y la importancia del estudio del cambio climático. Posteriormente, siguiendo esta premisa se ha proseguido con un análisis del ámbito industrial en ese período de tiempo con el afán de visualizar la gran participación que tiene este sector en la emisión de gases de efecto invernadero.

Para conocer en más detalle a lo que hoy en día se conoce por gases de efecto invernadero, se dedicó un capítulo a la definición de aquellos gases principales con mayor relevancia tanto por la cantidad de emisiones como por su potencial de calentamiento global que el IPCC considera actualmente.

A continuación, dejando claro los distintos GEI se han analizado los principales enfoques, corporativo, híbrido o de producto, y sus metodologías asociadas que predominan hoy en el cálculo de la huella de carbono.

Llegado este punto se procede a realizar un estudio experimental por primera vez en la Universidad de Sevilla de la huella de carbono en un producto (Antón López 2010; Plaza Cuenca 2012; Pérez Duart 2018; Pérez Escobar 2017).

Por tanto, este proyecto, y en particular este capítulo, se configura con intención de establecer las bases para futuras investigaciones relacionadas con la huella de carbono y eficiencia energética en la fabricación de productos.

Con intención de ayudar y fomentar la innovación en la Universidad de Sevilla, el objeto de estudio será el basculante de la motocicleta del equipo USRacing de la propia universidad, al cual se agradece su apertura y colaboración para la obtención y recopilación de los datos.

5.2 Método escogido

Previamente, en el capítulo anterior se detallaron tres diferentes normas, cada una con su guía metodológica, que permiten estudiar la huella de carbono de un producto: el GHG Protocol, el PAS 2050 y la ISO 14067.

La elección de un método u otro en el caso de este trabajo está predeterminada por varios factores, aunque el predominante es sin duda la etapa de recopilación de datos. Esta fase ha sido la que más tiempo ha acarreado y la que más límites ha impuesto ya que hasta la fecha no se contemplaba por parte del equipo USRacing Engineering una base de datos donde se almacenasen los datos relativos a la fabricación de los diversos componentes de la motocicleta.

USRacing presenta datos relativos al ensamblaje de todos los componentes de la motocicleta que ellos mismos realizan en el taller, especificando el número de estaciones, distribución y gastos de luz y agua. A pesar de eso, varias piezas importantes, entre ellas el basculante, deben ser de diseño propio y posteriormente validarlas según el reglamento de la competición (Moto Engineering Foundation 2019) necesitan ser fabricadas por una empresa de terceros externa debido a la falta de recursos y utillaje, tanto en el taller que alquilan como en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (en adelante, ETSI).

Delimitados por la información que se posee de dicho taller externo, no se han podido obtener datos de la fase de obtención de materias primas, que corresponde con la primera fase del ciclo de vida, fase necesaria en las normas GHG Protocol y el PAS 2050 que solo permiten el enfoque de cuna a puerta o de cuna a tumba. En cambio, la ISO 14067 además de esos enfoques, permite un cálculo de la huella de carbono parcial del producto en caso de que la recopilación de datos abarque menos alcance, pudiendo así calcular solo la huella durante la fabricación y transporte del basculante.

Otros motivos importantes por los que se escoge la ISO 14067 como base para este informe de la huella de carbono del basculante es porque es la que posee mayor influencia y reconocimiento, tal y como se comentó, además de que las empresas y organizaciones que desean obtener una certificación por su compromiso medioambiental y una correcta elaboración de los informes de huella de carbono deben acudir inevitablemente a la ISO. Como se ha expresado previamente, intentando que este trabajo se parezca a un informe empresarial y medioambiental, se consideran estos dos motivos de especial relevancia en cuanto a la elección de método.

Por todas estas razones, la ISO 14067 será la base para calcular la huella de carbono, aunque posteriormente se comparará la huella obtenida con la que se lograría a través de alguno de los otros métodos.

5.3 Definición de objetivos y alcance

El basculante es una de las piezas que se acoplan al chasis a través de un eje y se encarga de sostener la rueda trasera de la motocicleta.

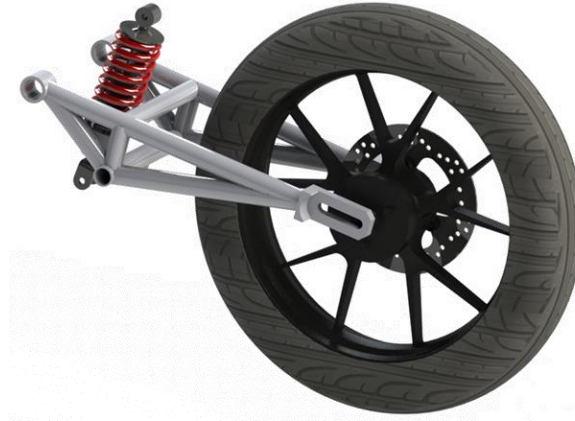


Figura 5-1: Diseño de un basculante de doble brazo de una motocicleta.

Existen dos tipos de basculante según la estructura, en esta edición frente a la estructura mono brazo se escoge una de doble brazo porque son menos robustos y sus costes de fabricación son menores. Igualmente, en lugar de elementos tubulares se utilizarán elementos tipo viga ya que supone ventajas en la fabricación y menor volumen en la motocicleta (USRacing Engineering 2019).

El basculante de esta edición 2020 (Figura 5-2), que se iba a fabricar a mediados de abril se ha visto retrasado por las nuevas circunstancias provocadas por el Coronavirus, sin embargo, el diseño está prácticamente terminado.

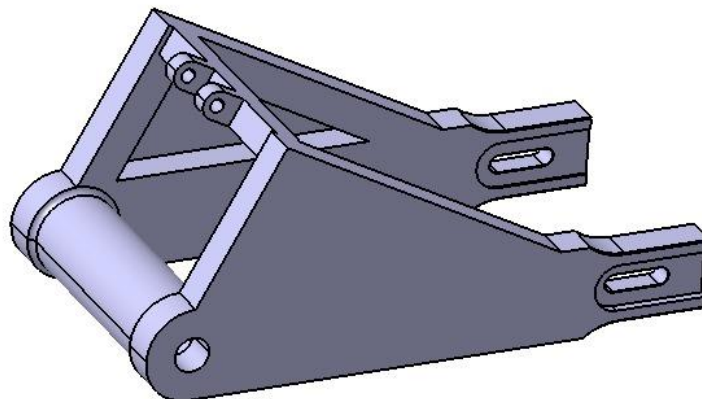


Figura 5-2: Diseño del basculante para la edición 2020 del equipo USRacing Engineering.

El objetivo principal de este informe es calcular la contribución potencial al medio ambiente que se produce durante la fabricación y transporte del basculante. Además, pretende generar conciencia sobre este tipo de proyectos y aplicaciones en la Universidad de Sevilla con el fin de potenciar innovaciones en el sector tecnológico y los procesos productivos favoreciendo una economía baja en carbono. Por último, si fuera posible, el reglamento de la competición de Motostudent valora positivamente los proyectos de I+D+I que los equipos desarrollen, por lo que se plantea utilizar el cálculo de la huella de carbono del basculante para analizar el material y los sistemas productivos que lo involucran en búsqueda de otros que resulten menos dañinos al medio ambiente.

El alcance de este proyecto está directamente relacionado con la etapa de recopilación de datos y el motivo por el que se ha escogido la norma ISO 14067. Este proyecto abarca, de entre las fases del ciclo de vida que marca la ISO (UNE 2019d), el diseño, la fabricación y el transporte (Figura 5-3). Se identifica con un enfoque de cuna a puerta sin tener en cuenta la adquisición de materias primas por no haber podido rescatar datos suficientes.

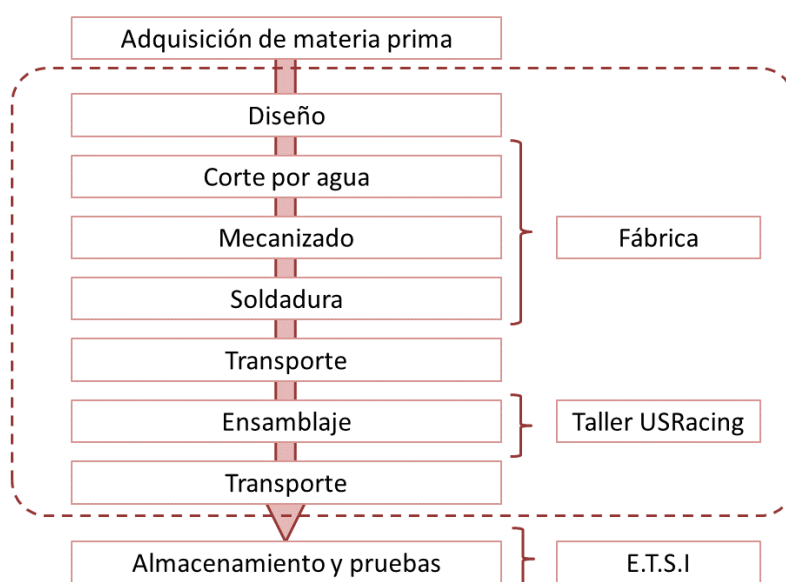


Figura 5-3: Diagrama del ciclo de vida del basculante hasta el final de su fabricación y delimitación del alcance de estudio.

Las dos últimas etapas, uso y final de vida del producto, quedan excluidas del análisis ya que el uso de la motocicleta es bastante peculiar y se tiene pocos días en uso como para poder contabilizar el dióxido carbono que se produce en ese momento y la parte proporcional que le correspondería al basculante. Del mismo modo, queda fuera del análisis la etapa de tratamiento al final de la vida útil porque según los datos de las anteriores ediciones, las motocicletas suelen quedarse montadas para poder usarlas en exposición y no se contempla un final de vida claro para los diversos componentes de la conforman.

Conforme a esta explicación, el horizonte temporal al que atiende este informe, y para el que la huella es representativa, es el de un curso escolar completo, diez meses, que aproximadamente es todo el tiempo que se necesita para completar las fases que se van a analizar. Por tanto, todos los datos han intentado rescatarse de esta última edición de 2020, aunque para las fases que todavía no se han realizado se ha acudido a datos de ediciones anteriores. Aunque sobra especificarlo, la unidad funcional del análisis será una motocicleta de competición estudiantil, por si algún otro equipo en el futuro quisiera comparar la huella de carbono suya con la de USRacing.

5.4 Análisis del inventario del ciclo de vida

Según la norma ISO 14067(2019d), esta es la fase que “involucra la recopilación y cuantificación de entradas y salidas para un producto a lo largo de su ciclo de vida”. Por lo que, siguiendo el alcance antes mencionado y las distintas fases de estudio, se procede a comentar y analizar los datos obtenidos de los distintos procesos que se ven desarrollados para la correcta fabricación del basculante.

El diseño del basculante es lo primero que se programa con afán de aligerar todo el proceso de fabricación y pruebas ya que se suelen producir más incidencias en estos momentos y requiere de más tiempo solucionarlo. Los datos obtenidos se han obtenido directamente de la persona que se ha encargado del diseño del basculante, los datos que se han tenido en cuenta son el tiempo de trabajo y la potencia del equipo para así obtener el consumo energético que ha supuesto las horas de trabajo con el ordenador conectado a la red.

	Unidad	Cantidad
Tiempo de trabajo	h	274,5
Potencia del equipo de trabajo	W	45
Energía consumida	kWh	12,3525

Tabla 5-1: Datos recopilados sobre la fase de diseño del basculante.

Sobre la obtención de materias primas no se puede extraer información ya que USRacing exclusivamente compra el material que creen necesitar a la misma empresa que se encarga de los mecanizados, siempre que sea posible. En esta ocasión, para la fabricación del basculante se pidieron los siguientes perfiles.

