

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.*

Trabajo realizado por:

Laura Ecenarro y Díaz-Tejeiro

Dirigido:

Pedro Díaz Simal

Saúl Torres Ortega

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, Septiembre de 2014

TRABAJO FINAL DE GRADO

ÍNDICE:

1	INTRODUCCIÓN	5
2	ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN	6
2.1	ANÁLISIS COSTE – BENEFICIO (ACB)	6
2.1.1	¿Qué es el Análisis coste - beneficio?.....	6
2.1.2	¿Qué objetivos tiene el ACB?	6
2.1.3	¿Qué pasos se deben seguir en la realización de un ACB de un Proyecto de construcción?.....	7
2.1.4	¿Qué ventajas e inconvenientes tiene el ACB?.....	10
2.2	ANÁLISIS MULTICRITERIO	10
2.2.1	¿Qué es el Análisis Multicriterio?	10
2.2.2	¿Cómo identificar a la mejor alternativa?	11
2.2.3	¿Cómo realizar un correcto MC?	12
2.2.4	¿Qué ventajas e inconvenientes tiene el MC?	15
2.2.5	Análisis Multicriterio vs Análisis Coste – Beneficio	15
2.3	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	16
2.3.1	¿Qué es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)?	16
2.3.2	¿Qué fases comprende el ACV?.....	17
2.3.3	El Análisis de Ciclo de Vida en la construcción	22
2.3.4	Norma ISO 14040 y ACV	23
3	LA HUELLA DE CARBONO	24
3.1	ANTECEDENTES: GEI.....	24
3.1.1	Fuentes globales de emisión de GEI.....	26
3.1.2	Emisiones de GEI en España	27
3.1.3	Soluciones	29
3.2	DEFINICIÓN Y OBJETIVOS	29
3.3	ÁMBITOS DE APLICACIÓN	30
3.4	HUELLA DE CARBONO DE UNA ORGANIZACIÓN.....	30
3.5	HUELLA DE CARBONO DE UN PRODUCTO	32

3.6	FASES DE CÁLCULO	33
3.7	COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO	37
3.7.1	Mecanismos de Flexibilidad	38
3.7.2	Mercados Voluntarios de Carbono	40
4	CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN: CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA DEL CORREDOR NORTE- NOROESTE DE ALTA VELOCIDAD. TRAMO: PALENCIA-LEÓN, SUBTRAMO: POZO DE URAMA-RÍO CEA.	42
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	42
4.2	METODOLOGÍA PROPIA DE CÁLCULO.....	45
4.3	RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO.....	51
4.4	COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO	52
4.5	MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	52
5	CONCLUSIONES	54
6	ANEXO DE CÁLCULO.....	55
7	REFERENCIAS.....	57

INDICE DE FIGURAS:

❖ FIGURA 1: FASES SIMPLIFICADAS ACB	7
❖ FIGURA 2: MATRIZ DE EVALUACIONES PARCIALES P	11
❖ FIGURA 3: FASES DEL MC	12
❖ FIGURA 4: FASES DEL CICLO DE VIDA	16
❖ FIGURA 5: FASES DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	17
❖ FIGURA 6: DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL INVENTARIO ABARCANDO TODAS LAS FASES DEL CICLO DE VIDA, PROPUESTO POR LA SETAC (1991) ...	19
❖ FIGURA 7: ELEMENTOS OBLIGATORIOS Y OPCIONALES EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS DEL ACV, SEGÚN LA ISO 14042.....	21
❖ FIGURA 8: EMISIONES DE GEI. : IPCC (2007): SOBRE LA BASE DE LAS EMISIONES MUNDIALES DE 2004	25
❖ FIGURA 9: FUENTES DE EMISIÓN DE GEI (2004): IPCC (2007): SOBRE LA BASE DE LAS EMISIONES MUNDIALES DE 2004	27
❖ FIGURA 10: EMISIONES DE GEI POR GAS EN ESPAÑA EL AÑO 2012. FUENTE WWF.....	28
❖ FIGURA 11: SITUACIÓN DEL PROYECTO. MAPA OBTENIDO DEL DOCUMENTO Nº 2 – PLANOS DEL PROYECTO DE ESTUDIO	44
❖ FIGURA 12: SITUACIÓN DEL TRAZADO DE LA OBRA. MAPA OBTENIDO DEL DOCUMENTO Nº 2 – PLANOS DEL PROYECTO DE ESTUDIO	44
❖ FIGURA 13: ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	45
❖ FIGURA 14: ESQUEMA DE LA FASE DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	46
❖ FIGURA 15: ESQUEMA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS TONELADAS DE CEMENTO UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE LOS DISTINTOS HORMIGONES EMPLEADOS EN LA OBRA.	48
❖ FIGURA 16: ESQUEMA REPRESENTANDO LAS DIFERENTES UNIDADES CUYA SUMA ES LA HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO	49
❖ FIGURA 17: FÓRMULAS Y APROXIMACIONES UTILIZADAS EN EL CÁLCULO DE LA HC	50
❖ FIGURA 18: HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO EN FUNCIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN	51

INDICE DE TABLAS:

❖ TABLA 1: VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL ACB	10
❖ TABLA 2: EJEMPLO DE JUICIO POR CRITERIO	14
❖ TABLA 3: VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL MC	15
❖ TABLA 4: MC VS ACB (APUNTES DE PROYECTOS DE 3º GRADO)	15
❖ TABLA 5: CANTIDAD DE CEMENTO POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN	48

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el desarrollo de un estudio sobre una problemática que hace décadas se habría considerado sencillamente inexistente. Los cambios acontecidos durante la segunda parte del siglo XX han hecho que la sociedad en general deba preguntarse por el papel en que su modo de vida afecta de forma notable al entorno.

El problema concreto al que se hace alusión es el impacto que están teniendo las emisiones de gases contaminantes sobre nuestro planeta. Estas no son más que el resultado de un modelo energético poco eficiente y basado en análisis de necesidades solamente a corto plazo sin tener en cuenta efectos indeseables sobre el bienestar de futuras generaciones.

La visión simplista de ciertos círculos, basada en que solo las grandes fábricas o los grandes parques móviles, son los responsables de estas emisiones está más que desfasada. Por poner un ejemplo, las páginas del documento que usted lee, o la pantalla sobre la que hace lo propio, han dejado su huella de carbono en el medio ambiente. Es decir, han sido necesarios una serie de procesos para hacer una realidad dichos objetos. Estos son procesos demandantes de energía y por lo tanto productores de desechos.

El sector de la Ingeniería Civil no debe escapar a estos análisis más modernos, y por lo tanto, más ajustados a la realidad. La construcción es una actividad basada en el consumo masivo de energía. No se debería tardar demasiado en ser consciente de que este hecho incurre en una generación de subproductos contaminantes más que notable.

En concreto, las siguientes páginas tratarán de cuantificar cuantitativa y cualitativamente la huella de carbono dejada por la ejecución de una plataforma de vía, hasta su completa ejecución. Se tendrán en cuenta las actividades complementarias necesarias para la consecución de esta obra. Y por último, se cuantificarán, en unidades monetarias, los costes de la compensación de los efectos indeseables de dicha huella. Es este el objetivo último y principal de este trabajo, ya que no se debe olvidar que se trata de un documento que mezcla el campo de la investigación medioambiental con el de la Ingeniería Civil.

El Autor.

2 ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

En el día a día, antes de tomar una decisión de cierta importancia, se debe dedicar un intervalo de tiempo a medir los “pros” y los “contras” que dicha decisión conlleva. Lo mismo ocurre con los proyectos de construcción.

Antes de llevar a cabo un proyecto es recomendable analizar las consecuencias que su realización puede tener, desde un punto de vista no sólo económico, sino también social y medioambiental. Este proceso de evaluación tiene una gran importancia, pues cuanto más exhaustivo sea, más se acercará a la realidad y, por consiguiente, más útil y fiable será para la toma de decisiones. Es por ello que, en este apartado se tratarán, a grandes rasgos, diferentes métodos de análisis económico y ambiental, profundizando en el Estudio de la Huella de Carbono (objeto de estudio de este trabajo) en el apartado 3.

2.1 ANÁLISIS COSTE – BENEFICIO (ACB)

2.1.1 ¿Qué es el Análisis coste - beneficio?

El Análisis Coste – Beneficio (ACB) es una metodología mediante la cual se estiman, como su propio nombre indica, los costes como y beneficios que supone la realización de una actividad o proyecto.

La idea que dio lugar a esta metodología fue originada por el ingeniero francés Jules Dupuit. Más tarde, el economista británico Afred Marshall estableció una serie de conceptos formales que constituyen las bases del ACB.

En 1936 con la Ley de Control de Inundaciones de Estados Unidos, se produce el desarrollo práctico del ACB: con la intención de proteger a ciudadanos y terrenos (400 Has. aproximadamente); esta ley requería que el Cuerpo de Ingenieros de EE.UU. sólo pudiese ejecutar aquellos proyectos cuyos beneficios superaran a los costes. Fue así como se construyeron numerosas obras hidráulicas cuya importancia ha perdurado hasta nuestros días y, que además, contribuyeron a proteger a miles de personas y terrenos de la fuerza devastadora de las inundaciones.

Sin embargo, no fue hasta la década de los cincuenta cuando los economistas comienzan a intentar establecer una metodología rigurosa para cuantificar los costes y beneficios, y decidir si es recomendable que un proyecto sea o no realizado.

2.1.2 ¿Qué objetivos tiene el ACB?

En los proyectos de inversión privada, el principal objetivo es obtener el máximo beneficio económico para el ente que los realiza. En consecuencia, sólo se llevarán a cabo cuando ello suponga un crecimiento de la riqueza de la empresa.

En cambio, los proyectos de inversión pública tienen como finalidad la de servir a la sociedad, contribuyendo a mejorar su bienestar social. Es en este tipo de proyectos cuando la aplicación del ACB tiene sentido, ya que su objetivo es el de hallar aquella solución que suponga el mayor beneficio para los ciudadanos.

En función del momento en el que se realice el ACB, éste tiene una finalidad u otra:

- Puede realizarse antes de la ejecución del proyecto con el fin de seleccionar la mejor de las alternativas planteadas o para decidir si dicho proyecto es factible socialmente.
- Puede realizarse posteriormente a la ejecución para analizar la idoneidad o no de haber realizado el proyecto y si los procesos de toma de decisiones eligieron la alternativa óptima.

2.1.3 ¿Qué pasos se deben seguir en la realización de un ACB de un Proyecto de construcción?

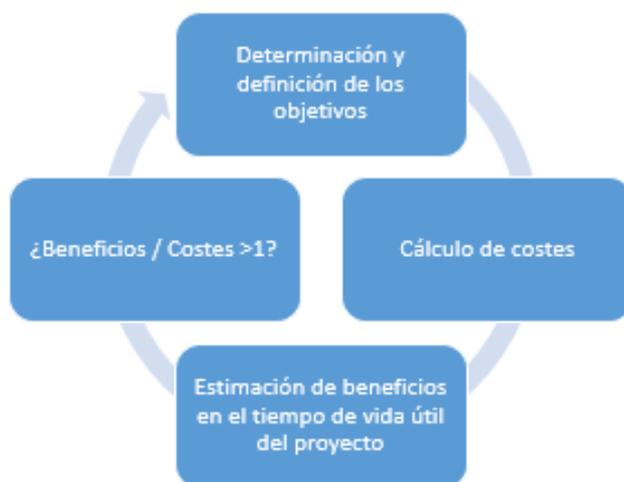


Figura 1: Fases simplificadas ACB

- **La determinación y definición de los objetivos** es siempre el paso inicial en cualquier análisis que se desee realizar. De esta forma, se evita desviarse del camino que lleva a la meta lo cual supondría un gasto innecesario de recursos.
 La definición del proyecto debe incluir una descripción de la población y de la zona afectada por éste, para lo cual hay que tener en cuenta que un proyecto puede afectar a una pequeña zona de población, o bien tener efectos internacionales.
- **Identificación de los impactos del proyecto y diferenciación de los que son importantes de los que no.** Por ejemplo, en el caso de la construcción de un enlace que une un polígono industrial en desarrollo con una autovía, son considerados impactos del proyecto los efectos

que éste tiene sobre la tasa de empleo, el tráfico, la economía de la zona, etc.

- **Clasificación de los impactos** en impactos positivos e impactos negativos.
 - Impactos positivos: también llamados beneficios, son aquellos que contribuyen a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y/o una disminución de los costes de operación. Por ejemplo, la construcción de un hospital contribuye a mejorar la cobertura sanitaria de los habitantes que se encuentran en las localidades cercanas a él y, por tanto, contribuye a mejorar la salud de los ciudadanos.
 - Impactos negativos: son los referidos a los costes, es decir, aquellos impactos que suponen un empeoramiento en la calidad de vida de los ciudadanos y/o un aumento de los costes de operación. Se pone por caso el hospital (público) antes mencionado, el cual no sólo supone un beneficio para la sociedad, sino que su construcción ha supuesto un coste para los contribuyentes dando lugar a un impacto negativo.

En un proyecto de Ingeniería civil son costes aquellos referidos a la inversión inicial, el coste de mantenimiento y el coste que supone para el usuario. Por el contrario, los beneficios son aquellos que suponen un ahorro en el coste de funcionamiento y/o los que favorecen el día a día de sus usuarios y de la población en general. Por ejemplo, la construcción de una carretera conlleva un posible aumento de la seguridad vial, favorece la economía de la zona al mejorar sus comunicaciones, etc.

- **Cuantificación física de los impactos**, determinando la cantidad física de los costes y de los beneficios, y el tiempo durante el cual tendrán lugar (vida útil del proyecto). En esta fase siempre hay cierta incertidumbre, especialmente a la hora de calcular los costes de impacto ambiental.
- **Valoración monetaria** de los costes y de los beneficios del proyecto, fase fundamental para poder comparar los impactos positivos con los negativos. Esta valoración no es una tarea sencilla, ya que incluye la predicción de los precios para calcular el flujo de costes y beneficios en el futuro, la corrección de los precios cuando sea necesario y el cálculo de éstos cuando no haya mercado que nos proporcione dicha información (incertidumbre y subjetividad). Para calcular el valor monetario del tiempo de ocio o de trabajo, el de las vidas humanas o el de los costes medioambientales, pueden utilizarse los siguientes métodos:
 - Métodos de preferencias declaradas: emplean encuestas en las que se preguntan a los ciudadanos sobre situaciones

hipotéticas, con el fin de obtener el valor que éstos dan al bien en cuestión. Dichas encuestas deben estar bien diseñadas para que la información que proporcionen sea lo más realista posible.

- Métodos de preferencias reveladas: obtienen el valor que los ciudadanos dan a los bienes, a través del comportamiento del consumidor, principalmente analizando sus hábitos de compra.

- **Descuento de los flujos de efectivo** de los costes y de los beneficios de acuerdo al año en el que tienen lugar. La tasa de descuento es la diferencia entre el valor de una unidad monetaria en la actualidad y su valor al cabo de un año, expresada en tanto por ciento.

Por ejemplo, en la Ingeniería civil, los gastos de construcción tienen lugar, principalmente, en el presente inmediato, mientras que los beneficios ocurren en el tiempo futuro, Por ello es interesante poder comparar los impactos presentes con los futuros.

Una de las técnicas más utilizadas para descontar el flujo de los costes y beneficios es la del interés compuesto, mediante la cual podemos comparar valores monetarios de impactos que ocurren en tiempos distintos.

