

OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE
**para la Sostenibilidad Ambiental
de la Edificación Residencial**

INFORME:
**ESTIMACIÓN DE LA
HUELLA DE CARBONO
DE LA PROMOCIÓN
RESIDENCIAL**

Enero 2020

OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE
**para la Sostenibilidad Ambiental
de la Edificación Residencial**

INFORME:
**ESTIMACIÓN DE LA
HUELLA DE CARBONO
DE LA PROMOCIÓN
RESIDENCIAL**

Elaborado por:
**Pascual Fernández Martínez
Julián Pérez García**

Contenido

Resumen Ejecutivo	8
1. Presentación	12
1.1. El proyecto de Huella de Carbono	14
2. Metodología de cálculo de la Huella de Carbono	16
2.1. Huella del proceso de construcción	19
2.2. Huella de los materiales	21
3. Las emisiones de G.E.I en España	26
3.1. Evolución de las emisiones	29
3.2. Comparativa internacional	32
3.3. Comparativa internacional por ramas de actividad	34
4. Huella de Carbono de la promoción residencial	36
4.1. Datos generales de la promoción de Villaverde	37
4.2. Estimación de la Huella de Carbono del proceso de construcción	41
4.3. Estimación de la Huella de Carbono de los materiales	50
4.3.1. Enfoque de valor	50
4.3.2. Enfoque de peso	58
5. Resultados agregados y consideraciones finales	63
Referencias Bibliográficas	68

Índice de gráficos

Gráfico 1	
Elementos de emisión considerados	15
Gráfico 2	
Emisiones totales de G.E.I. en España. 2017	27
Gráfico 3	
Origen de las emisiones de G.E.I.	28
Gráfico 4	
Emisiones de G.E.I. Toneladas	29
Gráfico 5	
Emisiones relativas de G.E.I.	30
Gráfico 6	
Tendencias en los coeficientes de emisión.2008-2018	31
Gráfico 7	
Emisiones de G.E.I. Toneladas de CO2 eq. por millón de € de PIB.(2018)	32
Gráfico 8	
Emisiones de G.E.I. Toneladas por hogar.(2018)	33
Gráfico 9	
Coeficientes de emisiones de G.E.I. Tn.CO2 eq. por millón de € de producción (2015)	35
Gráfico 10	
Componentes de la Huella de Carbono de la promoción residencial de Villaverde	66

Índice de tablas

Tabla 1	
Factores de emisión consideradas en el proceso de construcción	20
Tabla 2	
Clasificación de los principales flujos físicos de materiales	22
Tabla 3	
Adquisiciones de bienes y servicios por ramas de actividad. Miles de € y % sobre el total	38
Tabla 4	
Principales flujos físicos de materiales. Kg y porcentajes sobre el total	39

Tabla 5	
Información adicional recopilada para la estimación de la Huella de Carbono	40
Tabla 6	
Alcance 1: Estimación de las emisiones directas	42
Tabla 7	
Alcance 2: Estimación de las emisiones indirectas	43
Tabla 8	
Volumen de materiales de construcción transportados	45
Tabla 9	
Estimación del volumen de combustible utilizado en el transporte de materiales	46
Tabla 10	
Alcance 3: Estimación de las emisiones indirectas por transporte de materiales	47
Tabla 11	
Alcance 3: Estimación de las emisiones indirectas por transporte de residuos	48
Tabla 12	
Alcance 3: Estimación de las emisiones indirectas por transporte de trabajadores	49
Tabla 13	
Enfoque de valor: Estimación de las emisiones incorporadas	51
Tabla 14	
Enfoque de valor: Estimación de la producción indirecta. Miles de €	52
Tabla 16	
Enfoque de peso: Emisiones medias por tipología de materiales	59
Tabla 17	
Enfoque de peso: Huella de Carbono de los materiales de construcción	61

Resumen Ejecutivo

- El presente estudio se presenta como una continuación del trabajo iniciado en el año 2018 en el seno del **Observatorio UAM - Vía Célere de sostenibilidad de la construcción residencial** donde se estimó la Huella Hídrica de una promoción residencial tipo desarrollada por Vía Célere en Villaverde (Madrid).
- En esta ocasión el objetivo establecido consiste en la **estimación de la Huella de Carbono**, considerando las alternativas metodológicas contempladas en la literatura, de esa misma promoción residencial: Célere Villaverde, una promoción de 98 viviendas y construido a 5 alturas con una superficie construida total de 15.428,85 m².
- Actualmente se calcula que, a nivel global, el nivel de concentraciones de **Gases de Efecto Invernadero (GEI)** es el doble de los niveles que tenía nuestro planeta antes de la época preindustrial, con un aumento continuado desde entonces. Se estima que estos cambios han provocado un incremento en la temperatura planetaria de orden de 0.5° C, y resultará en un calentamiento adicional de 0.5° C, o tal vez más, durante las próximas décadas.
- En **España**, durante el último año para el que se dispone de datos definitivos, se emitieron cerca de **341 millones de toneladas equivalentes de CO₂**, lo que supone unas 7,3 toneladas por habitante y año. Las emisiones totales de GEI se habrían reducido durante los últimos 10 años en algo menos de un 20%, si bien esta reducción habría sido bastante más intensa en las emisiones generadas por las actividades productivas (-22%) que en los hogares (-5%).
- Entre las **actividades con reducción de emisiones** destacan por su impacto sobre el total, el suministro de energía eléctrica, el transporte terrestre y las industrias de minerales no metálicos y la metalurgia, que serían los principales productores de materiales de construcción.
- La Agencia Internacional de la Energía apunta que la energía incorporada y las **emisiones de GEI debidas a la construcción de edificios y obras de ingeniería civil** representan el 20% del consumo total de energía y de las emisiones de GEI en el mundo.
- En términos generales, se entiende como **Huella de Carbono** “la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto por un individuo, organización, evento o producto”. De esta forma podemos diferenciar entre: **Huella de Carbono de una organización** que mide la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto provenientes del desarrollo de la actividad de dicha organización; y **Huella de Carbono de producto** que mide los GEI emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto: desde la extracción de las materias primas, pasando por el procesado y fabricación y distribución, hasta la etapa de uso y final de la vida útil (depósito, reutilización o reciclado).
- El análisis de Huella de Carbono proporciona como resultado un dato que puede ser utilizado como **indicador ambiental global de la actividad** que desarrolla la organización, configurándose así como el punto de referencia básico para el inicio de actuaciones de reducción de consumo de energía y para la utilización de recursos y materiales con mejor comportamiento medioambiental.

- Finalmente, en este estudio se optó por aplicar una metodología que combina la estimación de la **Huella de Carbono del proceso productivo** (utilizando la metodología de la huella de organización) y la **Huella de Carbono de los materiales** utilizados en la promoción (Huella de producto).
- Para la estimación de la **Huella de Carbono del proceso productivo** se ha seguido la metodología estandarizada recomendada por el Ministerio para la Transición Ecológica y que recoge **tres Alcances consecutivos**, correspondiendo a las **emisiones directas** (emisiones de fuentes que son “propiedad de” o están controladas por la organización), las **indirectas** (emisiones consecuencia de las actividades de la organización, pero que ocurren en fuentes que son “propiedad de” o están controladas por otra organización) y **otras emisiones**.
- En el caso de la **Huella de Carbono de los materiales**, se ha aplicado un doble enfoque, siguiendo la propuesta desarrollada en el trabajo precedente sobre la huella hídrica, y que aplica la metodología básica de los modelos Input-Output, bajo el **enfoque de valor**, y las aproximaciones del Ciclo de Vida (LCI) bajo el **enfoque de peso**.
- Los resultados obtenidos apuntarían que la **Huella de Carbono del proceso productivo** superaría las **300 toneladas de CO2 equivalente** de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). De este total, las mayores emisiones provendrían del **consumo directo de combustibles en obra** (Alcance 1) con **106 toneladas**, seguida por el **transporte y distribución de materiales** (Alcance 3) con algo menos de **88 toneladas** y el **desplazamiento de trabajadores** (Alcance 3) con unas **80 toneladas** de CO2 equivalente.
- Respecto a la **Huella de Carbono de los materiales**, y al igual que en el estudio de la Huella Hídrica, **los resultados obtenidos por los dos procedimientos** utilizados resultan **bastante congruentes**, obteniéndose unos valores ligeramente inferiores en la aproximación de valor, con unas **5.447 toneladas** de CO2 equivalente, frente a un intervalo de la aproximación del ciclo de vida que oscila entre **5.739 toneladas**, utilizando los **valores mínimos** de los ratios de emisión de G.E.I. por unidad producida, y las **7.362 toneladas** que se obtendrían con los **valores máximos**.
- Los valores medios de esta **Huella de Carbono de los materiales** arrojarían unas emisiones totales de **6.508 Toneladas** de CO2 equivalentes y donde el **cemento** con el **43%** del total y el **acero** con el **31%**, serían los principales orígenes de estas emisiones.
- De forma conjunta la **Huella de Carbono total** de la promoción analizada ascendería a unas **6.809 toneladas de CO2 eq.**, lo que supone un valor medio de unos **441 Kg. de GEI de CO2 eq. por m2 construido**, valores que se aproximan bastante a la media de otros estudios similares consultados. Se pueden, por lo tanto, asumir estos valores como referencia en la construcción de edificios plurifamiliares.
- Con estos niveles totales de emisión, un automóvil medio podría dar más **4.400 vueltas** al diámetro terrestre, y para poder **compensarlas** durante un año sería equivalente al CO2 capturado por unos **13.600 árboles** adultos.
- Si, como puede comprobarse, materiales como el cemento y el acero acumulan más del 70% de la Huella de Carbono total, mientras que todas las actividades de construcción de forma conjunta representan únicamente el 4,4%, los intentos por **reducir esta Huella de Carbono** deberían focalizarse en aquellos elementos con mayor impacto en las emisiones, especialmente en los materiales de construcción.

- En esta línea, se han identificado diversas **iniciativas y propuestas para reducir estas externalidades ambientales** de la actividad constructora, entre las que podemos resaltar:
 - Incorporar en las ofertas o licitaciones, la posibilidad de ofertar madera certificada.
 - Utilizar hormigones compuestos a partir de áridos reciclados en lugar de utilizar áridos nuevos extraídos de canteras y cauces.
 - Fomento activo de la compraventa de todo tipo de subproductos y reciclados
 - Reutilizar los residuos de los materiales en la propia obra, evitando así su traslado a las plantas de tratamiento y reciclaje.
 - Mejoras en la planificación de los procesos, evitando los márgenes excesivos en la contratación de materiales.
 - Optimización de las rutas en el transporte de materiales, evitando consumos energéticos excesivos.
- De forma complementaria se pueden adoptar **medidas específicas para reducir las emisiones derivadas de los consumos energéticos** vinculados al proceso de construcción tales como:
 - Utilización de instalaciones de generación renovable (fotovoltaica, eólica, etc.) destinadas al consumo propio, de forma que se pueda cubrir así total o parcialmente la demanda de una obra u oficina.
 - Utilizando vehículos con combustibles alternativos, mejorando la eficiencia energética de los vehículos de transporte del personal y de los materiales de construcción.



1. Presentación

En 2019 se creó el **Observatorio UAM - VIA CELERE para la Sostenibilidad Ambiental de la Edificación Residencial** cuyo objetivo básico era la creación de un entorno continuado de análisis y reflexión multidisciplinar sobre las implicaciones de la actividad de construcción residencial sobre la sostenibilidad medioambiental, con el objetivo último de contribuir a la minimización de dicho impacto.

Este objetivo general se concretaba en un conjunto, inicialmente abierto, de actividades específicas entre las que se encontrarían las siguientes:

- Fomentar el desarrollo de proyectos específicos de investigación centrados en el análisis y la perspectiva del impacto ambiental de las actividades de construcción.
- Promover la creación de foros de debate que contribuyan a la acumulación y difusión del conocimiento sobre las implicaciones ambientales de la construcción residencial.
- Contribuir a la sensibilización social, tanto de los usuarios finales, como de los empresarios de la actividad inmobiliaria, con los objetivos genéricos de la sostenibilidad ambiental.

Los resultados del primer año de funcionamiento de este Observatorio se plasmaron en un **primer trabajo de cuantificación de la Huella Hídrica de una promoción residencial** tipo de las desarrolladas por Vía Célere, en este caso la realizada en el distrito de Villaverde (Madrid).

El éxito de esta primera iniciativa ha llevado a ambas instituciones a dar continuidad a los trabajos iniciados el pasado año, profundizando en las líneas básicas de actuación establecidas en ese primer estudio.

Una vez revisadas las diferentes alternativas se consideró que una opción viable sería la realización del cálculo de la Huella de Carbono de las promociones residenciales tomando como punto de referencia la misma promoción analizada en el estudio anterior lo que nos permitiría, por un lado, el aprovechamiento de la información detallada incluida en dicho informe y, por otro, mantener la homogeneidad y comparabilidad de los resultados obtenidos para su posible elevación al conjunto de promociones desarrolladas por Vía Célere.

Las emisiones de gases de efecto invernadero y su impacto sobre el calentamiento global es un tema recurrente en las agendas de científicos, políticos y economistas a lo largo de los últimos años.

Así, desde que la comunidad científica comenzó a alertar sobre los riesgos del cambio climático, hace más de 30 años, se empezaron a mantener diferentes reuniones internacionales empezando con la *Primera Cumbre para la Tierra*, celebrada en Estocolmo (Suecia) del 5 al 16 de junio de 1972, y que significó el comienzo del establecimiento y adopción de principios generales de conservación y mejora del medio humano, y el lanzamiento de una serie de recomendaciones para la acción medioambiental.

Tras esta primera cumbre, se han venido celebrado otras muchas reuniones internacionales, destacando el *Protocolo de Kioto* donde se establecieron obligaciones de reducción de emisiones

para los países industrializados, y la *Cumbre de París*, donde se reconoce la necesidad de que las emisiones globales toquen techo lo antes posible y se plantea como objetivo que el incremento de la temperatura media global no supere los 2°C.

A nivel nacional, para regular los objetivos planteados por las cumbres climáticas se han desarrollado distintas iniciativas, entre ellas la formación de la *Ley de Cambio Climático y Transición Energética* que será un marco normativo e institucional que facilite y oriente la descarbonización de la economía española a 2050, tal y como establece la UE y el compromiso adquirido mediante la firma del Acuerdo de París.

Junto a esta ley, el *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)*, está enfocado a la mejora de la eficiencia energética, la reducción de los gases de efecto invernadero y el fomento de energías renovables; ambas forman parte de los pilares esenciales para garantizar un marco estratégico estable en España.

De forma específica, la actividad de promoción residencial es uno de los focos de especial interés en la lucha contra el cambio climático al ser los edificios residenciales responsables, en promedio, de más de la mitad de las emisiones de G.E.I en las ciudades.

En este contexto son múltiples las iniciativas internacionales que promueven el desarrollo de una edificación más sostenible, tanto desde el ámbito de las autoridades municipales “The Net Zero Carbon Buildings Declaration” C40 Cities (<https://www.c40.org/other/net-zero-carbon-buildings-declaration>), como desde el ámbito empresarial *World Green Building Council* (<https://www.worldgbc.org/>), y que a nivel nacional tendría su reflejo en la Agenda Urbana Española (<http://www.aue.gob.es/>).

1.1. El proyecto de Huella de Carbono

El objetivo básico de este segundo proyecto integrado en las actividades del Observatorio UAM - Vía Célere es la estimación de la Huella de Carbono vinculada a una promoción residencial tipo, en este caso el desarrollado entre septiembre de 2016 y enero de 2018 en Villaverde (Madrid).

Una vez establecido este objetivo general es necesario delimitar con precisión el concepto de Huella de Carbono que se pretende estimar.

En términos generales, se entiende como **Huella de Carbono** “la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto por un individuo, organización, evento o producto”.

De esta forma podemos diferenciar entre:

- **Huella de Carbono de una organización.** Mide la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto provenientes del desarrollo de la actividad de dicha organización.
- **Huella de Carbono de producto.** Mide los GEI emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto: desde la extracción de las materias primas, pasando por el procesado, fabricación y distribución, hasta la etapa de uso y final de la vida útil (depósito, reutilización o reciclado).