	Unidad	Ancho	Alto	Espesor	Largo	Cantidad
Perfil rectangular	mm	80	30	2	700	1
Perfil cuadrado	mm	30	30	2	1100	1
Perfil tubular	mm	80 ³⁴	-	2,5	247	1
Placa rectangular	mm	230	100	2		1
Tochos	mm	90	30	-	150	4

³⁴ Esta medida se refiere al diámetro exterior del perfil.

Tochos	mm	30	40	-	20	2
--------	----	----	----	---	----	---

Tabla 5-2: Datos recopilados sobre las piezas de partida para la fabricación del basculante.

En la fase de fabricación se encuentran varios procesos industriales, para todos ellos se ha recurrido a los datos de un año anterior ya que esta fase no se ha llegado a desarrollar esta edición. Los datos los ha proporcionado el encargado de revisar la fabricación por parte del equipo USRacing a partir de un banco de datos privado que el posee y datos que recordaba convenientemente de los distintos procesos.

El primero de todos ellos una vez llegan los tochos y placas es realizar un corte por chorro de agua. Este tipo de corte no genera ningún contaminante a la atmósfera de forma directa por lo que para calcular su contribución basta con calcular la energía consumida en el proceso para saber su aportación en dióxido de carbono equivalente. Igualmente, al finalizar el corte por chorro de agua se procede a realizar los rebajes, roscados y otro tipo de mecanizados finos en un centro de mecanizado por control numérico.

Para estas dos grandes operaciones, los datos de entrada han sido la potencia de las máquinas y el tiempo de uso de estas, con ello se ha conseguido obtener la energía consumida.

	Potencia	Tiempo de trabajo	Energía consumida
Unidad	kW	h	kWh
Corte por chorro de agua	5,220 ³⁵	1	5,220
Mecanizado	5,220	5,083	26,535

Tabla 5-3: Datos recopilados sobre el corte por chorro de agua.

El tiempo exacto de las operaciones de mecanizado se ha podido rescatar para que la incertidumbre de los datos sea menor.

	Unidad	Tiempo de trabajo	Cantidad	Tiempo total
Fresado placas laterales	min	120	2	240
Torneado recubrimiento eje	min	45	1	45
Fresado tapas del basculante	min	10	2	20

³⁵ La potencia de las máquinas es de 7 CV, que corresponde con 5.22 kW

Tiempo total basculante	min			305
Tiempo total basculante	h			5.083

Tabla 5-4: Datos recopilados sobre las etapas del mecanizado del basculante.

El proceso por el que se realiza la unión de las piezas es soldadura TIG³⁶. Este tipo de soldadura utiliza un arco de tungsteno protegida por gas inerte y destaca especialmente por la alta calidad de soldadura en metales, incluso los difíciles de soldar, recalando incluso los espesores delgados. El aluminio es considerado uno de esos materiales difíciles de soldar debido entre otros factores a su bajo punto de fusión en comparación con otros metales como el acero y su alta conductividad térmica, la cual aumenta la posibilidad de quemar el material mientras se produce la soldadura (Aluminios Bean 2019; Maureira González 2007). La soldadura TIG es un proceso limpio, donde el electrodo de tungsteno no se consume y el gas inerte protege la zona contra la oxidación de la pieza y la contaminación atmosférica³⁷, además no se suele requerir material de aporte. Con esto, se posibilita la correcta soldadura del aluminio sin que las características del material dificulten la soldadura.

Otro de los factores que hacen del aluminio un material delicado cuando se trata la soldadura es el resultado final, ya que el aluminio soldado suele resultar más débil que el original (Aluminios Bean 2019). USRacing en el diseño apunta que, aunque la soldadura puede acarrear la pérdida de propiedades estructurales hasta un 25%, se ha comprobado que las tensiones que sufre el basculante en esos puntos son suficientemente bajas como para no considerarse puntos críticos de análisis y atención.

Durante los procesos de soldadura se generan los denominados humos de soldadura y se deben normalmente al material a soldar, si posee recubrimientos superficiales, el material de aporte y el aire en la zona de soldadura y si está contaminado. Prestando atención al caso de la soldadura TIG de aluminio, se genera debido al material de base alúmina u óxido de aluminio, en el caso de usar material de aporte se producirá óxido de ese mismo y especialmente con piezas de aluminio, procedente de la contaminación del aire se produce un aumento de ozono como consecuencia de la acción de las radiaciones ultravioletas sobre el oxígeno del aire (Rojas Labiano y Azpiroz Unsain 2009). El ozono por tanto es el único gas de efecto invernadero que se considera destacable del proceso de soldadura, sin embargo, como se ha comentado previamente en el subcapítulo de la huella de carbono, debido a su corta duración en la atmósfera no se contabiliza su aportación para el desarrollo de la huella de carbono.

Por estas razones, la manera de evaluar la contaminación potencial del proceso de soldadura del aluminio con TIG será como en el mecanizado y el corte por chorro de agua, calcular la energía consumida en el proceso. La obtención de datos en este caso ha requerido de un estudio particular ya que el equipo USRacing no conocía la potencia de la máquina, por ello se ha realizado un estudio de máquinas industriales soldadura TIG para aluminio en el mercado y así estimar una potencia media, a partir de la tensión de salida y la corriente que se suele emplear para soldar aluminio. En el Anexo Factor de emisión para el consumo de agua, se recoge en detalle el procedimiento para hallar dichos datos, que se recogen en esta tabla.

³⁶ Del inglés, tungsten inert gas.

³⁷ El término contaminación atmosférica cuando se atiende a la soldadura, se refiere a la atmósfera cercana de trabajo en la que se ve envuelto tanto el operario como la pieza.

	Potencia	Tiempo de trabajo	Energía consumida
Unidad	kW	h	kWh
Máquina TIG	3,685	10	36,847

Tabla 5-5: Datos recopilados sobre la soldadura del basculante.

Queda por contabilizar es el transporte del basculante durante su ciclo de vida. Se tienen en consideración dos momentos distintos: el primero sucede una vez terminada la fabricación y el basculante junto con el chasis se llevan al taller del equipo donde ensamblan toda la motocicleta; el segundo ocurre una vez el conjunto está ensamblado y se transporta hacia la ETSI. El dato que no se ha podido rescatar es el consumo de combustible por kilómetro del vehículo de transporte ya que se desconoce este último, por tanto, se ha realizado una media entre los consumos de los vehículos ligeros de transporte más usados en España debidamente recogido en el Anexo Consumo de combustible y factor de emisión asociado. Junto con el dato del consumo y la distancia recorrida se puede la gasolina total utilizada.

	Consumo	Distancia	Consumo total
Unidad	l/km	Km	litros
Transporte 1	0,2824	6,9	1,9486
Transporte 2	0,2824	6,4	1,8074

Tabla 5-6: Datos recopilados sobre la fase de transporte del basculante.

Lo último que entra en el alcance es el gasto energético que se produce durante el ensamblaje y para ello se ha partido de datos supuestos por USRacing. Cada edición, el equipo debe elaborar un informe económico suponiendo una fabricación en serie de sus motocicletas con un presupuesto ajustado. De este supuesto se ha rescatado el gasto energético debido al consumo de electricidad y de agua, y posteriormente se ha dividido entre el número total de motocicletas que ellos mismos suponen factible en un año fiscal, 600, y la parte proporcional al ensamblaje del basculante.

El montaje del basculante solo interfiere en la primera de las cuatro estaciones de montaje en las que USRacing divide el trabajo, en la que se ensambla al chasis de la motocicleta y otras piezas que conforman la estructura general de esta. Por tanto, el gasto energético de una motocicleta se divide entre cuatro.

	Consumo de luz	Consumo de agua
Unidad	kWh	litros
Consumo total	38896	53040
Consumo asociado al basculante	16,2067	22,1

Tabla 5-7: Datos recopilados sobre el gasto de luz y agua en la fase de ensamblaje del basculante.

5.5 Evaluación del impacto de la huella de carbono del chasis

Esta fase se dedica al cálculo de la huella de carbono del producto a través de los datos obtenidos de la fase anterior. Siguiendo la metodología de la ISO 14067, si se conocen los gases de efecto invernadero que se producen en las diversas actividades y fases del proceso se deben utilizar los PCG con un horizonte temporal de 100 años que proporciona el IPCC para calcular así la huella de carbono del producto (UNE 2019d).

Como se explicó en el subcapítulo anterior, Dióxido de carbono equivalente, para este informe de la huella de carbono parcial del basculante de USRacing se ha optado por utilizar los factores de emisión del Inventario Nacional de GEI (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020b) en la mayoría de los casos ya que no se ha podido rescatar suficiente información para obtener los factores de emisión de cada una de las actividades y procesos que conforman el ciclo de vida del producto. Ciertamente es que la fiabilidad de los datos no es la misma, y por ello se insta en un futuro a realizar un estudio en campo de las emisiones y comparar con los resultados de este trabajo.

En el caso del consumo eléctrico, el Ministerio contabiliza las emisiones de las plantas de combustión de carbones (calderas), la de las turbinas de gas (ciclo combinado) y motores estacionarios a partir de información facilitada por las empresas y organismos o a través de estadísticas nacionales del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. En el mismo informe admiten la dificultad de imputar los consumos debido al gran número de instalaciones existentes. Conviene destacar que además del consumo de combustibles fósiles, existen otros medios para la generación eléctrica, como son la hidráulica, y la eólica. De su propia recopilación de datos, además de otros agentes contaminantes, son capaces de recopilar información principalmente sobre el dióxido de carbono, el metano y óxido nítrico. Una vez obtenidos dichos datos, se calcula con el PCG de los distintos gases el dióxido de carbono equivalente total. El factor de emisión de la comercializadora ENDESA ENERGÍA, S.A. de 2019 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020a) asociado a la generación de la electricidad consumida de servicio público es 0,27 kg CO₂ equiv. /kWh.

El dato del consumo de combustible procede de la misma fuente y está calculado de la misma forma. El Inventario Nacional recoge información de los mismos gases de efecto invernadero (CO₂, NO₂ y CH₄). Y mediante la metodología del IPCC (Davies 2006) para los casos de combustión móvil de transporte terrestre estiman el factor de emisión de la gasolina E5 en 2,180 kg CO₂ equiv. /l y la E10 en 2,065 kg CO₂ equiv. /l. El valor utilizado para este trabajo es una media de los dos resultados del Ministerio.

En la Tabla 5-8 se recogen los factores de emisión asociados a cada una de las actividades del ciclo de vida del basculante que forman parte de este informe.

Elemento	Unidad	Cantidad	Fuente
Electricidad	kg CO ₂ /kWh	0,27	Informe de inventario nacional Gases de Efecto Invernadero (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020b; 2020a)
Gasolina	kgCO ₂ /l	2,1225	Informe de inventario nacional Gases de Efecto Invernadero (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020b)
Agua	kg CO ₂ /m ³	0,1195	Elaboración propia a partir de: Informe de emisiones de gases de efecto invernadero y balance hídrico-eléctrico de EMASESA (EMASESA 2019b; 2019a)

Tabla 5-8: Factores de emisión de las actividades que forman parte del ciclo de vida del basculante.

El factor de emisión del agua, que se va a considerar por el suministro y consumo de agua que se produce en el taller de USRacing mediante el ensamblaje de la motocicleta, ha sido calculado expresamente para este trabajo y está recogido en el Anexo: Factor de emisión para el consumo de agua.

El caso más particular, como se comentó previamente ha resultado ser la soldadura, aunque afortunadamente se ha podido contabilizar las emisiones generadas a través del factor de emisión y el consumo eléctrico de la máquina de soldadura.

En el caso del transporte, el modelo del vehículo no se conoce por lo que se ha realizado la media de los consumos medios de los tres modelos más utilizados como vehículos de transporte ligeros, obteniendo como resultado un consumo de 7,8 l/100 km. Esto queda recogido en el Anexo: Consumo de combustible, donde además se adapta el factor de conversión para que mida el CO₂ equivalente por cada kilómetro recorrido en lugar de los litros de gasolina consumidos.