VP: Valor presente

VF: Valor futuro

r: Tasa de interés

n: espacio temporal entre impactos

$$VP = \frac{VF}{(1+r)^n}$$

- **Comparación** de los costes y beneficios, tras ser expresados en valores monetarios. Dicha comparación se puede realizar basándose en los cuatro índices de rentabilidad tradicionales:

- VAN (Valor actualizado neto):

¿Beneficios – Costes > 0? → INVERSIÓN RENTABLE

Una inversión es preferible a otra si su VAN es mayor.

- TIR (Tasa interna de rentabilidad-r): tasa de retorno que hace que el VAN sea igual a 0.

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{bt - ct}{(1+r)^t} = 0$$

- Relación beneficio/coste:

¿Beneficios/Costes > 1? → INVERSIÓN RENTABLE

Cuanto mayor sea el valor de esta relación, mejor será la alternativa.

- Periodo de recuperación de capital: tiempo durante el cual los beneficios superan a los costes. En lugares de alta inestabilidad, el objetivo es obtener el beneficio lo antes posible.

$$VAN = \sum_{t=0}^X \frac{bt - ct}{(1+r)^t} = 0$$

- Por último, es recomendable realizar un análisis y una comparación de la situación con proyecto y la situación sin proyecto, tal y como Fontaine expresó hace treinta años:
“Para la identificación de los costes y beneficios del proyecto que son pertinentes para la evaluación, es necesario definir una situación base o situación sin proyecto; la comparación de lo que sucede con proyecto versus lo que hubiera sucedido sin proyecto, definirá los costes y beneficios pertinentes del mismo.” (Fontaine, 1984)

2.1.4 ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene el ACB?

Tabla 1: Ventajas e Inconvenientes del ACB

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Método simple • Facilita la decisión de si ejecutar o no un proyecto • Útil para pequeñas y grandes decisiones • Permite descubrir deficiencias en el Proyecto que pueden resolverse posteriormente 	<ul style="list-style-type: none"> • Componente subjetivo • Obligación de traducir todos los costes y beneficios a unidades monetarias

A pesar del importante componente subjetivo que tiene el Análisis Coste-Beneficio, es un sistema de evaluación importante, si bien no decisivo, que en las últimas décadas ha sido de gran ayuda en la evaluación de proyectos de inversión.

2.2 ANÁLISIS MULTICRITERIO

2.2.1 ¿Qué es el Análisis Multicriterio?

El Análisis Multicriterio (MC) es una herramienta de gestión y evaluación adecuada para realizar un estudio desde el punto de vista económico, social y medioambiental en la que concurren diferentes escalas de medición (monetarias, cualitativas, etc.)

El MC es especialmente interesante ya que permiten incorporar los conflictos existentes entre los objetivos económicos, sociales y medioambientales, y entre distintos niveles de decisión.

EL MC, con un reducido número de alternativas, puede ser explicado de la siguiente forma:

Sea A el conjunto finito de m alternativas A_i ($i=1, 2, \dots, m$), y C el conjunto finito de n criterios C_i ($i=1, 2, \dots, n$), para valorarlos se elabora la matriz de evaluaciones parciales [P], que nos muestra el grado de cumplimiento de cada alternativa con

respecto a los criterios establecidos.

		Alternativas		
		A ₁	A ₂	A ₃
Criterios	C ₁	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃
	C ₂	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃
	C ₃	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃
	C ₄	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃

Figura 2: Matriz de evaluaciones parciales P

Como se puede observar en la matriz (Fig. 2) si A₁ es una alternativa, P₁₁ es su evaluación en el primer criterio C₁.

2.2.2 ¿Cómo identificar a la mejor alternativa?

Es muy complicado que una alternativa sea claramente la mejor, es decir, supere al resto en cada criterio instaurado. En consecuencia, existen múltiples métodos de ejecución del MC, los cuales se agrupan en las siguientes categorías¹:

- **Sin compensación:**
 Jerarquización de criterios y definición de índices binarios para cada criterio. La eliminación y selección de alternativas se realiza a través de su evaluación sistemática en relación con cada criterio; aquellas que siguen estando en la lista se evalúan según el criterio siguiente, y así sucesivamente.
 Un ejemplo son los criterios de eliminación o de selección que de forma escalonada irán condicionando el resultado.
- **Agregación completa:**
 Este tipo de métodos obtienen como resultado un valor que representa la agregación de todos los criterios, lo cual implica que todos ellos sean mensurables y que las preferencias sean matemáticamente razonables. Se aplican en situaciones sencillas y delimitadas.
 El ejemplo más sencillo de agregación completa es la media ponderada. Otros ejemplos son: utilidad aditiva (UTA), Goal Programming (Programación por metas), Analytic Hierarchy Process (Proceso analítico jerárquico), etc.
- **Agregación parcial:**

¹ Categorías establecidas por la Comisión Europea en “Análisis multicriterio. ¿Por qué utilizar esta herramienta en evaluación”

Aplicación de un sistema de preferencia ante situaciones no comparativas. Se compara cada alternativa con todas las demás con el fin de obtener qué alternativa supera a qué otra alternativa.

Esta tipología tiene la ventaja de permitir la comparación entre alternativas complejas, inicialmente incomparables, incluyendo criterios de carácter muy diverso.

Son métodos de agregación parcial: Electre, Promethée, Oreste, etc.

- **Agregación local:**

Se caracterizan por ser de carácter iterativo basándose en las preferencias del decisor. En estos métodos se selecciona una opción, se elabora una propuesta con algunas alternativas y posteriormente se retoma el análisis en bucle. Son útiles en situaciones sencillas y requieren una gran implicación por parte de los decisores.

Dentro de este tipo de metodología se encuentran: programación lineal múltiple, PREFCALC, UTA interactivo, etc.

2.2.3 ¿Cómo realizar un correcto MC?

La realización de un correcto MC puede suponer un tiempo y recursos que no están dentro del presupuesto destinado a la evaluación de un proyecto. Para realizarlo de manera rápida y eficaz se debe tener claro qué fases y pautas hay que seguir para su realización. A continuación, se explicarán de manera breve, las fases de las que consta la realización de un MC.



Figura 3: Fases del MC

- **Determinar el ámbito de aplicación e identificar la lógica de intervención:**

Una vez establecido el ámbito de aplicación es necesario que la lógica de intervención esté clara y a disposición de todos, ya que el MC supone que los actores tengan que valorar diferentes alternativas o acciones.

- **Designar el grupo de juicio:**

Este grupo es el encargado de puntuar y seleccionar las diferentes alternativas. El equipo de evaluación es el encargado de formarlo seleccionando a algunos de los actores afectados por el programa de estudio, o bien a representantes de éstos.

- **Designar al equipo técnico:**

El equipo técnico, encargado de colaborar con el grupo de juicio, está formado por las siguientes figuras:

- Coordinador
- Ayudante técnico: persona con amplios conocimientos sobre el funcionamiento de los programas y metodologías utilizadas en la realización del MC.
- Expertos en la recopilación de datos.

- **Elaborar la lista de alternativas:**

Obtención de una lista de acciones, escenarios o alternativas que se incluirán en el análisis.

- **Elaborar la lista de criterios:**

La lista de criterios debe de tener las siguientes características:

- Los criterios deben de definirse antes de comenzar el análisis, a partir de unas pautas que todos los participantes conozcan y acepten.
- La lista debe reflejar todos los puntos de vista del grupo de juicio.
- Los criterios no deben ser redundantes entre sí.
- La lista debe ser coherente y debe garantizar la obtención de resultados indiscutibles y de calidad.

- **Determinar el peso relativo de cada criterio:**

En esta fase, se ponderan los criterios en función de la importancia que los actores consideren.

También se establecen los umbrales de veto y los umbrales de preferencia e indiferencia: los umbrales de veto se establecen en

aquellos criterios cuya importancia destaca sobre la del resto, y los umbrales de preferencia e indiferencia son recomendables en análisis largos y complejos. Si los umbrales de preferencia e indiferencia no están claros, dos actores con opiniones similares pueden situar una determinada alternativa en niveles diferentes.

Por último, al final de esta fase se realizará un test de sensibilidad mediante el cual se evalúan los criterios con el objetivo de descubrir cual/es son más sensibles a los cambios.

- **Juicio por criterio:**

- Estudio del impacto de las alternativas: se asignan valores a los impactos de cada acción en relación con el criterio. Esta evaluación puede ser cuantitativa o cualitativa. Por ejemplo:

Tabla 2: Ejemplo de juicio por criterio

Criterio	Acción A	Acción B
Puestos de trabajo creados	170	240
Impacto visual	Moderado	Alto
Apoyo de la población	Mayor que en B	Menor que en A

- Puntuación y juicio de las acciones por criterio: puntuar cada alternativa por criterio, permitiendo la comparación de acciones entre sí y de opiniones entre los distintos actores, referidas a una misma acción.

- **Agregación de juicios:**

Es la última fase del MC, caracterizada por su importancia y complejidad. Alcanzado este punto, hay que verificar que los juicios son expresados de manera homogénea y que los resultados a los que conducen las diferentes formas de ejecutar el MC son similares (no es tolerable que una acción ocupe el primer puesto en la matriz y que tras cambiar una escala en un parámetro pase a ocupar el último).

Sea cual sea el método de agregación utilizado, el MC dará como resultado una serie de tablas que permiten sintetizar los resultados obtenidos por alternativa con respecto a cada criterio.

2.2.4 ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene el MC?

Tabla 3: Ventajas e Inconvenientes del MC

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> •Simplifica situaciones complejas •Selección de criterios y puntuación de resultados sencillos y fijados por el equipo que realiza el análisis •Racionaliza el proceso que conduce a las decisiones •Herramienta de negociación muy útil 	<ul style="list-style-type: none"> •Exige que los actores estén mínimamente de acuerdo desde el inicio •A veces requiere un largo periodo de tiempo •Los métodos matemáticos de agregación requieren a personas especializadas •Puede ser considerado como un análisis subjetivo

2.2.5 Análisis Multicriterio vs Análisis Coste – Beneficio

El Análisis Multicriterio tiene una ventaja muy importante con respecto al Análisis Coste – Beneficio.: es capaz de analizar las alternativas desde diferentes puntos de vista con diferentes escalas de preferencia, mientras que el Análisis Coste - Beneficio sólo se basa en el criterio económico. Esta diferencia supone que en el ACB se deba pasar cada coste a unidades monetarias (2.1.3), con las dificultades que ello supone; mientras que en el MC se analizan factores cuantitativos y cualitativos. Esto permite asignar pesos diferentes a los distintos criterios según su importancia, pudiendo plantear un análisis comparativo de los resultados obtenidos cuando haga variar los pesos de los criterios, pudiendo averiguar cuáles resultan más importantes.

Tabla 4: MC vs ACB (Apuntes de Proyectos de 3º Grado)

MULTICRITERIO	COSTE - BENEFICIO
Varios criterios desde distintos puntos de vista de forma desagregada. Analiza el grado de cumplimiento de cada alternativa en función de cada criterio. Da a cada criterio un valor.	Utiliza un único criterio, el económico. Se analiza cada alternativa de forma agregada, indicando un único número (VAN, TIR, etc).
Utiliza varias escalas de valoración, por lo que no es necesario pasar todo a términos monetarios. Utiliza criterios cualitativos y cuantitativos.	Hay que pasar todos los costes y beneficios a términos monetarios. No emplea criterios cualitativos ni alguno de los cuantitativos.
Ponderación de los criterios en función de su importancia.	No hay ponderación.

2.3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

2.3.1 ¿Qué es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)?

“El ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento, y reciclado y disposición del residuo.” (SETAC) Society Of Environmental Toxicology and Chemistry



Figura 4: Fases del Ciclo de Vida

Los orígenes del ACV se encuentran entre finales de los años sesenta y principios de los setenta, años en los que la crisis del petróleo motivó la realización de diversos estudios energéticos en los que se analizaba la eficiencia de diferentes fuentes energéticas.

El primer ACV, se sitúa en el año 1969, con un estudio encargado por la compañía Coca Cola con el que pretendía determinar qué envases suponían un reducido consumo de recursos y una cantidad de emisiones menores.

En los años ochenta el interés sobre el ACV decayó debido a la superación de la crisis del petróleo. Sin embargo, en 1985, la Directiva CEE sobre envases de alimentos líquidos tenía en cuenta el consumo de recursos y la generación de residuos. Por ello, a finales de esa década los ACV emergieron convertidos en una herramienta para evaluar los problemas medioambientales que suponían el consumo excesivo de recursos y la producción desmesurada de residuos.

En los años noventa, se produce un importante desarrollo metodológico del ACV. Esto fue debido a que numerosas instituciones de referencia (US-EPA, la Oficina Federal Suiza para el Medio Ambiente (BUWAL)...) suministraron guías metodológicas y bases de datos actualizadas de sus áreas geográficas. También incentivaron este desarrollo la aparición de normas de carácter nacional e internacional (ISO). Sin embargo, el análisis de Ciclo de Vida está aún en pleno desarrollo² y es largo el camino hasta su completo dominio.

2.3.2 ¿Qué fases comprende el ACV?



Figura 5: Fases del Análisis de Ciclo de Vida

- **Aspectos generales:**
 Informar sobre quién ha encargado el ACV y su autor, la fecha de realización y el método utilizado.
- **Definición de los objetivos:**
 Responde a por qué se ha realizado el análisis: información que se pretende obtener y cómo va a utilizarse tal información, el destinatario del informe, etc.

² ISO 14040 "reconoce que el ACV está todavía en una etapa temprana de su desarrollo."

- **Alcance:**

El ACV de un producto puede llegar a tener una gran extensión. Por ello, es imprescindible fijar límites a su alcance, los cuales dependen de los siguientes factores:

- Sistema: conjunto de procesos unitarios o subsistemas que realizan una determinada función, permitiendo que el producto analizado esté en el mercado. El sistema se divide en dos partes: la primera abarca los procesos de obtención de materias primas y su transporte, y la fabricación del producto; la segunda corresponde a todas las fases del producto ya fabricado.
- Función del sistema: la función o funciones del sistema describen sus características de operación. Si se desea comparar el impacto ambiental que suponen dos sistemas, éstos deben de desarrollar las mismas funciones.
- Unidad funcional: es la unidad a la que van referidas las entradas y salidas del sistema. Puede ser de tipo físico (por ejemplo, en un ACV de una empresa que fabrica pilas desechables, la unidad funcional puede ser “100 pilas desechables”) o de tipo funcional (cuando se desea comparar pilas desechables con pilas recargables, se debe tomar como unidad funcional “2000 horas con carga” ya que puede que se necesiten 20 pilas desechables y cuatro pilas recargables más 2 cargas.). Cuando se pretende comparar sistemas distintos se debe elegir una unidad funcional que refleje la función que nos interesa de los productos comparados.
- Límites del sistema: fase en el que se deciden los procesos y etapas del sistema que entran dentro del ACV. Los criterios de selección de dichos límites han de ser claros y deben de ser compatibles con los objetos de estudio.
- Reglas de asignación de cargas ambientales: hay sistemas que realizan más de una función o que generan más de un producto. El impacto ambiental de estos sistemas debe de distribuirse entre los productos que genera. Por ejemplo, en los sistemas de gestión de recursos, las cargas ambientales deben repartirse entre los residuos tratados, normalmente en función de la casualidad.
- Metodología de la evaluación de impacto y categoría de impacto: existen multitud de métodos y de categorías de impacto, y debe decirse cuáles van a utilizarse y cuáles se van a estudiar. Dado que este trabajo de fin de grado no tiene el objetivo de profundizar en este tema, sólo mencionar que el método y la categoría de impacto dependerán del lugar donde se realiza el ACV, su autor y los recursos disponibles, entre otros factores.