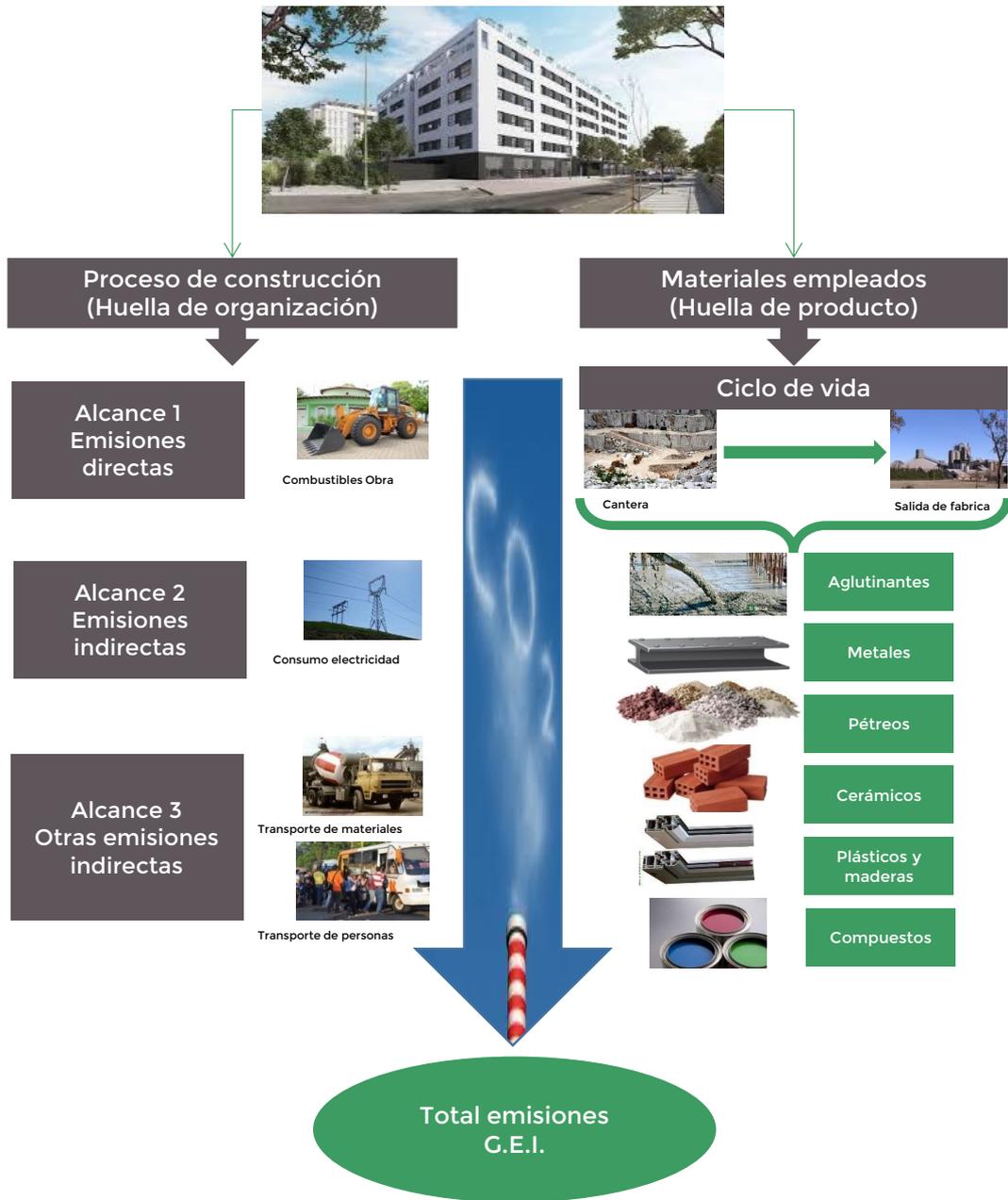
En el caso que nos ocupa, incluiremos ambos tipos de Huella de Carbono; es decir, por una parte calcularemos la **huella generada por la actividad de construcción** del residencial analizado (aplicando la metodología de la huella de la organización a dicha actividad de construcción) y por otro la **huella derivada de todos los materiales** incorporados (huella de producto).

Para el primer caso, huella de organización, aplicaremos la metodología estandarizada aconsejada por el Ministerio para la Transición Ecológica¹, mientras que para la huella de producto se empleará la aproximación del índice GWP (Global Warming Potential). Bhochhibhoya y otros (2017).

De forma esquemática, el conjunto de elementos de emisión contemplados quedaría recogido en la figura que presentamos a continuación.

Gráfico 1. Elementos de emisión considerados.

¹ Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf



Fuente: Elaboración propia

2. Metodología de cálculo de la Huella de Carbono

Se denomina como cambio climático a la modificación de los patrones de comportamiento del clima con relación a su evolución histórica en lo que afecta a parámetros climáticos básicos, como son la temperatura, precipitación, etc. Sus causas pueden ser de origen natural (por ejemplo, derivadas de la mayor actividad solar) o de carácter antropogénico.

El efecto invernadero es un fenómeno de origen natural y necesario para la vida en el planeta tierra. Las capas superiores de la atmósfera están formadas por gases (que se describen más abajo, aunque principalmente se trata de dióxido de carbono, CO₂) que se denominan “gases de efecto invernadero” (en adelante, GEI), que absorben parte de la energía emitida por el suelo después de haberse calentado por la radiación solar. Sin este efecto, las temperaturas en la superficie de la tierra serían de unos -30° C menores, impidiendo la vida tal y cómo la conocemos.

Pero, como consecuencia esencialmente del elevado consumo de combustibles de origen fósil y de la industrialización, la situación actual de nuestro planeta dista mucho de la que, en condiciones naturales, debería de ser. Actualmente se calcula que el nivel de concentraciones de GEI, medida en dióxido de carbono, ha llegado a 412 partes por millones (ppm), el doble de los niveles que tenía nuestro planeta antes de la época preindustrial, con un aumento continuado desde entonces (por ejemplo, los niveles de CO₂ se situaban en 358 ppm hace 25 años). Se estima que estos cambios han provocado un incremento en la temperatura planetaria de orden de 0.5° C, y resultará en un calentamiento adicional de 0.5° C, o tal vez más, durante las próximas décadas.

Los gases que se indican en el Protocolo de Kioto como máximos responsables del efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global, los denominados Gases de Efecto Invernadero (G.E.I.) y su contribución por contaminante a nivel mundial en al año 2015, fueron:

1. Dióxido de carbono (CO ₂)	(81,2%)
2. Metano (CH ₄)	(10,5%)
3. Óxido de nitrógeno (N ₂ O)	(5,5%)
4. Hidrofluorocarbonos (HFCs)	(2,5%)
5. Perfluorocarbonos (PFCs)	(menos de 0,2%)
6. Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	(menos de 0,2%)
7. Trifluoruro de nitrógeno (NF ₃)	(menos de 0,2%)

Como vemos, el CO₂ es el GEI que influye en mayor medida en el calentamiento del planeta y es por ello que las emisiones de GEI se miden en función de este gas: el término kilogramos o tonelada de CO₂ eq es la unidad estándar utilizada para exponer los resultados en cuanto a emisiones de GEI.

Tal como señalan algunos organismos internacionales, las **actividades de construcción** son uno de los principales focos de estas emisiones. Así, en 2014 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) indicó que los edificios emiten de manera directa un 6.4% de los gases de efecto invernadero y de manera indirecta un 12% del total de emisiones de CO₂. (IPCC, 2014). Por otro lado, la

Agencia Internacional de la Energía apunta que la energía incorporada y las emisiones de Gases de efecto invernadero debidas a la construcción de edificios y obras de ingeniería civil representan el 20% del consumo total de energía y de las emisiones de GEI en el mundo. Las cifras son aproximadamente del 5 al 10% del consumo total de energía en los países desarrollados y del 10 al 30% en los países en desarrollo. Aunque las cifras varían mucho según el país y la región, la reducción de la energía incorporada y de las emisiones de Gases de efecto invernadero puede tener un efecto enorme en la reducción del consumo mundial de energía y de las emisiones de Gases de efecto invernadero (Seongwon et al., 2016).

Investigaciones realizadas durante el año 2005 revelan, que la construcción de viviendas en España habría supuesto la emisión de cerca de tres cuartos de tonelada de CO₂ por cada español, incluyendo, tanto la fabricación de los materiales que las conforman, como las emisiones derivadas del uso de la energía en las viviendas, y que, en conjunto, supondrían casi un 20% del total de las emisiones producidas en España (Mercader, Arellano, & Olivares, 2012).

Se entiende como **Huella de Carbono** “la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto por un individuo, organización, evento o producto”.

- Huella de Carbono de una **organización**. Mide la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto provenientes del desarrollo de la actividad de dicha organización.
- Huella de Carbono de **producto**. Mide los GEI emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto: desde la extracción de las materias primas, pasando por el procesado y fabricación y distribución, hasta la etapa de uso y final de la vida útil (depósito, reutilización o reciclado).

El análisis de Huella de Carbono proporciona como resultado un dato que puede ser utilizado como indicador ambiental global de la actividad que desarrolla la organización, configurándose así como el punto de referencia básico para el inicio de actuaciones de reducción de consumo de energía y para la utilización de recursos y materiales con mejor comportamiento medioambiental.

A continuación se presentan, sin ánimo de exhaustividad, las normas y metodologías de mayor reconocimiento internacional usadas para calcular la Huella de Carbono de organizaciones.

- *Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol)*. Desarrollado por World Resources Institute y World Business Council for Sustainable Development, es uno de los protocolos más utilizados a escala internacional para cuantificar y gestionar las emisiones de GEI.

<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

- *UNE-ISO 14064-1*. De acuerdo con el GHG Protocol se desarrolla en 2006 esta norma ISO que se estructura en 3 partes. La 14064-1 especifica los principios y requisitos, a nivel de organización, para la cuantificación y el informe de emisiones y remociones de GEI. La ISO 14064-2 se dirige a proyectos sobre GEI específicamente diseñados para reducir las emisiones de GEI o aumentar la remoción de GEI y la ISO 14064-3 se dirige a la validación y la verificación de los GEI declarados.

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049142>

- *UNE-ISO 14065 (2012)*. 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.

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049128>

- *UNE-ISO 14069 (2013). Cuantificación e informe de GEI para organizaciones. Constituye la guía para la aplicación de la ISO 14064-1.*

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0054771>

- *IPCC 2006 GHG Workbook. Una completa guía para calcular GEI provenientes de diferentes fuentes y sectores, y que incluye una detallada lista de factores de emisión. Esta guía se creó con el fin de servir de orientación para cuantificar las emisiones de GEI de los inventarios nacionales, pero puede ser de gran utilidad a la hora de calcular la Huella de Carbono de las organizaciones. Si no se dispone de factores de emisión específicos, el IPCC 2006 GHG Workbook proporciona factores de emisión genéricos que pueden servir para calcular la HC de una organización.*

https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf

- *Bilan Carbone. La Agence d l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Agencia Francesa del Medio Ambiente y Gestión de la Energía), elaboró e implementó a partir de 2004 esta herramienta metodológica dedicada a la medición de emisiones de GEI. Se basa en los contenidos de GHG Protocol e ISO 14064.*

<https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/Bilan-Carbone>

- *Indicadores GRI (Global Reporting Initiative). Iniciativa internacional en la que participan entidades de diversos ámbitos, incluyendo empresas, gobiernos y diferentes organizaciones civiles. Su objetivo es establecer un marco de trabajo común a nivel mundial, con un lenguaje uniforme y parámetros comunes que sirvan para comunicar de una forma clara y transparente las cuestiones relacionadas con la sostenibilidad a través de las denominadas "Memorias de Sostenibilidad". Las mencionadas Memorias comprenden información de diversa índole entre la que se encuentran los "Indicadores de desempeño", que permiten disponer de información comparable respecto al desempeño económico, ambiental y social de la organización.*

<https://www.globalreporting.org/Pages/default.aspx>

- *Recomendación de la comisión de 9 de abril de 2013 sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida (2013/179/UE).*

<https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/93cb8358-b80d-11e2-ab01-01aa75ed71a1/language-es>

- *ISAE 3410, norma internacional aprobada por el Consejo de Normas Internacionales de Auditoría y Aseguramiento (IAASB) en marzo de 2012 sobre Contratos de Aseguramiento de Informes de Gases de Efecto Invernadero.*

<https://www.iaasb.org/publications/glance-international-standard-assurance-engagements-isa-3410-assurance-engagements-greenhouse-gas>

2.1. Huella del proceso de construcción

Tal como se recoge en la “Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización” elaborada por el Ministerio para la Transición Ecológica, las emisiones asociadas a las operaciones de una organización, o un proceso, en nuestro caso la construcción de la promoción inmobiliaria analizada, se pueden clasificar como emisiones directas o indirectas:

- **Emisiones directas** de GEI: son emisiones de fuentes que son “propiedad de” o están controladas por la organización.
- **Emisiones indirectas** de GEI: son emisiones consecuencia de las actividades de la organización, pero que ocurren en fuentes que son “propiedad de” o están controladas por otra organización.

Al referirnos a la Huella de Carbono de una organización o de un proceso y a las fuentes emisoras que se analizan en su cálculo, utilizamos el término “Alcance”:

- **Alcance 1:** emisiones directas de GEI. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad de o están controladas por la entidad en cuestión. También incluye las emisiones fugitivas (p.ej. fugas de aire acondicionado, fugas de CH₄ de conductos, etc.).
- **Alcance 2:** emisiones indirectas de GEI asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización o el proceso.
- **Alcance 3:** otras emisiones indirectas. Algunos ejemplos de actividades de alcance 3 son los viajes de trabajo a través de medios externos o el transporte de materias primas, de combustibles y de productos realizados por terceros.

La Huella de Carbono que genera cada fuente de emisión es el resultado del producto del dato de consumo (dato de actividad) por su correspondiente factor de emisión:

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

Donde:

- El **dato de actividad** es el parámetro que define el grado, o nivel, de la actividad generadora de las emisiones de GEI. Por ejemplo, la cantidad de gas natural utilizado en la calefacción (kWh de gas natural).
- El **factor de emisión** supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Estos factores varían en función de la actividad que se trate. Por ejemplo, en relación a la actividad descrita anteriormente (consumo de gas natural para la calefacción), el factor de emisión en España para el año 2017 sería 0,202 kg CO₂ eq/kWh de gas natural.

Para el caso concreto de la estimación de la Huella de Carbono generada en el desarrollo de la promoción residencial analizada se han considerado de forma explícita las siguientes fuentes de emisión y datos de actividad.

Tabla 1. Factores de emisión consideradas en el proceso de construcción

Alcance	Emisiones	Dato de actividad
1. Emisiones Directas	Consumo de combustibles fósiles en instalaciones fijas	Litros de gasoil consumidos en obra
2. Emisiones indirectas	Generación de electricidad de origen externo	kWh de electricidad consumida
3. Otras emisiones indirectas	Transporte y distribución de la fase de aguas arriba (materiales de construcción)	Litros de gasoil consumidos en el transporte de materiales
	Transporte de los residuos generados en las operaciones	Litros de gasoil consumidos en el transporte de residuos
	Desplazamientos de los empleados	Litros de gasolina y gasoil empleados en el desplazamiento.

Fuente: Elaboración propia

2.2. Huella de los materiales

Para la estimación de la Huella de Carbono generada por los materiales de construcción empleados en la promoción residencial analizada se ha utilizado la metodología del **análisis del ciclo de vida** (ACV o LCA Life Cycle Assessment) prevista en la norma ISO 14040-14044. (Consoli et al 1993);(ISO 14044, 2006); (ISO 14040, 2006).

Esta aproximación metodológica es ampliamente reconocida para determinar la huella ecológica de un producto o servicio ya que permite identificar puntos clave para reducir los impactos ambientales y optimizar el uso de recursos a lo largo del ciclo de vida de las actividades relacionadas. <https://www.lavola.com/es/tag/analisis-del-ciclo-de-vida/>

Para la medición de la Huella de Carbono de cada uno de los materiales se utilizará el Índice GWP (Global Warming Potential) para un horizonte temporal de 100 años de referencia y que se emplea habitualmente para transformar los gases de efecto invernadero en toneladas equivalentes de CO₂. Este índice se aplicó por primera vez en el Protocolo de Kioto para conseguir una mejor comparativa entre los diferentes estudios publicados.

De esta forma la **Huella de Carbono (HC)** generada por los diferentes materiales de construcción utilizados se obtendría agregando el producto de cantidad de materiales utilizados (Material_x) por el índice de emisión específico de cada uno de ellos GWP100_x.

$$HC = \sum(\text{Material}_x * \text{GWP100}_x)$$

Siendo HC: la Huella de Carbono generada por la construcción, Material_x: la cantidad en kilogramos del material utilizado para la construcción y GWP100_x la emisión de kilogramos de CO₂eq por cada unidad del material de la construcción x.

Los resultados del inventario de materiales se han obtenido del estudio previo realizado para la estimación de la huella hídrica y donde, tras un detallado análisis de más de 5.900 albaranes de compra directa de materiales y unas 3.500 facturas de proveedores, y la aplicación de una serie de cálculos específicos para determinados materiales compuestos, se identificaron un conjunto de 32 materiales diferentes agrupados en 8 grandes categorías y cuyo detalle se recoge en la tabla que presentamos a continuación.