Fase del ACV	Unidad	Cantidad	Factor de conversión (kg CO ₂ equiv. / unidad)	CO ₂ equiv. (kg)	CO ₂ equiv. (%)
Diseño	kWh	12,3525	0,27	3,3352	11,73%
Corte por chorro de agua	kWh	5,220	0,27	1,4094	4,96%
Mecanizado	kWh	26,535	0,27	7,1644	25,19%

Soldadura	kWh	36,8470	0,27	9,9487	34,98%
Transporte al taller	km	6,9	0,1656	1,1423	4,02%
Taller. Luz	kWh	16,2067	0,27	4,3758	15,40%
Taller. Suministro de agua	m ³	0,0221	0,1195	0,0026	0,01% ³⁸
Transporte a la ETSI	km	6,4	0,1656	1,0596	3,73%
Huella de carbono total	kg CO2 equiv.			28,4380	100%

Tabla 5-9: Cálculo del dióxido de carbono equivalente por actividad del ciclo de vida del basculante.

Finalmente, se consigue hallar la huella de carbono parcial del basculante para este proyecto, exactamente 28,4380 kg CO2 equiv. Es importante conocer este dato para tener una base sobre el potencial de calentamiento que puede suponer una moto de competición estudiantil en el medioambiente.

5.6 Interpretación del ciclo de vida

Con los resultados finales de la Tabla 5-9 se alcanza el objetivo de este trabajo e informe sobre la huella de carbono, y en esta sección se procede a identificar las cuestiones importantes y evaluar el análisis de datos (UNE 2019d); esta valoración de los resultados se considera además una conclusión del estudio realizado en lo que respecta a la huella de carbono parcial del basculante; en el capítulo siguiente se incluirán además, unas conclusiones a nivel general del trabajo.

En el diagrama de la Figura 5-4 se aprecia con claridad visual el reparto de la huella de carbono total según las actividades y se aprecia a simple vista que el proceso de soldadura es el que genera mayor cantidad de CO2 equiv. tanto por la potencia de la máquina como por las horas de trabajo. Sucesivamente, el mecanizado es el segundo proceso con mayor contribución por lo que serían ambos los principales focos de atención si se quisiera reducir esta huella y resultar ser más competitivo medioambientalmente.

Respecto al proceso de soldadura hay que tener en cuenta que para poder soldar el aluminio no existen tantos métodos como para otro tipo de metales; no obstante, existen otros como pueden ser la soldadura por arco con plasma (en adelante, PAW) o la soldadura láser el coste es mayor y sus aplicaciones suelen

³⁸ El porcentaje de dióxido de carbono equivalente generado a causa del suministro y consumo de agua no es comparable con ninguno de los otros valores por lo que en la Figura 5-4, los valores de la electricidad y agua en el taller se han sumado bajo el término Ensamblaje con un valor de 4,3784 kg CO2 equiv. y un porcentaje de 15,40% del total.

ser menos convencionales. A pesar de esto, los dos principales métodos para la soldadura en este caso es la TIG o MIG³⁹. Con afán de reducir el tiempo de trabajo y por tanto de energía consumida y dióxido de carbono generado se podría usar la soldadura MIG ya que las velocidades que permite son mayores y se eliminan los tiempos muertos que se producen en la TIG al reponer los electrodos (Maureira González 2007; MECASINC 2017). Sin embargo, el principal motivo por el que se suele usar TIG es por la alta calidad de sus resultados y la limpieza en el área de trabajo, incluida la pieza a soldar; en comparación con la anterior, esta soldadura es más fuerte, más resistente a la corrosión y más dúctil lo que la hace la candidata perfecta para soldar las piezas de una motocicleta que se va a ver sometida a grandes esfuerzos de compresión y flexión (MECASINC 2017). Para reducir en la soldadura TIG el tiempo, la opción más viable es automatizar el proceso si fuera posible en la fábrica donde se realiza la soldadura.

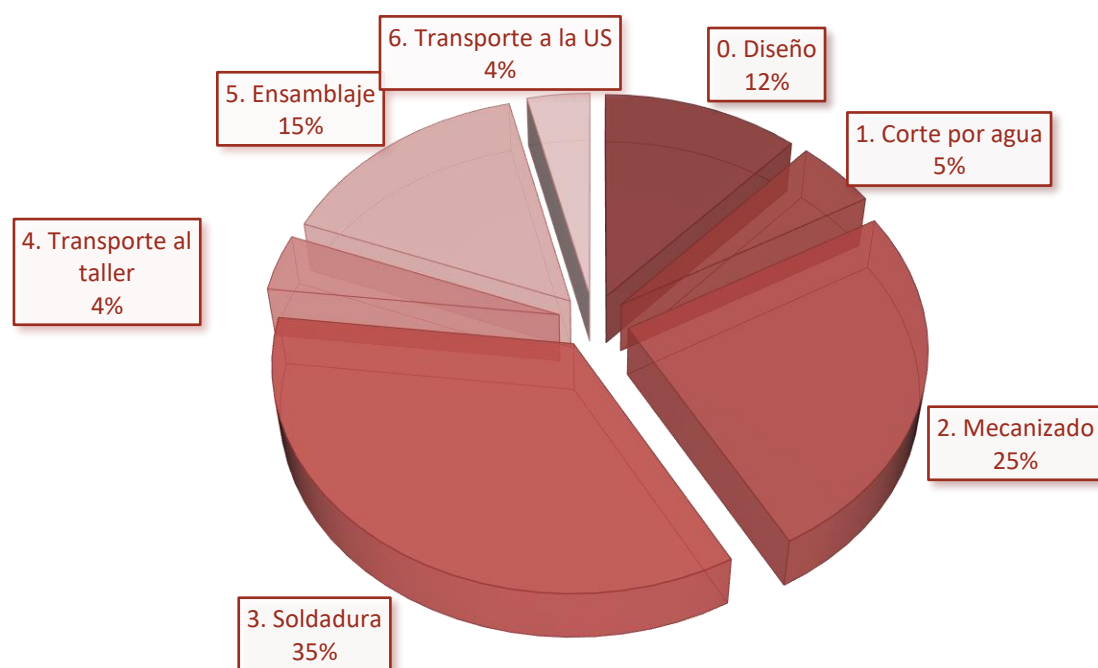


Figura 5-4: Reparto proporcional de la huella de carbono parcial del basculante según cada fase del ciclo de vida.

Para este informe hay que tener en cuenta que algunos de los datos referidos a la soldadura proceden de fuentes de bibliografía externas y no del proceso real, por lo que los resultados deben de acogerse teniendo en cuenta la incertidumbre de los datos de partida en este caso.

Atendiendo al mecanizado se observa poco margen de maniobra para mejorar el proceso ya que se realiza en un centro de mecanizado por control numérico automatizado y todo además se realiza en la misma máquina (ALARSIS FH450). Por regla general, se intuye que para piezas que parten de perfiles convencionales y se requieren detalles específicos el proceso de mecanizado será el que requiera mayor tiempo y por tanto genere una mayor huella.

³⁹ Del inglés, *Metal Inert Gas*.

Afortunadamente, el proceso de corte por agua es uno de los menos contaminantes actualmente ya que el agua y el abrasivo se pueden reciclar, favoreciendo así una economía circular y que el proceso se acerque a la neutralidad de carbono (Burnham 2017).

En cuanto al transporte se destacan dos aspectos: el primero al igual que en la soldadura es que el modelo del coche no es el real por lo que los datos se han obtenido de fuentes de bibliografía externas. Por otro lado, se pueden reducir las emisiones en estas fases de dos formas distintas.

- Empleo de vehículos híbridos o eléctricos para el transporte del basculante y posteriormente de la motocicleta.
- Realización de una inversión por parte de la Universidad de Sevilla o el equipo USRacing para realizar el ensamblaje en las instalaciones de la Universidad contando con todo el material necesario para ello.

Incluir la fabricación del basculante dentro de las instalaciones de la Universidad no se considera como una mejora potencial ya que, aunque se reduciría el primer transporte del ciclo de vida hacia el taller, los procesos, maquinaria y productividad con los que se cuenta en la empresa que se dedica al tratamiento y mecanizado de aluminio es mucho mayor que el que se puede lograr si se realiza de manera independiente.

Respecto al diseño, la manera más evidente de reducir su contribución es aumentar el número de personas involucradas en el equipo, intentado así que el tiempo que lleve la investigación y desarrollo del prototipo se reduzcan. Aun así, si esto supusiese un mayor número de personas trabajando no de forma conjunta sino independiente, aunque disminuyese el tiempo de trabajo aumentaría la potencia total por lo que no sería igualmente interesante; lo que se busca es el trabajo de forma conjunta y colaborativa.

Siguiendo la ISO 14067, el proyecto abarca las fases del ciclo de vida de las que se pueden rescatar datos en mayor o menor medida, pero siempre de los procesos reales, para garantizar así la integridad del cálculo. En este sentido, tanto la soldadura, por la potencia desconocida de la máquina que se utiliza y el transporte por el modelo del vehículo que transporta el material, son los dos procesos en los que la incertidumbre es mayor y para proyectos futuros conviene prestar mayor atención.

Como se explicó anteriormente, la ISO 14067 es de las tres normas que abarcan la huella de carbono del producto, la única que considera el desarrollo de la huella de carbono parcial y ese fue uno de los principales motivos por los que se escogió seguir la ISO como base para este trabajo. Sin embargo, las otras dos normas, tanto la PAS 2050 (BSI 2011) como el Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard (Greenhouse Gas Protocol Team 2011) consideran el análisis de la huella a través de únicamente dos variaciones del ciclo de vida: de cuna a puerta y de cuna a tumba.

A través de un software informático llamado CES EDUPACK que permite realizar estudios sobre materiales se ha hallado un factor de emisión relativo a la obtención de materia prima. Para el aluminio 6082 T6, que es con el que el equipo trabajó el año pasado y este año pretende trabajar también, dicho software confiere 13,15 kg de CO₂ equiv. /kg de aluminio en el proceso primario de producción. Este dato no ha sido considerado en el informe y el resto del trabajo precisamente por la coherencia e integridad con el resto de los factores que sí se tiene certeza de su fuente y que información sostiene cada uno. A pesar de ser un software fiable, no permite conocer si dicho valor incluye la electricidad que se ha consumido para obtener un tocho de 1 kg de aluminio, la maquinaria que ha sido utilizada, la procedencia del material y por tanto la distribución de este hasta la fábrica, etc.

En base a estas razones se ha considerado no incluir el factor de producción primaria de aluminio en el resultado final. A pesar de esto, con el fin de adaptar el trabajo a las otras normas, a continuación, se

presentan los resultados incluyendo el último dato, para que se pueda valorar, aunque de una manera más incierta, la huella de carbono para el basculante en el caso de cuna a puerta.

Fase del ACV	Unidad	Cantidad	Factor de conversión (kg CO2 equiv. / unidad)	CO2 equiv. (kg)	CO2 equiv. (%)
Obtención de materia prima	kg	6,2490	13,15	82,1745	70,25%
Diseño	kWh	12,3525	0,27	3,3352	2,85%
Corte por chorro de agua	kWh	5,220	0,27	1,4094	1,20%
Mecanizado	kWh	26,535	0,27	7,1644	6,13%
Soldadura	kWh	36,8470	0,27	9,9487	8,51%
Transporte al taller	km	6,9	0,165555	1,1423	0,98%
Taller. Luz	kWh	16,2067	0,27	4,3758	3,74%
Taller. Suministro de agua	m ³	0,0221	0,1194642	0,0026	0,00% ⁴⁰
Transporte a la ETSI	km	6,4	0,165555	1,0596	0,91%
Huella de carbono total	kg CO2 equiv.			116,9698	100%

Tabla 5-10: Cálculo del dióxido de carbono equivalente del basculante incluyendo la fase de obtención de materia prima.