- Requisitos de calidad de los datos: es indispensable contar con una base de datos completa, clara y de calidad, para poder realizar un buen ACV. La recolección de esta base de datos es una de las tareas más complicadas a la hora de realizar este análisis.
- Hipótesis planteadas y limitaciones: se refiere a aquellas hipótesis de trabajo y limitaciones en la realización del ACV que no han sido expuestas en apartados anteriores.
- Tipo de revisión crítica: la revisión crítica tiene como objetivo asegurar la calidad del ACV. En este apartado debe de justificarse la realización o la no realización de la revisión crítica, y el tipo y autor de dicha revisión en caso de que se realizara.
- Formato del informe final: estructura e información que contendrá el informe final, así como el soporte físico sobre el que se redactará.

• **Análisis de inventario:**

Esta fase consiste en realizar un balance de la materia y energía del sistema, además de otros parámetros como: biodiversidad afectada, ruido, radiaciones, utilización del suelo, etc. Esta fase también incluye la recopilación de datos y la realización de los cálculos necesarios para cuantificar las entradas y salidas del sistema estudiado.

Las entradas son las materias primas incluyendo las fuentes de energía y las salidas son las emisiones al aire, al agua y al suelo.

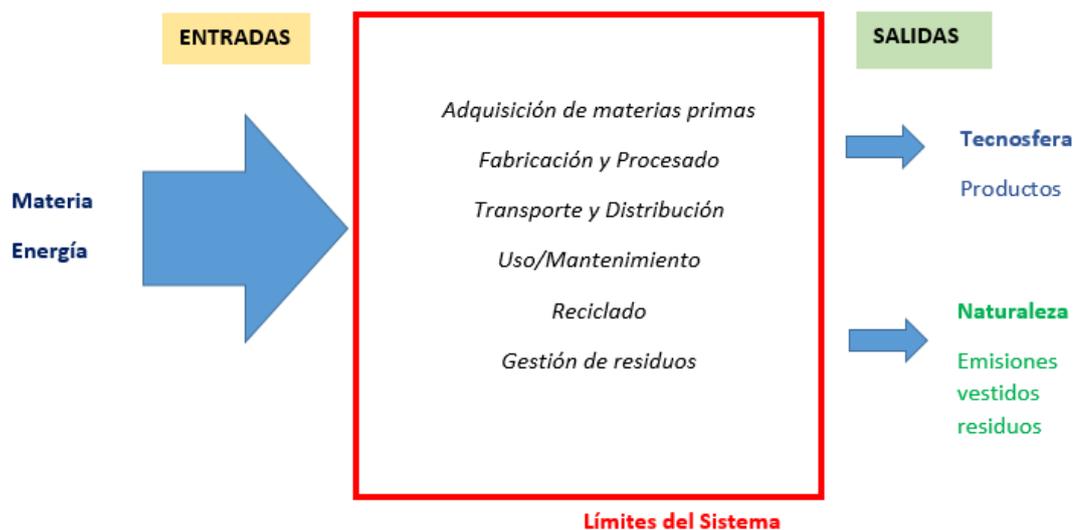


Figura 6: Diagrama de flujo general del inventario abarcando todas las fases del Ciclo de Vida, propuesto por la SETAC (1991)

Estos flujos de materiales y energía deben de proceder e ir a la naturaleza, y en caso de que procedan o vayan a la tecnosfera deberá de indicarse. Por ejemplo, los residuos sólidos urbanos son llevados a un vertedero (tecnosfera), serán los lixiviados y los gases de combustión los que vayan a la naturaleza.

El análisis de inventario es un proceso iterativo, conociéndose mejor el sistema a medida que se va desarrollando el análisis. Los pasos a seguir en su ejecución son los siguientes:

- Construcción del diagrama de flujo
- Establecimiento de la calidad de los datos
- Definición de límites del sistema
- Recopilación de datos
- Redefinición de objetivos y alcance

En el diagrama de flujo el sistema se divide en subsistemas que a su vez se dividen en procesos unitarios (máximo nivel de detalle)

- **Evaluación de impactos del ACV (EICV):**

Esta fase comprende a su vez las siguientes fases:

- Establecimiento de las categorías de impacto y la posterior clasificación, y caracterización de los datos de inventario:

Organización de los datos procedentes del inventario, asignándolos a una determinada categoría de impacto en función del efecto ambiental esperado, y caracterizándolos para cada una de dichas categorías.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, las categorías fundamentales de un ACV son las siguientes:

- Recursos abióticos
- Recursos bióticos
- Uso de la tierra
- Calentamiento global
- Disminución de la capa de ozono
- Impactos ecotoxicológicos
- Impactos toxicológicos
- Oxidantes fotoquímicos
- Acidificación
- Eutrofización

Por otro lado, la SETAC agrupa las categorías de impacto en cuatro grandes grupo:

- Consumo de recursos naturales
- Impactos en el ecosistema
- Daños a la salud
- Bienestar social

Son muchas las categorías que se pueden utilizar, y varían función del objeto de estudio y del autor del ACV. Algunas de esas categorías son:

- Ruidos
 - Vibraciones
 - Olores
 - Salud laboral
 - Volumen de depósito a vertederos
 - Etc.
- Normalización: evaluación de la trascendencia del perfil ambiental generado para una determinada zona geográfica y un momento en el tiempo de referencia.
 - Agrupación: clasificación y posible catalogación de los indicadores.
 - Ponderación: consiste en asignar a cada categoría de impacto un factor que otorga una importancia variable, en función de los efectos de dicha categoría³. De esta forma, es posible sumar las categorías ponderadas y así obtener un único índice ambiental global del sistema. Este es un proceso que, dada su subjetividad, no siempre se realiza y que puede dar lugar a críticas y conflictos con el autor del ACV.

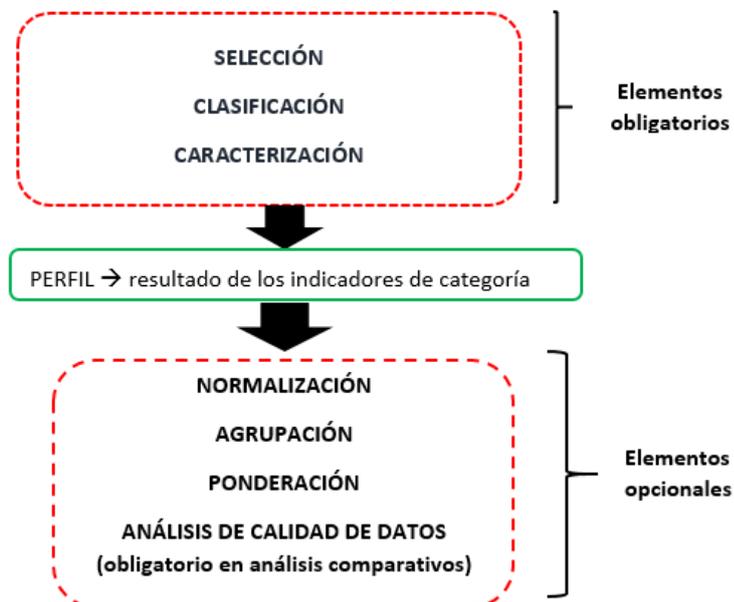


Figura 7: Elementos obligatorios y opcionales en la Evaluación de Impactos del ACV, según la ISO 14042

- **Interpretación de los resultados:**

Consiste en utilizar la información obtenida en las fases anteriores, con el fin de llegar a conclusiones y/o recomendaciones (cambios en el

³ Al igual que en análisis multicriterio.

producto, gestión de residuos, sustitución de materias primas, etc.) de acuerdo con los objetivos y el alcance del estudio.

- **Revisión crítica:**

La revisión crítica constituye la fase final de un ACV y sirve para verificar que éste se ajusta a la metodología, obtención de datos e informe estándares. Su fin es comprobar que el informe es transparente y claro, que la obtención de datos es la correcta para los objetivos planteados y, por último, que las interpretaciones reflejan las limitaciones del estudio.

- **Metodologías para la EICV:**

Existen diversas metodologías para realizar la evaluación de impactos, cada una de las cuales establece sus propias categorías ambientales. *Estas metodologías pueden ser agrupadas en “mindpoints” o “endpoints” en función de donde definen el impacto en la relación causa-efecto ambiental. Las metodologías “mindpoint” definen el efecto ambiental (acidificación, destrucción de la capa de ozono, etc) pero sin llegar a identificar el daño causado al hombre y a los sistemas naturales, como si hacen las metodologías “endpoint”. La elección de uno u otro tipo de metodología ha sido uno de los principales focos de discusión entre la comunidad científica que trabaja con ACV. (Alejandro Gallego Schmid, 2008)*

2.3.3 El Análisis de Ciclo de Vida en la construcción

La Construcción requiere de una gran cantidad de recursos energéticos y materiales y genera una cantidad importante de residuos que, aunque no suelen ser tóxicos, suponen un impacto en el medio ambiente. Dado que en este sector, es obligatorio tener en el proyecto una cuantificación de los materiales, energía y transporte que se van a utilizar para ejecutar la obra, es sencillo realizar un ACV. En consecuencia, cada vez es más habitual la utilización de este análisis en la realización de la evaluación ambiental de edificios e infraestructuras, con el fin de mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto sobre el medio ambiente.

“Como resumen es importante destacar que la sostenibilidad en temas medioambientales debe basarse en el ACV porque de no considerar todas las fases por las que pasa un edificio perderemos el objetivo global. Centrarse en la construcción para evaluar los impactos ambientales es un error cuya solución pasa por un estudio sistemático, claro y global en el tiempo.” ANDECE (Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón)

2.3.4 Norma ISO 14040 y ACV

La ISO 14040 tiene como objeto al ACV, estableciendo unas pautas que todo estudio ACV debe seguir. Según la ISO 14040 (1997) un ACV es:

“El ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.”

Las normativas ISO relacionadas con el ACV son las siguientes:

- ISO 14040:2006 *Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y marco de referencia.*
- ISO 14041: *Definición de objeto y ámbito y análisis de inventario.*
- ISO 14042: *Evaluación de Impacto de Ciclo de vida.*
- ISO 14043: *Interpretación del Ciclo de vida.*
- ISO 14044:2006 *Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Requisitos y directrices.*
- ISO 14045: 2012 *Gestión ambiental – Evaluación de la ecoeficiencia del sistema de producto – Requisitos y directrices.*
- ISO 14046: 2014 *Huella hídrica – Principios, requerimientos y directrices.*

“...para una correcta evaluación de la huella de agua de productos, procesos y organizaciones, a partir del análisis de su ciclo de vida.

El principal objetivo de esta norma es evaluar los impactos ambientales de las actividades de las organizaciones sobre el agua, favoreciendo la mejora en la gestión de este recurso escaso. Está previsto que la norma ISO 14046, que es de carácter certificable por tercera parte independiente, se publique en julio o agosto, según informa AENOR (...) la huella de agua ayudará a evaluar la magnitud de los posibles impactos ambientales relacionados con el agua a través de distintos indicadores. Además, permitirá identificar las oportunidades de reducir los posibles impactos relacionados con el agua asociados a productos en distintas etapas del ciclo de vida, así como a procesos y organizaciones. Actualmente, se está trabajando en la norma ISO/TR 14073 que contendrá ejemplos ilustrativos de la aplicación de la norma ISO 14046.” (2 Junio del 2014, Europa Press)

- ISO/TR 14047 *Gestión ambiental - Evaluación del impacto del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de ISO 14042.*
- ISO/TR 14048: *Formato de documentación de datos de análisis.*
- ISO/TR 14049: *Ejemplos de aplicación de ISO 14041.*

3 LA HUELLA DE CARBONO

A mediados del siglo XVIII tiene lugar en Inglaterra la Revolución Industrial, la cual supone un antes y un después en la historia de la humanidad. A partir de entonces se sustituye la habilidad y energía del propio ser humano por máquinas, instrumentos hábiles cuya fuente de energía es la naturaleza.

La Revolución Industrial dio comienzo a un periodo marcado por los numerosos descubrimientos los cuales favorecen un rápido desarrollo tecnológico. Dicho desarrollo permitió la fabricación masiva de productos industriales, el gran avance en los medios de transporte (descubrimiento de la máquina de vapor, del motor de explosión, etc.) y, en resumen, nuestro día a día es más cómodo gracias a los avances que comenzaron con la Revolución Industrial y que aún siguen sorprendiéndonos.

Sin embargo, este desarrollo vertiginoso conllevó un uso incontrolado de recursos naturales no renovables tales como los combustibles fósiles en toda su variedad. El uso desmesurado de estos combustibles está dando como resultado el progresivo agotamiento de estas fuentes de energía y la creciente emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

A día de hoy, el volumen de GEI emitido a la atmósfera es tal que la naturaleza ya no puede gestionarlo por sí misma, ocasionando graves problemas ambientales como lluvia ácida, sequías, desertización, extinción de especies, escasez de agua dulce, contaminación de acuíferos, etc.

Es por esta razón por la cual tanto los ciudadanos como las administraciones y empresas han adquirido una cierta concienciación en los últimos tiempos lo cual ha favorecido el desarrollo de energías renovables y la toma de medidas para reducir las emisiones de GEI. Una de las medidas más innovadoras y que puede tener una gran repercusión en el futuro es el Estudio de la Huella de Carbono.

3.1 ANTECEDENTES: GEI

Los gases de efecto invernadero (GEI) se encuentran de forma natural en la atmósfera produciendo un fenómeno por el cual parte de la energía solar reflejada en la Tierra es retenida por los gases de la atmósfera, evitando así que la energía recibida vuelva al espacio de inmediato. Gracias a este fenómeno, la Tierra mantiene una temperatura que permite el desarrollo de la vida.

Sin embargo, en los últimos tiempos la concentración de GEI ha aumentado considerablemente dando lugar a importantes cambios en el clima. *“Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.”* (Convención marco de las Naciones Unidas, año 1992).

Las actividades antrópicas generan principalmente cuatro GEI que permanecen un largo periodo de tiempo en la atmósfera, éstos son los siguientes:

- **Dióxido de carbono CO_2 :** el dióxido de carbono es el GEI más abundante y el que más afecta al cambio climático. Entra a la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles, residuos sólidos, maderas; y por determinadas reacciones químicas (como la producida en la fabricación de cementos). Parte de este dióxido de carbono es absorbido por las plantas, como parte del ciclo biológico de carbono. Sin embargo, cuando la concentración de dióxido de carbono está en sus valores más altos⁴, la humanidad lleva a cabo una actividad de deforestación incontrolada.
- **Metano CH_4 :** el metano tiene su origen en la producción y transporte de combustibles fósiles, en actividades ganaderas y agrícolas y en la descomposición de residuos orgánicos en los vertederos de residuos sólidos urbanos.
- **Óxido nitroso N_2O :** el óxido nitroso se emite durante las actividades agrícolas e industriales, así como durante la combustión de combustibles fósiles y residuos sólidos.
- **Gases fluorados:** hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, son poderosos gases sintéticos de efecto invernadero que se emiten a partir de una variedad de procesos industriales. Comenzaron a utilizarse como sustitutos de las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (SAO), sin embargo, aunque no atacan la capa de ozono tienen un elevado potencial para calentar la atmósfera (GWP).