Tabla 2. Clasificación de los principales flujos físicos de materiales

Grupo	Material
Pétreos	Arena/Grava
	Piedra
Aglutinantes	Cemento
	Yeso
	Yeso laminado (Pladur)
	Prefabricados Hormigón
Agua (litros)	Asfalto
	Agua indirecta
Cerámicos	Agua directa
	Baldosas
	Ladrillos
	Porcelana
	Vidrio
Metales	Lana mineral
	Acero
	Aluminio
	Cobre
Maderas	Maderas
Compuestos	Colas
	Pinturas
	Gasóleo B
	Polímero Sílice
Plásticos	Silicona
	Poliuretano
	Poliestireno
	Polietileno
	EPDM
	Neopreno
	PVC
	Melamina
	Vinilo
Otros	
Caucho	Caucho

Fuente: Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Febrero 2019.

El índice de emisiones correspondiente de cada material ha sido extraído a través de la base de datos **Ecoinvent**, desarrollada por el Centro Suizo de Inventarios del Ciclo de Vida y cuya misión es promover la utilización y las buenas prácticas de análisis del ciclo de vida mediante el suministro de datos.

Ecoinvent recopila alrededor de 17.000 conjuntos de datos del inventario del ciclo de vida de productos en muchas áreas, especializados en material de construcción, madera y tratamiento de residuos. (B & C, 2013)

En el caso de la estimación de la Huella de Carbono de los materiales empleados en la promoción residencial analizada se ha utilizado, como adelantábamos, el **Índice GWP** (Global Warming Potential) para un horizonte temporal de 100 años de referencia y estimado mediante el procedimiento de “*Allocation at the point of substitution*”, que es el empleado habitualmente para transformar los gases de efecto invernadero en toneladas equivalentes de CO₂.

Esta medida se deriva del estudio realizado por IPCC 2013, como actualización del trabajo previo del IPCC 2007 desarrollado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

De las diferentes medidas alternativas ofrecidas en la citada base de datos² se han utilizado las correspondientes al promedio global (GLO en la denominación Ecoinvent) y que se obtienen a partir de las estimaciones realizadas en función de la información muestral disponible para diferentes países y su elevación para el conjunto de la producción mundial de cada material³.

Adicionalmente, para algunos materiales básicos, como el acero, aluminio, cobre, arenas, piedra, baldosas, ladrillos, porcelánicos, vidrios, etc. la base de datos ofrece distintas variantes, por lo que, a efectos de cálculo se ha utilizado la media simple, junto con los valores máximos y mínimos con el fin de delimitar un cierto intervalo de emisiones.

Siguiendo la propuesta metodológica desarrollada en el informe previo sobre la Huella Hídrica de las promociones residenciales de Vía Célere, y en paralelo con esta primera aproximación, que podemos denominar como “Enfoque de Valor” según la terminología acuñada en dicho estudio, se ha realizado también una estimación de la Huella de Carbono mediante el “Enfoque de Valor”, y donde, en lugar de utilizar los flujos físicos de materiales se utilizan los flujos monetarios, adquiridos a los diferentes proveedores, clasificados por ramas de actividad de acuerdo sus códigos CNAE.

De acuerdo con este planteamiento, el total de emisiones de G.E.I. generadas a lo largo del proceso productivo sería la suma de las emisiones generadas por los proveedores directos de bienes y servicios más el consumo realizado por el resto del sistema productivo para abastecer la demanda de inputs productivos de dichos proveedores.

Los datos iniciales de la producción realizada por los proveedores se obtiene de los registros facilitados por Vía Célere, mientras que para la estimación de los efectos de arrastre sobre el resto del sistema

2 Base de datos Ecoinvent v.3.8

3 Ciroth y otros (2012) y Ecoinvent. What is the Rest-of-the-World (RoW) and how is it calculated? <https://www.ecoinvent.org/support/faqs/methodology-of-ecoinvent-3/what-is-the-rest-of-the-world-row-and-how-is-it-calculated.html>

productivo se ha empleado la aproximación clásica derivada del modelo implícito en una Tabla Input-Output (Pulido y Fontela, 1993) y que nos permite obtener el efecto total generado sobre el conjunto del sistema económico X, medido en términos de producción, partiendo de una demanda inicial w, que denominaremos vector de impacto, y de las correspondientes matrices de coeficientes técnicos A, que recogen los requerimientos unitarios de consumos intermedios por cada unidad producida y utilizando una expresión general del tipo:

$$X=[I-A]^{-1}*w$$

En el caso que nos ocupa el vector de impacto W estará formado por el valor de la producción facturada por los proveedores, mientras que para las matrices de coeficientes técnicos A utilizaremos, por un lado, los coeficientes técnicos totales, que incluyen tanto los inputs adquiridos a productores nacionales como a productores del resto del mundo, como los interiores, donde únicamente se recoge los consumos intermedios adquiridos a productores nacionales.

De esta forma, aplicando el modelo de Leontief con los coeficientes totales se obtendría el valor total de la producción XT requerida de cada una de las ramas de actividad con origen, tanto en el territorio nacional como en el resto del mundo, necesaria para generar la facturación de los proveedores W.

Aplicando de nuevo, ese mismo modelo con los coeficientes técnicos interiores, se obtendría la producción generada dentro del territorio nacional XN.

Finalmente, descontando de esta producción total nacional, la realizada directamente por los proveedores, se obtendría el valor de la producción indirecta nacional, mientras que por diferencia entre la producción total y la nacional se obtendría la producción indirecta generada en el resto del mundo.

Producción indirecta nacional: PIN = XN-W

Producción indirecta resto del mundo: PIR = XT- XN

Una vez cuantificados estos niveles de producción en cada una de las ramas de actividad, tanto nacionales como internacionales, se han calculado las emisiones totales de G.E.I. aplicando los coeficientes específicos de emisión por cada millón de producción realizada.

$$\text{Emisiones Totales} = \sum_s \text{Producción}_s * \text{Coeficiente de Emisión}_s$$

Para el caso nacional los coeficientes de emisión para cada rama productiva se han obtenido a partir de los datos de las **Cuentas de emisiones a la atmósfera por ramas de actividad (CNAE 2009)** elaboradas por el INE, y la producción total en cada una de esta ramas, en el año 2015 (referencia de la TIO simétrica del INE).

$$\text{Coeficiente de Emisión}_s (\text{Tn CO}_2/\text{Mill.€}) = \text{Emisiones GEI}_s (\text{Toneladas})/\text{Producción}_s (\text{Mill.€})$$

El total de emisiones G.E.I. se ha obtenido por agregación de los siguientes componentes:

CO₂ - Dióxido de carbono (toneladas)

CH₄ - Metano (toneladas)

N₂O - Óxido nitroso (toneladas)

SO₂ - Dióxido de azufre (toneladas)

NH₃ - Amoníaco (toneladas)

CO - Monóxido de carbono (toneladas)

PM₁₀ - Partículas de diámetro menor o igual a 10 µm (toneladas)

PM_{2.5} - Partículas de diámetro menor o igual a 2,5 µm (toneladas)

Para las emisiones generadas por la producción importada se han utilizado los coeficientes calculados a partir de la base de datos **EXIOBASE** (Tuker et al. 2013 y Wood, et al. 2015), un proyecto colaborativo desarrollado por un consorcio en el que se integran la Norwegian University of Science and Technology, Netherlands Organization for Applied Scientific Research, The Sustainable Europe Research Institute (SERI), The Institute of Environmental Sciences (CML) at the Faculty of Science of Universiteit Leiden, the Institute for Ecological Economics at the Vienna University of Economics and Business y 2.-0 LCA Consultants.

Esta base de datos está estructurada en términos de matrices input-output multirregionales, recogiendo, por tanto, las interacciones entre las ramas productivas de las diferentes economías y extendida con amplio número de variables físicas de consumo de recursos y externalidades medioambientales.

De forma específica esta base de datos detalla información para 43 países más cinco agregados para el resto del mundo, con detalle de 200 productos, 163 ramas de actividad, 15 tipos de usos de la tierra, 48 tipos de materias primas, y 172 tipos de usos de agua.

Las emisiones de G.E.I. están diferenciadas en las mismas categorías que en el INE calculándose los coeficientes específicos de cada rama y país mediante una expresión similar a la utilizada para los datos españoles.

A efectos prácticos se ha tomado como referencia internacional la mediana de los coeficientes específicos de los 48 países y agregados contemplados en EXIOBASE y que se detalla en el apartado siguiente.

3. Las emisiones de G.E.I en España

Una vez planteado el objetivo general a cubrir y revisada la metodología básica de cálculo de la Huella de Carbono consideramos que es necesario dimensionar el problema a analizar realizando un breve resumen de la situación actual y la evolución reciente de las emisiones de G.E.I. en España en base a los datos publicados por el INE en el contexto de la Cuentas Ambientales en el apartado de las Cuentas de Emisiones a la Atmósfera.

Tal como recoge el propio INE, “La **Contabilidad Medioambiental (CMA)** es una operación estadística de síntesis cuyo objetivo general es la integración de la información medioambiental en el sistema central de Cuentas Nacionales, siguiendo la metodología del Sistema de Contabilidad Económica y Ambiental desarrollado por Naciones Unidas (SEEA), que constituye el marco conceptual de la CMA”

“Las **Cuentas de emisiones a la atmósfera** recogen y presentan los datos sobre las emisiones contaminantes a la atmósfera, de manera compatible con el Sistema de Cuentas Nacionales, registrando los agentes emisores desagregados por ramas de actividad económica y sector Hogares como consumidores finales”

“Las estimaciones de las Cuentas de emisiones a la atmósfera se realizan a partir de los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera, elaborados por el Ministerio de Transición Ecológica (<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/>), que utilizan la metodología IPCC y EMEP/EEA, con la nomenclatura NFR/CRF (Nomenclature for Reporting/Common Reporting Format), que agrupa las emisiones en sectores, categorías y subcategorías” INE. Informe metodológico estandarizado

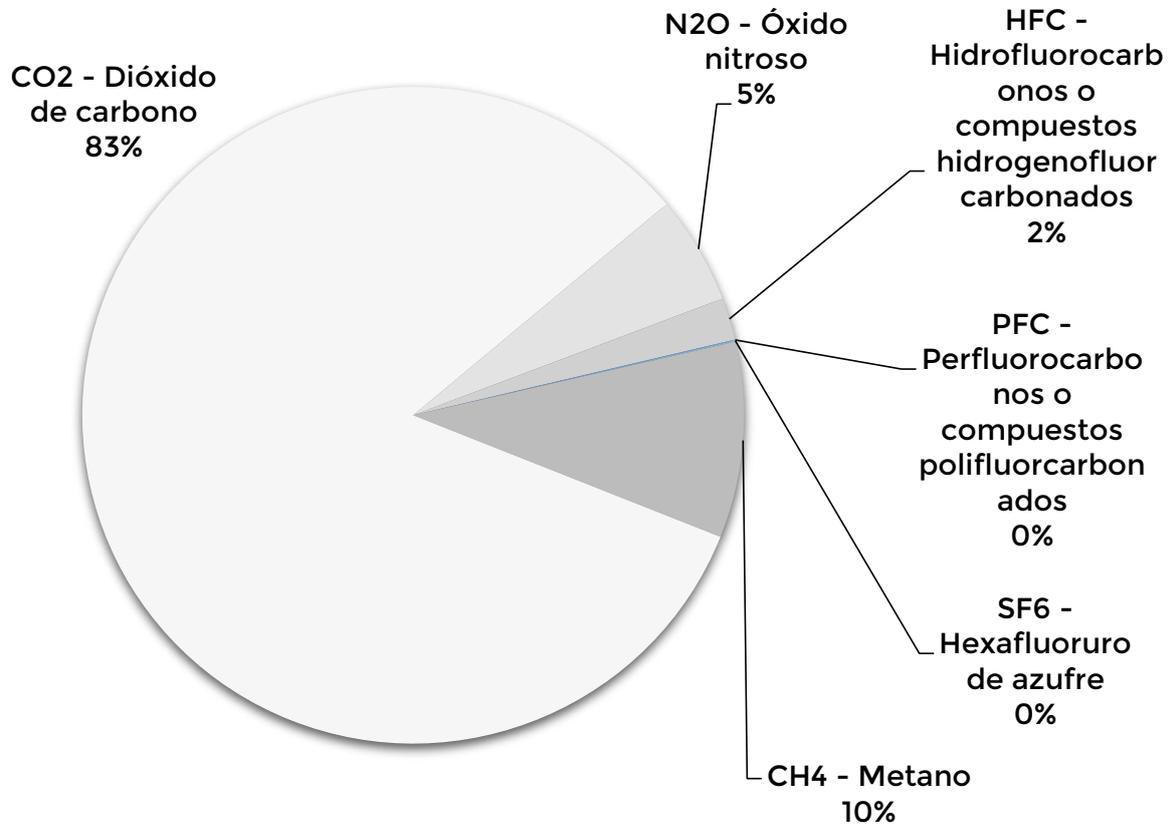
(<https://www.ine.es/dynt3/metadatos/es/RespuestaDatos.html?oe=30084>)

Tal como se recoge en el gráfico que presentamos a continuación, durante el último año para el que se dispone de datos definitivos, en España se emitieron cerca de 341 millones de toneladas equivalentes de CO₂, lo que supone unas 7,3 toneladas por habitante y año.

De este total e G.E.I. la gran mayoría (83%) corresponde a CO₂, seguido por el Metano (10%) y el Óxido nítrico (5%).

Gráfico 2. Emisiones totales de G.E.I. en España. 2017

Total gases de efecto invernadero 348.783 Miles de Tn.CO2 eq.



Fuente: Elaboración propia con datos de las Cuentas Ambientales del INE. Enero 2020

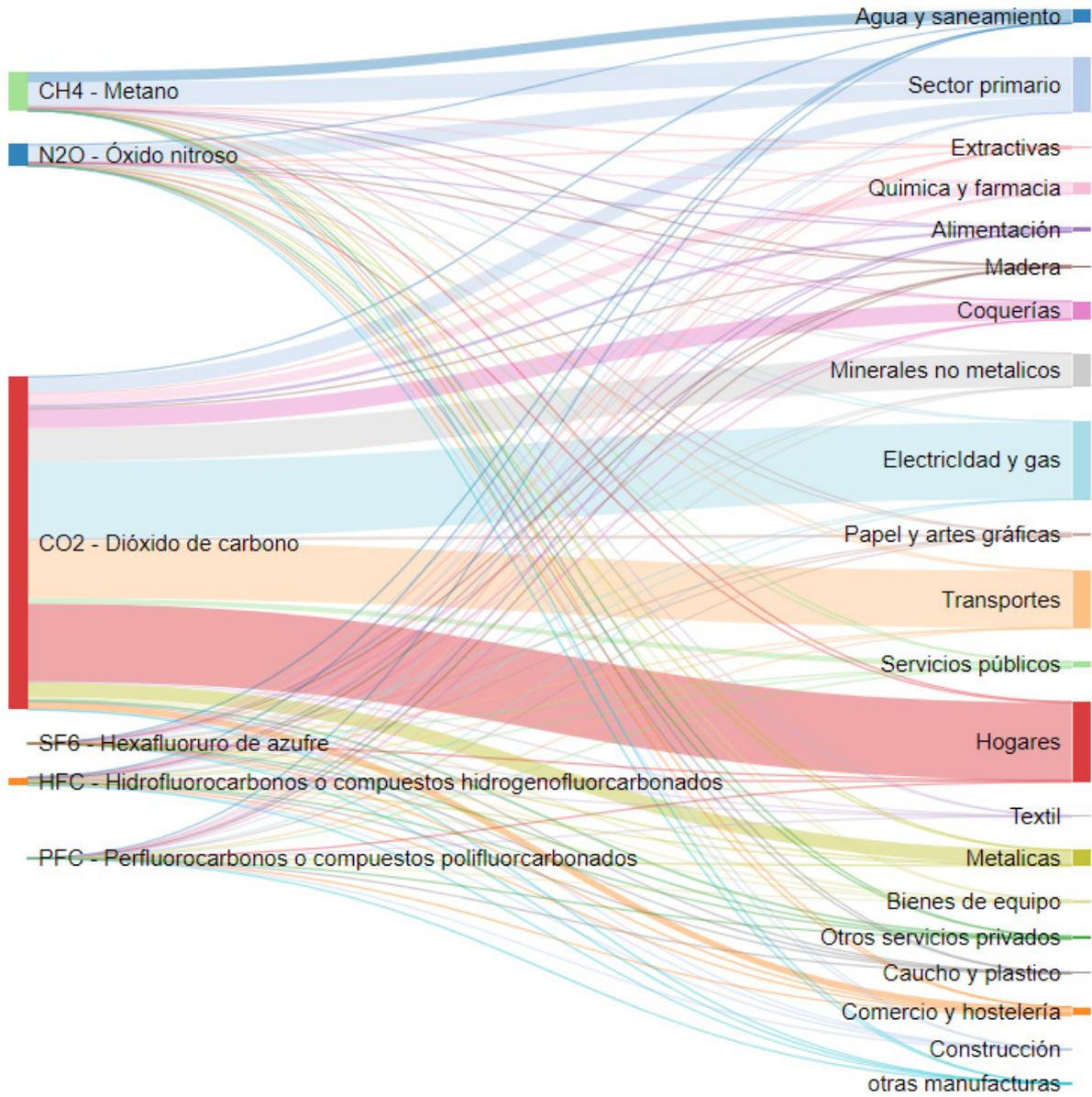
Considerando las diferentes tipologías de G.E.I. emitidas por las distintas actividades económicas, podemos ver como son las emisiones de CO2 de los hogares (Transporte privado), junto con la producción de energía eléctrica las principales fuentes de emisión de CO2, con el 20,2 y el 17,0% respectivamente del total de emisiones.

Tras estas se situarían las emisiones de CO2 de los servicios de transporte con el 14,9% y las generadas por las industrias de minerales no metálicos (materiales de construcción) con el 8,7% del total.

Al margen del CO2, los flujos más relevantes del resto de G.E.I. serían el Metano (6,2%) y el Óxido nitroso (4,2%) generado por el sector primario, y el metano que se genera en las actividades de agua y saneamiento (2,6%).

Respecto a la actividad de construcción, las emisiones totales de G.E.I. apenas suponen el 0,19% del total, siendo las emisiones de CO2 y los HFC las principales tipologías de emisión. De hecho, las mayores aportaciones relativas se sitúan en estos HFC, donde se alcanza el 2,7% del total de esta tipología.

Gráfico 3. Origen de las emisiones de G.E.I.



Fuente: Elaboración propia

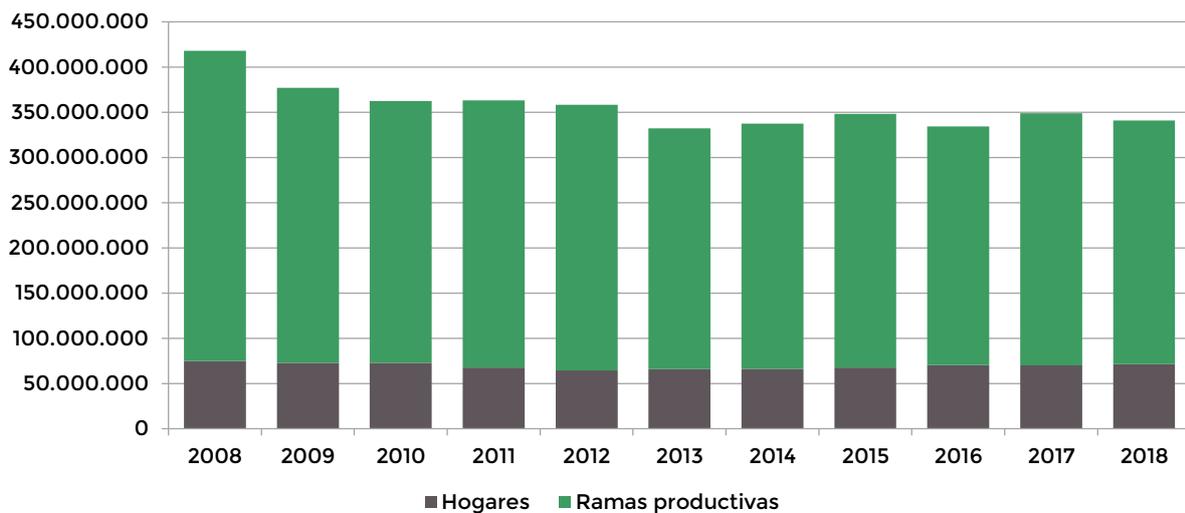
3.1. Evolución de las emisiones.

Una vez presentadas las principales cifras de las emisiones generales más recientes consideramos que puede ser interesante analizar la evolución experimentada por las mismas durante los últimos periodos, centrándonos en las emisiones totales vinculadas con la actividad económica y las generadas en los hogares.

Así, tal como puede comprobarse en el gráfico que presentamos a continuación, las emisiones totales de G.E.I. se habrían reducido durante los últimos 10 años en algo menos de un 20%, si bien esta reducción habría sido bastante más intensa en las emisiones generadas por las actividades productivas (-22%) que en los hogares (-5%).

De hecho, mientras que las emisiones vinculadas a la actividad productiva se habrían ido reduciendo, casi de forma sistemática, a lo largo de todo el periodo, en el caso de los hogares se registra un cierto cambio de tendencia a partir del año 2012, dónde se alcanzó un mínimo de emisiones, y con aumento relativo durante los años posteriores hasta situarse en 2018 más de un 10% por encima de dichos valores mínimos.

Gráfico 4. Emisiones de G.E.I. Toneladas

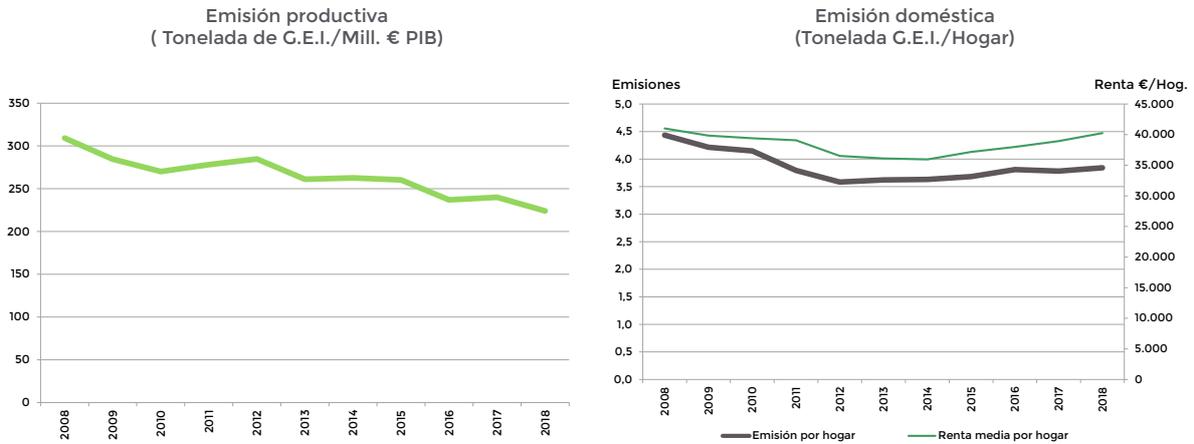


Fuente: Elaboración propia con datos de las Cuentas Ambientales del INE

Este progresivo descenso de las emisiones generadas por las actividades económicas habría venido inducido por una mayor eficiencia relativa en el sistema productivo y la progresiva adopción de tecnologías productivas más “limpias”, tal como se aprecia en la evolución de las emisiones relativas por millón de PIB que se recogen a continuación y que muestran una reducción media superior al 3% anual.

Por el contrario, en el caso de los hogares, el consumo medio por hogar, que se habría ido reduciendo sistemáticamente hasta el año 2012, retomó una tendencia creciente, que se ha mantenido durante los últimos años y que habría venido inducida por una recuperación de la renta disponible media de los hogares, que muy recientemente habría recuperado los niveles perdidos durante la crisis.

Gráfico 5. Emisiones relativas de G.E.I.



Fuente: Elaboración propia

Esta tendencia de reducción de los coeficientes de emisión por unidad producida que se aprecia para el conjunto de la actividad económica no es un fenómeno generalizado entre las diferentes ramas de actividad.

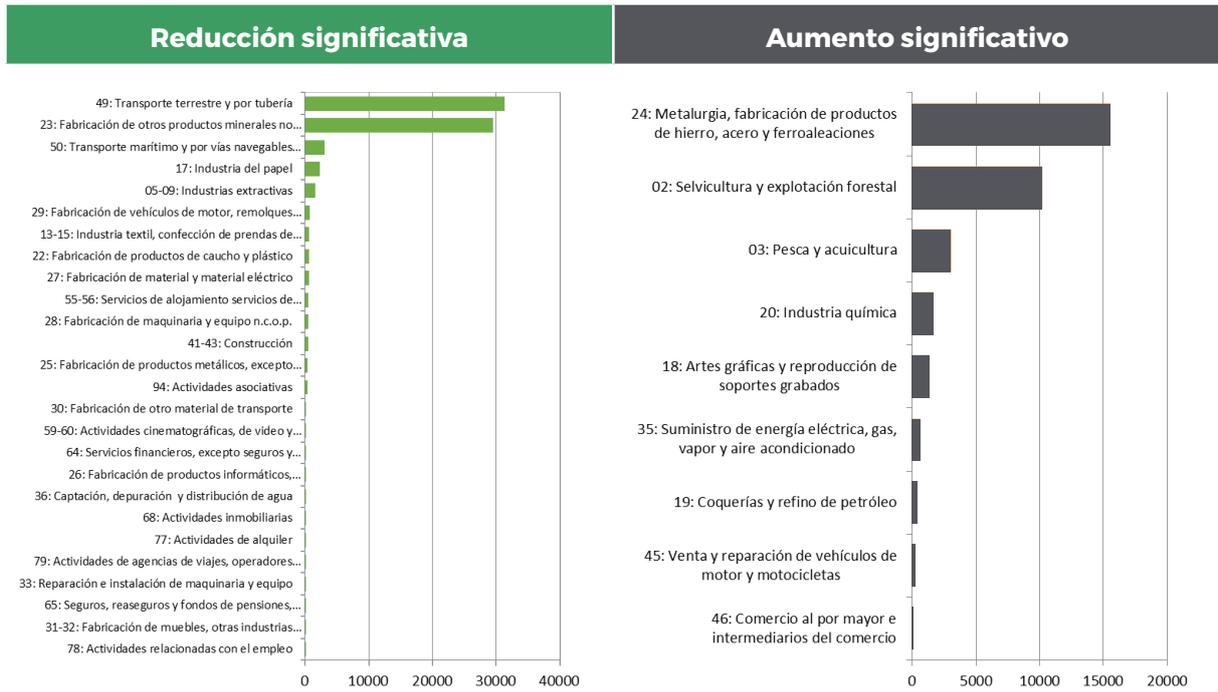
Así, de las 64 actividades para las que se dispone de información únicamente en 34 de ellas se contrasta la existencia de una tendencia decreciente estadísticamente significativa, mientras que en otras 22 actividades los resultados no son significativos, es decir que no se podría confirmar que exista una tendencia clara de contención de emisiones. Adicionalmente, otras 8 ramas de actividad presenta el comportamiento inverso, es decir, que mantienen una tendencia estadísticamente significativa de aumento de las emisiones.

Entre las actividades con reducción de emisiones destacan por su impacto sobre el total, el suministro de energía eléctrica, el transporte terrestre y las industrias de minerales no metálicos y la metalurgia, que serían los principales productores de materiales de construcción.

En el sentido contrario, el transporte aéreo, la agricultura, la industria alimentaria o la textil, serían las actividades con mayor impacto de entre las que presentan una tendencia creciente en sus coeficientes de emisión, si bien ninguna de ellas tiene una incidencia significativa sobre la actividad constructora.

De forma directa, las actividades de construcción, en su conjunto, presentarían una tendencia significativa de reducción de sus coeficientes de emisión, en toda la tipología de G.E.I. excepto en CH₄ Metano y SO₂ Dióxido de azufre; mientras que en NH₃, no presentaría ninguna tendencia contrastable.

Gráfico 6. Tendencias en los coeficientes de emisión.2008-2018



Fuente: Elaboración propia

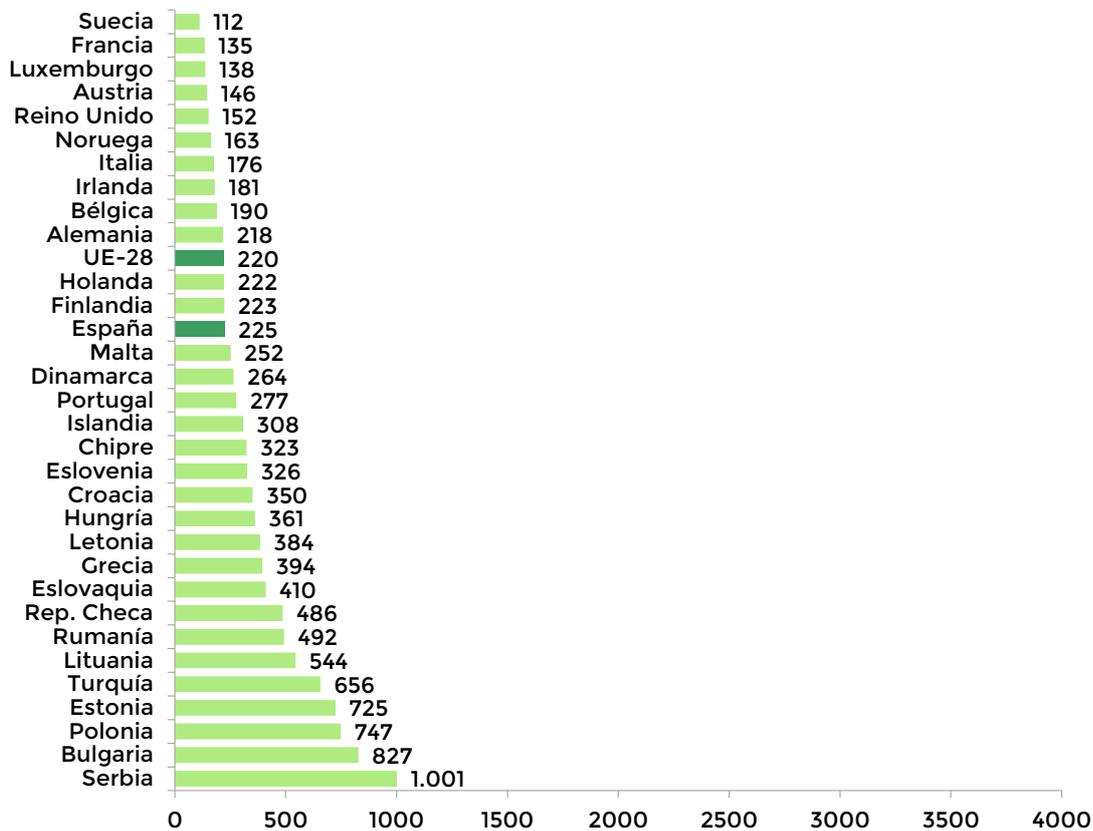
3.2. Comparativa internacional

En la misma línea, consideramos que es interesante ofrecer algunas referencias comparativas en términos de las emisiones de GEI a nivel internacional.

Así, utilizando los datos ofrecidos por EUROSTAT se han calculado los ratios relativos de emisiones de CO2 en relación con el PIB, así como las emisiones medias por hogar para el año 2018, obteniéndose los resultados que se ilustran a continuación.

Respecto a las emisiones medias en relación con los niveles de producción (PIB) y tal como se recoge en el gráfico que presentamos a continuación, las diferencias por países son muy abultadas, hasta el punto de que las emisiones de G.E.I. por millón de euros de PIB en Serbia son casi 9 veces superiores a las de Suecia.

Gráfico 7. Emisiones de G.E.I. Toneladas de CO2 eq. por millón de € de PIB.(2018)

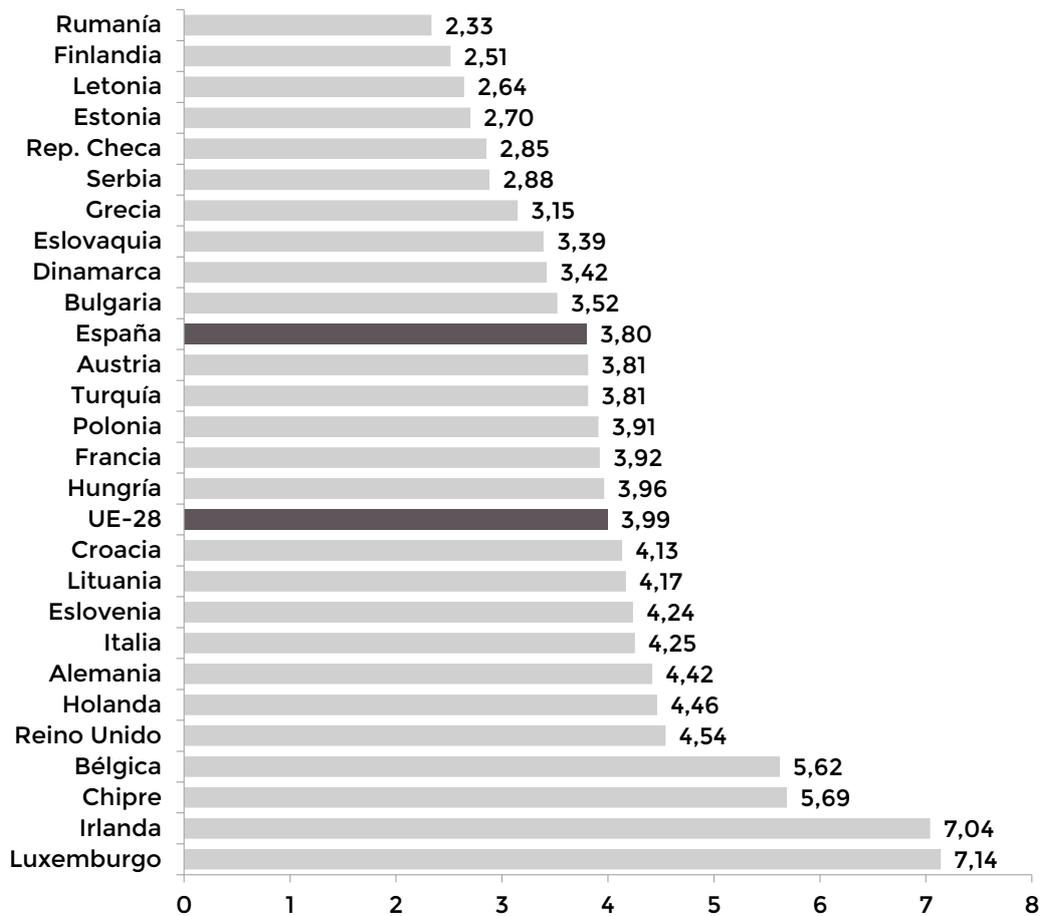


Fuente: Elaboración propia

Nuestro país se encuentra en una posición intermedia con unos coeficientes de emisión ligeramente superiores a los del conjunto de la UE-28 y situándose por encima de la mayoría de economías más avanzadas (UE-15), excepto Dinamarca y Portugal y Grecia.

Con respecto a las emisiones medias por hogar, y tal como se recoge en el gráfico que presentamos a continuación, las diferencias son mucho menos acusadas, aunque el intervalo total recorre un rango desde las 2,3 toneladas de Rumanía, hasta más de 7 en Irlanda o Luxemburgo.

Gráfico 8. Emisiones de G.E.I. Toneladas por hogar.(2018)



Fuente: Elaboración propia

En este caso, nuestro país ocupa igualmente una posición intermedia, con menores niveles de emisión que la media de la UE-28, superado únicamente a Dinamarca, Grecia y Finlandia, entre las economías más avanzadas.

3.3. Comparativa internacional por ramas de actividad.

Tal como adelantábamos en el apartado anterior las emisiones medias por unidad producida varían significativamente entre las diferentes economías; ya que las distintas actividades, o ramas productivas, tienen unos coeficientes específicos sensiblemente diferentes.

Tomando como referencia homogénea los datos ofrecidos por EXIOBASE y realizando una agregación a las 64 ramas de actividad recogidas en la última Tabla Input-Output elaborada por el INE para la economía española en el año 2015, podemos calcular unos coeficientes medios de emisiones de G.E.I. por cada millón de euros producidos en cada una de esa ramas de actividad para el conjunto de 48 países y agregados contemplados en la citada base, y que, tal como adelantábamos en el apartado metodológico, han sido los coeficientes utilizados para evaluar las emisiones indirectas fuera del territorio nacional.

En el conjunto de gráficos que presentamos a continuación se recogen estos coeficientes calculados para la economía española junto con una referencia de la mediana internacional⁴ a efectos comparativos.

De entre las actividades más contaminantes, como más de 1.000 toneladas de CO₂ equivalente por millón de € de Valor Añadido, España presenta un coeficiente diferencialmente elevado en el transporte marítimo con unas emisiones casi un 50% por encima de la media internacional, mientras que en la producción de energía eléctrica se refleja el esfuerzo realizado en el desarrollo de las energía renovables al presentar unos coeficientes de emisión un 47% inferiores a la mediana internacional.

En el mismo sentido, tanto las industrias de minerales no metálicos, como la metalurgia, proveedores directos de las actividades de construcción, serían, respectivamente un 27% y un 50% menos contaminantes que la media internacional.

De forma específica, las actividades de construcción presentan, en nuestro país, unos coeficientes de emisión significativamente menores a la media internacional, con unas 9 Tn. frente a las 40 de la mediana internacional.

⁴ Se ha tomado la mediana dado que la dispersión internacional es tan elevada que provoca bastantes sesgos sobre la media. En aquellos casos en los que esta referencia supera los límites de las escalas de cada gráfico supone unos coeficientes significativamente más elevados que los españoles.

Gráfico 9. Coeficientes de emisiones de G.E.I. Tn.CO2 eq. por millón de € de producción (2015)



Fuente: Elaboración propia. Datos EXIOBASE

4. Huella de Carbono de la promoción residencial

De acuerdo con el planteamiento metodológico realizado la Huella de Carbono de la promoción residencial analizada se ha obtenido por agregación de las emisiones vinculadas con la propia actividad constructora y que se correspondería con la **Huella de Carbono de la organización** Vía Célere en la construcción de la citada promoción, junto con las emisiones vinculadas a la producción de todos los materiales incorporados en la misma, y que constituirían las **Huellas de carbono de los diferentes productos**.

Para la primera de ellas, se han aplicado los procedimientos estandarizados recogidos en la metodología básica recomendada por el Ministerio para la Transición Ecológica y que comprende tres niveles de alcance:

- **Alcance 1:** emisiones directas de GEI. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad de o están controladas por la entidad en cuestión.
- **Alcance 2:** emisiones indirectas de GEI asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización o el proceso.
- **Alcance 3:** otras emisiones indirectas. Algunos ejemplos de actividades son los viajes de trabajo a través de medios externos o el transporte de materias primas, de combustibles, residuos y materiales de construcción realizados por terceros.

En el caso de la huella vinculada a los materiales empleados en la promoción se han aplicado dos procedimientos alternativos, denominados respectivamente como Enfoque de Valor y Enfoque de peso, y que responden, respectivamente, a un planteamiento de Análisis del Ciclo de Vida (LCI) y de interrelaciones productivas mediante Tablas Input-Output.

4.1. Datos generales de la promoción de Villaverde

Para ilustrar este procedimiento de estimación de la Huella de Carbono de las promociones residenciales desarrolladas por Vía Célere, como ya hemos señalado, se ha utilizado la misma promoción que sirvió de base para la estimación de la Huella Hídrica, abordado durante el año 2018 y para la cual ya se realizó un detallado trabajo de análisis y homogeneización de la información de partida.

Tal como se recogía en el informe previo ⁵ el Residencial Célere Villaverde es una promoción de 98 viviendas situado en la Calle San Jenaro de Madrid y construido a 5 alturas, con una superficie construida total de 15.428,85 m² y que incorpora viviendas de 2, 3 y 4, dormitorios, junto con los servicios comunitarios de piscina, salones sociales, pista deportiva, gimnasio y zona infantil.

El edificio está equipado con los más modernos sistemas de aislamiento y climatización habiendo obtenido una calificación energética de tipo A.

Los datos básicos que se han utilizado para la estimación de la huella de producto han sido, por un lado los flujos económicos de compras a proveedores, recogidos en la tabla 3, y por otro los flujos físicos de materiales, para cuyo detalle de cálculo nos remitimos al documento previo sobre la huella hídrica, y que se presentan en la tabla 4.

Adicionalmente, para la estimación de la Huella de Carbono de la actividad de construcción (Huella de la organización) ha sido necesario recopilar otra información adicional para los diferentes alcances considerados.

Así, para el alcance 1 se han recogido los datos del total de gasóleo consumido en la promoción, mientras que para el alcance 2 se han utilizado el total de kWh. de electricidad consumida.

El alcance 3 ha sido el más complejo pues requiere de la recopilación adicional de información directa por parte de los proveedores sobre el volumen de productos transportados, los kilómetros recorridos y el tipo de vehículos utilizados. Y también, la misma información sobre el transporte de los trabajadores desde su domicilio a la localización de la obra.

Del total de 14 proveedores básicos identificados se consiguió la información requerida de 13 habiéndose estimado de forma indirecta uno de ellos, de forma tal que se consiguió, finalmente, información directa para el 97,7% de la masa total transportada.

También, se obtuvo la información directa sobre el número de contenedores utilizados en la gestión de residuos y desplazados desde la obra hasta el punto de tratamiento, así como el recorrido medio de cada uno de ellos.

Por último, se recabó la información sobre las jornadas trabajadas, el número de trabajadores y el desplazamiento medio realizado por cada uno de ellos.

Toda esta información adicional quedaría recogida en la tabla 5.

⁵ Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Febrero 2019.

Tabla 3. Adquisiciones de bienes y servicios por ramas de actividad.
Miles de € y % sobre el total

CNAE	Descripción	Mil.€	%
43	Actividades de construcción especializada	4.164	47,36%
41	Construcción de edificios	1.675	19,05%
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	733	8,34%
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	622	7,08%
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles; cestería y espartería	362	4,12%
46	Comercio al por mayor e intermediarios	339	3,85%
77	Actividades de alquiler	172	1,96%
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	145	1,65%
28	Fabricación de maquinaria y equipo	127	1,44%
74	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas	117	1,33%
80	Actividades de seguridad e investigación	88	1,00%
37	Recogida y tratamiento de aguas residuales	84	0,96%
81	Servicios a edificios y actividades de jardinería	58	0,66%
49	Transporte terrestre y por tubería	37	0,42%
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	24	0,27%
47	Comercio al por menor,	18	0,21%
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	10	0,11%
70	Actividades de las sedes centrales; actividades de consultoría de gestión empresarial	8,9	0,10%
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	5,1	0,06%
36	Captación, depuración y distribución de agua	3,6	0,04%
85	Educación	0,2	0,003%

Fuente: Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Febrero 2019.

Tabla 4. Principales flujos físicos de materiales. Kg y porcentajes sobre el total

Grupo	Total Kg.	Material	Kg	%
Pétreos	19.877.680	Arena/Grava	19.861.275	59,27%
	59,32%	Piedra	16.405	0,05%
Aglutinantes		Cemento	3.600.551	10,75%
		Yeso	165.143	0,49%
	5.383.614	Yeso laminado (Pladur)	542.562	1,62%
	16,07%	Prefabricados Hormigón	1.033.895	3,09%
		Asfalto	41.463	0,12%
Agua (litros)	4.831.754	Agua indirecta	1.692.754	5,05%
	14,42%	Agua directa	3.139.000	9,37%
Cerámicos		Baldosas	256.398	0,77%
		Ladrillos	1.844.691	5,51%
	2.198.889	Porcelana	10.640	0,03%
	6,56%	Vidrio	63.982	0,19%
		Lana mineral	23.177	0,07%
Metales		Acero	929.228	2,77%
	963.123	Aluminio	33.738	0,10%
	2,87%	Cobre	156	0,00%
Maderas	169.390	Maderas	169.390	0,51%
Compuestos		Colas	57	0,00%
		Pinturas	15.150	0,05%
	56.173	Gasóleo B	35.016	0,10%
	0,17%	Polímero Sílice	5.825	0,02%
		Silicona	125	0,00%
Plásticos		Poliuretano	211	0,00%
		Poliestireno	4.763	0,01%
		Polietileno	625	0,00%
		EPDM	529	0,00%
		Neopreno	2.244	0,01%
	27.459	PVC	213	0,00%
	0,08%	Melamina	4.550	0,01%
		Vinilo	370	0,00%
		Otros	11.867	0,04%
		Caucho	2.087	0,01%
Total Kg			33.508.082	100%

Fuente: Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Febrero 2019.

Tabla 5. Información adicional recopilada para la estimación de la Huella de Carbono

Alcance 1	Litros de Gasoil	42.087
Alcance 2	KWh de Energía eléctrica	73.915
Alcance 3. Transporte de proveedores	Masa transportada	30.369.082
	Prov. Hormigones y morteros	19.907.048
	Prov. Áridos	2.013.220
	Prov. Tierra vegetal	1.839.000
	Prov. Ladrillos	1.149.462
	Prov. Prefabricados Hormigón	933.377
	Prov. Ladrillos 2	734.819
	Prov. Acero y ferralla	716.989
	Prov. Impermeabilizaciones	580.236
	Prov. Tabiquería industrializada	543.025
	Prov. Áridos 2	421.860
	Prov. Revestimientos cerámicos	343.676
	Prov. Baños Industrializados	310.706
	Prov. Carpintería exterior	91.693
	Prov. Carpintería madera	90.316
Resto Proveedores	693.656	
Alcance 3. Transporte de Residuos	N° de Contenedores	465
	Km. medios	19
	Total Km.	8974,5
Alcance 3. Transporte de trabajadores	N° de días trabajados	330
	Desplazamiento medio Km.	20
	N° medio de trabajadores	65
	Km. recorridos	431.800

Fuente: Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Febrero 2019.

4.2. Estimación de la Huella de Carbono del proceso de construcción

Tal como se adelantaba en el apartado metodológico, la estimación de la Huella de Carbono del proceso de construcción (Huella de la organización), se ha calculado, para cada uno de los tres alcances considerados como del producto del **dato de consumo** (dato de actividad) por su correspondiente **factor de emisión**:

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

Donde:

- El dato de actividad es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI.
- El factor de emisión supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”.

Alcance 1. Emisiones directas de GEI. Las emisiones directas de GEI provenientes de fuentes GEI que son propiedad o están controladas por Vía Célere utilizadas a lo largo del proceso de construcción de Residencial Célere Villaverde.

En el caso de la construcción de la promoción inmobiliaria Residencial Célere Villaverde este consumo de combustibles fósiles fue exclusivamente de gasoil tipo B y estuvo asociado al uso de maquinaria diversa, como dumpers y carretillas elevadoras para el transporte de materiales y para la producción de electricidad a partir de grupos electrógenos.

Dato de actividad. Los dos proveedores de los carburantes suministrados durante el periodo de construcción de la promoción inmobiliaria Residencial Célere Villaverde, según consta en los albaranes de facturación de los años 2016 y 2017, suministraron un total de 42.087 litros de gasoil tipo B.

Factores de emisión. Los factores de emisión del gasoil tipo B, según se recoge en Oficina Española del Cambio Climático (2019), en su publicación “Factores de Emisión. Registro de Huella de Carbono, Compensación y Proyectos de Absorción de Dióxido de Carbono”⁶ fueron para el año 2016 de 2.539 y para el año 2017 de 2.520 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B.

La tabla que presentamos a continuación resume los cálculos realizados en este primer nivel de Alcance.

6 Oficina Española de Cambio Climático (2019) “FACTORES DE EMISIÓN. REGISTRO DE HUELLA DE CARBONO, COMPENSACIÓN Y PROYECTOS DE ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO”, abril, versión 12. Ministerio para la Transición Ecológica. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf

Tabla 6. Alcance 1: Estimación de las emisiones directas.

Suministro de gasoil TIPO B utilizado durante el periodo de construcción de la promoción inmobiliaria residencial Célere Villaverde			
Periodo de facturación	Litros de gasoil facturados	Factor Mix (kg CO ₂ /l)	TOTAL Kg CO ₂
2016	6.102	2,539	15.493,0
2017	35.985	2,520	90.682,2
TOTAL	42.087		106.175

Fuente: Factor Mix (kg CO₂/l gasóleo B): CNMC. (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia)

Alcance 2. Emisiones indirectas de GEI. Las emisiones indirectas de GEI son aquellas que provienen de la generación de electricidad, calor o vapor de origen externo consumidos en la actividad de construcción de la promoción inmobiliaria Residencial Célere Villaverde.

Estas emisiones son los Consumos eléctricos habiéndose computado las emisiones de GEI ocasionadas por el consumo de la electricidad utilizada durante el periodo de construcción de la promoción inmobiliaria.

Dato de actividad. El consumo de electricidad procedente de proveedores externos durante el período de tiempo de la construcción de la promoción inmobiliaria Residencial Célere Villaverde, es decir, los kWh reflejados en las facturas de electricidad del periodo entre los meses de septiembre de 2016 y enero de 2018. Durante dicho período, Vía Célere tuvo contratado el suministro eléctrico con la Comercializadora IBERDROLA CLIENTES SAU que, según hemos constatado en las facturas correspondientes, utilizando datos de consumo de lectura de contadores, suministró un total de 73.915 kWh.

Factores de emisión. El factor de emisión atribuible a la Comercializadora IBERDROLA CLIENTES SAU para los años 2017 y 2018 lo hemos extraído del documento Oficina Española del Cambio Climático (2019). En concreto, el factor de emisión del Iberdrola Clientes SAU correspondiente al año 2017 es de 0,28 Kg /kWh de emisiones equivalentes de CO₂ y el correspondiente al año 2018 es de 0,27 Kg / kWh de emisiones equivalentes de CO₂.

Tabla 7. Alcance 2: Estimación de las emisiones indirectas.