⁴⁰ Debido a su escasa contribución, igual que en el caso anterior pero esta vez de forma más notable, en la Figura 5-5 se unen los términos relativos al taller bajo el término Ensamblaje con un valor de 4,3784 kg de CO2 equiv. y un porcentaje de 3,74% del total.

De acuerdo con la Tabla 5-10, el resultado obtenido sería acorde a las otras dos normas, PAS 2050 y GHG Protocol, para un análisis del ciclo de vida de cuna a puerta del basculante, anunciando en sus respectivos informes que la integridad de los datos no es siempre la misma para todas las fases, remarcando la primera de ellas como la más dudosa.

A la luz de los resultados se valora que la primera fase de todas, el proceso primario para obtener la materia prima es el que genera sin dudas la mayor contribución, acercándose casi a un 75% del total con 82,1745 kg de CO₂ equiv. No se puede olvidar la incertidumbre que sostiene este último dato, pero sirve para puntualizar más allá del resultado concreto, la importancia que tiene para la gestión medioambiental de una empresa saber la procedencia geográfica del material, los procesos que envuelven esta producción primaria y la distribución hasta la fábrica.

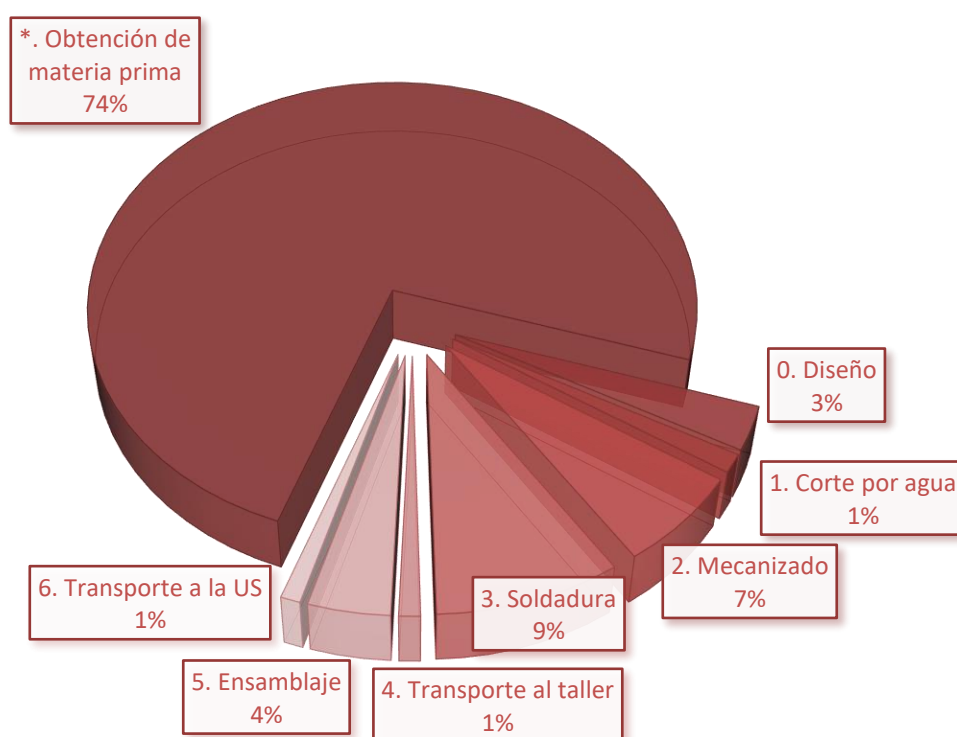


Figura 5-5: Reparto proporcional de la huella de carbono del basculante según las fases del ciclo de vida incluyendo la obtención de materia prima.

6 CONCLUSIONES

En este capítulo se procede a resumir y culminar el trabajo realizado hasta el momento. Según la estructuración realizada siguiendo el modelo de la ISO 14067, las conclusiones y deducciones estrictamente más centradas en el caso práctico del basculante quedan recogidas en el subcapítulo Interpretación del ciclo de vida. Esta sección recoge una síntesis del caso de estudio del basculante y las conclusiones generales del trabajo.

Tras haber realizado el estudio de la huella de carbono del basculante de la motocicleta se ratifica que este cálculo puede servir de guía para otros trabajos relacionados tanto con el basculante de la motocicleta como otros productos o procesos industriales.

Aun sabiendo que algunos datos han sido interpolados a través de bibliografía y que no corresponden al caso real, se considera que los resultados obtenidos son válidos para un primer acercamiento al cálculo de la huella de carbono de un producto en la Universidad de Sevilla.

Si se quisiera realizar un trabajo de índole similar, convendría en este caso investigar más en el proceso de soldadura y sobre todo obtener información del proceso real para el caso que se estudie, ya que en el caso del basculante es un proceso que se realiza de manera manual por un operario y la formación del personal puede hacer variar los datos de entrada y por consecuencia los resultados; en relación a este proceso también es aconsejable rescatar información sobre la máquina de soldadura que se utilice concretando así un poco más los datos de entrada al proceso.

Es importante recaer en el material escogido por parte del equipo USRacing para la fabricación del basculante puesto que la elección de un material u otro puede repercutir en la huella de carbono de la pieza. La designación del material se puede deber a la viabilidad para la obtención del material, así como los procesos que se puedan realizar con el mismo. En el Anexo D: Comparación del aluminio 6062 T6 con otros materiales, se recoge un estudio realizado con el software CES EDUPACK.

Aunque se han etiquetado solo unos ejemplos, se ve a simple vista como en la mayoría de los casos representados en las figuras de este anexo, existen materiales que generan una menor huella en los procesos industriales que se ve involucrado el basculante y que además se reduce el precio de estos materiales. No obstante, el equipo ha considerado el peso una característica prioritaria a la hora de la fabricación de la motocicleta por las ventajas que esto supondrá en la competición, y tal y como se ve en la Figura 8-5 el

aluminio posee una densidad dos veces menor que el resto, condición más que suficiente para considerarlo como opción preferente por parte del equipo.

Entre los aluminios, el aluminio 6082 T6, según el software, sería una de las mejores opciones en cuanto a precio y menor huella, sin embargo, no existen diferencias realmente notables con la mayoría de los materiales de su misma categoría. Cabe destacar que el aluminio 6062 T6 posee unas características muy similares y que además resiste mejor la soldadura, por lo que sería una opción para considerar en futuras ediciones. No se puede olvidar, que más allá de los resultados hay que estudiar las posibilidades reales para poder conseguir por parte del equipo los materiales que aquí se comparan.

Si se compara el resultado de la huella de carbono de este trabajo con los de Honda (Honda Motor Co. Ltd 2019) en relación a la huella de carbono de sus motocicletas, Tabla 6-1, al menos se puede decir que el orden de magnitud está en consonancia.

	kg CO2 equiv.
HdC del basculante de USRacing Engineering	28,4380
HdC genérica de una motocicleta (Honda)	171,6779

Tabla 6-1: Comparación de la huella de carbono del basculante de USRacing con la de una motocicleta real.

Realmente, para obtener una conclusión más certera se tendría que calcular la huella de carbono de la motocicleta de USRacing de forma completa, pero extrapolando los datos y sabiendo que el basculante es solo una pieza del conjunto se puede asumir que la huella calculada en este caso está dentro de unos valores realistas.

Como conclusión final de este trabajo se quiere recalcar la importancia que hoy en día tiene en el sector tecnológico-industrial el control de las emisiones y eficiencia energética de los procesos, tanto para la propia empresa u organización obteniendo beneficios económicos y fiscales en algunos casos gracias a las políticas de ciertos países; y en un sentido más amplio, las mejoras que esto supone para la sociedad en su conjunto: para la sostenibilidad, el correcto uso de las fuentes de energía y recursos, y un camino hacia una economía baja en carbono.

Con esto se espera que, a nivel académico, este trabajo, sus datos y fuentes de partida, así como los factores de emisión y resultados, sirvan de base metodológica para otros futuros y se investigue en la posibilidad de implantar mejoras en la fabricación de cualquier producto con el fin de disminuir su huella de carbono.

7 TRABAJOS FUTUROS

A partir de este trabajo de Fin de Máster, se sugiere continuar con el desarrollo de la huella de carbono para el caso del equipo USRacing de la Universidad de Sevilla.

Sería interesante por un lado ahondar en los procesos de fabricación que envuelven al basculante, realizando estudios de campo que permitan evaluar las emisiones de los distintos gases de efecto invernadero que se producen. Actualmente existen equipos portátiles como el Testo 355 (Villalba Yambay 2017) que permiten a través de sensores conocer las emisiones de procesos industriales así como tener un control de la temperatura y humedad de los procesos. Se recomienda realizar una inversión en este tipo de aparatos para lograr estudios más exactos en proyectos universitarios.

Por otro lado, se puede plantear aumentar el alcance de este proyecto, intentando rescatar la información pertinente a la obtención de materia prima. Para lograr esto sería necesario establecer contacto tanto con la fábrica que se encarga del mecanizado y que seguramente compre el aluminio a otra empresa como a la empresa encargada de la producción primaria del aluminio.

Otra posible idea para un trabajo futuro sería calcular la huella de carbono de algún otro componente estructural de la motocicleta, a partir de los datos que en este proyecto se recogen a modo de guía. Si esto se llevase a cabo por diversos estudiantes tener la huella de carbono de la motocicleta en su conjunto sería de gran utilidad para comprender el verdadero potencial de calentamiento global de la misma y cómo se podría disminuir la huella en su conjunto, tanto a nivel de producto como organizacional.

Si esta idea funcionase, se podría continuar con otros productos u organizaciones locales con las que el alumnado pueda establecer relación y le permitan realizar un estudio medioambiental de algún proceso o producto en concreto.

8 ANEXOS

A. Factor de emisión para el consumo de agua

Para hallar este factor se ha partido de un proyecto de la Universidad de Córdoba (de Toro et al. 2017) en la que a partir del coste energético de la empresa municipal de agua EMACSA de los tratamientos de potabilización y depuración y sus factores de emisión asociados calculaban el del consumo total.

Con analogía a ese trabajo, se contactó con EMASESA (EMASESA 2019a; 2019b) para que proporcionara esos datos y a partir de ahí, concretar el factor asociado para este proyecto.

Tratamiento del agua	Costes energéticos asociados a los tratamientos de agua (kWh/dam ³)	Costes energéticos asociados a los tratamientos de agua (kWh/m ³)	Factor emisión asociado (kg CO ₂ /m ³)
Potabilización	48,42	0,04842	0,0130734
Depuración	394,04	0,39404	0,1063908
TOTAL			0,1194642

Tabla 8-1: Datos recopilados para el factor de emisión por consumo de agua.

Una vez con el coste energético de los tratamientos pertinentes, multiplicándolos por el factor de emisión eléctrico se halla el factor de emisión para cada uno de los procesos; el total se ha calculado sumando el de potabilización y depuración.

B. Procedimiento para el cálculo de los parámetros en el proceso de soldadura

Los datos de entrada que se necesitan para hallar el dióxido de carbono equivalente que se produce durante el proceso de soldadura debido al consumo eléctrico son la potencia y el tiempo de trabajo. El segundo de ellos es un dato que se recibió por parte del encargado de la fabricación, y estimó 10 horas de trabajo de soldadura. El inconveniente era que la potencia de la máquina la desconocía, por lo que se ha realizado un estudio con varias máquinas de soldadura industriales comercialmente populares y así calcular la potencia media de las mismas.

Una dificultad añadida de los procesos TIG con aluminio resulta ser que el amperaje con el que se trabaja es variable, y según el amperaje le corresponde un voltaje de trabajo u otro según la curva de potencia de la máquina.