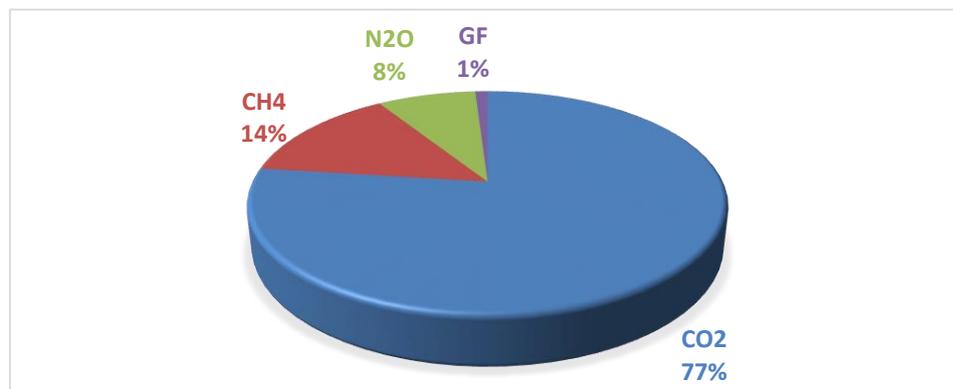


Figura 8: Emisiones de GEI. : IPCC (2007): sobre la base de las emisiones mundiales de 2004

⁴ El pasado mes de abril (2014) se superó el umbral de las 400 partes por millón (ppm) de CO_2 atmosférico en el hemisferio norte según la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

3.1.1 Fuentes globales de emisión de GEI

Las emisiones de GEI pueden clasificarse en función de las actividades económicas que las producen⁵:

- **Suministro de energía** → 26% de emisiones de GEI en 2004. Emisiones procedentes de la quema de cartón, gas natural y petróleo para la electricidad y el calor. Supone la mayor fuente de emisiones de GEI.
- **Industria** → 19% de emisiones de GEI en 2004. Emisiones procedentes principalmente de la combustión de combustibles fósiles en las instalaciones industriales para obtener energía. En este grupo se incluyen las emisiones de procesos químicos, metalúrgicos, y de la transformación de minerales no asociados con el consumo de energía.
- **Uso de la tierra, cambio de uso y silvicultura** → 17% de emisiones de GEI en 2004. Consisten principalmente en emisiones de CO₂ originadas por la deforestación, el desmonte de tierras para agricultura, la combustión de la turba y la descomposición de los suelos de turba drenados.
- **Agricultura** → 14% de emisiones de GEI en 2004. Emisiones procedentes de la agricultura: gestión de los suelos agrícolas, ganadería, producción de arroz y combustión de biomasa.
- **Transporte** → 13% de las emisiones de GEI en 2004. Emisiones procedentes, principalmente de la combustión de combustibles fósiles en el transporte ferroviario, aéreo, marítimo y por carretera. Casi todos provienen de la quema de combustibles derivados del petróleo, principalmente gasolina y diésel.
- **Edificios comerciales y residenciales** → 8% de las emisiones de GEI en 2004. Emisiones procedentes de la generación de energía en dichos lugares y de la quema de combustibles para calefacción en edificios o cocina en los hogares. Las emisiones del uso de electricidad se tratan el grupo de suministro de energía.
- **Residuos y aguas residuales** → 3% de las emisiones de GEI en 2004. Estas emisiones son principalmente metano procedente de vertederos y de aguas residuales. También entran dentro de este grupo las

⁵ Clasificación establecida por IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) en “*IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*”

emisiones producidas en la incineración (CO₂), con combustibles fósiles, de algunos residuos.

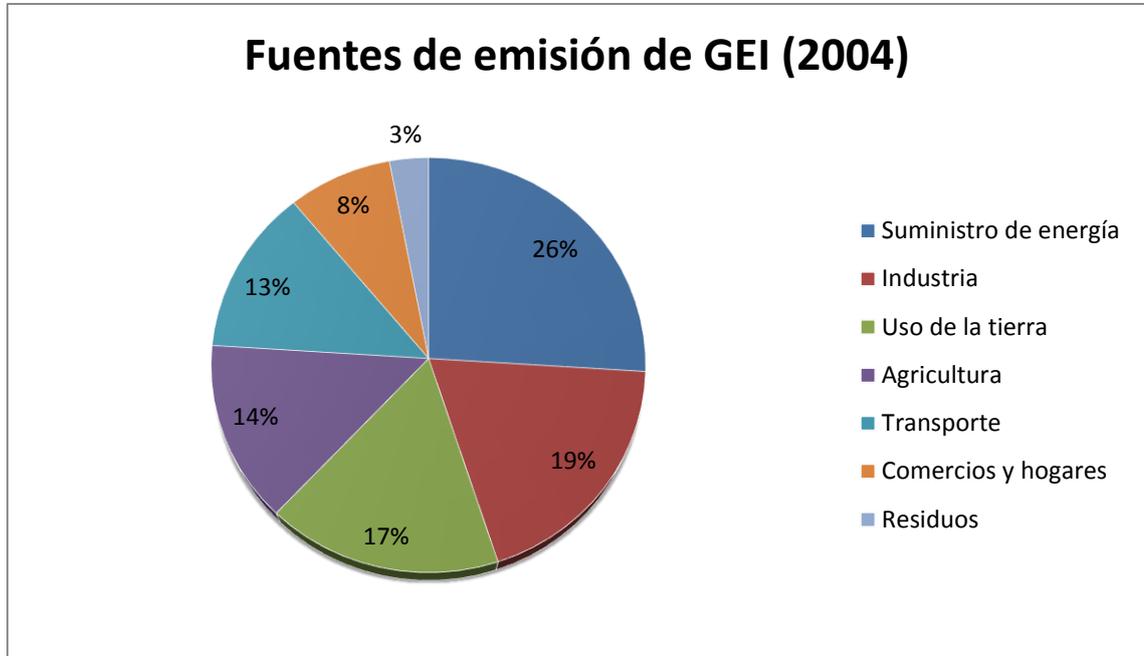


Figura 9: Fuentes de emisión de GEI (2004): IPCC (2007): sobre la base de las emisiones mundiales de 2004

Por otra parte, *la Norma UNE-EN-ISO 14064: 2012* establece la siguiente clasificación de las emisiones de GEI, a nivel de organización:

- **Emisiones directas:** son aquellas emisiones que provienen de fuentes que son propiedad o están controladas por la organización.
- **Emisiones indirectas:** son aquellas procedentes de la creación de electricidad, calor o vapor de origen externo consumido por la organización.
- **Otras emisiones indirectas:** resto de emisiones procedentes como consecuencia de las actividades de la organización pero que ocurren en fuentes que no son de su propiedad ni están controladas por ella.

3.1.2 Emisiones de GEI en España

La crisis económica ha contribuido a que se produzca un ligero descenso en las emisiones de GEI: la crisis en la construcción, el descenso de la demanda de electricidad y gas, el aumento del paro y el descenso en la venta de automóviles; pueden ser algunos de los factores que han favorecido este descenso. Sin embargo, a pesar de estar inmersos en un periodo difícil para la mayor parte de los sectores que

constituyen una fuente importante de GEI, España sigue sin cumplir las condiciones impuestas en el Protocolo de Kioto: entre los años 2008-2012 España emitió una media de 24,5% de incremento frente al año 1990, superando en 15% asignado por el Protocolo de Kioto.

3.1.2.1 Emisiones de GEI en España en el año 2012. ⁶

Las emisiones de dióxido de carbono supusieron la mayor parte de las emisiones de GEI, representado el 81,1% de las emisiones brutas. La mayoría de estas emisiones (93%) fueron causadas por el consumo de combustibles fósiles en centrales térmicas, transporte, industria y comercios. El resto tuvo su origen principalmente en la fabricación de cemento.

Las emisiones de metano representaron el 9,6% de las emisiones brutas. El 31% de estas emisiones son originadas por la fermentación entérica, el 19,9% por la gestión del estiércol, el 36% proviene de los vertederos y el resto de la minería del carbón, aguas residuales y de emisiones fugitivas de petróleo y gas natural. Los cultivos de arroz no emiten grandes cantidades de metano.

Las emisiones de óxido nitroso constituyeron el 6,7% de las emisiones brutas de ese año. La mayoría de estas emisiones (36%) proviene del uso de los fertilizantes en las actividades agrícolas; el resto de emisiones se producen en el sector energético, la gestión del estiércol, las aguas residuales y la industria química.

El 2,6% restante de las emisiones brutas de GEI, corresponde a los gases fluorados. Estas emisiones se producen en la utilización de equipos de refrigeración y aire acondicionado, extintores de incendio y aerosoles, y en la fabricación de aluminio, entre otras.



Figura 10: Emisiones de GEI por gas en España el año 2012. Fuente WWF.

⁶ “Informe de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España 1990-2012” WWF España (2013).

3.1.3 Soluciones

Las emisiones de GEI están aumentando de una forma incontrolable, convirtiéndose en el principal problema medioambiental. Es por ello, que en las últimas décadas se han tomado una serie de medidas a nivel internacional, con el fin de reducir dichas emisiones. Algunas de estas medidas son el Protocolo de Kioto, acuerdo con el que se pretende reducir las emisiones de CO₂, aumentar el protagonismo de las energías renovables a costa del de los combustibles fósiles, seguir una política de desarrollo sostenible y educar a las generaciones futuras en el respeto al medio ambiente, empezando a dar ejemplo con nuestras acciones.

Una de las medidas para acatar este problema ambiental fue la implantación del comercio de derechos de emisión, el cual es un instrumento de mercado en el que aquellas organizaciones con un plan de reducción de emisiones contaminantes salen beneficiadas: un organismo asigna a las distintas organizaciones un límite de emisiones contaminantes que pueden emitir de forma que cada organización puede comprar o vender sus derechos de emisión en función de si contamina por encima o por debajo de dicho límite. Actualmente existen mercados de emisiones que operan en diferentes países y que afectan a distintos gases.

En la conferencia de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que se celebró en el año 2011 se acordó trabajar para poder establecer un marco legal ambiental aplicable a todos los países, se adoptó el Fondo Verde para el Clima y se acordó la continuidad del Protocolo de Kioto a través de un segundo compromiso.

El actual Secretario General de las Naciones Unidas BAN KI-moon llama a los gobernantes, empresas, instituciones financieras y a la sociedad civil a participar de forma activa en la Cumbre del Clima del próximo mes de septiembre, con los objetivos de agilizar la adopción de medidas que contribuyan a solucionar el problema climático actual, y de activar la voluntad política para llegar a un acuerdo jurídico importante en el año 2015.

A nivel nacional, España ha asumido acuerdos internacionales para reducir las emisiones de GEI, por lo que desde la Administración pública se están llevando a cabo medidas para lograr cumplir estos compromisos medioambientales. Una de estas medidas es la introducción de la Huella de Carbono en distintos aspectos de la actividad pública.

3.2 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS

La norma ISO 14067 define la Huella de Carbono como un parámetro para describir la cantidad de emisiones GEI asociada a una empresa, evento, actividad o

ciclo de vida de un producto/servicio en orden a determinar su contribución al cambio climático. La unidad de medición es el equivalente a dióxido de carbono (CO₂ eq.)⁷.

El principal objetivo de la Huella de Carbono es contribuir en la lucha contra el cambio climático reduciendo las emisiones de GEI. Sin embargo, también es una herramienta útil para las organizaciones ya que además de ayudarlas a identificar oportunidades de ahorro en costes, muestra a terceros los compromisos que dicha organización tiene en la lucha contra el cambio climático, lo cual favorece su imagen pública.

3.3 ÁMBITOS DE APLICACIÓN

Los ámbitos de aplicación del Estudio de la Huella de Carbono son principalmente cuatro:

- Huella de Carbono de una organización: refleja la calidad de GEI emitidos por una organización con sus actividades o emplazamiento.
- Huella de Carbono de un producto: refleja la cantidad de GEI emitidos durante el ciclo de vida del producto.
- Huella de Carbono de eventos: refleja la cantidad de GEI emitidos durante la organización y celebración de un determinado evento.
- Huella de Carbono de personas: refleja la cantidad de GEI emitidos por la actividad cotidiana de una persona.

Existen diversas metodologías y normas referidas al cálculo de la HC referida a una organización y a un producto, las cuales se tratarán continuación.

3.4 HUELLA DE CARBONO DE UNA ORGANIZACIÓN

El estudio de la Huella de Carbono de una organización es un proceso que depende de las actividades que desempeñe dicha organización, y de la cantidad de GEI emitan durante su ejecución. Las normas que sirven de apoyo para el cálculo de la HC de una organización son las siguientes:

- **GHG Protocol:**
El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero es la herramienta de cálculo y comunicación del Inventario de emisiones más utilizada. Fue elaborada por el *World Resources Institute* y el *World Business Council for Sustainable Development*, junto con empresas, gobiernos y

⁷ Es una forma de indicar el potencial de calentamiento atmosférico de un gas de efecto invernadero en comparación con el del dióxido de carbono o CO₂. Cada GEI tiene un potencial diferente de calentamiento y además una persistencia diferente en la atmósfera. Por ejemplo, una unidad de gas que tiene una “equivalencia” de CO₂ de 21, quiere decir que tiene un efecto de calentamiento similar a la emisión de 21 unidades de dióxido de carbono (durante 100 años). Fuente: Iberdrola.

organizaciones ambientalistas de todo el mundo, con el fin de elaborar una nueva generación de programas efectivos y creíbles para abordar el cambio climático.

Su metodología es eficaz en la obtención de las emisiones, pero es extensa y complicada. Utiliza una visión intersectorial y contabiliza a las emisiones de cualquier sector. También permite el tratamiento de las emisiones indirectas producidas en fuentes que no son propiedad de la empresa, como las actividades de extracción y producción de las materias primas y su transporte.

- **PAS 2060:**

La norma PAS 2060:2010. Especificación para la neutralidad de carbono, fue elaborada por la *British Standards Institution (BSI)*, con el fin de que las organizaciones sean capaces de asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones de dióxido de carbono son correctas, aumentando así la confianza de los clientes.

Esta norma se aplica a todas las entidades que son capaces de demostrar que no producen un aumento neto en la emisión de GEI durante el desarrollo de determinadas actividades.

Este estándar no tiene un carácter instantáneo ya que no sólo busca la compensación de las emisiones, sino también su reducción.

- **ISO 14064:**

El conjunto de normas internacionales *ISO 14064:2012*, tiene como objetivo ofrecer veracidad y credibilidad a los reportes de emisión de GEI. La *ISO 14064* abarca las siguientes normas:

- ISO 14064-1: “*Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero.*” En esta norma se detallan los principios y requisitos para el diseño, desarrollo, gestión e informe de los inventarios de GEI a nivel de organización. También contiene las pautas que permitirán a las entidades determinar los límites de emisión, cuantificar las emisiones y reducciones e identificar las acciones que suponen una mejora en la gestión de los GEI. Igualmente incluye requisitos y recomendaciones para la gestión de la calidad del inventario, el informe, auditoría interna y las responsabilidades de la organización en las actividades de verificación.
- ISO 14064-2: “*Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones, a nivel de proyecto, para la cuantificación, la monitorización y la declaración de las reducciones y de las mejoras en la eliminación de gases de efecto invernadero.*”

Norma centrada en aquellos proyectos diseñados con el fin de reducir las emisiones de GEI o aumentar sus sustracciones. Detalla los principios y requisitos en lo que se tienen que basar estos proyectos, así como las pautas para monitorear, cuantificar y reportar el desempeño del proyecto.

- ISO 14064-3: *“Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones para la validación y la verificación de declaraciones de gases de efecto invernadero.”* Recoge los principios y requisitos para llevar a cabo la verificación de los inventarios y los proyectos de GEI.

- **ISO/TR 14069:2013:**

La norma ISO 14069:2013 *“Gases de Efecto Invernadero. Cuantificación y el informe de las emisiones de gases de efecto invernadero para las organizaciones. Guía para la aplicación de la norma ISO 14064-1.”*

Esta norma describe los principios, conceptos y métodos relacionados con la cuantificación y el informe de las emisiones de GEI directas e indirectas. Proporciona una guía para la aplicación de la norma *ISO 14064-1* para los inventarios de GEI, la cuantificación y para el informe de las emisiones. Además incluye las pautas para el establecimiento de los límites de la organización y de los límites operativos, así como información de apoyo para la elaboración de los informes ofreciendo orientación para promover la transparencia en relación con los límites, las metodologías empleadas para la cuantificación de las emisiones y absorciones de GEI, y la incertidumbre de los resultados.

3.5 HUELLA DE CARBONO DE UN PRODUCTO

. Las normas que sirven de apoyo para el cálculo de la HC de un producto o servicio son las siguientes:

- **PAS 2050:**

La PAS 2015:2011 fue elaborada por la organización *“Carbon Trust”* junto con la *British Standards Institution (BSI)*. Supuso la primera norma que estableció una metodología de Huella de Carbono con la que poder estudiar las emisiones de GEI asociadas a un producto. Incluye información útil para la evaluación de los ACV, además de manifestar que el periodo a considerar para el ACV debe ser de 100 años. Igualmente requiere que se consideren como mínimo toda una serie de fuentes de emisión tales como: el uso de energías, los procesos de combustión, la reacción química y las pérdidas de gases refrigerantes y otros gases volátiles

- **ISO 14067:**

La norma ISO 14067:2013 “*Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación y la comunicación.*”, establece los principios, requisitos y directrices para la cuantificación y comunicación de la huella de carbono de un producto de acuerdo con las normas internacionales de evaluación del ciclo de vida (ISO 14040 e ISO 14044) para la cuantificación y con el etiquetado ambiental (ISO 14020, IO 14024 e ISO 14025) para la comunicación.

También incluye requisitos para la determinación de los límites para el estudio de las emisiones de GEI, el transporte y el almacenamiento en el ciclo de vida de un producto; así como requisitos y directrices para la cuantificación y comunicación de la huella de carbono de un producto parcial.

3.6 FASES DE CÁLCULO

Una vez explicado lo que es la Huella de Carbono, el porqué de su existencia y los ámbitos en los que se aplica, se describen a continuación, desde un punto de vista general, los pasos que se deben seguir para el correcto cálculo de este parámetro.

Antes de comenzar con el cálculo de la HC, se deben tener claros los principios en los que debe basarse, los cuales están definidos en la norma ISO 14064-1 “*Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero.*” La adopción de estos principios es de vital importancia ya que garantizará que la información relacionada con los GEI es real e imparcial. Estos principios son los siguientes:

- **Pertinencia:** seleccionar las fuentes, sumideros⁸, reservorios⁹ de GEI, datos y metodologías apropiados para las necesidades del usuario previsto.
- **Cobertura total:** incluir todas las emisiones y remociones pertinentes de GEI.
- **Coherencia:** permitir comparaciones significativas en la información relacionada con los GEI.
- **Exactitud:** reducir el riesgo y la incertidumbre en la medida de lo posible.

⁸ “Unidad o proceso físico que remueve un GEI en la atmósfera.” (ISO 14064-1)

⁹ “Unidad física o componente de la biosfera, la geosfera o la hidrosfera, con la capacidad para almacenar o acumular un GEI removido de la atmósfera por un sumidero de GEI o GEI capturado de una fuente de GEI.” (ISO 14064-1)

- **Transparencia:** divulgar información suficiente y apropiada relacionada con los GEI, para permitir que los usuarios previstos tomen decisiones con confianza razonable.

Ahora que ya han quedado claros los principios que constituyen las bases del cálculo de la HC, se procederá a explicar sus fases:

- **Primera fase: Definición de los objetivos y determinación del alcance**

Fase inicial en la que se definen las metas que se desean alcanzar así como el alcance del estudio.

A la hora de recopilar datos, existen tres alcances de los cuales los dos primeros tienen que estar siempre presentes en el estudio de la HC, siendo el tercero de carácter voluntario.

- Alcance 1 → Emisiones directas (explicadas en el ap. 3.1.1.)
- Alcance 2 → Emisiones indirectas.
- Alcance 3 → Emisiones indirectas no contempladas en el Alcance 2. Alcanzar este nivel de recopilación suele ser complicado, debido a que las organizaciones deben contabilizar las emisiones que ocurren en fuentes que no son de su propiedad o que están fuera de su control, por ello deben acudir a sus proveedores los cuales deben informarles sobre el factor de emisión¹⁰ de sus productos.

- **Segunda fase:**

En esta fase se distingue entre el cálculo de la HC de una organización y el de un producto.

Cálculo de la HC de una organización:

Una vez definido el alcance, se deben **definir los límites de la organización y de las actividades que desarrolla**, es decir, decidir qué áreas de la empresa se incluirán en el cálculo.

Esta es una fase sencilla en el caso de las pequeñas empresas, sin embargo, es una tarea complicada en organizaciones de tamaño importante debido a la cantidad de instalaciones de las que disponen, por ello deberá informar con claridad qué se incluye en la medición y qué es excluido.

Debido a que una organización puede poseer varias instalaciones, cada una con una o varias fuentes o sumideros de emisión de GEI, la ISO 14064-1, establece que la organización debe consolidar sus emisiones de GEI a partir de uno de los siguientes enfoques:

¹⁰ “Factor que relacione los datos de la actividad con las emisiones o remociones de GEI.” (ISO 14064-1)

- **Enfoque de control:** la organización considera todas las emisiones y/o remociones de GEI cuantificadas en las instalaciones, sobre las cuales tiene control operacional o control financiero.

Bajo este enfoque, una organización cuantifica el 100% de las emisiones o remociones de GEI provenientes de las operaciones sobre las que tiene control, no dando cuenta de aquellas provenientes de operaciones en las que tiene interés pero no tiene control. El control se puede definir en términos financieros u operativos, pudiéndose escoger entre criterios de control financiero o de control operativo:

Control financiero: una organización tiene control financiero si tiene la capacidad de dirigir políticas financieras y operativas de la operación, con el fin de obtener beneficios económicos de sus actividades.

Control operativo: una organización tiene control operativo si ella o una de sus subsidiarias tiene plena autoridad para introducir e implementar políticas operativas a nivel de operación.

- **Enfoque de cuota de participación correspondiente:** la organización responde de su parte de las emisiones y/o remociones de GEI de las respectivas instalaciones.

La cuota de participación es el porcentaje de interés económico o beneficio derivado de una instalación.

Este enfoque aumenta el uso de información sobre GEI para los diferentes usuarios y metas, para reflejar, tanto como sea posible, el enfoque adoptado por la rendición de cuentas financieras y las normas para el informe.

Requiere el establecimiento del porcentaje de propiedad de cada instalación y la rendición de cuentas sobre las emisiones o remociones de GEI procedentes de las respectivas instalaciones, utilizando acuerdos de producción compartidos.

Esta forma de consolidación es realmente interesante para las organizaciones multinacionales con operaciones en diferentes jurisdicciones con el objetivo de determinar su “huella” de GEI.

La organización debe de explicar el método de consolidación que aplica, así como los cambios que haya hecho en el método seleccionado.

“Si la organización que calcula es propietaria absoluta de todas sus operaciones, el límite de la organización será el mismo, independientemente del enfoque que se utilice. Para organizaciones que tengan operaciones conjuntas con otras organizaciones, el límite y

las emisiones resultantes pueden diferir dependiendo del enfoque utilizado. Tanto en operaciones que son propiedad absoluta de la organización como en operaciones conjuntas, la elección del enfoque puede significar cambios en la categorización de las emisiones al momento de fijar los límites operativos.” (GHG Protocol)

Cálculo de la HC de un producto:

A la hora de calcular la huella de carbono de un producto, después de definir el alcance del estudio se debe **definir el mapa del proceso**, es decir, se deben representar gráficamente las actividades del ciclo de vida del producto que generen emisiones (desde la producción de las materias primas, hasta el consumo final y su posterior retirada o reciclado, incluyendo los transportes realizados dentro de la cadena de producción, los inputs/outputs de materias primas y todos los puntos en los que se generan residuos), y la relación existentes entre ellas.

Una vez elaborado el mapa del proceso se decide **qué tipo de huella de carbono se desea calcular:**

- **Business to consumer (B2C)→Usuario final: consumidor**
Huella de carbono “cradle to grave”¹¹, donde se incluyen las emisiones originadas durante la producción de materias primas, su transporte hasta las instalaciones de producción, el proceso de fabricación, la distribución, el retail, el consumo del cliente final y la eliminación o reciclaje de los desechos.

- **Business to business (B2B)→Usuario final: empresa que utiliza el producto como materia prima**
Huella de carbono “cradle to gate”, donde se incluyen las emisiones originadas durante la producción de materias primas, su transporte hasta las instalaciones en cuestión, la producción y el transporte hasta el cliente.

- **Tercera fase: Contabilización de las emisiones**
 - **Recopilación de datos** de aquellas actividades que emiten GEI, dentro de los límites de cálculo definidos anteriormente. Siempre que sea posible se utilizarán los datos que controle la organización directamente ya que de esta manera se obtendrán datos más exactos. Si no se dispone de dicha información, se obtendrá de fuentes externas tales como bases de datos, publicaciones científicas, anteriores estudios, etc.
 - **Búsqueda de factores de emisión** los cuales relacionan los datos de la actividad (unidad de masa, km, unidad de volumen) con las emisiones de dióxido de carbono producidas durante la

¹¹También conocida como HC “Desde el nacimiento hasta la tumba”.

realización de dicha actividad. Con el paso del tiempo, cada vez son más numerosas las bases de datos de factores de emisión y las administraciones, a nivel nacional e internacional, están esforzándose para que esta información esté al alcance de todos.

- **Cálculo**, existen diversos programas destinados que calculan la HC, a partir de los datos de la actividad, los factores de emisión y las fases de dicha actividad. Estos programas son normalmente de pago, y además requieren un laborioso trabajo para introducir los datos en las unidades que requieren. Si se decide realizar el cálculo sin acudir a este tipo de programas, se puede realizar de forma sencilla teniendo claros los límites de cálculo y las unidades de las actividades y factores de emisión de los que se dispone:

$$HC = \text{Datos de Actividad (unidad de masa, unidad de volumen, etc)} \times \text{Factor de emisión (CO}^2\text{equivalente por actividad)}$$

- **Cuarta fase: Análisis de los resultados**
 El cálculo de la HC no debe quedarse en un simple número, sino que debe ser utilizado como una herramienta para conocer cuáles son los principales focos de emisión con el fin de aplicar medidas reductoras o compensatorias
- **Quinta fase: Verificación y validación**
 Una entidad externa es la encargada de comprobar la veracidad y coherencia de los datos recopilados y de los resultados obtenidos, analizando que el proceso de cálculo se ha realizado correctamente.
- **Sexta fase: Comunicación de la HC**
 Tras la verificación y validación del cálculo de la HC, la organización es responsable de decidir publicar o no el resultado. El fin de hacer público el cálculo de la huella de carbono, nació como una estrategia de diferenciación en el mercado, demostrando así el compromiso de la organización con el medio ambiente.

3.7 COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

La compensación de la huella de carbono puede llevarse a cabo por dos vías:

- Mecanismos de Flexibilidad, establecidos en el Protocolo de Kioto.
- Mercado de Compensación Voluntario, desarrollado por particulares y por organizaciones públicas y privadas que

desean participar activamente en la lucha contra el cambio climático.

3.7.1 Mecanismos de Flexibilidad

El Protocolo de Kioto establece tres Mecanismos de Flexibilidad para facilitar a los países desarrollados y con economías en transición (Países Anexo B¹²) de mercado la consecución de sus objetivos de reducción y limitación de emisiones de GEI. Los tres mecanismos son:

- Comercio de Emisiones
- Mecanismo de Desarrollo Limpio
- Mecanismo de Aplicación Conjunta

Los Mecanismos de Flexibilidad tienen su origen en el carácter global que supone el reto del cambio climático, teniendo mayor importancia el efecto de las reducciones de emisiones que el lugar en el que estas se producen. Así, los países con objetivos de reducción y limitación de emisiones que consideren costoso reducir las emisiones en su país, pueden optar por reducir las emisiones en otros países de manera más económica. De esta manera se facilita a los países desarrollados cumplir su compromiso de reducción de emisiones, y fomentar el desarrollo sostenible en los países en desarrollo a través de la transferencia de tecnologías limpias.

Esta ayuda al desarrollo limpio de los países no industrializados frente a las alternativas convencionales, es una obligación de los países industrializados recogida en el artículo 4 de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático.

Comercio de Emisiones:

El uso del Comercio de Emisiones se basa en el establecimiento de una cuota total de derechos de emisión asignados que representan el límite global de las emisiones autorizadas.

Según el Art.17 del Protocolo de Kioto se permite a los países del Anexo B adquirir créditos de otros pertenecientes a ese mismo grupo. De esta forma se pretende alcanzar de manera eficiente desde el punto de vista económico, los compromisos establecidos en Kioto. Así, los que reduzcan sus emisiones hasta alcanzar valores por debajo de su límite de emisiones, podrán vender los créditos de emisiones excedentarios a los países que consideren más costoso alcanzar sus objetivos de reducción.

Los distintos tipos de unidades contables reconocidos por el Protocolo de Kioto, que se pueden intercambiar en este mercado son:

- Unidades de Reducción de Emisiones (UREs): fruto de proyectos de aplicación conjunta.

¹² Para conocer la lista actualizada de los países pertenecientes al Anexo B del Protocolo de Kioto, acceder a: <http://unfccc.int> Web oficial de: United Nations Framework Convention on Climate Change.

- Reducciones Certificadas de Emisiones (RCEs): originadas en proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- Unidades de Absorción (UDAs): fruto de actividades en sumideros.
- Unidades de Cantidad Atribuida (UCAs): inicialmente asignadas a cada Parte.

Para evitar que las Partes vendan diferentes tipos de unidades por encima de sus posibilidades, es decir, hasta el punto de que sean incapaces de cumplir los compromisos de reducción de Kioto, existe la “Reserva del Periodo de Compromiso” por la que cada una de las Partes tiene la obligación de tener un nivel mínimo de unidades de emisión las cuales quedan excluidas del Comercio de Emisiones. En caso de que esta reserva no se cumpla, existe una sanción consistente en la prohibición de venta de unidades de emisión hasta que alcance, en un plazo de treinta días, los niveles exigidos.

Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL):

Definido en el Art.12 del Protocolo de Kioto, permite que aquellos países del Anexo B que se han comprometido a cumplir los compromisos establecidos en dicho protocolo lleven a cabo proyectos de reducción de las emisiones en países en desarrollo, a través de los cuales se pueden obtener créditos por reducciones de las emisiones (RCEs) (cada crédito equivale a una tonelada de CO₂).

Este mecanismo fomenta el desarrollo sostenible mediante la transferencia de las energías limpias en los países en desarrollo, así como da cierta flexibilidad a los países industrializados a la hora de elegir la forma en que quieren alcanzar sus objetivos de reducción o limitación de las emisiones.

Mecanismo de Aplicación Conjunta:

Definido en el Art.6 del Protocolo de Kioto, permite que un país perteneciente al Anexo B, lleve a cabo proyectos de reducción o absorción de emisiones en otro país de ese mismo grupo. La parte receptora se descuenta las unidades de reducción de emisiones del proyecto, las cuales adquiere el país inversor.

De esta manera, el inversor adquiere RCEs a un precio menor que lo que le hubiese costado en el ámbito nacional y los receptores, países con economías en transición¹³ de mercado que debido a sus escenarios de emisiones y a su estructura económica son atractivos para los inversores, se benefician de la transferencia de tecnologías limpias.

¹³ Son economías que están haciendo un proceso de transformación (están en transición) desde una economía planificada hacia una economía de mercado.

3.7.2 Mercados Voluntarios de Carbono

Los Mercados Voluntarios de Carbono (MVC) tienen su origen en las críticas hacia los Mecanismos de Flexibilidad debido a que éstos dejan al margen a los sectores difusos¹⁴ (transporte, sector residencial, agricultura y residuos).

Los MVC son creados por particulares, organizaciones públicas y privadas que no están obligados legalmente a reducir sus emisiones de GEI, que son conscientes de su responsabilidad en el cambio climático y deciden, por voluntad propia, participar activamente en la lucha contra éste. Estos mercados permiten la producción y venta de créditos de carbono mediante proyectos para la compensación de emisiones.

Las entidades o personas interesadas en participar en este mercado, donan una cantidad de dinero proporcional a las emisiones que desean compensar (créditos de carbono) con la cual se llevan a cabo los proyectos ambientales, generalmente en países en vías de desarrollo.

Existen proyectos cuyo objetivo es el de captar una cantidad de toneladas de CO₂ equivalente mediante la puesta en práctica de un proyecto de sumidero de carbono por reforestación o deforestación evitada, o aquellos con el fin de reducir o evitar las emisiones de una cantidad de toneladas de CO₂ equivalente mediante un proyecto de ahorro o eficiencia energética, de sustitución de combustibles fósiles por energías renovables, de tratamiento de residuos o de deforestación evitada.

El precio de los créditos de carbono que depende de la localización y del tipo de proyecto, y el estándar o sistema de verificación aplicado, puede oscilar entre 1€ y 34€ por tonelada de CO₂ emitida con un precio medio (año 2008) en torno a 6€/tCO₂.

El MVC que incluye todos aquellos intercambios de compensaciones de carbono que no son exigidos por ley puede dividirse en dos subniveles:

- Over the counter market (OTC), en el que se intercambian reducciones de carbono generados solo a través de proyectos de compensación, también conocido como Mercado Voluntario Puro.
- Chicago Climate Change CCX, en el que se intercambian derechos de emisión y reducciones de carbono generados a través de proyectos de compensación de emisiones derivadas del metano agrícola, el suelo agrícola, el manejo forestal y las actividades de pastos desarrolladas en Estados Unidos y en los países no incluidos en el Anexo B del Protocolo de Kioto.

Debido a que el MVC se trata de un mercado autorregulado y con el fin de dotarle de mayor credibilidad y uniformidad se han elaborado una serie de estándares orientados a garantizar la calidad de los créditos voluntarios emitidos mediante la

¹⁴ Responsables del 60% de las emisiones de GEI en España

cuantificación de la cantidad, la calidad y la permanencia de las reducciones de emisiones que generan los proyectos así como el beneficio social de éstos.. Algunos de estos estándares son: Gold Standard, Voluntary Carbon Estándar, Social Carbon, etc. A parte, se han creado registros que permiten conocer el ciclo de vida del crédito de carbono incluyendo su generación y numeración, los documentos de la certificación, la información del proyecto, y todas las transferencias y cancelaciones de créditos.

4 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN: CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA DEL CORREDOR NORTE-NOROESTE DE ALTA VELOCIDAD. TRAMO: PALENCIA-LEÓN, SUBTRAMO: POZO DE URAMA-RÍO CEA.

Una vez se ha definido perfectamente lo que es la HC y su metodología estándar de cálculo, en este apartado se va a proceder a desarrollar una metodología propia partiendo de la información obtenida a partir de un proyecto de Ingeniería Civil. Para comprobar la funcionalidad de la misma, se desarrollará posteriormente un caso práctico de aplicación sobre un proyecto.

Así, este apartado se estructura como sigue: un primer subapartado con una descripción del proyecto; el desarrollo de la metodología propia en un nuevo subapartado; otro donde se recogen los resultados obtenidos, para finalizar con dos subapartados en los cuales se exponen el coste de compensación de la HC así como algunas medidas reductoras de futuras emisiones.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Constituye el objeto del proyecto la definición de las obras hasta el nivel de la plataforma, incluido el subbalasto, del subtramo “Pozo de Urama – Río Cea” del tramo entre Palencia y León del Corredor Norte- Noroeste para trenes de alta velocidad, y del acceso ferroviario a la futura zona de instalaciones ferroviarias a implantar junto al P.A.E.T. de Villada. La definición de dicha zona de instalaciones ferroviarias no es objeto de este proyecto, aunque sí se prevé su ocupación (expropiación).

El alcance del proyecto corresponde al de un proyecto constructivo, cuyo fin es definir la infraestructura de la nueva línea, y de dicho ramal de acceso, con el grado de detalle que requiere la correcta ejecución de las obras.

El Proyecto tiene una longitud de 17.421,8 m que se dividen en dos zonas: una primera entre el Pozo de Urama y Grajal de Campos que comprende los primeros 10.475,820 m del recorrido, y una segunda entre Gajal de Campos y el Río Cea que corresponde a los 6.946,006 m finales del subtramo.

Su recorrido se realiza por un terreno que presenta un perfil suave con zonas alomadas y algunos cerros aislados, ocupados en su mayor parte por cultivos de secano y regadíos en las vegas de los ríos.

El trazado discurre por terrenos de uso agrícola, salvando cauces de los ríos Sequillo y Valderaduey, y otros arroyos de menos importancia.

Por otro lado, la rasante se ajusta en lo posible al terreno, con una pendiente longitudinal máxima del 15%, con el objetivo de generar un mínimo volumen de rellenos y de desmontes manteniendo al mismo tiempo unas adecuadas condiciones

de drenaje transversal y unos cruces con las infraestructuras existentes que permitan solucionar los cruces a distinto nivel de forma óptima.

La altura máxima de los rellenos y desmontes es muy pequeña, en general inferior a 5 m, con una altura máxima de relleno de unos 14 m y de 22 m la de los desmontes.

Las infraestructuras viarias más importantes con las que la línea de alta velocidad se cruza son las correspondientes a las carreteras P-972, P-905, CL-613, CV-234/05 y LE-941, cuyo cruce se resuelve con las correspondientes estructuras. La única infraestructura ferroviaria presente es la correspondiente a la línea actual Palencia-León, cuyo cruce se resuelve mediante una pérgola.

La red de caminos es bastante densa en la zona. Los cruces con los mismos se resuelven con pasos transversales inferiores y superiores y una longitud importante de caminos longitudinales en ambas márgenes mediante los que se mantiene una adecuada permeabilidad transversal y se garantiza el acceso a todas las parcelas afectadas.

En cuanto al drenaje, todo el trazado se encuentra dentro de la Cuenca Hidrográfica del Duero. En general todas las cuencas interceptadas son de muy escasa entidad; las únicas dignas de mención son las del río Sequillo y la del río Valderaduey, cuyo cruce se soluciona con los correspondientes viaductos. El resto de cuencas son de muy escasa entidad. Sin embargo lo irregular del terreno hace que se generen un abundante número de vaguadas que generan puntos bajos en su intersección con la explanación del ferrocarril, que aunque presentan pequeñas superficies de aportación es necesario tener en cuenta en el esquema general del drenaje, que en general se solucionan disponiendo obras con dimensiones interiores de 2x2 de forma que se pueden emplear como paso de fauna de pequeño tamaño, ampliándose algunas de ellas para permitir también el paso de fauna de mayor tamaño (jabalí, etc.), minimizando así el efecto barrera sobre la fauna que pueda suponer la construcción de la nueva infraestructura.

Las adecuadas condiciones del terreno en el apoyo de las estructuras proyectadas han permitido que la casi totalidad de las mismas se puedan cimentar de forma directa mediante zapatas aisladas, o losas en el caso de las estructuras tipo marco, en condiciones de seguridad y con asientos pequeños.

En total el proyecto contempla la construcción de 7 viaductos, 5 pasos superiores, 7 pasos inferiores y 2 pasos inferiores de fauna, además de 13 obras de drenaje de grandes dimensiones y otras de pequeña dimensión.¹⁵

¹⁵ Información obtenida de la Memoria de “Proyecto de construcción de plataforma del corredor norte-noroeste de Alta Velocidad. Tramo: Palencia-León, subtramo: Pozo de Urama-río Cea.”



Figura 11: Situación del Proyecto. Mapa obtenido del Documento Nº 2 – Planos del Proyecto de estudio

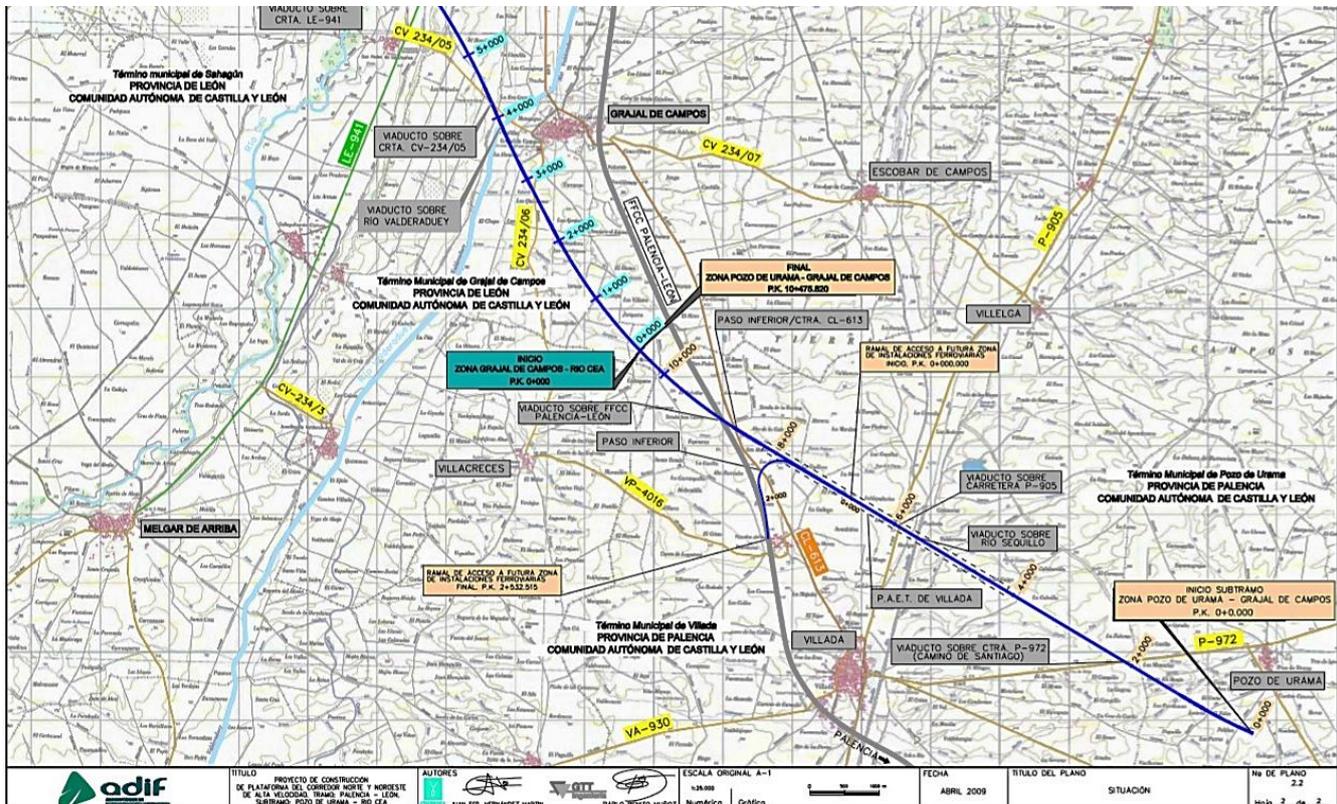


Figura 12: Situación del trazado de la obra. Mapa obtenido del Documento Nº 2 – Planos del Proyecto de estudio

4.2 METODOLOGÍA PROPIA DE CÁLCULO

La metodología aplicada está constituida por tres fases principales: definición de los objetivos y clasificación de las emisiones, recopilación de datos y cálculo de la huella de carbono.

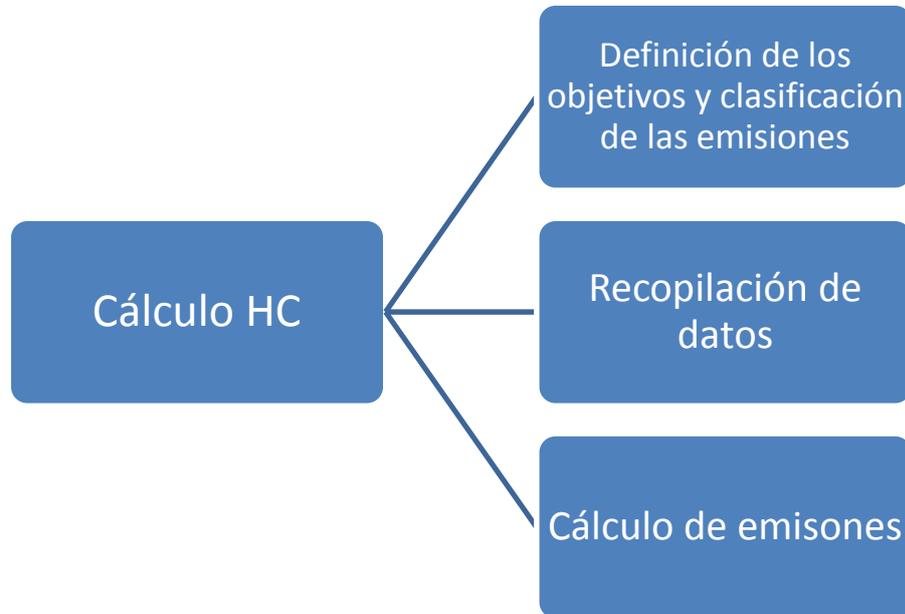


Figura 13: Esquema de la metodología de Cálculo de la Huella de Carbono

- Definición de los objetivos y clasificación de las emisiones:
 El fin de este cálculo es el del conocer las emisiones de CO₂ equivalentes emitidas durante la construcción del Proyecto de construcción de plataforma del corredor norte-noroeste de Alta Velocidad. Tramo: Palencia-León, subtramo: Pozo de Urama-río Cea. Así se pretende conocer el impacto que un proyecto de construcción de tales características supone en el efecto invernadero, con el fin de reducir o compensar las emisiones en proyectos futuros.
 Las emisiones se han agrupado en función de sus fuentes globales de emisión:
 - Maquinaria: se refiere a las emisiones originadas por las principales máquinas utilizadas en la obra, es decir, durante el movimiento de tierras, la construcción de las estructuras, el transporte de los materiales, etc.
 - Materiales: se refiere a las emisiones originadas durante la fabricación de los materiales empleados en la obra, especialmente, durante la producción del cemento utilizado para la fabricación de hormigón y mortero.
 - Energía: se refiere a las emisiones procedentes de la producción de energía eléctrica consumida durante la obra.

- Vehículos: se refiere a las emisiones procedentes del transporte de los trabajadores desde sus domicilios hasta la obra, así como dentro de la misma.
- Recopilación de datos:



Figura 14: Esquema de la fase de recopilación de datos

Para recopilar los datos necesarios para calcular la HC de la maquinaria y de los materiales se ha partido del mismo punto, el Anejo N°20: Justificación de precios, del Proyecto objeto de estudio. Esto es debido a que este anejo dispone de un listado con toda la maquinaria y todos los materiales utilizados durante la obra.

Para el cálculo de la HC de la maquinaria se debe conocer el tiempo de trabajo, el consumo horario de combustible y el factor de emisión de cada máquina:

- Tiempo de trabajo:
 Para obtener este dato primero se deben identificar las unidades de obra en las que es utilizada la máquina, para después sumar los tiempos de trabajo de ésta en cada una de ellas.
 En la Justificación de precios los tiempos de trabajo son unitarios, por lo que se acude al Presupuesto del Proyecto para obtener las mediciones totales de cada unidad de obra y así poder obtener el tiempo total de cada máquina en cada una de ellas. A continuación se expone un ejemplo aclaratorio:

Justificación de precios:

UO: G1010001 m³ Demolición aparente de edificación

Retroexcavadora 95HP 0,056h/m³

Presupuesto:

Medición total G1010001= 9,25 m³

Tiempo de trabajo retroexcavadora en G1010001:

$9,25 \text{ m}^3 \times 0,056 \text{ h/m}^3 = 0,518 \text{ horas}$

- Consumo horario de combustible:
Siempre que ha sido posible se ha utilizado el Catálogo de Caterpillar 43 Edición puesto que se trata de una fuente de información completa y fiable. Por otro lado, para conocer el consumo de aquellas máquinas que no aparecen en dicho catálogo, se ha optado por preguntar directamente a los proveedores. Sin embargo, no siempre ha sido posible obtener este dato, por lo que en algunas ocasiones se han hecho aproximaciones tomando como referencia una máquina de características similares y consumo conocido.
- Factor de emisión:
La fuente utilizada para la obtención de los factores de emisión ha sido *“Guía para el cálculo de la huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización”* redactada por Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente este mismo año.

Por otro lado, la HC de los materiales utilizados en la obra, se reduce principalmente al cálculo de las emisiones de CO₂ emitidas durante la fabricación del cemento. Esto se debe a que las emisiones originadas durante la fabricación de este material representan el 5% de las emisiones de CO₂ globales. Por consiguiente, el hormigón y el mortero continentes de una importante cantidad de cemento, son considerados los materiales más relevantes en este cálculo.

Para calcular la HC del hormigón y del mortero se debe conocer la cantidad de cemento que contienen cada uno de ellos, las emisiones originadas en la fabricación del cemento y las emisiones originadas en las propias plantas de hormigón y mortero:

- Contenido de cemento en hormigón:
En la *“Introducción de hormigón estructural (EHE-08)”* queda establecido el contenido mínimo de cemento que debe contener el hormigón en función de su tipología (hormigón en masa, hormigón armado u hormigón pretensado). Tomando como referencia esta norma se han establecido las siguientes cantidades de cemento por metro cúbico de hormigón.

Tabla 5: Cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón

HORMIGÓN	Kg CEM / m ³ HORM.
Hormigón en Masa (HM)	250
Hormigón Armado (HA)	300
Hormigón Pretensado (HP)	300



Figura 15: Esquema del proceso de obtención de las toneladas de cemento utilizadas en la fabricación de los distintos hormigones empleados en la obra.

- Contenido de cemento en Mortero:
 Tras la consulta de varias publicaciones académicas referidas a los diferentes materiales de construcción, se decide tomar como referencia la información obtenida del tema “*Cementos, morteros y hormigones*” (Juan Antonio Polanco Madrazo y Jesús Setién Marquínez) obtenido en el OpenCourseWare de la Universidad de Cantabria.¹⁶ Finalmente, para los morteros utilizados en la obra se establece una cantidad de cemento de 361 kg cem./m³ mortero.
 Una vez fijada la cantidad de cemento por metro cúbico de mortero, el proceso para calcular la cantidad total utilizada es la misma que en el caso del hormigón: cálculo de la cantidad de mortero utilizada y posterior cálculo de la totalidad del cemento que contiene éste.

- Emisiones procedentes de las plantas de hormigón y de mortero: no se obtienen datos, por lo que la HC referida a las plantas de

¹⁶ OpenCourseWare es una iniciativa editorial digital que tiene como objetivo la oferta de materiales educativos de enseñanza universitaria en abierto.

hormigón y de mortero se realizará a través de una aproximación.

- Cálculo de emisiones:

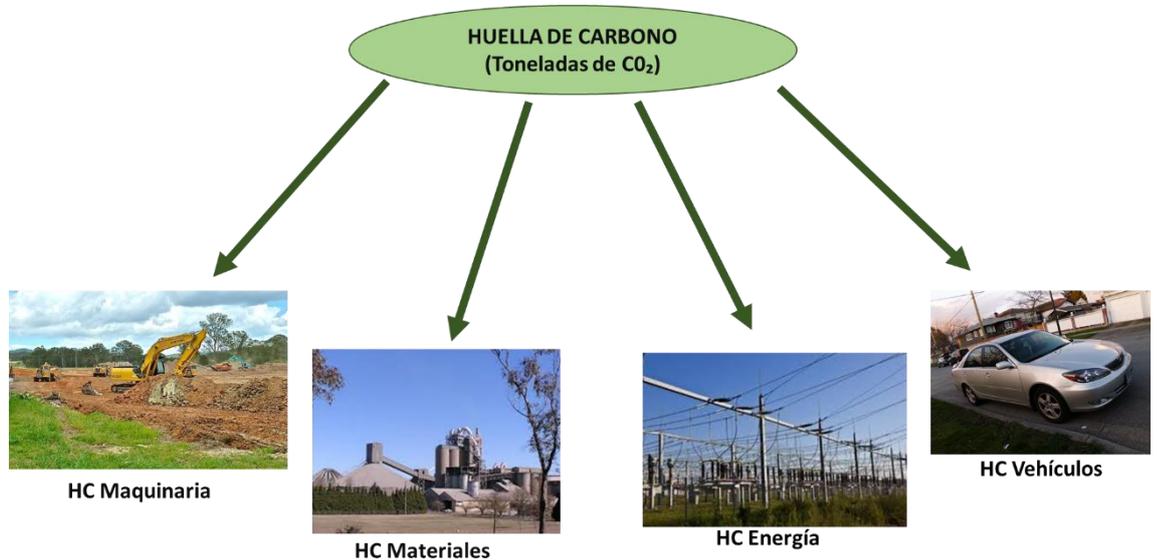


Figura 16: Esquema representando las diferentes unidades cuya suma es la Huella de Carbono del Proyecto

La Huella de Carbono del Proyecto es igual a la suma de las huellas de carbono referidas a la maquinaria, los materiales, la energía eléctrica consumida y los vehículos utilizados por los empleados. En el Anexo de cálculo se muestran las hojas de cálculo utilizadas en este proceso.

$$HC \text{ PROYECTO} = HC \text{ MAQUINARIA} + HC \text{ MATERIALES} + HC \text{ ENERGÍA} + HC \text{ VEHÍCULOS}$$

Cálculo de la HC Maquinaria: conocidos el consumo total de combustible y el factor de emisión ya se puede calcular la HC referida a determinada máquina, siendo la suma de las HC referidas a cada máquina, la HC Maquinaria. Debido a que la maquinaria utiliza motores diésel, el factor de emisión es el mismo para todas las máquinas e igual a 2,471 KgCO₂ eq./ Litro de combustible utilizado.

$$HC \text{ MAQUINARIA} = \sum HC \text{ Maquina} = \sum \text{Consumo total combustible} \times \text{Factor de Emisión}$$

Cálculo de la HC Materiales: conocida la cantidad de cemento utilizada en la fabricación del hormigón y del mortero, así como las emisiones producidas por cada tonelada de cemento fabricada se calcula parte de la HC Materiales. Tras consultar diversos artículos académicos y páginas relacionadas con el tema, consideramos que por cada tonelada de cemento fabricada, se emiten a la atmósfera 800kgCO₂.

$$HC \text{ Cemento} = \text{Cantidad de cemento en hormigón y mortero (ton)} \times \frac{800KgCO_2}{\text{ton Cemento}}$$

Ante la falta de datos para el cálculo de la HC referida a las plantas de hormigón y de mortero y puesto que ésta no es igual a cero, se decide tenerla en cuenta considerándola un 15% de la HC de la fabricación del cemento. De este porcentaje, un 10% corresponde a las emisiones procedentes de la combustión del combustible utilizado para el funcionamiento de las plantas, mientras que el 5% restante se refiere al consumo de energía eléctrica empleada en la fabricación del hormigón y del mortero.

$$HC \text{ Hormigón y Mortero} = 15\% HC \text{ Cemento}$$

Por lo tanto, la HC Materiales, es igual a la producida en la fabricación del cemento más la producida en las plantas de hormigón y de cemento.

$$HC \text{ MATERIALES} = HC \text{ Cemento} + HC \text{ Hormigón y Mortero} = 1,15 \times HC \text{ Cemento}$$

Cálculo de la HC Energía y de la HC Vehículos: puesto que no se tienen datos referidos a la energía consumida durante la obra, así como la distancia recorrida por los vehículos de cada trabajador, es imposible realizar un cálculo exacto de la Huella de Carbono referente a estas fuentes de emisión. Por ello, y debido a que las emisiones de dichas fuentes no son igual a cero, se han realizado las siguientes suposiciones para tenerlas en cuenta en el cálculo de la HC de todo el Proyecto:

$$HC \text{ ENERGÍA} = 5\% (HC \text{ MAQUINARIA} + HC \text{ MATERIALES})$$

$$HC \text{ VEHÍCULOS} = 3\% (HC \text{ MAQUINARIA} + HC \text{ MATERIALES})$$

A continuación se muestra un esquema que recoge las diferentes fórmulas utilizadas para el cálculo de la huella de carbono, en función de la fuente de emisión:

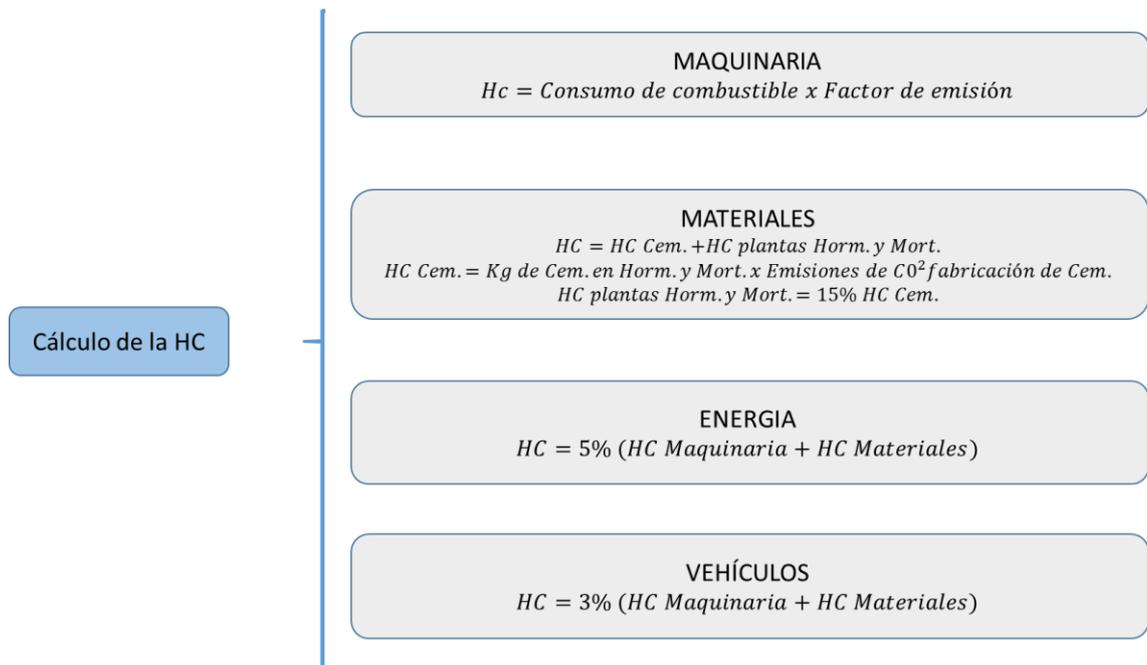


Figura 17: Fórmulas y aproximaciones utilizadas en el cálculo de la HC

4.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

La Huella de Carbono correspondiente a la construcción de plataforma del corredor norte-noroeste de Alta Velocidad. Tramo: Palencia-León, subtramo: Pozo de Urama-río Cea es igual a 50.566,443 toneladas de CO₂ eq.

A continuación se muestran los resultados de la Huella de Carbono descompuestos según las fuentes de emisión:

FUENTES DE EMISIÓN	HUELLA DE CARBONO (ton CO ₂)	% HC TOTAL
MAQUINARIA		
Total	21447,882	42,42

MATERIALES		
Fabricación del Cemento	22063,39	
Plantas de Hormigón y de Mortero	3309,509	
Total	25372,899	50,18

MAQUINARIA + MATERIALES	46820,781	
--------------------------------	-----------	--

ENERGÍA	5% HC	
Total	MAQUINARIA+MATERIALES	
	2341,039	4,63

VEHÍCULOS	3% HC	
Total	MAQUINARIA+MATERIALES	
	1404,623	2,78

HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO	50566,443
---------------------------------------	------------------

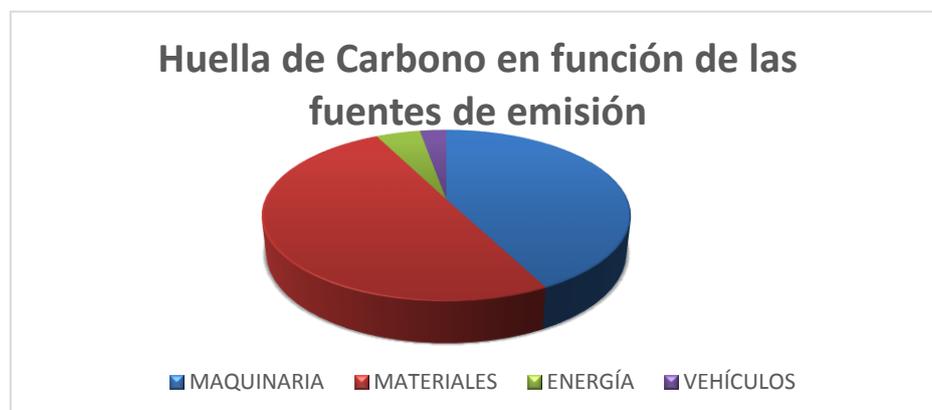


Figura 18: Huella de Carbono del proyecto en función de las fuentes de emisión

Siendo el presupuesto del proyecto igual a 87.717.751,28€, el ratio de emisiones por unidad económica (CO₂/€) es 0,576 kg CO₂/€.

El plazo de ejecución del proyecto es de dos años. Suponiendo una huella de carbono anual igual a la mitad de la total del proyecto, es decir, igual a 25.283,222 t CO₂, las emisiones originadas durante la obra suponen el 0,0072% de las emisiones totales en España¹⁷ y un 0,024% de las emisiones procedentes de la construcción¹⁸ ese año (2011).

4.4 COMPENSACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

Se supone que la obra proyectada finaliza en diciembre del año 2012, momento en el cual el precio del crédito de carbono es 6,68€/ton CO₂¹⁹. Si la Huella de Carbono del proyecto es igual a 50.566,443 toneladas CO₂ eq., la constructora debe invertir 337.783,839€ (0,385% del presupuesto de la obra) en la compensación de la Huella de Carbono.

4.5 MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

Para reducir el coste de la compensación de las emisiones originadas durante la obra, pueden llevarse a cabo medidas de reducción tales como el uso de energías renovables como forma de abastecimiento de energía y el uso de vehículos con motor híbrido por parte de la empresa.

En el campo de la maquinaria de construcción ha habido grandes avances en los dos últimos años, estando en auge el desarrollo de la maquinaria alimentada por motores híbridos que suponen una reducción en el consumo de combustible de hasta el 25%. Algunos de los fabricantes que emplean este tipo de motores en algunos de sus modelos son Caterpillar, Komatsu, JCB y Hitachi.

Además las normativas de emisiones cada vez son más estrictas por lo que los fabricantes se esfuerzan cada vez más en producir motores más respetuosos con el medio ambiente, que reduzcan las pérdidas de energía y obtengan rendimientos mayores y que, en resumen, tengan un consumo menor de combustible.

Por otro lado están las emisiones correspondientes a los materiales de construcción. El cemento que es uno de los materiales más utilizados, emite una importante cantidad de CO₂ a la atmósfera, 5% de las emisiones globales. En consecuencia, son grandes los esfuerzos que se están realizando en la investigación para la obtención de medidas eficaces de reducción en la fabricación de este material.

Durante la fabricación del cemento es necesario alcanzar temperaturas muy altas (1400-1500°C) para lo cual es necesario un aporte muy alto de energía

¹⁷ En el año 2011 las emisiones de CO₂ fueron igual a 350.483,69 Kt. (*Informe de emisiones de Gases de Efecto invernadero en España 1990-2012 WWF España 2013*)

¹⁸ En el año 2011 las emisiones de CO₂ procedentes de la construcción constituyeron el 3% de las emisiones totales, es decir, 105145,107Kt. (*Instituto Nacional de Estadística*)

¹⁹ Fuente: <http://es.investing.com/>

(100kWh/ton) la cual es producida principalmente en centrales térmicas y nucleares puesto que las energías renovables no está en completo desarrollo. Por ello se están llevando a cabo proyectos de investigación cuyo fin es el de la utilización de energías limpias en la fabricación del cemento, como es el caso del proyecto estadounidense denominado STEP (Solar Thermal Electrochemical Production) que estudia la utilización de la energía solar en el sector del cemento.

Durante su proceso de fabricación también se consume una cantidad importante de combustible, el cual no puede ser sustituido por biomasa debido a su baja aportación energética.

Sin embargo el principal origen de las emisiones producidas en la fabricación del cemento son las reacciones químicas que suponen el 60% de las emisiones.

Para fabricar cemento convencional se parte de la piedra caliza (CaCO_3), de la cual sólo se necesita el calcio por lo que se debe eliminar el carbono, proceso en el cual se emite una gran cantidad de CO_2 . Durante este proceso se muele la caliza que mezclada con arcilla y calentada a altas temperaturas da lugar al Clinker, que junto con yeso y algún otro aditivo constituye el cemento convencional.

Una forma de reducir las emisiones ocasionadas en las reacciones químicas es la de la sustitución de la caliza por silicato de magnesio. De esta manera se necesita un aporte menor de energía por lo que se podrían emplear biocombustibles. Durante la fabricación de este tipo de cemento no sólo no se aportaría CO_2 a la atmósfera, sino que se podría llegar a absorber. (Emisiones negativas)

Por último, hay empresas cementeras que han implantado en las propias plantas medidas de re-absorción del CO_2 emitido, instalando superficies de carbonatación en las chimeneas o mediante algas que se alimentan de humos ricos en CO_2 .

5 CONCLUSIONES

El cálculo de la huella de carbono no requiere realizar complejos cálculos, sin embargo la recolección de datos de las actividades generadoras de emisiones sí es una tarea complicada.

La huella de carbono de un proyecto de construcción no sólo se refiere a las emisiones generadas durante el proceso constructivo, sino también a las procedentes de la fabricación de los materiales utilizados, de la fabricación de la propia maquinaria, etc. Esto hace que obtener la HC real sea una tarea complicada debido a la imposibilidad, en muchas ocasiones, de obtener los datos necesarios para su cálculo.

Este trabajo se fijó como objetivo calcular la HC procedente del uso de la maquinaria, de la fabricación de los materiales, de la utilización de vehículos por parte de los trabajadores y del consumo de energía eléctrica durante la construcción. Mediante datos obtenidos del Proyecto y de catálogos y proveedores, así como los obtenidos de artículos especializados en la materia, y a través de las aproximaciones supuestas para el cálculo de la huella de carbono de la energía y los vehículos, se ha conseguido calcular la huella de carbono correspondiente a dicho alcance.

Siguiendo una metodología propia, no haciendo uso de calculadoras de emisiones externas y mediante la información de la que dispone la bolsa de créditos de CO₂, se ha conseguido obtener una cifra monetaria correspondiente a la HC obtenida. Esta cifra está basada en los créditos o abonos de mercado, cuyo valor varía con el tiempo de forma notable por lo que puede ser muy distinta en dependiendo del momento en el que se generan las emisiones.

Por otra parte, el cálculo aproximado de la HC ha permitido identificar a la fabricación del cemento como uno de los principales focos de emisión (46% de la HC) seguida por la maquinaria (42% HC). De esta forma, se conocen los puntos críticos sobre los que se debe actuar si se desea reducir de forma importante las emisiones de gases contaminantes en futuras obras de construcción.

Por último, cabe señalar que un proyecto de construcción civil supone, en algunas ocasiones, un ahorro en la distancia de desplazamiento de sus usuarios así como la facilidad para trasladarse en transporte público y, en consecuencia, favorece la reducción de emisiones futuras.

El proyecto objeto del cálculo de la HC de este trabajo consiste en la construcción de la plataforma de vía ferroviaria de Alta Velocidad. Es necesario destacar, que una vez finalizada la infraestructura y puesto en marcha el AVE, las personas que decidan utilizar este medio de transporte contaminarán entre 3 y 5 veces menos que viajando por carretera y entre 7 y 10 veces menos que viajando en avión.²⁰

²⁰ Fuente: RENFE.

6 ANEXO DE CÁLCULO

Tabla de cálculo empleada para el cálculo de la huella de carbono de la maquinaria:

MAQUINARIA UTILIZADA	CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE (L/h)	HORAS DE TRABAJO (h)	CONSUMO TOTAL DE COMBUSTIBLE (L)	FACTOR DE EMISIÓN (KgCO ₂ / L)	EMISIONES DE CO ₂ (Kg)	EMISIONES DE CO ₂ (t)
Barredora autopropulsada	10,0	244,797	2447,97	2,471	6048,934	6,049
Bituminadora Automot. para riego de asfalto	6,6	288,076	1901,3016	2,471	4698,116	4,698
Camión 150HP, 12T	8,5	3920,734	33326,239	2,471	82349,137	82,349
Camión 15T articulado, tracción integral	10,0	0,850	8,5	2,471	21,004	0,021
Camión 200HP, 15T	10,0	8344,439	83444,39	2,471	206191,088	206,191
Camión 250HP, 20T	11,8	52212,315	616105,317	2,471	1522396,238	1522,396
Camión 400HP, 32T	35,7	77570,817	2769278,167	2,471	6842886,350	6842,886
Camión basculante 6T	13,0	0,737	9,581	2,471	23,675	0,024
Camión cisterna 6000L	8,8	10306,540	90697,552	2,471	224113,651	224,114
Camión cisterna 8000L	11,0	33068,233	363750,563	2,471	898827,641	898,828
Camión con bomba de hormigonar	26,0	3906,922	101579,972	2,471	251004,111	251,004
Camión grúa 12T	15,0	96,934	1454,01	2,471	3592,859	3,593
Camión grúa 3T	11,0	1893,348	20826,828	2,471	51463,092	51,463
Camión grúa 5T	12,5	134,005	1675,0625	2,471	4139,079	4,139
Camión hormigonera 6M3	40,0	4,617	184,68	2,471	456,344	0,456
Compactador autoprop. 14-16T	16,0	185,879	2974,064	2,471	7348,912	7,349
Compactador vibratorio autoprop. 12-14T	9,9	3835,867	37975,0833	2,471	93836,431	93,836
Compactador vibratorio autoprop. 14-18T	16,0	24255,357	388085,712	2,471	958959,794	958,960
Compactador vibratorio autoprop. 8-10T	11,0	289,742	3187,162	2,471	7875,477	7,875
Compactador vibratorio neumát. 14-18T	11,1	93,009	1032,3999	2,471	2551,060	2,551
Compactador vibratorio para Horm. y betunes	9,4	71,830	675,202	2,471	1668,424	1,668
Equipo vibrado interno de hormigón	0,3	12914,558	3874,3674	2,471	9573,562	9,574
Estabilizadora suelo-cal	75,8	3204,770	242921,566	2,471	600259,190	600,259
Exc. S.Orugas, D-7	24,0	23395,862	561500,688	2,471	1387468,200	1387,468
Excavadora hidráulica de cadenas 50HP	4,3	537,476	2311,1468	2,471	5710,844	5,711
Excavadora hidráulica de cadenas 75HP	8,0	4810,340	38482,72	2,471	95090,801	95,091
Excavadora hidráulica de neumáticos 82CV	10,0	19584,785	195847,85	2,471	483940,037	483,940
Extendidora de árido	19,8	241,841	4788,4518	2,471	11832,264	11,832
Extendidora de mezcla bituminosa.	21,9	98,756	2162,7564	2,471	5344,171	5,344
Furgoneta 3500Kg	7,7	467,765	3601,7905	2,471	8900,024	8,900
Grúa autoprop. 100T	56,0	788,700	44167,2	2,471	109137,151	109,137
Grúa autoprop. 12T	20,0	12861,847	257236,94	2,471	635632,479	635,632
Grúa autoprop. 24T	29,6	14,140	418,544	2,471	1034,222	1,034
Grúa autoprop. 300T	69,3	185,521	12856,6053	2,471	31768,672	31,769
Grúa autoprop. 80T	34,5	22,900	790,05	2,471	1952,214	1,952
Grupo electrógeno 80/100 KVA	20,0	11753,353	235067,06	2,471	580850,705	580,851
Máquina hincapiquetes	1,0	22,336	22,336	2,471	55,192	0,055
Máquina hincapostes 35KW	1,5	4,080	6,12	2,471	15,123	0,015
Máquina para clavar montantes	1,0	25,991	25,991	2,471	64,224	0,064
Máquina para gunitar	2,0	30,275	60,55	2,471	149,619	0,150
Maquinaria para pintar marcas viales	2,0	21,740	43,48	2,471	107,439	0,107
Martillo percutor doble efecto	0,3	1763,985	529,1955	2,471	1307,642	1,308
Motobomba 3CV	0,5	1079,455	539,7275	2,471	1333,667	1,334
Motoniveladora 125HP	10,6	13078,565	138632,789	2,471	342561,622	342,562
Motoniveladora 150HP	18,9	11433,351	216090,3339	2,471	533959,215	533,959
Pala Carg. 110HP	21,8	10700,430	233269,374	2,471	576408,623	576,409
Pala Carg. 170HP	10,0	7364,247	73642,47	2,471	181970,543	181,971
Pala Carg. 375HP	24,0	8226,167	197428,008	2,471	487844,608	487,845
Perfiladores de pavimento	51,0	0,368	18,768	2,471	46,376	0,046
Pisón vibrante de placa 60cm	0,3	172,548	51,7644	2,471	127,910	0,128
Pisón vibrante duplex 1300Kg	0,4	3961,844	1584,7376	2,471	3915,887	3,916
Retroexcavadora - cargadora 70HP	10,0	1257,080	12570,8	2,471	31062,447	31,062
Retroexcavadora - cargadora 95HP	14,2	258,518	3670,9556	2,471	9070,931	9,071
Tractor con equipo para trat. Subsuelo	49,8	33003,904	1643594,419	2,471	4061321,810	4061,322
Triciclo reparto de conos	2,0	1,075	2,15	2,471	5,313	0,005
Zanjadora de neumáticos 110CV	16,8	1869,501	31407,6168	2,471	77608,221	77,608

7 REFERENCIAS

- Proyecto de Construcción: *Corredor Norte-Noroeste de Alta Velocidad – Tramo: Palencia-León. Subtramo: Pozo de Urama – Río Cea*. UTE AVE POZO DE URAMA (Cyopsa - Sarrion – Tapusa)
- FULLANA, P. 1997. *Análisis del Ciclo de Vida* Barcelona: Rubes. nº. 84-497-0070-1
- CLEMENTE, G., SANJUÁN, N., VIVANCOS, J.L. 2005. *Análisis de Ciclo de Vida: aspectos metodológicos y casos prácticos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones. nº. 84-9705-852-6
- TORRES CAÑADAS, J. - SEOPAN. 2008. *Manual de costes de maquinaria*. Madrid: SEOPAN.
- MARTINEZ CAÑETE, R. 2012. *Cálculo y evaluación de la certificación de la huella de CO2 del Grupo Sacyr Vallehermoso en el año 2010*. DIRECTOR: POUS DE LA FLOR, J. . Proyecto fin de carrera. E.T.S.I. Minas (UPM), Madrid.
- MAGRAMA. 2014. *Guía práctica para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. [en línea]. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/2014_05_29_Guia_Huella_Carbono_tcm7-330253.pdf
- NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL ECONOMICS. 2014. *Introduction to benefit-cost analysis* [en línea]. Disponible en: <http://yosemite.epa.gov/ee/epa/eed.nsf/6058a089548635578525766200639df3/a92f904ea01bd78f85257662007490b8!OpenDocument>
- ECONOMÍA 48. *Análisis Coste- Beneficio* [sitio web]. Disponible en: <http://www.economia48.com/spa/d/analisis-coste-beneficio/analisis-coste-beneficio.htm>
- BARRIOS GONZÁLEZ, M.C. *Análisis coste-beneficio de inversiones en infraestructura: una aproximación a la aplicación al tercer acceso a Cádiz* [en línea]. Junta de Andalucía. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/export/drupal/economia/TOMO_22/BEA22_201.pdf
- FALCONI, F. , BURBANO, R.. 2004. Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revista Iberoamericana de economía ecológica* 1, pp: 11-20.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Global Greenhouse Gas Emissions* [sitio web]. Disponible en: <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/>
- NOTICIAS MAQUINARIA. [sitio web]. Disponible en: <http://www.noticiasmaquinaria.com/>
- POLANO MADRAZO, J.A., SETIÉN MARQUÍNEZ, J. *Cementos, morteros y hormigones: morteros y hormigones* [en OpenCourseWare de Universidad de Cantabria]. Disponible en: http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/materiales/3_Morteros_hormigones1.pdf
- Asociación Nacional de la Industria del prefabricado de Hormigón (ANDECE). *El análisis de ciclo de vida en la construcción*: [sitio web]. Disponible en: <http://www.andece.org/index.php/sostenibilidad-2/201-acv>
- GLOBAL GREENHOUSE WARNING. 2008. *Cement CO2 emissions*. [sitio web]. Disponible en: <http://www.global-greenhouse-warming.com/cement-CO2-emissions.html>
- ARIAS FERNÁNDEZ, A. 2014. *Mercado de Carbono (Euros/CO2)* [blog]. Disponible en: <http://www.eoi.es/blogs/albertoariasfernandez/2014/07/03/mercado-de-carbono-eurosc02/>
- MAGRAMA. [sitio web] 2014. Madrid. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/>
- WWF. [sitio web] 2014. Disponible en: <http://www.wwf.es/>
- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC). Disponible en: <https://www.setac.org/>
- FAO. 2014. *Mercados de Carbono: qué tipos existen y cómo funcionan* [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i1632s/i1632s02.pdf>
- UNA NORMA ESPAÑOLA. 2012. UNE- EN_ISO_14064-1: Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero.
- UNA NORMA ESPAÑOLA. 2012. UNE- EN_ISO_14064-2: Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificaciones y orientaciones, a nivel de proyecto, para la cuantificación, la monitorización y la declaración de las reducciones y de las mejoras en la eliminación de gases de efecto invernadero.

UNA NORMA ESPAÑOLA. 2012. UNE- EN_ISO_14064-3: Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificaciones y orientaciones para la validación y la verificación de las declaraciones de gases de efecto invernadero.

UNA NORMA ESPAÑOLA. 2012. UNE- EN_ISO_14065: Gases de efecto invernadero. 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.

UNA NORMA ESPAÑOLA. 2012. UNE- EN_ISO_14066: Gases de efecto invernadero. Requisitos de competencia para los equipos de validación y de verificación de gases de efecto invernadero.

"Instrucción de hormigón estructural". 2008. EHE-08.