Suministro de energía eléctrica en el periodo de construcción de la promoción inmobiliaria residencial Célere Villaverde				
Comercializadora de electricidad: IBERDROLA CLIENTES SAU				
Periodo de facturación		Kwh facturados	Factor Mix (kg CO ₂ /kWh)	TOTAL Kg CO ₂
28-jul	21-ago	5.716,0		
21-ago	19-sep	9.448,0		
19-sep	19-oct	8.572,0		
19-oct	17-nov	11.256,0		
19-dic	31-dic	27.184,3		
Total	2017	62.176,3	0,28	17.409,4
31-dic	19-ene	11.738,7		
Total	2018	11.738,7	0,27	3.169,4
Total		73.915,0		20.578,8

Fuente: Factor Mix (kg CO₂/l gasóleo B): CNMC. (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia)

Alcance 3. Otras emisiones indirectas de GEI. El resto de las emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la construcción de la promoción inmobiliaria Villaverde, pero que se producen en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa promotora Vía Célere.

Estas otras emisiones son el **Transporte y distribución de la fase de aguas arriba**, donde se computan las emisiones de GEI ocasionadas por el transporte y distribución de los productos comprados de forma directa por Vía Célere, así como de los de los servicios contratados que fueron utilizados durante la construcción de la promoción inmobiliaria Residencial Célere Villaverde, desde los proveedores de primer nivel de la empresa hasta la propia empresa, realizada en vehículos que no son propiedad o no están controlados por Vía Célere.

Dato de actividad: será el consumo carburantes utilizados en el transporte de los materiales utilizados durante la construcción de la Residencial Célere Villaverde. El método de cálculo que se ha utilizado es algo complejo y se explica con detalle a continuación. Como resultado de dichos cálculos, el consumo de gasoil tipo B que se utilizó para el transporte de dichos materiales de construcción fue de 34.765,9 litros

Factores de emisión. El factor de emisión del gasoil tipo B, según se recoge en el documento Oficina Española del Cambio Climático (2019) fue para el año 2016 de 2.539 y para el año 2017 de 2.520 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B. Hemos utilizado en este ejercicio de cálculo el factor de emisión medio ponderado de 2.52475 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B, cuyo método de cálculo se recoge también en el Anexo de metodología de los cálculos realizados.

El método de cálculo seguido para estimar el consumo de carburantes del transporte de dichos materiales de construcción se describe a continuación.

En primer lugar, seleccionamos los materiales principales utilizados e identificamos sus proveedores correspondientes, a partir de los albaranes de compra y facturas correspondientes. En concreto, seleccionamos los materiales principales (y sus correspondientes proveedores) que, conjuntamente, representaban el 99,24% de la masa de materiales utilizados en la construcción de la promoción Residencial Célere Villaverde. Se descartaron aquellos proveedores que, de forma individual, tenían una repercusión en la masa de materiales de construcción utilizados inferior al 0,14% (equivalentes a menos de 41 toneladas).

Posteriormente se solicitó a cada uno de dichos proveedores de materiales que nos proporcionaran la información de los consumos energéticos del transporte de sus respectivos materiales de construcción, desde su origen específico hasta la localización de la promoción Residencia Célere Villaverde (Calle San Jenaro nº 3 de Madrid), utilizando para ello una de las tres alternativas siguientes:

1. Si la contabilidad de costes propia del proveedor analizado podía proporcionarlo, el correspondiente consumo de carburantes utilizados en el transporte (y vuelta a origen) de los materiales de construcción suministrados por dicho proveedor.
2. Como alternativa, el coste (medido en litros de gasóleo equivalente) por km y m³ (o tonelada, en su caso), así como la distancia en kilómetros recorrida para el transporte de los referenciados materiales (desde origen a destino y vuelta a origen).
3. Como otra alternativa de cálculo, el tipo de vehículo utilizado para dicho transporte (marca, capacidad de carga, tipo de combustible), así como los km recorridos desde el punto de origen del material suministrado hasta el punto de destino y vuelta a origen.

De la relación de proveedores seleccionada nos contestaron proporcionándonos la información que les habíamos requerido un total de 13 proveedores y decidimos estimar de forma indirecta, por su relevancia, los consumos energéticos del transporte de materiales de un decimocuarto, por lo que a los efectos de este método de cálculo contamos con la información precisa para el 98,47% de la masa de los materiales de construcción solicitados (un 97,72% de la masa total); por su parte, hemos agrupado el 2,28% de la masa restante bajo el epígrafe "Resto Proveedores". El detalle de los materiales y su masa correspondiente se recoge en la tabla 8.

Tabla 8. Volumen de materiales de construcción transportados.

Masa		
Prov. Hormigones y morteros	19.907.047,68	65,55%
Prov. Áridos	2.013.220,00	6,63%
Prov. Tierra vegetal	1.839.000,00	6,06%
Prov. Ladrillos	1.149.461,58	3,78%
Prov. Prefabricados Hormigón	933.377,20	3,07%
Prov. Ladrillos 2	734.818,50	2,42%
Prov. Acero y ferralla	716.989,22	2,36%
Prov. Impermeabilizaciones	580.235,50	1,91%
Prov. Tabiquería industrializada	543.025,44	1,79%
Prov. Áridos 2	421.860,00	1,39%
Prov. Revestimientos cerámicos	343.675,88	1,13%
Prov. Baños Industrializados	310.705,79	1,02%
Prov. Carpintería exterior	91.693,00	0,30%
Prov. Carpintería madera	90.316,00	0,30%
Total proveedores con respuesta	29.675.425,79	97,72%
Resto proveedores	693.656,11	2,28%
Total	30.369.081,90	100,00%

Fuente: Elaboración propia

Como método de cálculo general, se ha procedido a estimar el número de viajes realizados y la distancia de la fábrica o el punto de suministro a la obra (en la referida Calle San Jenaro nº 3 de Madrid). Multiplicando dicha distancia por dos (con el objeto de recoger en nuestros cálculos también el regreso del transporte a origen, para tener en cuenta su correspondiente emisión de GEI), obtenemos la distancia total recorrida para el suministro de los materiales correspondientes. Finalmente, con la distancia total recorrida y en función del consumo del transporte empleado (dato que también nos proporcionaron los proveedores), obtenemos el consumo total de carburantes utilizados en el transporte de los materiales de cada proveedor.

Para el caso de algunos proveedores pudimos identificar de forma precisa, a partir de los albaranes, el número de viajes realizados. Como criterio de cálculo, en estos casos decidimos hacer prevalecer el dato reflejado en los albaranes, por considerar que era más preciso. Por ejemplo, para el proveedor de morteros y hormigones observamos una pequeña desviación (del entorno del 7%), que entendemos que se explica adecuadamente porque no todos los camiones realizaron los servicios de transporte a plena carga, lo que nos confirma el ajuste del método general de cálculo que hemos empleado.

Tabla 9. Estimación del volumen de combustible utilizado en el transporte de materiales.

	Masa	Litros gasóleo
Prov. Hormigones y morteros	65,55%	9.617,0
Prov. Áridos	6,63%	807,4
Prov. Tierra vegetal	6,06%	1.497,6
Prov. Ladrillos	3,78%	1.758,2
Prov. Prefabricados Hormigón	3,07%	1.670,8
Prov. Ladrillos 2	2,42%	1.859,3
Prov. Acero y ferralla	2,36%	10.269,5
Prov. Impermeabilizaciones	1,91%	798,0
Prov. Tabiquería industrializada	1,79%	3.157,0
Prov. Áridos 2	1,39%	389,9
Prov. Revestimientos cerámicos	1,13%	140,8
Prov. Baños Industrializados	1,02%	1.187,6
Prov. Carpintería exterior	0,30%	183,0
Prov. Carpintería madera	0,30%	637,0
Total Contestados	97,72%	33.973,2
Resto Proveedores	2,28%	792,7
Total	100,00%	34.765,9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se recogen los datos relativos a los consumos de carburantes que hemos estimado para cada uno de los materiales analizados. Como podemos observar, destaca el elevado consumo de carburantes utilizado por el proveedor número 7 (acero y ferralla), que se explica porque este suministro se realizó desde una elevada distancia (1.175 km ida y vuelta). Para el grupo “Resto Proveedores” se ha estimado su consumo de combustibles sobre la media de los consumos calculados para el resto de los proveedores que han facilitado sus datos.

Identificar con precisión si el transporte de cada material se había realizado durante el año 2016 o en el 2017 implicaba realizar un análisis demasiado profundo del conjunto de los albaranes y facturas de compra, por lo que decidimos desecharlo. Como método de cálculo del factor de emisión conjunto hemos ponderado el factor de emisión del año 2016 (2,539 kg CO₂/l) con la ponderación 4/16 y el factor de emisión del año 2017 (2,520 kg CO₂/l) con la ponderación 12/16. Como consecuencia, utilizamos el factor Mix de 2,52475 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B para el combustible consumido por los proveedores en el transporte de los materiales de construcción.

Tabla 10. Alcance 3: Estimación de las emisiones indirectas por transporte de materiales.

Consumo de gasoil TIPO B de los proveedores por el transporte de los materiales de construcción de la promoción inmobiliaria residencial Célere Villaverde			
Periodo de consumo	Litros de gasoil consumidos	Factor Mix (kg CO ₂ /l)	Total Kg CO ₂
Sep. 2016 - Ene. 2018	34.766	2,52475	87.775,2

Fuente: Factor Mix (kg CO₂/l gasóleo B): CNMC. (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia)

Dentro de este tercer nivel de alcance se ha considerado también el **Transporte de los residuos generados en las operaciones** y que contemplan las emisiones de GEI, de los alcances 1 y 2, ocasionadas por los proveedores encargados de la gestión de residuos que se generaron durante el proceso de construcción de la promoción inmobiliaria Residencial Célere Villaverde.

Dato de actividad: será el consumo carburantes utilizados en el transporte a la planta de tratamiento de los residuos de la construcción de El Residencial Célere Villaverde. El método de cálculo que se ha utilizado es algo complejo y se explica con detalle a continuación. Como resultado, el consumo de gasoil tipo B estimado que se utilizó para el transporte de dichos residuos de construcción fue de 2.513 litros.

Factores de emisión. El factor de emisión del gasoil tipo B, según se recoge en Oficina Española del Cambio Climático (2019) fue para el año 2016 de 2.539 y para el año 2017 de 2.520 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B. Hemos utilizado en este ejercicio de cálculo el factor de emisión medio ponderado de 2.52475 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B, cuyo método de cálculo se recoge también a continuación.

Según nos ha informado la empresa que realizó la gestión de residuos de la construcción, la distancia recorrida por los vehículos de transporte desde origen a la obra y vuelta a la planta de tratamiento de residuos fue de 19,3 kilómetros. Se trasladaron un total de 465 contenedores, lo que representan un recorrido total de 8.974,5 kilómetros, utilizando para ello vehículos con un consumo medio de 28 litros de gasoil tipo B por cada 100 kilómetros. Como método de cálculo del factor de emisión conjunto hemos ponderado el factor de emisión del año 2016 (2,539 kg CO₂/l) con la ponderación 4/16 y el factor de emisión del año 2017 (2,520 kg CO₂/l) con la ponderación 12/16. Como consecuencia, utilizamos el factor Mix de 2,52475 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B para el consumo de combustibles del proveedor encargado de la gestión de los residuos generados en el proceso de construcción.

Tabla 11. Alcance 3: Estimación de las emisiones indirectas por transporte de residuos.

Consumo de gasoil TIPO B del transporte a planta de tratamiento de los residuos de construcción de la promoción inmobiliaria residencial célere villaverde			
Periodo de consumo	Litros de gasoil consumidos	Factor Mix (kg CO ₂ /l)	Total Kg CO ₂
Sep. 2016 - Ene. 2018	2.513	2,52475	6.344,7

Fuente: Factor Mix (kg CO₂/l gasóleo B): CNMC. (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia)

Finalmente, dentro de este tercer alcance se han considerado también los **desplazamientos de los empleados** y que incluirían las emisiones de GEI, de los alcances 1 y 2, ocasionadas por el transporte de los empleados de la empresa Vía Célere desde sus domicilios a su lugar de trabajo en la Calle San Jenaro de Madrid, en vehículos que no sean propiedad o no estén operados por Vía Célere.

Dato de actividad: será el consumo carburantes utilizados en el transporte de los trabajadores durante los meses de septiembre de 2016 a enero de 2018. De acuerdo con las estimaciones realizadas y que se detallan a continuación, el consumo de gasolina total utilizado para el transporte de los empleados de Vía Célere durante la construcción de El Residencial Célere Villaverde fue de 15.778 litros, mientras que el consumo de gasoil tipo B ascendió a 17.954 litros.

Factores de emisión. Los factores de emisión del gasoil tipo B, según se recoge en Oficina Española del Cambio Climático (2019) fueron para el año 2016 de 2.539, para el 2017 de 2.520 y para el año 2018 de 2.493 kg de CO₂ por litro de gasoil tipo B. Por su parte, los factores de emisión de la gasolina, según se recoge en el mismo informe, fueron para el año 2016 de 2.196, para el 2017 de 2.180 y para el año 2018 de 2.157 kg de CO₂ por litro de gasolina.

Vía Célere nos ha proporcionado el número de trabajadores que trabajaron en la promoción para el período de construcción de la promoción, que se desarrolló exactamente entre las fechas del 27 de septiembre de 2016 y el 22 de enero de 2018. También nos ha proporcionado una estimación de la distancia media recorrida por trabajador y día (20 kilómetros de media para cada viaje de ida y vuelta). Hemos estimado de esta forma el número total de días laborables (320) y el número total de kilómetros recorridos (431.800 km).

Según las estadísticas de la Dirección General de Tráfico de los años 2016 y 2017, el 40.6% de la flota de automóviles de la Comunidad de Madrid utilizaron como combustible la gasolina y el 59.4% restante gasoil tipo B (estos porcentajes variaron un 2% en el 2018). Hemos supuesto un consumo medio de 7 litros por cada 100 km para los vehículos de gasoil y del 9 litros/100 km para los vehículos de gasolina. Como resultado, el consumo de gasolina total utilizado para el transporte de los empleados de Vía Célere durante la construcción de El Residencial Célere Villaverde fue de 15.778 litros, mientras que el consumo de gasoil tipo B ascendió a 17.954 litros.

Tabla 12. Alcance 3: Estimación de las emisiones indirectas por transporte de trabajadores.

Consumo de combustibles (gasolina y gasoil TIPO B) en el transporte diario a su lugar de trabajo por los trabajadores del residencial célere villaverde								
Periodo	Días Laborables	Número Empleados	km recorridos	Litros Consumo gasoil B	Litros Consumo gasolina	Factor Mix gasoil (kg CO ₂ /l)	Factor Mix gasolina (kg CO ₂ /l)	TOTAL Kg CO ₂
sep-16	3	40	2.400	100	88	2,539	2,196	
oct-16	21	40	16.800	699	614	2,539	2,196	
nov-16	21	40	16.800	699	614	2,539	2,196	
dic-16	18	40	14.400	599	526	2,539	2,196	
Total 2016			50.400	2.096	1.842	2,539	2,196	9.365,0
ene-17	22	40	17.600	732	643	2,520	2,180	
feb-17	20	40	16.000	665	585	2,520	2,180	
mar-17	20	80	32.000	1.331	1.169	2,520	2,180	
abr-17	21	80	33.600	1.397	1.228	2,520	2,180	
may-17	22	80	35.200	1.464	1.286	2,520	2,180	
jun-17	21	100	42.000	1.746	1.535	2,520	2,180	
jul-17	22	100	44.000	1.830	1.608	2,520	2,180	
ago-17	22	100	44.000	1.830	1.608	2,520	2,180	
sep-17	20	100	40.000	1.663	1.462	2,520	2,180	
oct-17	22	50	22.000	915	804	2,520	2,180	
nov-17	21	50	21.000	873	767	2,520	2,180	
dic-17	19	50	19.000	790	694	2,520	2,180	
Total 2017			366.400	15.235	13.388	2,520	2,180	67.578,4
ene-18	15	50	15.000	624	548	2,493	2,157	
Total 2018			15.000	624	548	2,493	2,157	2.737,1
TOTAL	330		431.800	17.954	15.778			79.680,5

Fuente: Elaboración propia

4.3. Estimación de la Huella de Carbono de los materiales

Para la estimación de la Huella de Carbono de los materiales empleados en la promoción de Villaverde se han utilizado, tal como se adelantaba en el apartado metodológico, dos enfoques alternativos, denominados respectivamente, como enfoque de valor y enfoque de peso, siguiendo la terminología del estudio realizado sobre la huella hídrica.

Esta doble aproximación nos permite, tanto realizar un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos mediante ambos procedimientos, como ilustrar dos alternativas diferentes para llegar a la estimación de la Huella de Carbono de los materiales incorporados en una promoción residencial.

4.3.1. Enfoque de valor

Así, bajo el **enfoque de valor** la Huella de Carbono de los materiales vendría determinada a partir del valor total de la producción de bienes y servicios de las distintas ramas de actividad necesarios para desarrollarla, asumiendo que existe una relación directa entre el valor total de los bienes y servicios producidos en cada una de estas ramas y las emisiones de GEI necesarias para alcanzar dicha producción en cada una de ellas.

De acuerdo con este planteamiento, el total de emisiones vinculado a los materiales incorporados sería la suma del consumo realizado por los proveedores directos de estos materiales y que podemos denominar como emisiones incorporadas, más las emisiones realizadas por el resto del sistema productivo para abastecer de bienes y servicios a estos proveedores y que, habitualmente, se denominan emisiones inducidas.

En el caso de las emisiones incorporadas, es decir, las generadas por los proveedores directos se han utilizado los coeficientes medios de emisión de G.E.I. para cada una de las ramas de actividad, calculados sobre los datos proporcionados por el INE, y asumiendo que cada uno de estos proveedores mantendría unos niveles medios de emisión de emisión de GEI por unidad producida equivalentes a los de su sector.

De esta forma, multiplicando estos coeficientes por el valor de los productos y servicios facturados en la construcción de la promoción de Villaverde se obtendría una estimación del volumen emisiones incorporadas en dicha producción.

En la tabla que presentamos a continuación se recogen los datos de estas emisiones incorporadas por las diferentes ramas de actividad que han actuado como proveedores en esta promoción.

Tabla 13. Enfoque de valor: Estimación de las emisiones incorporadas.

CNAE	Descripción	Coficiente Tn CO2 eq./Mill.€	Valor producción Miles €	Emisiones G.E.I. Tn.CO2 eq.
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	1864,2	622,10	1159,7
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles; cestería y espartería	223,0	362,13	80,7
49	Transporte terrestre y por tubería	657,0	36,53	24,0
43	Actividades de construcción especializada	2,7	4.164,04	11,1
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	14,6	733,03	10,7
37	Recogida y tratamiento de aguas residuales	119,1	84,46	10,1
46	Comercio al por mayor e intermediarios	26,1	338,78	8,8
41	Construcción de edificios	2,7	1.674,81	4,5
28	Fabricación de maquinaria y equipo	24,4	126,52	3,1
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	5,4	139,88	0,8
47	Comercio al por menor,	31,6	18,26	0,6
77	Actividades de alquiler	3,0	172,28	0,5
74	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas	2,8	116,96	0,3
80	Actividades de seguridad e investigación	3,3	87,90	0,3
81	Servicios a edificios y actividades de jardinería	3,3	58,23	0,2
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	23,2	5,05	0,1
70	Actividades de las sedes centrales; actividades de consultoría de gestión empresarial	5,7	8,92	0,1
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	2,1	9,91	0,0
36	Captación, depuración y distribución de agua	5,3	3,63	0,0
85	Educación	12,4	0,24	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por Vía Célere

Por agregación de las emisiones estimadas para cada una de las ramas de actividad proveedoras de bienes y servicios se obtendría un montante total de unas **1.316 Tn CO2 eq.**

La estimación de los consumos indirectos es algo más compleja ya que es necesario determinar previamente cuál es el valor total de la producción que deben realizar las diferentes ramas productivas para abastecer de consumos intermedios a todos estos proveedores.

Para determinar esta producción se ha utilizado, como comentábamos en el apartado metodológico, la aproximación clásica derivada del modelo implícito en una Tabla Input-Output

Una vez cuantificados estos niveles de producción en cada una de las ramas de actividad y aplicando los coeficientes nacionales de emisiones por unidad producida a la producción interior, y los correspondientes coeficientes medios para el resto del mundo (Mediana de los datos recogidos en EXIOBASE), se obtendría, finalmente, las emisiones totales indirectas.

Tabla 14. Enfoque de valor: Estimación de la producción indirecta. Miles de €

CNAE	Descripción	Total X_T	Resto mundo PI_R	Nacional X_N	Indirecta nacional PI_N
01	Agricultura, ganadería caza y servicios relacionados	56	25	31	31
02	Silvicultura y explotación forestal	31	10	21	21
03	Pesca y acuicultura	2	1	1	1
05-09	Industrias extractivas	415	359	56	56
10-12	Industrias de la alimentación, bebidas y tabaco	185	66	120	120
13-15	Industria textil, confección, cuero y del calzado	145	114	32	32
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles	626	92	534	172
17	Industria del papel	102	56	46	46
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	80	26	54	49
19	Coquerías y refino de petróleo	167	114	53	53
20	Industria química	644	379	265	265
21	Fabricación de productos farmacéuticos	34	18	16	16
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	240	131	110	100
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	1.120	135	985	363
24	Fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	867	420	447	447
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	1.218	195	1.023	290

CNAE	Descripción	Total X_T	Resto mundo PI_R	Nacional X_N	Indirecta nacional PI_N
26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	107	82	25	25
27	Fabricación de material y material eléctrico	326	204	122	122
28	Fabricación de maquinaria y equipo	331	141	190	63
29	Fabricación de vehículos de motor	126	85	41	41
30	Fabricación de otro material de transporte	83	40	43	43
31-32	Fabricación de muebles y otras manufacturas	121	71	50	50
33	Reparación e instalación de maquinaria y equipo	126	33	93	93
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	903	233	670	670
36	Captación, depuración y distribución de agua	57	14	44	40
37-39	Recogida y tratamiento de aguas residuales; eliminación de residuos; descontaminación y otros servicios de gestión de residuos	327	123	204	120
41-43	Construcción	7.315	61	7.253	1.414
45	Venta y reparación de vehículos de motor	45	10	35	35
46	Comercio al por mayor e intermediarios	873	130	743	404
47	Comercio al por menor	315	72	243	225
49	Transporte terrestre y por tubería	464	139	325	288
50	Transporte marítimo y por vías navegables interiores	6	2	4	4
51	Transporte aéreo	37	15	22	22
52	Almacenamiento y actividades anexas a los transportes	311	109	202	202
53	Actividades postales y de mensajería	51	9	42	42
55-56	Servicios de alojamiento; comidas y bebidas	138	31	107	107
58	Edición	42	14	28	28
59-60	Actividades de producción cinematográfica, de video y programas de Televisión, grabación de sonido y edición musical; actividades de programación y emisión de radio y televisión	33	10	23	23
61	Telecomunicaciones	153	50	103	103
62-63	Programación, consultoría y otras actividades relacionadas con la informática; servicios de información	81	39	42	42
64	Servicios financieros, excepto seguros y fondos de pensiones	284	80	204	204

CNAE	Descripción	Total X_T	Resto mundo PI_R	Nacional X_N	Indirecta nacional PI_N
65	Seguros, reaseguros y fondos de pensiones, excepto seguridad social obligatoria	63	18	44	44
66	Actividades auxiliares a los servicios financieros y a los seguros	32	10	22	22
68	Actividades inmobiliarias	393	53	340	340
69-70	Actividades jurídicas y de contabilidad; actividades de las sedes centrales; consultoría de gestión empresarial	395	100	295	286
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	455	58	397	258
72	Investigación científica y desarrollo	2	1	1	1
73	Publicidad y estudios de mercado	80	24	56	56
74-75	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades veterinarias	188	13	175	58
77	Actividades de alquiler	355	77	277	105
78	Actividades relacionadas con el empleo	68	22	46	46
79	Actividades de agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reservas y actividades relacionadas con los mismos	7	4	3	3
80-82	Actividades de seguridad e investigación; servicios a edificios y actividades de jardinería; actividades administrativas de oficina y auxiliares a las empresas	428	99	329	183
84	Administración pública y defensa; seguridad social obligatoria	157	32	125	125
85	Educación	45	13	32	32
86	Actividades sanitarias	30	8	22	22
87-88	Actividades de servicios sociales	1	0	1	1
90-92	Actividades de creación artísticas y espectáculos; actividades de bibliotecas, archivos, museos y otras actividades culturales; actividades de juegos de azar y apuestas	18	5	13	13
93	Actividades deportivas, recreativas y de entretenimiento	21	6	15	15
94	Actividades asociativas	25	7	18	18
95	Reparación de ordenadores; efectos personales y artículos de uso doméstico	7	2	5	5
96	Otros servicios personales	16	4	12	12

CNAE	Descripción	Total X_T	Resto mundo PI_R	Nacional X_N	Indirecta nacional PI_N
97-98	Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico o como productores de bienes y servicios para uso propio	0	0	0	0
99	Actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Enfoque de valor: Emisiones indirectas

CNAE	Descripción	Coef. Nacional Tn/Mill.€	Coef. Internac. Tn/Mill.€	Emisiones G.E.I. t. CO2 eq.
01	Agricultura, ganadería caza y servicios relacionados	249,6	177,9	12
02	Silvicultura y explotación forestal	75,7	102,9	3
03	Pesca y acuicultura	1162,0	267,9	1
05-09	Industrias extractivas	243,5	322,1	129
10-12	Industrias de la alimentación, bebidas y tabaco	15,9	57,7	6
13-15	Industria textil, confección, cuero y del calzado	34,4	52,7	7
16	Industria de la madera y el corcho, excepto muebles	223,0	26,7	41
17	Industria del papel	154,9	60,0	11
18	Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	23,2	94,9	4
19	Coquerías y refino de petróleo	541,7	467,7	82
20	Industria química	196,6	651,3	299
21	Fabricación de productos farmacéuticos	30,1	213,6	4
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	2,1	71,9	10
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	1864,2	1714,8	908
24	Fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	328,0	885,3	518
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	14,6	37,6	12
26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	11,5	23,4	2
27	Fabricación de material y material eléctrico	39,2	9,5	7

CNAE	Descripción	Coef. Nacional Tn/Mill.€	Coef. Internac. Tn/Mill.€	Emisiones G.E.I. t. CO2 eq.
28	Fabricación de maquinaria y equipo	24,4	28,3	6
29	Fabricación de vehículos de motor	14,3	14,5	2
30	Fabricación de otro material de transporte	15,2	27,7	2
31-32	Fabricación de muebles y otras manufacturas	1,8	58,9	4
33	Reparación e instalación de maquinaria y equipo	1,4	23,4	1
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	904,2	4477,7	1.649
36	Captación, depuración y distribución de agua	5,3	47,9	1
37-39	Recogida y tratamiento de aguas residuales; eliminación de residuos; descontaminación y otros servicios de gestión de residuos	119,1	211,8	40
41-43	Construcción	2,7	40,5	6
45	Venta y reparación de vehículos de motor	16,0	39,2	1
46	Comercio al por mayor e intermediarios	26,1	56,6	18
47	Comercio al por menor	31,6	51,4	11
49	Transporte terrestre y por tubería	657,0	232,8	222
50	Transporte marítimo y por vías navegables interiores	499,1	1859,4	5
51	Transporte aéreo	1318,8	1293,0	49
52	Almacenamiento y actividades anexas a los transportes	12,2	113,7	15
53	Actividades postales y de mensajería	18,7	98,8	2
55-56	Servicios de alojamiento; comidas y bebidas	5,2	19,5	1
58	Edición	4,8	42,9	1
59-60	Actividades de producción cinematográfica, de video y programas de Televisión, grabación de sonido y edición musical; actividades de programación y emisión de radio y televisión	10,0	42,9	1
61	Telecomunicaciones	5,1	98,8	5
62-63	Programación, consultoría y otras actividades relacionadas con la informática; servicios de información	8,8	11,7	1
64	Servicios financieros, excepto seguros y fondos de pensiones	2,5	5,2	1
65	Seguros, reaseguros y fondos de pensiones, excepto seguridad social obligatoria	1,6	6,5	0
66	Actividades auxiliares a los servicios financieros y a los seguros	7,5	8,5	0
68	Actividades inmobiliarias	0,4	7,5	1

CNAE	Descripción	Coef. Nacional Tn/Mill.€	Coef. Internac. Tn/Mill.€	Emisiones G.E.I. t. CO2 eq.
69-70	Actividades jurídicas y de contabilidad; actividades de las sedes centrales; consultoría de gestión empresarial	5,7	42,9	6
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	5,4	42,9	4
72	Investigación científica y desarrollo	3,2	32,4	0
73	Publicidad y estudios de mercado	2,8	42,9	1
74-75	Otras actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades veterinarias	2,8	42,9	1
77	Actividades de alquiler	3,0	85,9	7
78	Actividades relacionadas con el empleo	1,1	42,9	1
79	Actividades de agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reservas y actividades relacionadas con los mismos	2,4	42,9	0
80-82	Actividades de seguridad e investigación; servicios a edificios y actividades de jardinería; actividades administrativas de oficina y auxiliares a las empresas	3,3	42,9	5
84	Administración pública y defensa; seguridad social obligatoria	37,4	24,3	5
85	Educación	12,4	10,0	1
86	Actividades sanitarias	10,1	15,6	0
87-88	Actividades de servicios sociales	21,2	15,6	0
90-92	Actividades de creación artística y espectáculos; actividades de bibliotecas, archivos, museos y otras actividades culturales; actividades de juegos de azar y apuestas	1,4	81,6	0
93	Actividades deportivas, recreativas y de entretenimiento	2,3	81,6	1
94	Actividades asociativas	49,1	110,7	2
95	Reparación de ordenadores; efectos personales y artículos de uso doméstico	7,8	66,2	0
96	Otros servicios personales	7,6	66,2	0
97-98	Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico o como productores de bienes y servicios para uso propio	0,0	89,5	0
99	Actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales	0,000	0,000	0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se recogen las producciones indirectas estimadas mediante el modelo input-output, mientras que en la tabla 15 aparecen, tanto los coeficientes de emisiones por unidad producida a nivel nacional e internacional, como el volumen total de emisiones indirectas de G.E.I.

Conjuntamente, estas emisiones indirectas ascenderían a **4.131 t. CO2 eq.**

Finalmente, por agregación de las emisiones incorporadas por los proveedores y las indirectas se obtendría **la Huella de Carbono de los materiales** y que, mediante el **enfoque de valor** ascendería a **5.447 t. CO2 eq.**

4.3.2. Enfoque de peso

En el **enfoque de peso** se han utilizado, como adelantábamos; las metodologías de la Evaluación del Ciclo de Vida de los productos (Life Cycle Assessment, LCA)

La metodología LCA se utiliza para cuantificar los impactos ambientales que se generan durante todas las fases del proceso de producción de un producto determinado, tanto a través de las técnicas de producción aplicadas como del consumo de productos intermedios, analizando sus impactos, entre otros, sobre el cambio climático y la emisión de contaminantes.

Para ello se realiza un inventario detallado de todos los procesos y productos intermedios que intervienen en el proceso de producción de dicho producto, utilizando programas de modelización específicos y bases de datos especializadas, como Ecoinvent (Ecoinvent database 3.2, www.ecoinvent.org).

Así, una vez identificadas las cantidades físicas de cada tipología de materiales utilizados en la promoción analizada, recogidas en la tabla 4, se acudió a la base de datos Ecoinvent para identificar la Huella de Carbono unitaria de cada una de ellas, es decir, la cantidad de CO2 equivalente por Kg. producido, medida, como decíamos en términos del Global Warming Potential (GWP), y que se recoge en la tabla 16.

Como puede comprobarse en la citada tabla para algunos materiales se dispone de varias estimaciones alternativas del GWP en función de las características específicas de cada uno de ellos.

Frente a esta situación y a efectos prácticos, se optó por utilizar los valores medios para aquellos materiales de los que se disponía de varias estimaciones, y utilizándose los valores máximos y mínimos para establecer un cierto nivel de sensibilidad en la estimación.

Finalmente, del total de 32 productos básicos computados en la promoción analizada se obtuvieron los valores unitarios de Huella de Carbono para 23 de ellos, quedando sin valorar otros 9, asumiendo que el agua no genera emisiones de G.E.I.

Los 23 materiales identificados junto con el agua, suponen el 99,8% del peso total de los materiales incorporados quedando únicamente fuera del cómputo las Colas, Pinturas, Gasóleo B, Polímero Sílice, Poliuretano, EPDM y Neopreno, que conjuntamente tan sólo suponen el 0,2% del peso total de los materiales utilizados.