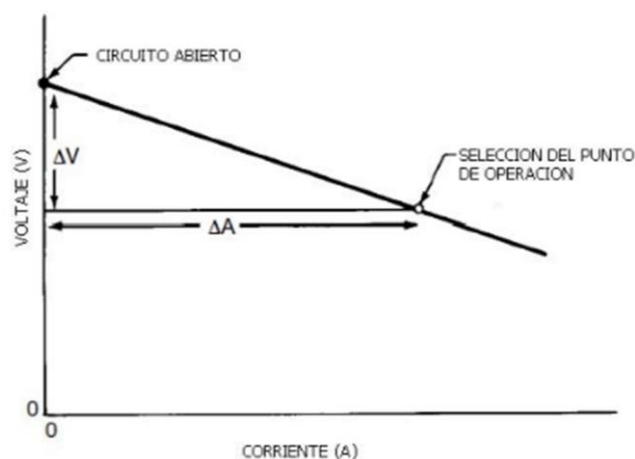


Figura 8-1: Curva de potencia en las máquinas de soldadura (Maureira González 2007).

De la bibliografía consultada (Maureira González 2007) se ha obtenido que el amperaje para las piezas del basculante ronda desde los 130 a 175 A, para el trabajo se ha considerado un valor de trabajo de 152,33 A. Consecuentemente se ha hallado el voltaje que consume correspondientemente y por tanto la potencia de cada máquina.

Máquina	Amp. min (A)	Amp. max (A)	Tensión en corto	Amp. en P.nom salida	Voltaje en P.nom salida	Amp. de trabajo	Voltaje de trabajo	Potencia
Unidad	A	A	V	A	V	A	V	W
ALPHATIG 352 DP	3	400	80	300	32	150	56,0000	8400,0000
London 2400 TIG ac dc	10	200	60	126	15	130	13,5714	1764,2857
Röhr WSME-200	20	200	56			152,33	13,3467	2033,1422

Tabla 8-2: Datos de las fichas técnicas de las máquinas de soldadura para calcular la potencia de trabajo con aluminio.

En la Tabla 8-2: Datos de las fichas técnicas de las máquinas de soldadura para calcular la potencia de trabajo con aluminio. aparecen los datos necesarios para poder aplicar la ecuación de la recta que sigue la potencia de las máquinas, según estos cálculos la potencia media de las máquinas de soldadura en procesos TIG con aluminio consumen 3684,72 W de potencia, que son los utilizados para el informe.

C. Consumo de combustible y factor de emisión asociado

Con el fin de ser más rigurosos en el estudio, se ha realizado la media de los consumos medios de combustible de los modelos de vehículos de transporte ligeros más vendidos en España.

En la tabla se recogen sus consumos medios, que resulta al final en un consumo medio total de 7,8 l/100 km que es el que se considera en el informe. Junto con el dato del factor de emisión de la gasolina y el consumo medio del vehículo se puede calcular un factor de emisión en función de la distancia recorrida.

Modelo	Consumo (l/100 km)
Peugeot Partner	9,3
Citroën Berlingo	7,1
Renault Kangoo	7

Tabla 8-3: Consumo medio de los principales modelos de transporte ligero en España.

Por tanto, sabiendo que el factor de emisión para la gasolina según el Informe de inventario nacional Gases de Efecto Invernadero (2020b) es 2,1225 kg CO₂ equiv./l y que el consumo del vehículo en media es 0,078 l/km, el factor de emisión final es 0,165555 kg CO₂ equiv./km.

D. Comparación del aluminio 6062 T6 con otros materiales

El programa CESEDUPACK posee una biblioteca con gran variedad de materiales e información relativa a ellos de todo tipo: propiedades físicas, mecánicas, eléctricas, magnéticas, maleabilidad, huella de carbono en distintos procesos, etc. A partir de estas propiedades se ha realizado una secuencia de etapas para delimitar los materiales que podrían sustituir al aluminio escogido por el equipo. Las condiciones que se impusieron son:

1. Incluir solo aluminios y aceros.
2. Buena soldabilidad.
3. Que se pueda obtener un perfil hueco del material.
4. Un límite elástico mayor de 250 MPa, requisito mínimo que estima el equipo para soportar los esfuerzos en la motocicleta (USRacing Engineering 2020).
5. Menor peso posible.
6. Menor precio por kilogramo de material.

Además de estas condiciones se han comparado los materiales de forma que se minimizase su huella de carbono en los procesos primarios y en el mecanizado, siempre que el límite elástico fuera mayor de los 250 MPa.

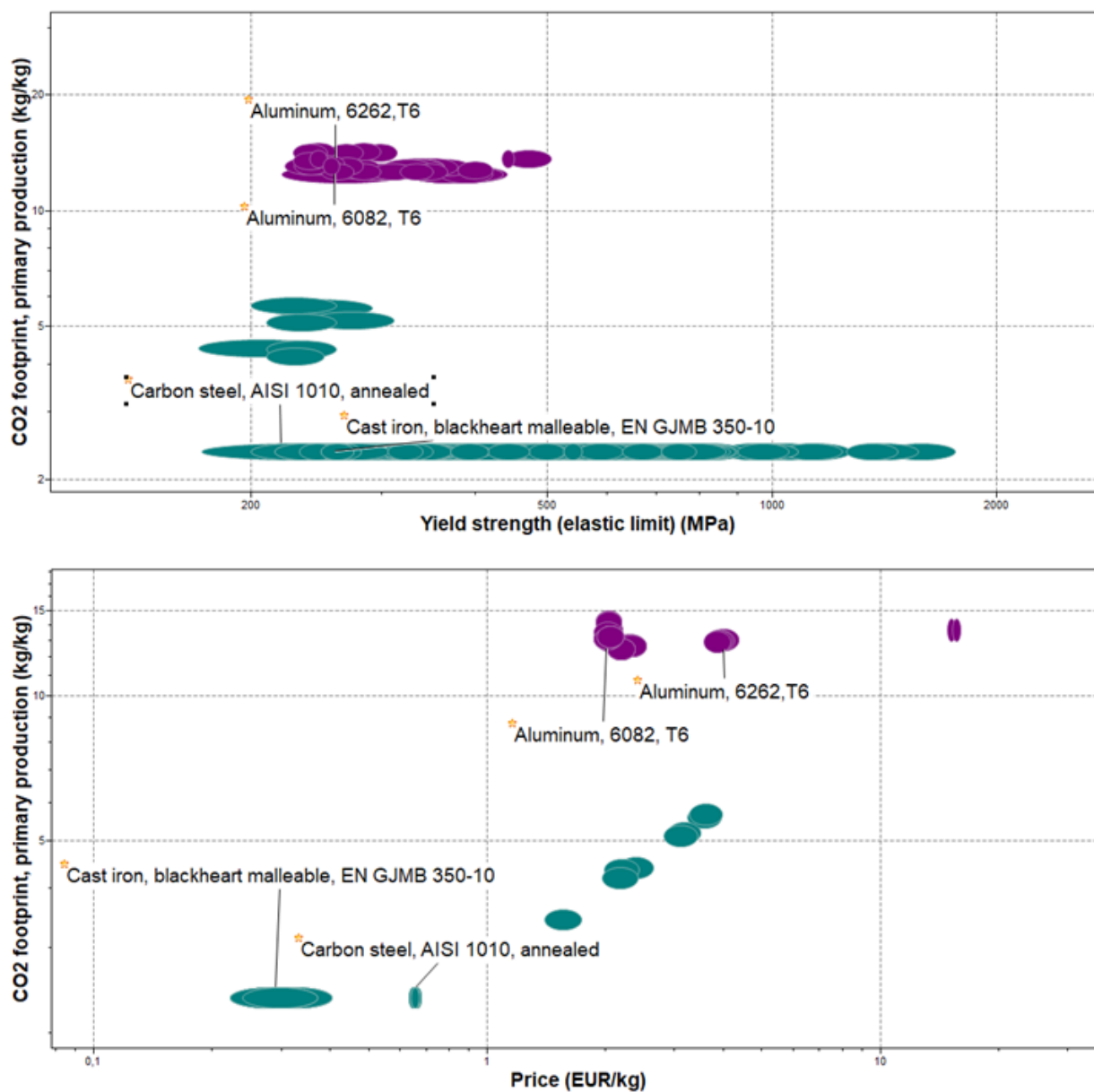


Figura 8-2: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales en la obtención de materia prima.

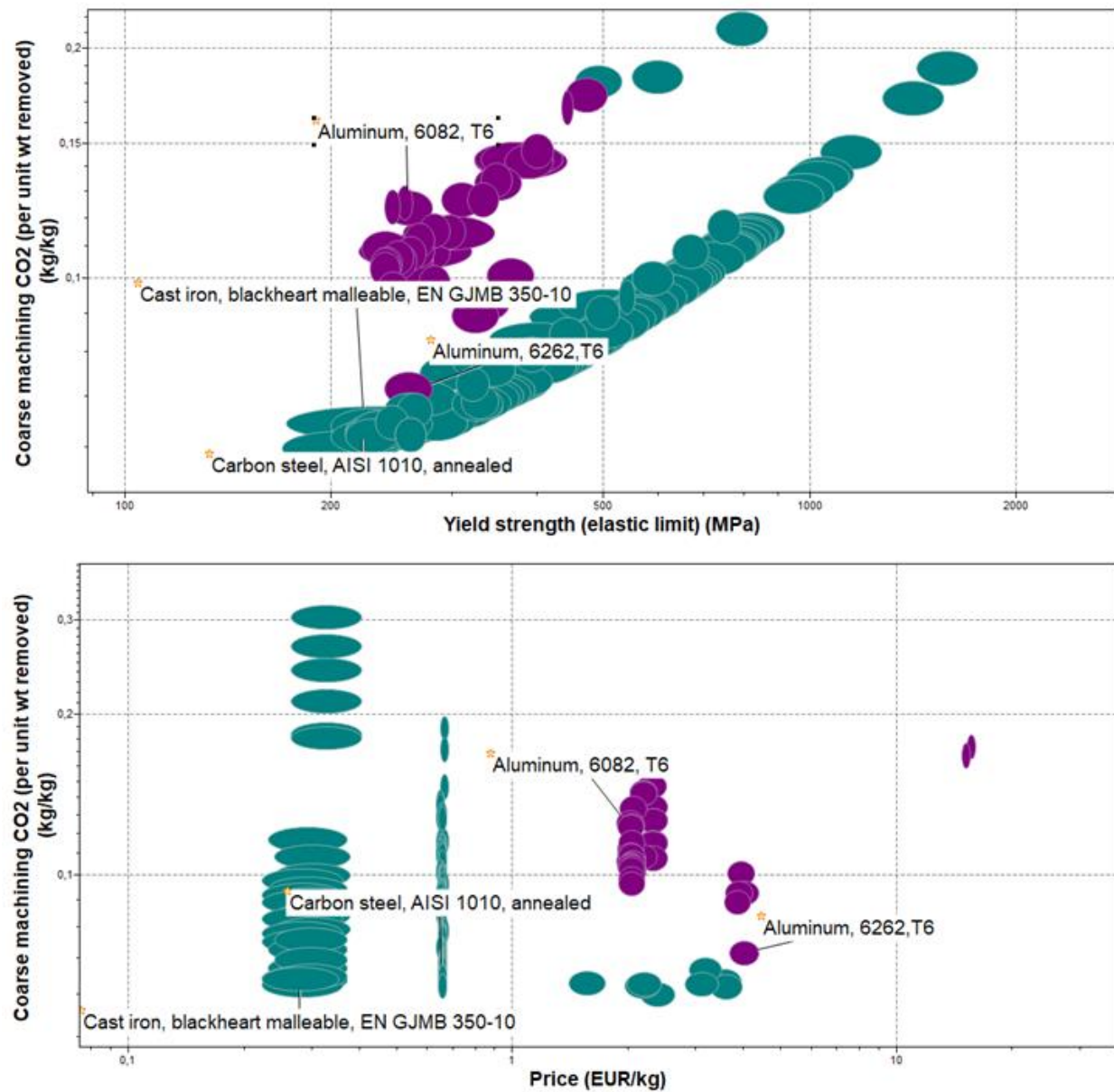


Figura 8-3: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales en un mecanizado basto.

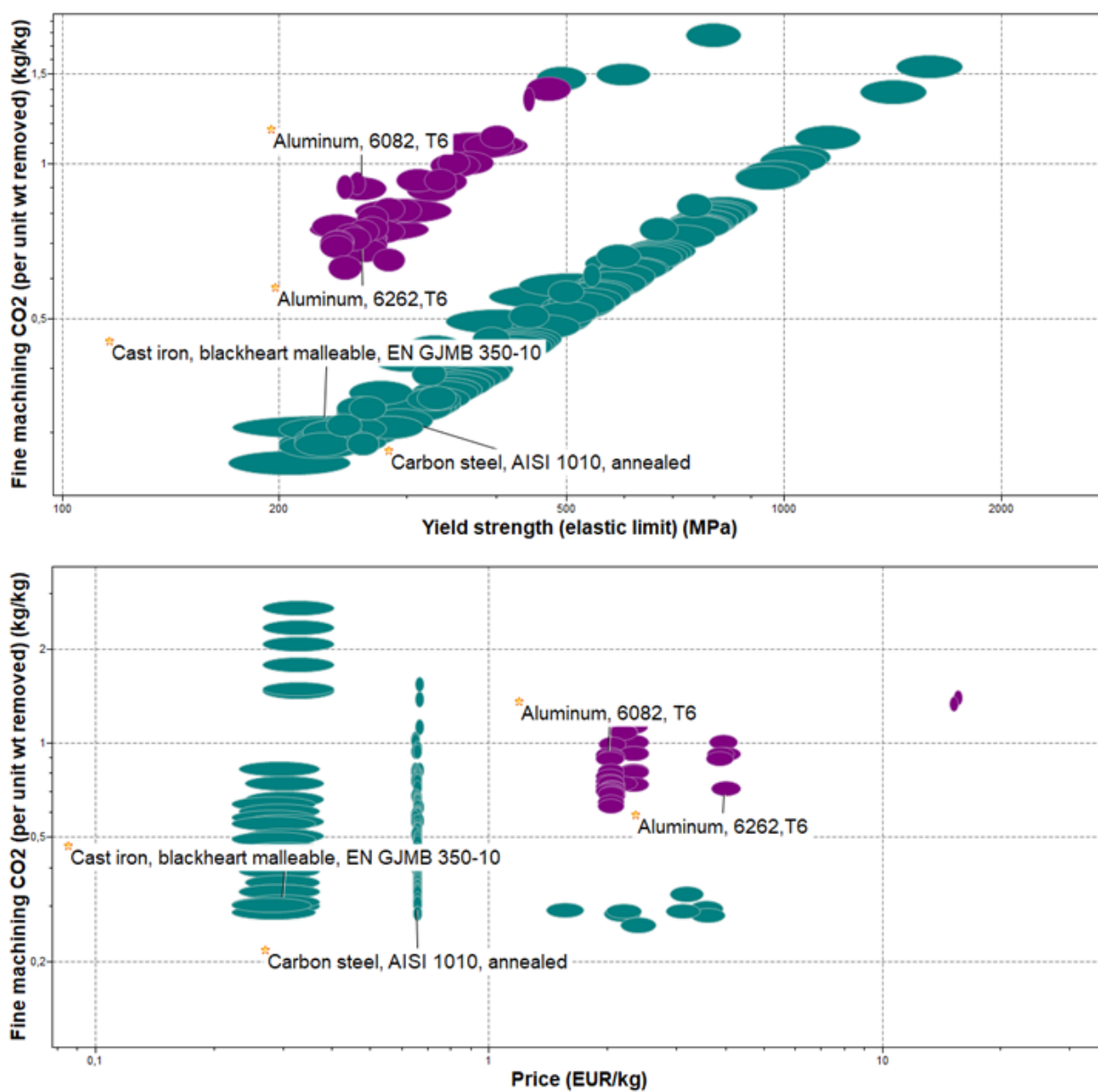


Figura 8-4: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales en un mecanizado fino.

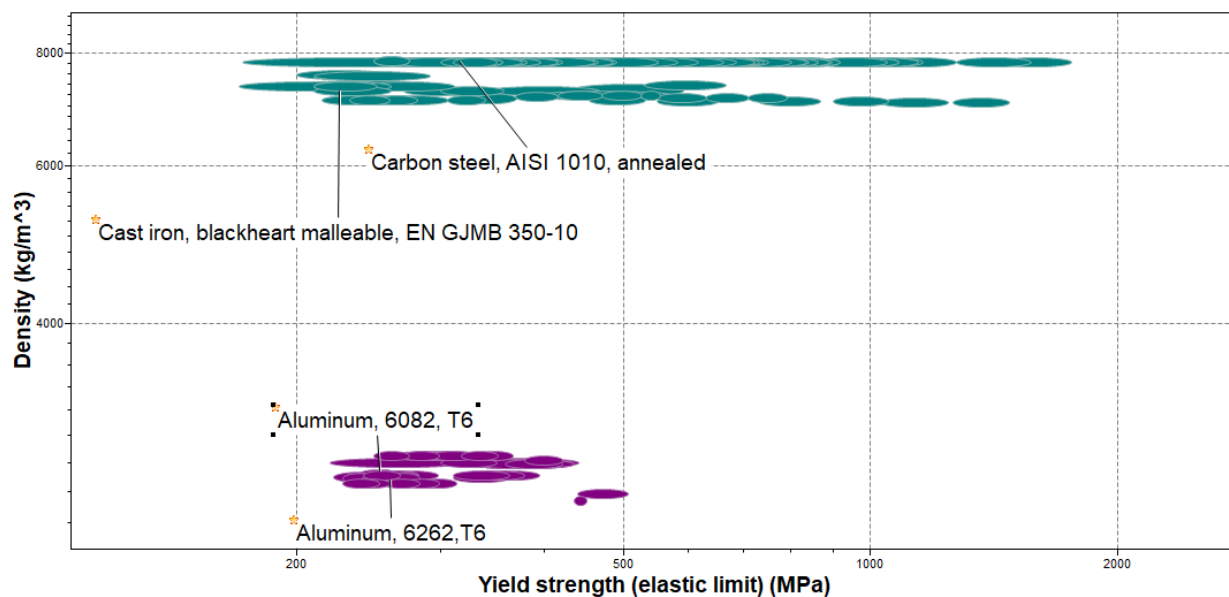


Figura 8-5: Comparación del aluminio 6082 T6 con otros materiales según densidad y límite elástico.

Los resultados del programa muestran que no existe gran diferencia entre los aluminios por lo que no hay razones realmente significativas para descartar el escogido por el equipo. La mejora que se propone es el 6262 T6 por sus mejores propiedades respecto a soldadura, pero hay que tener en cuenta las posibilidades que con las que cuenta el equipo para obtener estos materiales.

Sí difiere con otros materiales metálicos: el hierro fundido es la opción más económica y que menos dióxido de carbono genera en estos procesos, sin embargo, su límite elástico puede en algunos casos no llegar a los 250 MPa; algunos aceros al carbono como el AISI 1010 recocido. Sin embargo, ambos, como el resto de las aleaciones metálicas mostradas en color azulado en las figuras, poseen una densidad dos veces mayor que la mayoría de los aluminios y eso para el equipo es condición más que suficiente para descartarlos ya que aumentaría considerablemente el peso de la motocicleta en la competición.

ÍNDICE DE CONCEPTOS

Calentamiento global	<i>Aumento estimado de la temperatura media global en superficie promediada durante un período de 30 años, o durante el período de 30 años centrado en un año o decenio particular, expresado en relación con los niveles preindustriales, a menos que se especifique de otra manera. Para los períodos de 30 años que abarcan años pasados y futuros, se supone que continúa la actual tendencia de calentamiento multidecenal (IPCC 2018a).</i>
Cambio climático	<i>El cambio climático hace referencia a una variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos (IPCC 2018a).</i>
Captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC)	<i>Proceso en el que un flujo relativamente puro de dióxido de carbono (CO₂) procedente de fuentes industriales y de fuentes relacionadas con la energía se separa (captura), se condiciona, se comprime y se transporta hasta un lugar de almacenamiento para su aislamiento de la atmósfera durante un largo período (IPCC 2018a).</i>
Captura y utilización de dióxido de carbono (CUC)	<i>Proceso en el que el CO₂ se captura y luego se utiliza para elaborar un nuevo producto. Si el CO₂ se almacena en un producto durante un horizonte temporal pertinente para el clima, se denomina captura, utilización y almacenamiento de dióxido de carbono (CUAC) (IPCC 2018a).</i>
Carbono negro	<i>Especie de aerosol definida operacionalmente en términos de absorción de luz, de reactividad química o de estabilidad térmica. A veces se conoce como hollín. Se origina principalmente por la quema incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa, aunque también se da de forma natural. Permanece en la atmósfera únicamente unos días o semanas (IPCC 2018a).</i>
Ciclo de vida	<i>Etapas consecutivas e interrelacionadas relacionadas con un producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta el tratamiento al final de la vida útil (UNE 2019d).</i>
Compensación de carbono	<i>Mecanismo para compensar la totalidad o una parte de la HCP o la HCP parcial mediante la prevención de la liberación, reducción o remoción de una cantidad de emisiones de GEI en un proceso fuera del sistema producto en estudio (UNE 2019d).</i>

Efecto invernadero	<i>Efecto radiativo infrarrojo de todos los componentes de la atmósfera que absorben en el infrarrojo. Los gases de efecto invernadero y las nubes y, en menor medida, los aerosoles absorben la radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra y por cualquier punto de la atmósfera (IPCC 2013).</i>
Forzamiento radiativo	<i>Variación, expresada en $W\ m^{-2}$, del flujo radiativo neto (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debido a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) o de la radiación solar (IPCC 2018a).</i>
Forzamiento radiativo distinto de CO_2	<i>El forzamiento radiativo asociado a las emisiones distintas del CO_2 y a cambios en el albedo de superficie (IPCC 2018a).</i>
Halocarbonos	<i>Término colectivo que designa el grupo de especies orgánicas parcialmente halogenadas, al que pertenecen los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los halones, el cloruro de metilo y el bromuro de metilo (IPCC 2018a).</i>
Huella de Carbono de un producto parcial	<i>Suma de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y remociones de GEI de uno o más procesos seleccionados de un sistema producto, expresadas como equivalentes de CO_2 y basadas en las etapas o procesos seleccionados dentro del ciclo de vida (UNE 2019d).</i>
Huella de Carbono de un producto	<i>Suma de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y remociones de GEI en un sistema producto (3.1.3.2), expresadas como CO_2 equivalente y basadas en una evaluación del ciclo de vida utilizando la categoría de impacto única de cambio climático (UNE 2019d).</i>
Potencial de Calentamiento Global	<i>El potencial de calentamiento mundial (PCM) es una medida útil para comparar el impacto climático potencial de las emisiones de los diferentes GEILV. El potencial de calentamiento mundial compara el forzamiento radiativo integrado durante un período de tiempo específico (por ejemplo, 100 años) con una emisión de pulso de una unidad de masa y constituye una forma de comparar el cambio climático potencial asociado con las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero (IPCC 2007b).</i>
Proceso	<i>Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, que transforma las entradas en productos (UNE 2019d).</i>
Proceso unitario	<i>Elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida (UNE 2019d).</i>
Retroalimentación (climática)	<i>Interacción en la que una perturbación en una magnitud climática causa un cambio en una segunda magnitud, y el</i>

cambio en esta conduce, en última instancia, a un cambio añadido en la primera magnitud (IPCC 2018a).

Sistema producto

Conjunto de procesos unitarios con flujos elementales y flujos de producto, que desempeña una o más funciones definidas, y que sirve de modelo para el ciclo de vida de un producto (UNE 2019d).