Tabla 16. Enfoque de peso: Emisiones medias por tipología de materiales

Global Warming Potential		
Material Obra	Material Ecoinvent	CO2 (unidad: Kg. de CO2 eq. por Kg. de material)
Cemento	market group for cement, unspecified	0,782
Yeso	market for base plaster	0,270
Yeso laminado (Pladur)	market for gypsum plasterboard	0,396
Prefabricados Hormigón	market for concrete block	0,159
Asfalto	market for mastic asphalt	0,276
Acero	market for steel, low-alloyed, hot rolled	2,187
	market for steel, unalloyed	2,272
	market for steel, low-alloyed	1,892
	market for reinforcing steel	2,465
Aluminio	market for aluminium, primary, liquid	18,551
	market for aluminium alloy, AlLi	2,883
	market for aluminium alloy, AlMg3	9,085
Cobre	market for wire drawing, copper	0,790
	market for sheet rolling, copper	0,620
	market for copper	8,413
Arena/Grava	gravel and sand quarry operation	0,012
	market for gravel, round	0,004
Piedra	market for natural stone plate, cut	0,519
	market for natural stone plate, grounded	0,779
	market for natural stone plate, polished	1,003
Baldosas	market for cement tile	0,269
	market for ceramic tile	0,847
Ladrillos	market for sand-lime brick	0,186
	market for light clay brick	0,166
	market for clay brick	0,321
Porcelana	market for ceramic tile	0,847
	market for sanitary ceramics	1,980

Global Warming Potential		
Material Obra	Material Ecoinvent	CO2 (unidad: Kg. de CO2 eq. por Kg. de material)
Vidrio	market for glass fibre	2,528
	market for flat glass, uncoated	1,032
	market for flat glass, coated	1,203
Lana mineral	market for stone wool	1,336
Poliestireno	market for polystyrene foam slab	4,091
	market for polystyrene, expandable	3,632
	market for polystyrene foam slab for perimeter insulation	4,692
Polietileno	market for polyethylene, high density, granulate	2,127
PVC	market for polyvinylchloride, bulk polymerised	2,171
	market for polyvinylchloride, emulsion polymerised	2,623
	market for polyvinylchloride, suspension polymerised	2,013
Melamina	market for melamine	5,221
	market for melamine formaldehyde resin	4,714
Vinilo	market for vinyl fluoride	8,685
	market for vinyl acetate	2,360
Caucho	market for synthetic rubber	2,623
	market for seal, natural rubber based	2,020
Maderas	market for wood wool	0,084
Silicona	market for silicone product	3,293

Fuente: Base de datos Ecoinvent.

Aplicando los índices unitarios de cada material a los montantes totales utilizados en la promoción se obtendrían, finalmente, las estimaciones de la Huella de Carbono de los materiales mediante el enfoque de peso y que se recogen en la tabla que presentamos a continuación.

Como puede comprobarse en la citada tabla, el volumen total de **emisiones generadas por los materiales de construcción** ascendería, utilizando los valores medios, a unas **6.508 toneladas**

equivalentes de CO₂, con un valor mínimo de **5.739 Tn**, y un máximo de **7.362 Tn**.

Estos valores son ligeramente superiores a los obtenidos mediante el enfoque de valor, que se situaba en 5.447 toneladas, si bien, las desviaciones se limitan a un 5% de desviación con respecto al mínimo del intervalo, lo que garantiza la solidez de los resultados obtenidos mediante ambos enfoques.

A efectos operativos, y por un principio de prudencia, utilizaremos los valores medios obtenidos mediante el enfoque de peso, para valorar la Huella de Carbono total de la promoción residencial de Villaverde.

Tabla 17. Enfoque de peso: Huella de Carbono de los materiales de construcción

			CO ₂ (unidad: kg CO ₂ - equ)			KG CO ₂		
Grupo	Material	Kg	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
Aglutinantes	Cemento	3.600.551	0,782	0,782	0,782	2.814.011	2.814.011	2.814.011
	Yeso	165.143	0,270	0,270	0,270	44.584	44.584	44.584
	Yeso laminado	542.562	0,396	0,396	0,396	215.061	215.061	215.061
	Prefabricados Hormigón	1.033.895	0,159	0,159	0,159	164.203	164.203	164.203
	Asfalto	41.463	0,276	0,276	0,276	11.423	11.423	11.423
Metales	Acero	929.228	1,892	2,204	2,465	1.758.192	2.047.925	2.290.361
	Aluminio	33.738	2,883	10,173	18,551	97.275	343.228	625.882
	Cobre	156	0,620	3,274	8,413	97	512	1.315
Pétreos	Arena/Grava	19.861.275	0,004	0,004	0,004	84.462	84.462	84.462
	Piedra	16.405	0,519	0,767	1,003	8.519	12.581	16.450
Cerámicos	Baldosas	256.398	0,269	0,558	0,847	69.020	143.071	217.123
	Ladrillos	1.844.691	0,166	0,224	0,321	306.219	413.906	591.556
	Porcelana	10.640	0,847	1,413	1,980	9.010	15.040	21.069
	Vidrio	63.982	1,032	1,588	2,528	66.017	101.583	161.741
	Lana mineral	23.177	1,336	1,336	1,336	30.962	30.962	30.962

			CO2 (unidad: kg CO2 - equ)			KG CO2		
Grupo	Material	Kg	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
Plásticos	Poliuretano	211	-	-	-	-	-	-
	Poliestireno	4.763	3,632	4,138	4,692	17.297	19.708	22.344
	Polietileno	625	2,127	2,127	2,127	1.329	1.329	1.329
	EPDM	529	-	-	-	-	-	-
	Neopreno	2.244	-	-	-	-	-	-
	PVC	213	2,013	2,269	2,623	429	483	559
	Melamina	4.550	4,714	4,967	5,221	21.448	22.602	23.756
	Vinilo	370	2,360	5,522	8,685	874	2.045	3.217
	Otros	11.867	-	-	-	-	-	-
	Caucho	2.087	2,020	2,322	2,623	4.215	4.844	5.474
Maderas	Meras	169.390	0,084	0,084	0,084	14.307	14.307	14.307
Compuestos	Colas	57	-	-	-	-	-	-
	Pinturas	15.150	-	-	-	-	-	-
	Gasóleo B	35.016	-	-	-	-	-	-
	Polímero Sílice	5.825	-	-	-	-	-	-
	Silicona	125	3,293	3,293	3,293	411	411	411
Agua	Agua	3.139.000	0,000	0,000	0,000	0	0	0
	Total	31.815.328				5.739.363	6.508.281	7.361.598

Fuente: Elaboración propia

Como puede comprobarse en la tabla precedente las mayores emisiones provienen del Cemento con el 43% del total, seguido por el Acero con el 31%. A bastante distancia se sitúan ya los ladrillos y el Aluminio, con el 6% y el 5%, respectivamente del total de emisiones.

5. Resultados agregados y consideraciones finales

A lo largo del presente informe se han recogido los principales resultados obtenidos en el contexto del segundo proyecto aplicado que se ha desarrollado en el Observatorio UAM - Vía Célere de sostenibilidad de la construcción residencial y cuyas líneas generales se recogen en el apartado introductorio.

En esta ocasión, la investigación se ha focalizado en la estimación de la Huella de Carbono de una promoción residencial tipo como la desarrollada por Vía Célere en Villaverde.

Para la estimación de esta Huella de Carbono se han utilizado los procedimientos estandarizados en la literatura especializada, diferenciando la Huella de Carbono de la actividad constructora en sí, (utilizando la metodología de la Huella de la organización) y la vinculada con los materiales de construcción incorporados (Huella de producto).

Adicionalmente, para esta segunda estimación se han aplicado dos procedimientos alternativos para garantizar la solidez de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos para la **Huella del proceso de construcción** en los diferentes Alcances quedarían resumidos en los datos que presentamos a continuación:

Emisiones generadas durante el proceso de construcción de el residencial Célere Villaverde (t CO₂ eq)	
Huella de Carbono total	300,555
ALCANCE 1: Emisiones directas	106,175
ALCANCE 2: Emisiones indirectas	20,579
ALCANCE 3: Otras emisiones indirectas	173,801
ALCANCE 1: Emisiones directas (t CO₂ eq)	
Consumo de combustibles fósiles en instalaciones fijas	106,175
ALCANCE 2: Emisiones indirectas (t CO₂ eq)	
Consumos eléctricos	20,579
ALCANCE 3: Otras emisiones indirectas (t CO₂ eq)	
Transporte y distribución de la fase de aguas arriba	87,775
Transporte de los residuos generados en las operaciones	6,345
Desplazamientos de los empleados.	79,681

En el caso de la **huella derivada de los materiales utilizados**, los resultados obtenidos se resumirían como:

Emisiones generadas por los materiales incorporados en el residencial Célere Villaverde (t CO₂ eq)	
Enfoque de valor	
Total emisiones	5446,894
Emisiones incorporadas	1315,628
Emisiones indirectas	4131,266
Enfoque de peso	
Total emisiones	6.488,719
Cemento	2.814,011
Yeso	44,584
Yeso laminado (Pladur)	215,061
Prefabricados Hormigón	164,203
Asfalto	11,423
Acero	2.047,925
Aluminio	343,228
Cobre	0,512
Arena/Grava	84,462
Piedra	12,581
Baldosas	143,071
Ladrillos	413,906
Porcelana	15,040
Vidrio	101,583
Lana mineral	30,962
Poliestireno	19,708
Polietileno	1,329
PVC	0,483
Melamina	22,602
Vinilo	2,045
Caucho	4,844
Maderas	14,307
Silicona	0,411
Agua	0,000

Por agregación de la huella del proceso de construcción y la de los materiales se obtendrían unas emisiones totales o **Huella de Carbono de la Promoción Residencial de 6.809 toneladas de CO₂**.

Para hacernos una idea de la magnitud de estas emisiones y tomando como referencia las emisiones de 120 gramos de CO₂ por kilómetro recorrido por un automóvil de tipo medio, la distancia total que podría recorrer se acercaría a los **57 millones de kilómetros**, es decir, se podría dar más de **4.400 vueltas a la tierra**.

Por otro lado, considerando que se calcula que un árbol adulto retiene media tonelada de CO₂ al cabo de un año, para **compensar todas las emisiones generadas en un año**, se podrían plantar unos **13.600 árboles**.

Teniendo en cuenta que la superficie total construida en la promoción analizada es de 15.428,85 m², la Huella de Carbono total se situaría en unos **441 Kg. de CO₂ eq. por cada m² construido**.

A efectos comparativos se han recogido algunas referencias localizadas en la literatura y que estiman esta Huella de Carbono por m² construido y que, como puede comprobarse arrojarían unos resultados medios de 469 kg. por m², valores muy similares a los obtenidos en el presente estudio, lo que le confiere un nuevo contraste de solidez.

Publicación	Tn Co2/m2	Año	Título
International Energy Agency	0,557	2016	Evaluation of embodied energy and co2eq for building construction (annex 57)
Informes de la construcción Vol 64,527, 401-414 Jul-Sep-2012	0,694	2012	Modelo de cuantificación de las emisiones de CO ₂ producidas e edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución
Journal of cleaner production 113 (2016) 274-284	0,340	2016	The embodied air pollutant emissions and water footprints of buildings in China: a quantification using disaggregated input output life cycle inventory model
Energy and Buildings Volume 49, June 2012, Pages 437-442	0,570	2012	Estimation of CO ₂ emission of apartment buildings due to major construction materials in the Republic of Korea
Building and Environment Volume 41, Issue 7, July 2006, Pages 902-909	0,270	2006	Assessment of the decrease of CO ₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact
Sustainable Cities and Society Volume 12, July 2014, Pages 63-68	0,385	2014	Analysis of CO ₂ emissions in the construction phase of single-family detached houses

En el gráfico que presentamos a continuación se recogen las aportaciones específicas de cada uno de los componentes al total de la Huella de Carbono estimada.

Gráfico 10. Componentes de la Huella de Carbono de la promoción residencial de Villaverde



Fuente: Elaboración propia.

Como puede comprobarse en el gráfico precedente agregados el cemento y el acero acumularían más del 70% de la Huella de Carbono total, mientras que todas las actividades de construcción, de forma conjunta representan únicamente el 4,4% de dicha huella total.

Lógicamente, los intentos por reducir esta Huella de Carbono deberían focalizarse en aquellos elementos con mayor impacto en las emisiones, especialmente en los materiales de construcción.

En esta línea, se han identificado diversas iniciativas y propuestas para reducir estas externalidades ambientales de la actividad constructora, entre las que podemos resaltar las siguientes:

- Incorporar siempre en las ofertas realizadas, o en las licitaciones, la posibilidad de ofertar madera certificada, lo que permite informar sobre los beneficios ambientales de la utilización de dicho material certificado.

- Utilizar hormigones compuestos a partir de áridos reciclados, en lugar de utilizar áridos nuevos extraídos de canteras y cauces, lo que permite informar sobre los beneficios ambientales de la utilización de dichos materiales reciclados.
- Fomento activo de la compraventa de todo tipo de subproductos y reciclados
- Reutilizar los residuos de los materiales en la propia obra, evitando así su traslado a las plantas de tratamiento y reciclaje.
- Mejoras en la planificación de los procesos, evitando los márgenes excesivos en la contratación de materiales.
- Optimización de las rutas en el transporte de materiales, evitando consumos energéticos excesivos.

De forma complementaria se pueden adoptar medidas específicas para reducir las emisiones derivadas de los consumos energéticos vinculados al proceso de construcción tales como:

- Utilización de instalaciones de generación renovable (fotovoltaica, eólica, ...) destinadas al consumo propio, de forma que se pueda cubrir así total o parcialmente la demanda de una obra u oficina. Por esta vía se consigue reducir el consumo de energía eléctrica desde la red y se optimiza la Huella de Carbono de la obra.
- Utilizando vehículos con combustibles alternativos, mejorando la eficiencia energética de los vehículos de transporte del personal y de los materiales de construcción, a través de mejoras en los criterios de compra, renting o leasing, cursos de conducción eficiente, la utilización de combustibles alternativos u vehículos con motores híbridos y eléctricos.

Referencias Bibliográficas

- Bhochhibhoya, S., Zanetti, M., Pierobon, F., Gatto, P., Maskey, R. K., & Cavalli, R. (2017). “The Global Warming Potential of Building Materials: An Application of Life Cycle Analysis in Nepal”. *Mountain Research and Development*, 37(1), 47. <https://doi.org/10.1659/mrd-journal-d-15-00043.1>
- B, W., & C, V. (2013). *Overview and methodology (final) Acknowledgements v3.3 (1)*, 169. https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf
- Ciroth, A., S. Muller, and B. Weidema. (2012): “Refining the pedigree matrix approach in Ecoinvent”. Berlin: GreenDelta. <https://pdfs.semanticscholar.org/51be/0afe35c7d793f4e4512a159272b5d9662dae.pdf>
- Consoli, Frank & SETAC (Society) & LCA “Code of Practice” Workshop (1993): “Guidelines for life-cycle assessment : a “code of practice” : Sesimbra, Portugal) (1993) Society of Environmental Toxicology and Chemistry, (SETAC), Pensacola, FL. <https://trove.nla.gov.au/work/15414012?q&versionId=18111406>
- Fernandez, P y Pérez García, J. (2019): “Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial”. Madrid. Observatorio UAM-Vía Célere. <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2019/04/Informe-Huella-H%C3%AFdrica-de-una-promoci%C3%B3n-residencial-UAM.pdf>
- González, M.J. y J. García Navarro (2016): “Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact” *Building and Environment*, Volume 41, Issue 7 Pages 902-909 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.006>.
- International Energy Agency (2016). “Evaluation of Embodied Energy and CO2eq for Building Construction” Japón. http://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_57_Results_Overview.pdf.
- IPCC. (2001). Cambio climático 2001: Informe de síntesis. Una Evaluación del Tercer Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. In *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC (2006): “GHG Workbook: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” Japón. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf
- Lavola. (2018). *Analisis Del Ciclo De Vida*. <https://www.lavola.com/es/2018/01/18/iso-140012015-del-enfoque-al-analisis-de-ciclo-de-vida-en-las-organizaciones/>
- Mercader MP, de Arellano Ramírez, Olivares M (2012) “Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución”. *Inf la Construcción* 64:401- 414. <https://doi.org/10.3989/ic.10.082>

- **M° Transición Ecológica (2017):** “Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización”. Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- **Oficina Española de Cambio Climático (2019)** “Factores de emisión. Registro de Huella de Carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono”, abril, versión 12. Ministerio para la Transición Ecológica. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf
- **R. Pacheco-Torres, E. Jadraque, J. Roldán-Fontana, J. Ordóñez (2014):** “Analysis of CO2 emissions in the construction phase of single-family detached houses” *Sustainable Cities and Society*, Volume 12, Pages 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.01.003>.
- **Pulido, A. y E. Fontela (1993):** “Análisis Input-output: Modelos datos y aplicaciones”. Pirámide. Madrid.
- **Tukker, A., de Koning, A., Wood, R., Hawkins, T., Lutter, S., Acosta, J., Rueda Cantuche, J.M., Bouwmeester, M., Oosterhaven, J., Drosdowski, T., Kuenen, J. (2013):** “EXIOPOOL - Development and Illustrative Analyses of a Detailed Global MR EE SUT/IOT. *Economic Systems Research*, 25 (1), pp. 50-70. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874067056&partnerID=40&md5=c6b58178ca58c18e0dccfc9723a56740>
- **World Resources Institute (2001):** “The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard” Washington, DC. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- **Young-Sun Jeong, Seung-Eon Lee, Jung-Ho Huh (2012):** “Estimation of CO2 emission of apartment buildings due to major construction materials in the Republic of Korea” *Energy and Buildings*, Volume 49, Pages 437-442 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.041>.
- **Yuan Chang, Zhiye Huang, Robert J. Ries, Eric Masanet (2016):** “The embodied air pollutant emissions and water footprints of buildings in China: a quantification using disaggregated input-output life cycle inventory model” *Journal of Cleaner Production*, Volume 113, Pages 274-284 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.014>.

OBSERVATORIO
para la Sostenibilidad Ambiental
de la Edificación Residencial