Sumideros

Reservorio (de origen natural o producto de la actividad humana, en suelos, océanos y plantas) en el que un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero se almacenan (IPCC 2018a).

GLOSARIO

ACV	Análisis del ciclo de vida
ADP	Grupo de Trabajo Ad Hoc
ALOFU	Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo
BECC	Bioenergía con captura y almacenamiento de dióxido de carbono
BEI	Banco Europeo de Inversiones
BSI	Instituto Británico de Estandarización
CAC	Captura y almacenamiento de dióxido de carbono
CFC	Clorofluorocarbonos
CIE IPCC	Cuarto Informe de Evaluación del IPCC
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Conferencia de las Partes
CUAC	Captura, utilización y almacenamiento de dióxido de carbono
CUC	Captura y utilización de dióxido de carbono
CH ₄	Metano
ETSI	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GEILV	Gases de Efecto Invernadero de Larga Vida
HBFC	Hidrobromofluorocarbonos
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HdC	Huella de Carbono
HFC	Hidrofluorocarbonos
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático
N ₂ O	Óxido nitroso
OMI	Organización Meteorológica Internacional
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PCG	Potencia de calentamiento Global
PECC	Programa Europeo sobre el Cambio
PFC	Perfluorocarbonos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
QIE IPCC	Quinto Informe de Evaluación del IPCC
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
SIE IPCC	Segundo Informe de Evaluación del IPCC
TIE IPCC	Tercer Informe de Evaluación del IPCC
UE	Unión Europea
WBCSD	Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible

REFERENCIAS

- ALUMINIOS BEAN, 2019. Tipo de soldadura para el aluminio. [en línea]. [Consulta: 22 junio 2020]. Disponible en: <http://www.aluminiosbean.es/blog/2019/07/29/que-tipo-de-soldadura-se-utiliza-para-aluminio/>.
- ANTÓN LÓPEZ, S., 2010. Huella de Carbono. Relación con la ley Grenelle. *Universidad de Sevilla*, pp. 45-64.
- APPLE INC., 2019. Environmental Responsibility Report. . S.l.:
- ARIAS, L. y ARRUEZ, E., 2011. Estimación de la huella de carbono mediante metodología MC3 en el sector construcción. *Memoria de Titulación del Dpto. de Ingeniería Industrial, Univ. de La Serena Chile*,
- ARNOLD, U., DE PALMENAER, A., BRÜCK, T. y KUSE, K., 2018. Energy-Efficient Carbon Fiber Production with Concentrated Solar Power: Process Design and Techno-economic Analysis. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, ISSN 15205045. DOI 10.1021/acs.iecr.7b04841.
- ASSOCIATION BILAN CARBONE, 2020. ABC. [en línea]. [Consulta: 27 abril 2020]. Disponible en: <https://www.associationbilancarbonate.fr/labc/>.
- ATANCE LAURA, MARIN IGNACIO, OLATZ RIPOLL, L.E., 2012. Criterios de seleccion de un estándar para la medida de la huella de Carbono. *EOI* [en línea], Disponible en: <https://www.eoi.es/es/file/19661/download?token=zVv99dx6>.
- BANERJEE, R., CONG, Y., GIELEN, D., JANNUZZI, G., MARÉCHAL, F., MCKANE, A.T., ROSEN, M.A., VAN ES, D., WORRELL, E., AYRES, R., OLSHANSKAYA, M., PRICE, L., SAYGIN, D., SRIVASTAVA, A. y JOCHEM, E., 2012. Energy End-Use: Industry. En: T.B. JOHANSSON, N. NAKICENOVIC, A. PATWARDHAN y L. GOMEZ-ECHEVERRI (eds.), *Global Energy Assessment (GEA)* [en línea]. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 513-574. [Consulta: 5 abril 2020]. Disponible en: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9780511793677A026/type/book_part.
- BRENTON, P., EDWARDS-JONES, G. y JENSEN, M.F., 2009. *Carbon labelling and low-income country exports: A review of the development issues*. 2009. S.l.: s.n.
- BSI, 2011. PAS 2050:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institution, London. , pp. 1-45.
- BURNHAM, C., 2017. Fundamentos del corte chorro de agua. *Flow International*,
- BURRITT, R.L. y TINGEY-HOLYOAK, J., 2012. Forging cleaner production: The importance of academic-practitioner links for successful sustainability embedded carbon accounting. *Journal of Cleaner Production*, ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2012.02.001.
- CARBALLO, A., MARÍA, P., GARCÍA-NEGRO, C., LUIS, J. y QUESADA, D., 2009. El MC3 una alternativa metodológica para estimar la huella de corporativa de carbono (HCC). *Revista Desarrollo Local Sostenible. Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global N°* [en línea],

- vol. 2, no. 5, pp. 1-16. Disponible en: www.eumed.net/rev/delos/05.
- 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. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, vol. 3, no. 8, pp. 7. ISSN 1988-5245.
- CARBON TRUST, 2007. Carbon Footprint Measurement Methodology. *Director*,
- CEPAL, C.E., 2008. Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. ,
- CEPAL, C.E., 2011. Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. ,
- COMISIÓN EUROPEA, 2000. Lanzamiento del Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC). [en línea]. [Consulta: 17 marzo 2020]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM:l28185>.
- COMISIÓN EUROPEA, 2011. Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050. [en línea], Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es#tab-0-1.
- COMISIÓN EUROPEA, 2017a. European Climate Change Programme | Acción por el Clima. [en línea]. [Consulta: 18 marzo 2020]. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/eccp_es#tab-0-0.
- COMISIÓN EUROPEA, 2017b. Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020 | Acción por el Clima. [en línea]. [Consulta: 17 marzo 2020]. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es.
- COMISIÓN EUROPEA, 2018. Un planeta limpio para todos La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra. ,
- CONVENCIÓN MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, 2017. La industria puede cumplir gran parte del Acuerdo de París con asociaciones gubernamentales más estrechas. [en línea], [Consulta: 29 marzo 2020]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/news/la-industria-puede-cumplir-gran-parte-del-acuerdo-de-paris-con-asociaciones-gubernamentales-mas>.
- CONVENCIÓN MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, 2019. Acerca de la Conferencia de la ONU el Cambio Climático - Diciembre de 2019. [en línea]. [Consulta: 21 marzo 2020]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/conferences/un-climate-change-conference-december-2019/acerca-de-la-conferencia-de-la-onu-el-cambio-climatico-diciembre-de-2019>.
- COOPER-SEARLE, S., LIVESEY, F. y ALLWOOD, J.M., 2018. Why are Material Efficiency Solutions a Limited Part of the Climate Policy Agenda? An application of the Multiple Streams Framework to UK policy on CO2 emissions from cars. *Environmental Policy and Governance*, ISSN 17569338. DOI 10.1002/eet.1782.
- CORRALES, M., 2002. Cambio climático: el Protocolo de Kioto sobrevive. [en línea]. [Consulta: 15 marzo 2020]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/cambio-climatico-el-protocolo-de-kioto-sobrevive/>.
- DAVIES, W., 2006. Capítulo 3: Combustión móvil. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* [en línea], pp. 78. Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf.
- DE TORO, A., GOMERA, A., AGUILAR, J., GUIARRO, C., ANTÚNEZ, M. y VAQUERO, M., 2017. La huella de Carbono de la UCO. , pp. 27.

- DOMÉNECH, J.L., 2007. Huella ecológica y desarrollo sostenible. *Asociación Española de Normalización y Certificación*. S.l.: s.n., ISBN 9788481435177.
- DOMÉNECH, J.L. y ARENALES, M.G., 2008. La Huella Ecológica de las empresas: 4 años de seguimiento en el Puerto de Gijón. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social*,
- DOMÉNECH, J.L., CARBALLO, A., JIMÉNEZ, L. y DE LA CRUZ, J.L., 2010. Estándares 2010 de huella de carbono MC3. *Conama10 Congreso Nacional de Medio Ambiente*. S.l.: s.n., pp. 1.
- DOMÉNECH QUESADA, J.L., 2010. Estándares 2010 , Huella De Carbono Mc3. , no. November 2010, pp. 24.
- ECENARRO DÍAZ-TEJEIRO, L., 2014. Estudio y desarrollo metodológico del cálculo de la huella de carbono: Aplicación práctica a Proyecto de construcción de plata- forma de vía de Alta Velocidad ferro- viaria. , pp. 1-58.
- EMASESA, 2017. Informe de emisiones de gases de efecto invernadero. , pp. 1-25.
- EMASESA, 2019a. *Balance Hídrico-eléctrico (Sankey)*. 2019. S.l.: s.n.
- EMASESA, 2019b. Informe de emisiones de gases de efecto invernadero. ,
- ESPÍNDOLA, C. y VALDERRAMA, J.O., 2012a. Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Informacion Tecnologica*, vol. 23, no. 1, pp. 163-176. ISSN 07168756. DOI 10.4067/S0718-07642012000100017.
- ESPÍNDOLA, C. y VALDERRAMA, J.O., 2012b. Huella del carbono. Parte 2: La visión de las empresas, los cuestionamientos y el futuro. *Informacion Tecnologica*, vol. 23, no. 1, pp. 177-192. ISSN 07168756. DOI 10.4067/S0718-07642012000100018.
- ESPÍNDOLA, C. y VALDERRAMA, J.O., 2016. AbaniCO2: Un método simple y efectivo para la toma de decisiones sobre la adopción de la huella del carbono en la gestión sustentable de emisiones en las empresas. *Informacion Tecnologica*, vol. 27, no. 3, pp. 35-52. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642016000300005.
- FORAN, B., LENZEN, M., DEY, C. y BILEK, M., 2005. Integrating sustainable chain management with triple bottom line accounting. *Ecological Economics*, ISSN 09218009. DOI 10.1016/j.ecolecon.2004.06.024.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL TEAM, 2001. About Us | Greenhouse Gas Protocol. [en línea]. [Consulta: 26 abril 2020]. Disponible en: <https://ghgprotocol.org/about-us>.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL TEAM, 2011. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. [en línea], pp. 1-148. Disponible en: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard-EReader_041613.pdf.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL TEAM, 2013. Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions. , no. Scope 3, pp. 1-182.
- HEINEKEN, 2019. Heineken N.V. Annual Report 2019. *Heineken N.V. Annual Report 2019* [en línea], Disponible en: <https://www.theheinekencompany.com/sites/theheinekencompany/files/Investors/financial-information/results-reports-presentations/heineken-nv-hnv-2019-annual-report.pdf>.
- HOESLY, R.M., SMITH, S.J., FENG, L., KLIMONT, Z., JANSSENS-MAENHOUT, G., PITKANEN, T., SEIBERT, J.J., VU, L., ANDRES, R.J., BOLT, R.M., BOND, T.C., DAWIDOWSKI, L., KHOLOD,

- N., KUROKAWA, J.I., LI, M., LIU, L., LU, Z., MOURA, M.C.P., O'ROURKE, P.R. y ZHANG, Q., 2018. Historical (1750-2014) anthropogenic emissions of reactive gases and aerosols from the Community Emissions Data System (CEDS). *Geoscientific Model Development*, vol. 11, no. 1, pp. 369-408. ISSN 19919603. DOI 10.5194/gmd-11-369-2018.
- HONDA MOTOR CO. LTD, 2019. Honda Sustainability Report 2019. *Journal of Chemical Information and Modeling*. S.l.:
- IEA, 2017. Energy Technology Perspectives 2017. *International Energy Agency (IEA) Publications*. S.l.:
- IEA, 2019. Tracking Industry – Analysis. [en línea]. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/tracking-industry>.
- IPCC, 1995. IPCC – Segunda evaluación Cambio Climático 1995. [en línea], pp. 81 pp. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ipcc-second-assessment-full-report/>.
- IPCC, 2001. Cambio climático 2001: Informe de síntesis. . S.l.:
- IPCC, 2007a. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. . S.l.:
- IPCC, 2007b. Summary for Policymakers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. enhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller [en línea].* Disponible en: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq1-1-3.html.
- IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- IPCC, 2018a. Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto i,*
- IPCC, 2018b. Comunicado de prensa IPCC. , pp. 1-5.
- IPCC, 2018c. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change,. , vol. 85, no. 17, pp. 34. ISSN 14665123.
- IPCC, 2018d. Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1.5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir. [en línea], vol. 1, no. 3, pp. 374-381. ISSN 25903322. DOI 10.1016/j.oneear.2019.10.025. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>.
- KASTERINE, A. y VANZETTI, D., 2010. The effectiveness, efficiency and equity of market-based and voluntary measures to mitigate greenhouse gas emissions from the agri-food sector. *Trade and Environment Review 2010*,
- LIU, T., WANG, Q. y SU, B., 2016. A review of carbon labeling: Standards, implementation, and impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea]*, vol. 53, pp. 68-79. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2015.08.050. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.050>.
- MACGREGOR, J. y VORLEY, B., 2006. Fair miles? the concept of «food miles» through a sustainable

- development lens. *Sustainable Development*, ISSN 1552-6801.
- MATTHEWS, H.S., HENDRICKSON, C.T. y WEBER, C.L., 2008. *The importance of carbon footprint estimation boundaries*. 2008. S.l.: s.n.
- MAUREIRA GONZÁLEZ, M.S., 2007. Aplicación de la soldadura en estructuras de aluminio. *Universidad Austral de Chile* [en línea], pp. 119. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim453a/sources/bmfcim453a.pdf>.
- MECASINC, 2017. Diferencias entre soldadura MIG y TIG a la hora de mecanizar. [en línea]. [Consulta: 25 junio 2020]. Disponible en: <https://www.mecanizadossinc.com/diferencias-soldadura-mig-y-tig-mecanizar/>.
- METAL FERROL S.A.L, 2018. Informe 2017 Huella de Carbono en Metal Ferrol S.A.L. *intheMOVE*,
- MIKUNDA, T., KOBER, T., DE CONINCK, H., BAZILIAN, M., RÖSLER, H. y VAN DER ZWAAN, B., 2014. Designing policy for deployment of CCS in industry. *Climate Policy*, ISSN 17527457. DOI 10.1080/14693062.2014.905441.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO; SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE; OFICINA ESPAÑOLA DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2020. Nota sobre los Principales Resultados de la Cumbre del Clima de Madrid. , pp. 1-11.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, 2014. Protocolo de Kioto. [en línea]. S.l.: s.n., [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/protocolo-kioto.aspx>.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, 2018. Principales elementos del Acuerdo de París. [en línea]. [Consulta: 20 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx>.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, 2020a. Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. ,
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, 2020b. Informe de inventario nacional Gases de Efecto Invernadero. ,
- MINX, J.C., WIEDMANN, T., WOOD, R., PETERS, G.P., LENZEN, M., OWEN, A., SCOTT, K., BARRETT, J., HUBACEK, K., BAIOCCHI, G., PAUL, A., DAWKINS, E., BRIGGS, J., GUAN, D., SUH, S. y ACKERMAN, F., 2009. Input-output analysis and carbon footprinting: An overview of applications. *Economic Systems Research*, ISSN 09535314. DOI 10.1080/09535310903541298.
- MORENO AZNAR, P., 2013. El régimen jurídico internacional y europeo de lucha frente al cambio climático. ,
- MOTO ENGINEERING FOUNDATION, 2019. VI Competición Internacional MotoStudent Reglamento de la Competición. . S.l.:
- MYHRE, G., SHINDELL, D., BRÉON, F.-M., COLLINS, W., FUGLESTVEDT, J., HUANG, J., KOCH, D., LAMARQUE, J.-F., LEE, D., MENDOZA, B., NAKAJIMA, T., ROBOCK, A., STEPHENS, G., TAKEMURA, T. y ZHANG, H., 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, vol. 9781107057, pp. 659-740. DOI

10.1017/CBO9781107415324.018.

- NACIONES UNIDAS, 1987. Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. *Documentos de las Naciones, Recolección de un ...* [en línea], pp. 416. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>.
- NACIONES UNIDAS, 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. , vol. 62301.
- NACIONES UNIDAS, 1995. Informe de la Conferencia de las Partes sobre su primer período de sesiones, celebrado en Berlin del 28 de marzo al 7 de abril de 1995. [en línea], vol. 61658, pp. 1-57. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop1/g9561658.pdf#page=4>.
- NACIONES UNIDAS, 1997. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data* [en línea], vol. 61702, pp. 108-117. ISSN 07308078. DOI 10.1145/115790.115803. Disponible en: azul; morado.
- NACIONES UNIDAS, 2013. Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto. [en línea], pp. 1-6. Disponible en: <https://unfccc.int/es/node/404>.
- NACIONES UNIDAS, 2015. Acuerdo de París. [en línea], pp. 29. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf.
- NACIONES UNIDAS, 2020. *Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono*. S.l.: s.n. ISBN 9789280727708.
- NAPP, T.A., GAMBHIR, A., HILLS, T.P., FLORIN, N. y FENNELL, P.S., 2014. *A review of the technologies, economics and policy instruments for decarbonising energy-intensive manufacturing industries*. 2014. S.l.: s.n.
- NARAG, S., 2007. Carbon With That Latte? [en línea], [Consulta: 23 abril 2020]. Disponible en: https://www.forbes.com/2007/07/02/starbucks-emissions-environment-biz-cz_sn_0703green_carbon.html#6fbd29d22681.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2019. Quiénes somos. [en línea]. [Consulta: 15 marzo 2020]. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/acerca-de-la-omm/quienes-somos>.
- PANDEY, D., AGRAWAL, M. y PANDEY, J.S., 2011. Carbon footprint: Current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, ISSN 01676369. DOI 10.1007/s10661-010-1678-y.
- PENELA, A.C., 2009. *A pegada ecolóxica de bens e servizos: desenvolvemento dun método de cálculo e aplicación ao ciclo de vida do mexillón en conserva en Galicia*. S.l.: Univ Santiago de Compostela. ISBN 8498872235.
- PÉREZ DUART, A., 2018. Comparativa de la huella de carbono entre dos sistemas de recogidas de envases. *Universidad de Sevilla*, no. Plan 98.
- PÉREZ ESCOBAR, D., 2017. Propuestas para la disminución de la huella de carbono de una planta de producción de cerveza. *Universidad de Sevilla*,
- PHILIBERT, C., 2017. Renewable energy for industry: From green energy to green materials and fuels. *International Energy Agency*, ISSN 0194-911X. DOI 10.1111/j.1365-2990.2010.01130.x.
- PLASSMANN, K., NORTON, A., ATTARZADEH, N., JENSEN, M.P., BRENTON, P. y EDWARDS-

- JONES, G., 2010. Methodological complexities of product carbon footprinting: a sensitivity analysis of key variables in a developing country context. *Environmental Science and Policy*, ISSN 14629011. DOI 10.1016/j.envsci.2010.03.013.
- PLAZA CUENCA, J., 2012. Huella de Carbono en la Cadena de Suministro. *Universidad de Sevilla*, pp. 50-94.
- QUEZADA, R., HSIEH, T. y VALDERRAMA, J.O., 2013. Determinación de la huella del carbono mediante el método compuesto de las cuentas contables (MC3) para una empresa vitivinícola en Chile. *Informacion Tecnologica*, vol. 24, no. 4, pp. 3-14. ISSN 07168756. DOI 10.4067/S0718-07642013000400002.
- RE100, 2014. RE100. [en línea]. [Consulta: 29 marzo 2020]. Disponible en: <http://there100.org/re100>.
- RIVAS COBO, C.A. y MARTÍN ROMERO GONZÁLEZ, E., 2015. Análisis y metodología para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el ambiente urbano: La ciudad de Sevilla. , pp. 135.
- ROJAS LABIANO, J. maria y AZPIROZ UNSAIN, A., 2009. El soldador y los humos de soldadura. *Osalan. Instituto Vasco de Seguridad i Salud laborales* [en línea], pp. 1-44. Disponible en: http://www.osalan.euskadi.eus/s94-osa9999/es/contenidos/libro/higiene_200920/es_200920/adjuntos/El Soldador.pdf.
- RYPDAL, K. y PACIORNIK, N., 2006. CAPÍTULO 1. Introducción a las directrices de 2006. *Directrices del IPPC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, pp. 1-13.
- SISTEMA ESPAÑOL DE INVENTARIO DE EMISIONES, 2016. COMBUSTIÓN ESTACIONARIA INDUSTRIAL NO ESPECÍFICA. ,
- STOCKER, T.F., QIN, D., PLATTNER, G.-K., ALEXANDER, L.V., ALLEN, S.K., BINDOFF, N.L., BRÉON, F.-M., CHURCH, J.A., CUBASCH, U., EMORI, S., FORSTER, P., FRIEDLINGSTEIN, P., GILLET, N., GREGORY, J.M., HARTMANN, D.L., JANSEN, E., KIRTMAN, B., KNUTTI, R., K. KRISHNA KUMAR, P., VAUGHAN, D.G. y XIE, S.-P., 2013. Resumen técnico. *Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, pp. 33-182. DOI 10.1017/CBO9781107415324.005.
- TAYLOR, K.E., STOUFFER, R.J. y MEEHL, G.A., 2012. *An overview of CMIP5 and the experiment design*. abril 2012. S.l.: s.n.
- THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. *PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION PAS 2050: 2011*. S.l.:
- UNE, 2006. UNE-EN ISO 14044 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices (ISO 14044:2006). *Aenor*,
- UNE, 2015. UNE-ISO/TR 14069:2015 Gases de efecto invernadero. Cuantificación e informe de las emisiones de gases de efecto invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la Norma ISO 14064-1. *Aenor*,
- UNE, 2019a. 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. *Aenor*,
- UNE, 2019b. UNE-EN ISO 14064-2 Gases de efecto invernadero. Parte 2 : especificación con orientación , a nivel de proyecto , para la cuantificación , el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones

- o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero. *Aenor*, pp. 1-46.
- UNE, 2019c. UNE-EN ISO 14064-3 Gases de efecto invernadero Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero. *Aenor*,
- UNE, 2019d. UNE-EN ISO 14067 Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación (ISO 14067:2018). *Aenor*,
- USRACING ENGINEERING, 2019. Chapter A: Concept Development. *Effective Innovation*, pp. 77-131. DOI 10.1115/1.802035.ch4.
- USRACING ENGINEERING, 2020. Fabricación Basculante. , pp. 250.
- VILLALBA YAMBAY, M., 2017. Determinación de las emisiones de CO2 equivalente de los tipos de soldadura utilizados en la fabricación de carrocerías metálicas del bus tipo. *Universidad Técnica de Ambato* [en línea], pp. 100. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26806>.
- VOLKSWAGEN AG, 2019. VOLKSWAGEN Sustainability Report 2019. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://carlsberggroup.com/media/28929/carlsberg-sustainability-report-2018.pdf>.
- WACHERNAGEL, M. y REES, W., 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. 1996. S.l.: s.n. ISBN 1-55092-251-3.
- WE MEAN BUSINESS, 2014. Nos referimos a la Coalición Empresarial. [en línea]. [Consulta: 29 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.wemeanbusinesscoalition.org/>.
- WESSELING, J.H., LECHTENBÖHMER, S., ÅHMAN, M., NILSSON, L.J., WORRELL, E. y COENEN, L., 2017. *The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonization: Characteristics and implications for future research*. 2017. S.l.: s.n.
- WIEDMANN, T. y MINX, J., 2007. A Definition of «Carbon Footprint». In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1. *Nova Science Publishers*. S.l.:
- YAMAHA CORPORATION, 2019. Sustainability Report 2019. . S.l.:

