



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Facultade de Ciencias

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN  
QUÍMICA Y QUÍMICA INDUSTRIAL**

Memoria del Trabajo de Fin de Máster

Metodología y cálculo de la huella de carbono para productos  
agroalimentarios

Methodology and estimation of the carbon footprint for  
agri-food products

Metodoloxía e cálculo da pegada de carbono para produtos  
agroalimentarios

**Mario Román Rodríguez**

Curso: 2020/2021

Director: Ricardo Riveiros Santiago



## Abreviaturas

<b>ADEME</b>	Agencia de <b>M</b> edio <b>A</b> mbiente y <b>E</b> nergía <b>F</b> rancesa
<b>B2B</b>	<b>B</b> usiness-to- <b>b</b> usiness
<b>B2C</b>	<b>B</b> usiness-to- <b>c</b> onsumer
<b>BSI</b>	<b>B</b> ritish <b>S</b> tandard <b>I</b> nstitution
<b>CDP</b>	<b>C</b> arbon <b>D</b> isclosure <b>P</b> roject
<b>CF</b>	<b>C</b> arbon <b>F</b> ootprint
<b>CMCC</b>	<b>C</b> onvención <b>M</b> arco sobre el <b>C</b> ambio <b>C</b> limático
<b>CO<sub>2</sub>eq</b>	CO <sub>2</sub> equivalente
<b>FE</b>	<b>F</b> actor de <b>E</b> misión
<b>GEI</b>	<b>G</b> ases de <b>E</b> fecto <b>I</b> vernadero
<b>GHC</b>	<b>P</b> rotocol <b>G</b> reenhouse <b>G</b> as <b>P</b> rotocol
<b>GFN</b>	<b>G</b> lobal <b>F</b> ootprint <b>N</b> etwork
<b>GRI</b>	<b>G</b> lobal <b>R</b> eporting <b>I</b> nitiative
<b>ha:</b>	Hectáreas
<b>HC</b>	<b>H</b> uella de <b>C</b> arbono
<b>HE</b>	<b>H</b> uella de <b>E</b> nergía
<b>HE</b>	<b>H</b> uella <b>E</b> cológica
<b>HE</b>	<b>H</b> uella <b>H</b> ídrica
<b>HFC</b>	Compuestos hidrofluorocarbonados
<b>IPCC</b>	<b>G</b> rupos <b>I</b> ntergubernamentales de <b>E</b> xpertos sobre el <b>C</b> ambio <b>C</b> limático
<b>ISO</b>	<b>I</b> nternational <b>O</b> rganization for <b>S</b> tandardization
<b>OCDE</b>	<b>O</b> rganización para la <b>C</b> ooperación y el <b>D</b> esarrollo <b>E</b> conómicos
<b>PAS</b>	<b>P</b> ublic <b>A</b> vailable <b>S</b> pecification
<b>PC</b>	<b>P</b> egada de <b>C</b> arbono
<b>PFC</b>	Compuestos perfluorocarbonados
<b>RAE</b>	<b>R</b> evista de <b>A</b> dministração de <b>E</b> mpresas
<b>RNHC</b>	<b>R</b> egistro <b>N</b> acional de <b>H</b> uella de <b>C</b> arbono
<b>ton</b>	toneladas
<b>WBCSD</b>	<b>W</b> orld <b>B</b> usiness <b>C</b> ouncil for <b>S</b> ustainable <b>D</b> evelopment
<b>WRI</b>	<b>W</b> orld <b>R</b> esources <b>I</b> nstitute

# Índice

1. Resumen/ Resumen/ Summary.....	1
2. Introducción .....	3
2.1. La huella hídrica .....	5
2.2. La huella ecológica.....	6
2.3. La huella de carbono.....	7
2.4. La visión de las empresas frente a la huella de carbono .....	10
3. Objetivos.....	15
4. Trabajo realizado .....	16
4.1. Estudio de las diversas metodologías para el cálculo de la huella de carbono... 16	
4.1.1. La norma ISO 14064 .....	17
4.1.2. El GHC Protocol – Alcances 1,2 y 3 .....	18
4.1.3. La norma PAS 2060:2010.....	20
4.1.4. La metodología Bilan Carbone .....	21
4.3. La huella de carbono de productos agroalimentarios.....	24
4.3.1. Cálculo huella de carbono del pan .....	24
4.3.2. Cálculo de la huella de carbono de los huevos de gallinas camperas.....	29
4.3.3. Cálculo de la huella de carbono de la carne de cerdo y pollo.....	33
4.4. Comparación de la HC de diferentes productos agroalimentarios.....	37
5. Conclusiones/conclusionés/conclusions .....	40
6. Bibliografía.....	43

# 1. Resumen/ Resumo/ Summary

## Resumen

En los últimos años, el problema global del cambio climático relacionado con el aumento del consumo y de la población, está generando una mayor concienciación entre la sociedad. Por ello, se han desarrollado una serie de herramientas con el objetivo de evaluar y posteriormente reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas herramientas son la Huella Hídrica, la Huella Ecológica y la Huella de Carbono.

La huella de carbono permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera de un individuo, organización o servicio. En este trabajo se estudian las diversas metodologías para su cálculo, tales como ISO 14064, PAS 2060: 2010, Bilian Carbono o GHC Protocol - Alcances 1,2 y 3.

La producción de productos agroalimentarios representa el 30% del consumo mundial de energía y es la responsable de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero del planeta. En este trabajo, se ha realizado una comparativa de la huella de carbono de diferentes productos agroalimentarios. Entre ellos se encuentran los huevos, pan de centeno, leche o diferentes tipos de carnes.

## Resumo

Nos últimos anos, o problema global do cambio climático relacionado co aumento do consumo e da poboación, está a xerar una maior conciencia entre a sociedade. Por iso, desenvolvéronse unha serie de ferramentas co obxectivo de avaliar e posteriormente de reducir as emisións de gases de efecto invernadoiro. Estas ferramentas son a Pegada Hídrica, a Pegada Ecolóxica e a Pegada de Carbono.

A pegada de carbono permite cuantificar as emisións de gases de efecto invernadoiro á atmosfera dun individuo, organización ou servizo. Neste traballo, estúdanse as diversas metodoloxías para o seu cálculo, tales como ISO 14064, PAS 2060: 2010, Bilian Carbono ou GHC Protocol - Alcances 1,2 e 3.

A produción de produtos agroalimentarios representa o 30% do consumo mundial de enerxía e é a responsable dun terzo das emisións de gases de efecto invernadoiro do planeta. Neste traballo, realizouse unha comparativa da pegada ecolóxica de diferentes produtos agroalimentarios. Entre eles atópanse os ovos, pan de centeo, leite ou diferentes tipos de carnes.

## Summary

In the past years, the global problem of climate change related to the increase in consumption and population, is generating greater awareness among society. For this reason, a series of tools have been developed with the aim of reducing greenhouse gas emissions. These tools are the Water Footprint, the Ecological Footprint and the Carbon Footprint.

The Carbon Footprint allows the quantification of Greenhouse Gas emissions into the atmosphere of an individual, organization or service. In this project, some methodologies have been developed for its calculation, such as ISO 14064, PAS 2060: 2010, Bilian Carbone or GHC Protocol - Scopes 1,2 and 3.

The production of agri-food products represents 30% of world energy consumption and is responsible for a third of the planet's GHG emissions. In this work, a comparison of the carbon footprint of different agri-food products has been made. Among them are eggs, rye bread, milk or different meet types.

## 2. Introducción

Los grandes avances en la ciencia y la tecnología durante las últimas décadas, han permitido un gran crecimiento de la producción y consumo a nivel mundial, mejorando la vida de millones de personas en términos de esperanza y calidad de vida.<sup>1</sup> Este gran crecimiento lleva asociado el problema global del cambio climático, uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la humanidad en la actualidad.<sup>2</sup> La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables.<sup>3</sup>

El clima global de un planeta se rige principalmente por tres factores: (1) su masa global, (2) su distancia respecto al sol y (3) la composición de su atmósfera. La presencia de pequeñas cantidades de vapor de agua, CO<sub>2</sub> y otros gases, permite mantener una temperatura media en la Tierra de 15 °C. Estos gases absorben una parte de las radiaciones de la superficie terrestre y además impiden que escapen hacia el espacio exterior, lo que se conoce como el efecto invernadero natural.<sup>4</sup>

Sin embargo, en el año 2001, el tercer informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) indicaba que se están acumulando una serie de evidencias de la existencia del cambio climático y de los impactos que de él se derivan. Como consecuencia, la temperatura media del planeta ha aumentado en 0,6 °C durante el siglo XX y el nivel del mar ha aumentado de 10 a 12 cm en el mismo período.<sup>5</sup>

Aunque la actividad solar, la actividad volcánica y la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son las tres fuerzas que determinan la variabilidad climática, el principal factor del cambio climático es la concentración de GEI que son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>).<sup>4</sup> La concentración de GEI en la atmósfera está aumentando durante las últimas décadas, principalmente el CO<sub>2</sub>. Este gas es producido a gran escala por el ser humano, ya que puede ser emitido como consecuencia de procesos biológicos, como

la respiración, y también como resultado del consumo de combustibles fósiles, siendo el principal gas responsable del cambio climático.

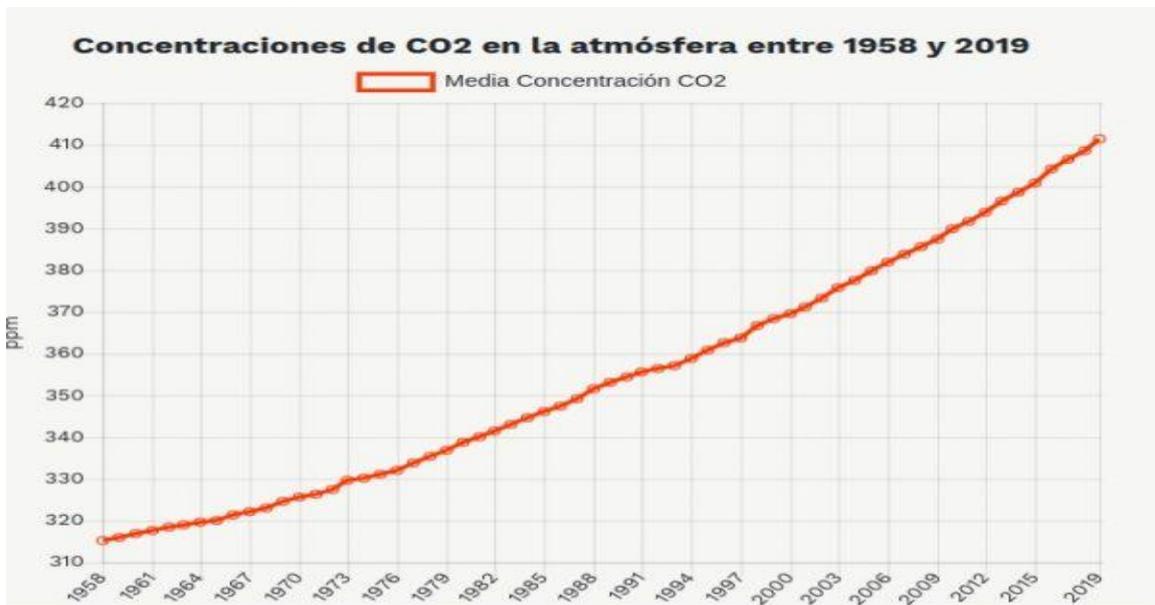


Figura 1. Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera entre 1958 y 2019<sup>6</sup>

En la figura 1, se muestra la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera desde el año 1958 hasta el 2019. Se observa que a partir del año 1960 las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera comienzan a aumentar considerablemente debido al incremento del uso de combustibles fósiles como fuente de energía, pasando de los valores estabilizados de concentración de 315 ppm a valores próximos a los 415 ppm en la actualidad. Este aumento intensifica el fenómeno del cambio climático y el aumento de la temperatura media del planeta, provocando una serie de fenómenos catastróficos a corto y largo plazo, como inundaciones, sequías, olas de frío y calor, pérdidas de la biodiversidad, etc.

Este aumento en la concentración de GEI provocó que, en el año 2014, el informe de síntesis del quinto informe de evaluación del IPCC concluyese que: *“la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas”*.<sup>5</sup> Esto provocó que la comunidad científica aumentase sus esfuerzos en el estudio del cambio climático, tanto para entender su origen como para calcular sus impactos actuales y potenciales.

Los científicos determinaron que es necesario conocer y medir el nivel de contaminación que se está alcanzando en la actualidad para así poder plantear una serie de medidas satisfactorias para permitir que la relación desarrollo humano-medio ambiente esté equilibrada. Por ello, en los últimos años se han desarrollado una serie de indicadores que sirven como herramienta de diagnóstico de sostenibilidad ambiental, permitiendo conocer el impacto de la especie humana al medioambiente a través de sus actividades y consumo de recursos naturales. Los indicadores más importantes son la Huella Hídrica (HH), la Huella Ecológica (HE) y la Huella de Carbono (HC).

## **2.1. La huella hídrica**

La HH es un término reciente que surge en 2002 por el Prof. Arien Hoekstra para tener un indicador del uso del agua dulce, incluyendo tanto el consumo directo, como el uso indirecto.<sup>7</sup> Este consumo de agua se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores como, por ejemplo, ciudades, países, individuos, familias, etc.

En el caso de la HH de un país, esta se divide en interna y externa. La HH interna de un país consiste en el uso de recursos hídricos domésticos para producir bienes y servicios consumidos por los habitantes del país. En cambio, la HH externa es la resultante del consumo de bienes importados, es decir, el agua que se utiliza para la producción de bienes en el país exportador.<sup>8</sup> A escala mundial, la HH externa representa el 16% de la HH promedio por habitante, aunque este porcentaje puede variar enormemente dentro de un mismo país y entre países. El consumo de agua tendrá un impacto diferente dependiendo de dónde y cuándo se extraiga el agua. En el supuesto de que el agua se extraiga en un área donde hay una gran abundancia de este recurso, es poco probable que se produzca un efecto adverso en la sociedad o en el ambiente, mientras que la extracción y uso de agua en un área con escasez de la misma, provocará graves impactos negativos en la zona como desecación de ríos y la destrucción de ecosistemas.

La HH de un producto consiste en el volumen total de agua dulce empleado para elaborar dicho producto, sumado a lo largo de toda la cadena de producción, también

llamado contenido virtual de agua de un producto. A modo de ejemplo, en la tabla 1, se muestran los litros de agua consumida para una serie de productos aleatorios.<sup>8</sup>

Producto	Consumo	Observación
Algodón	2.900 L/kg de algodón	El 3,7% del uso global de agua en la producción de cultivos se utiliza para fabricar algodón. Equivale a 120 L por persona y día
Carne de vacuno	15.500 L/kg de carne de vacuno	Los productos cárnicos representan el 23% del uso global de agua en la agricultura. Equivale a 1.150 L de agua por persona y día.
Azúcar	1.500 L/kg de azúcar de caña	Una persona consume 70 g diarios de azúcar, lo que equivale a 100 L de agua.

Tabla 1. Litros de agua consumida por kilogramo de producto<sup>8</sup>

La HH se puede dividir en tres grupos dependiendo de la procedencia del agua: HH azul, HH verde y HH gris.

- La HH azul es el agua que procede de fuentes naturales o artificiales (ríos, lagos y acuíferos). Equivale al consumo directo de agua dulce en los procesos de fabricación de bienes incluyendo el agua de riego.
- La HH verde es el agua procedente de las aguas pluviales incorporada en el producto y que se almacena en el suelo de manera superficial al alcance de la vegetación, que mediante el proceso de evapotranspiración la emite a la atmósfera.
- La HH gris es el agua contaminada en los procesos, por lo que debe ser tratada para cumplir con la normativa de vertidos de cada territorio.

## 2.2. La huella ecológica

La HE es un indicador ambiental del impacto que ejerce una determinada comunidad humana sobre su entorno, considerando tanto los recursos necesarios como los residuos generados para el mantenimiento del modelo de producción y consumo de la comunidad.<sup>9</sup>

La metodología de cálculo de la HE se basa en la estimación de la superficie productiva necesaria para satisfacer los consumos necesarios asociados a la alimentación, a los productos forestales, al consumo energético y a la ocupación directa del suelo. Estos consumos necesitan superficies productivas que se dividen en:<sup>10</sup>

Superficie	Definición
Cultivos	Superficies con actividad agrícola y que constituyen la tierra más productiva en términos ecológicos.
Pastos	Espacios utilizados para el pastoreo de ganado.
Bosques	Superficies forestales naturales o repobladas, pero siempre que se encuentren en explotación.
Mar productivo	Superficies marinas en las que existe una producción biológica mínima para la sociedad humana.
Superficie artificializada	Considera las áreas urbanizadas y las ocupadas por infraestructuras
Área de absorción de CO <sub>2</sub>	Superficies de bosque necesarias para la absorción de emisiones de CO <sub>2</sub> generadas debido al uso de combustibles fósiles para la producción de energía.

Tabla 2. Superficies productivas

Normalmente, la HE se suele expresar en hectáreas por habitante (ha/habitante) si se realiza el cálculo para un habitante en concreto. En el caso de calcular la HE para la totalidad de la población residente de un determinado territorio, se calcularía teniendo en cuenta la superficie total de ese territorio.

En España, según el informe de la Global Footprint Network (GFN), con datos de 2012, la demanda actual de las actividades en nuestro país es de 2,7 ha/habitante, mientras que la capacidad del planeta que puede suministrar se sitúa próxima a las 2 ha/habitante.<sup>11</sup>

### 2.3. La huella de carbono

El origen de la HC se remonta a un subconjunto de la HE propuesta por Mathis Wackernagel y William Rees a principios de los años 90.<sup>12</sup> En los últimos años, la HC se ha convertido en un término ampliamente utilizado en la sociedad sobre la responsabilidad y las acciones de reducción frente a la amenaza del cambio climático global.<sup>13</sup>

Es considerada una de las herramientas más importantes para cuantificar el conjunto de GEI producidas directa o indirectamente por personas, organizaciones, productos o regiones geográficas, expresado en CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). Es útil para conocer las conductas que contribuyen a un aumento de las emisiones, pudiendo reducirlas e incluso eliminarlas por completo.

El cálculo de la HC puede tener un enfoque corporativo, un enfoque de ciclo de vida de un producto o servicio, un enfoque personal o un enfoque territorial.

- El **enfoque corporativo** evalúa la HC de una organización durante un tiempo determinado.<sup>14</sup> La HC corporativa agrupa las emisiones GEI en tres grupos:
  - Las **emisiones directas** (Alcance 1) son aquellas emisiones GEI que provienen de fuentes controladas de la empresa, como por ejemplo el consumo de combustibles fósiles en vehículos de la propia compañía.
  - Las **emisiones indirectas** (Alcance 2) se corresponden a las emisiones de GEI generadas por la electricidad consumida y comprada por el emisor.
  - Otras **emisiones indirectas** (Alcance 3) son aquellas emisiones de GEI que no son producidas por la empresa ni están controladas por la misma. Dentro de este tipo de emisiones se incluirían las originadas por el transporte de los trabajadores, transportes de mercancías, etc.

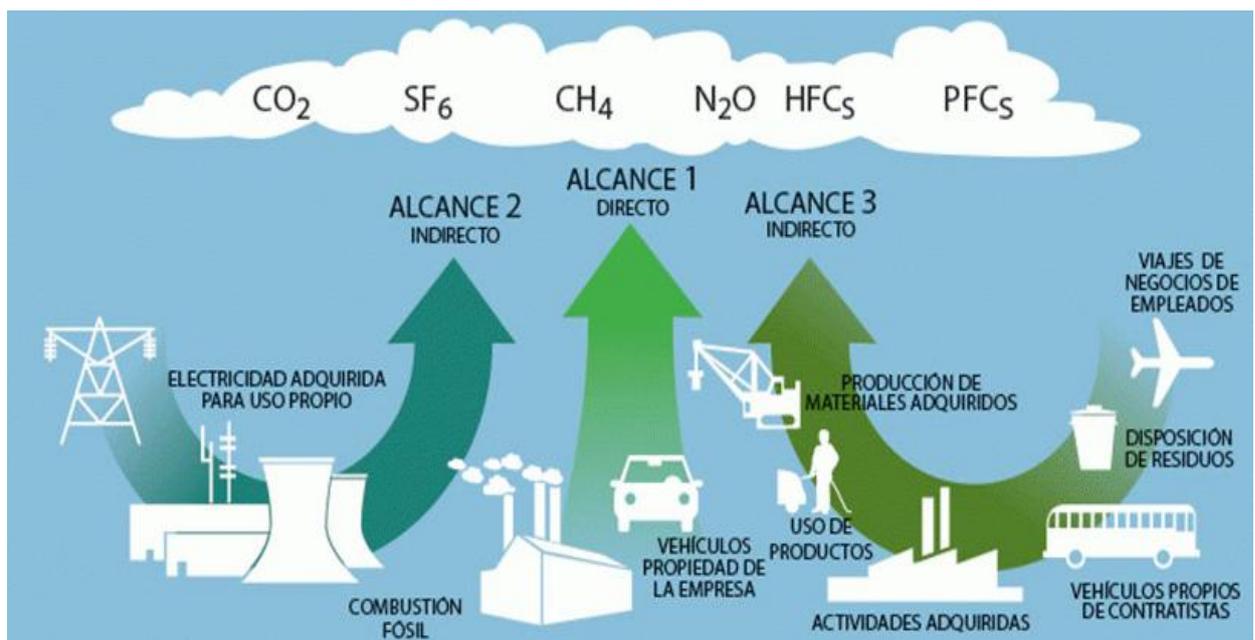


Figura 2. Alcances de las emisiones de GEI<sup>15</sup>

- El **enfoque de ciclo de vida de un producto o servicio** consiste en evaluar la HC de productos o servicios a lo largo de toda la cadena de valor.<sup>15</sup> Desde hace unos años, las empresas han incrementado la tendencia a incluir en los etiquetados de sus productos el valor de su HC. La indicación de la HC en las etiquetas permite a los fabricantes mostrar información sobre el impacto que tiene su producción de alimentos en el medio ambiente, así como ayudar a los consumidores a tomar decisiones más sostenibles.

La metodología más utilizada para llevar a cabo la evaluación de la HC de producto son las “Especificaciones para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de GEI de bienes y servicios” (PAS 2060:2010), desarrollada por la British Standard Institution (BSI) en 2008 y actualizada posteriormente en 2011.<sup>14</sup>

- El cálculo de la HC puede realizarse siguiendo un **enfoque personal**. Este enfoque se basaría en evaluar las emisiones directas e indirectas de GEI de una persona en un período determinado de tiempo. Este enfoque indica la incidencia de las acciones personales al fenómeno del cambio climático. Para su evaluación es necesario conocer los hábitos de consumo de una persona y en base a ello modificar las principales fuentes de emisión sin alterar el desarrollo de su día a día.

Se ha estimado que, mediante la implementación realista de cambios ya conocidos en el comportamiento de los consumidores, la Unión Europea podría reducir su HC en aproximadamente un 25%. Los más destacados son los cambios en el patrón de consumo (28% del total), la reducción del consumo (26%), el cambio a bienes con menor HC en la producción (17%) y a bienes con menor emisión de carbono durante el uso (19%). Por lo que es importante centrar los esfuerzos en los cambios de comportamiento con el mayor impacto potencial.<sup>1</sup>

- El **enfoque territorial** evalúa las emisiones GEI de un área determinada cuyos límites establecidos corresponden a los geográficos o políticos. Permite determinar el impacto global del cambio climático de un área para una posterior implementación de planes de mitigación más efectivos.<sup>14</sup>

## 2.4. La visión de las empresas frente a la huella de carbono

Las grandes empresas mundiales comenzaron a implementar estrategias para solucionar el problema del cambio climático en los años noventa, pero no fue hasta el año 2005 cuando cobró más fuerza debido a que se establecieron una serie de límites máximos de las emisiones de cada país y cada sector en específico.<sup>16</sup> Además, el problema ambiental actual está generando cierta presión a las empresas ya que comienzan a ser evaluadas no solo por producir productos y servicios de buena calidad, sino también por su capacidad de mantener en equilibrio los aspectos económicos, sociales y ambientales, es decir, por su sustentabilidad.<sup>16</sup> Por ello, las empresas están empezando a integrar la gestión de la HC para el marketing ecológico, como una herramienta estratégica para caracterizar a un producto o servicio en el mercado verde. Por lo que aquellas empresas donde su estrategia empleada esté enfocada en el cuidado del medio ambiente y la comunicación de sus acciones estarán más reconocidas por sus consumidores.<sup>17</sup>

Los inversores y otros grupos de interés presionan y exigen a las empresas la información completa de las acciones llevadas a cabo por la misma, además de que den respuestas al cambio climático y sean efectivas a los inversionistas en la toma de decisiones. Por esto, las instituciones Global Reporting Initiative (GRI) y el Carbon Disclosure Project (CDP) proponen una serie de iniciativas para organizar y orientar los enfoques de la información que se solicita a las empresas tanto a nivel económico, social y ambiental.<sup>18</sup>

Además, la información sobre las emisiones de GEI permite a las empresas detectar ineficiencias dentro de los procesos productivos, pudiendo realizar posteriores ajustes o cambios. Por otro lado, la gestión de la HC modifica los comportamientos de los trabajadores de la empresa, trasladándose también a los hogares. Profundizar el trabajo con la HC permite a la empresa avanzar en otros temas como la gestión de residuos y del agua, que están comenzando a abrirse paso en los mercados internacionales.<sup>19</sup>

En la figura 2, se muestra una encuesta realizada en el año 2011 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sobre los factores que motivaban a las empresas a implementar planes de reducción de emisiones.<sup>19</sup>

Fuente: OCDE Encuesta de prácticas empresariales para reducir las emisiones (2010)

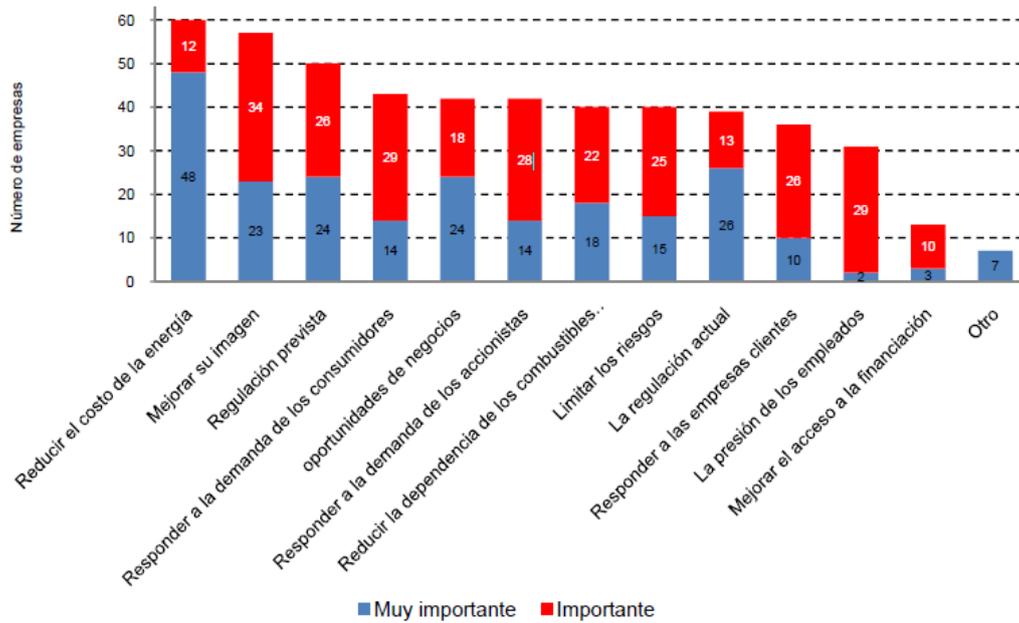


Figura 2. Motivaciones para reducir las emisiones de GEI en las empresas<sup>19</sup>

El principal motivo para la reducción de emisiones de GEI por parte de las empresas es reducir el costo energético, seguido por el mejoramiento de su imagen corporativa. Otro motivo importante para la reducción de emisiones de GEI es el de responder a la demanda de los consumidores.

En la figura 3 se recogen las diferentes acciones tomadas por las empresas para reducir las emisiones de GEI. Destacar que la gran mayoría de empresas reducen sus emisiones a través de acciones de eficiencia energética.<sup>19</sup>

Fuente: OCDE Encuesta de prácticas empresariales para reducir las emisiones (2010)

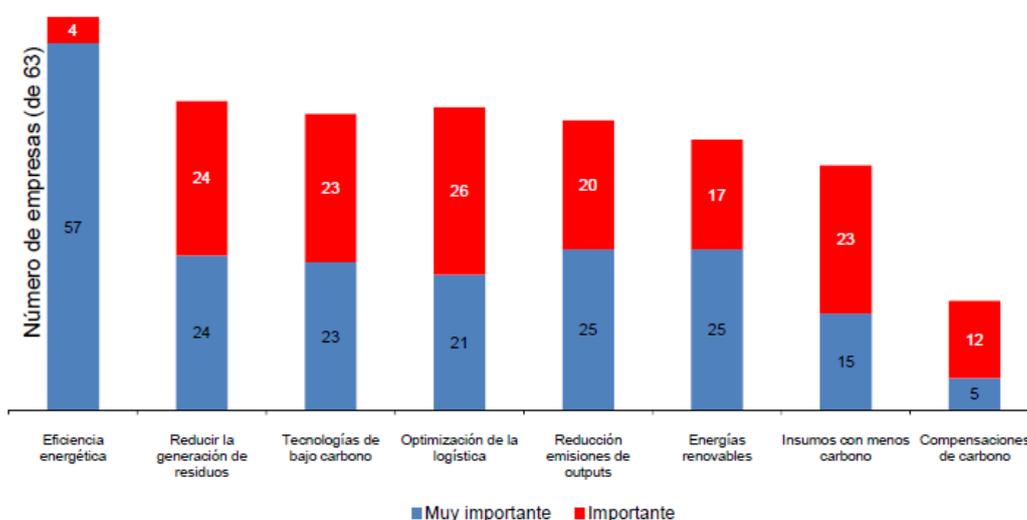


Figura 3. Acciones tomadas por las empresas para reducir las emisiones de GEI<sup>19</sup>

La creación en España en el año 2014 del Registro Nacional de Huella de Carbono (RNHC), permitió a las empresas españolas disponer de una herramienta para reducir sus emisiones. El principal objetivo del Registro Español, de carácter voluntario, es buscar la sensibilización de las empresas españolas en lucha del cambio climático. En este registro de la HC se notifican los GEI emitidos a la atmósfera y su alcance.

En el artículo de la Revista de Administração de Empresas (RAE), se analizan las características de las empresas españolas que calcularon y publicaron su HC en el Registro Nacional Español.<sup>20</sup> Se utilizaron los datos del primer cuatrimestre de 2015:

Organizaciones inscritas	125
Huellas de carbono registradas	150
Huellas de carbono Alcance 1+2	117
Huellas de carbono Alcance 1+2 y 3	33

Tabla 3. Registro de Huella de Carbono española (1er cuatrimestre 2015)<sup>20</sup>

En función de la diferente bibliografía relacionada con el tema a tratar, se propusieron una serie de hipótesis para su posterior estudio:

- H<sub>1</sub>: las empresas que pertenecen a la industria manufacturera tienen mayor tendencia a reportar un mayor alcance (1+2 y 3) de su HC.
- H<sub>2</sub>: Las empresas con un mayor índice de rentabilidad tienen preferencia a reportar un mayor alcance (1+2 y 3).

- H<sub>3</sub>: las empresas más apalancadas (con mayor crédito) tienen mayor preferencia a reportar un mayor alcance (1+2 y 3) de su HC.
- H<sub>4</sub>: las empresas son más propensas a reportar un mayor alcance de HC (1 +2 y 3) si han divulgado antes.
- H<sub>5</sub>: las empresas más jóvenes tienen tendencia a reportar un mayor alcance (1 +2 y 3) de su HC.
- H<sub>6</sub>: las empresas de mayor tamaño son más propensas a reportar un mayor alcance (1+2 y 3) de su HC.

Los datos estadísticos descriptivos de la tabla 4, reflejan que la mayoría de las empresas registran alcances menores (78,3%), mientras que una minoría (21,7%) de empresas han realizado el registro de un mayor alcance de la HC (1+2 y 3). Cabe destacar que el 66,7% de las industrias que registran la HC pertenecen a la industria manufacturera.

	Categoría	Frecuencia
Huella de Carbono	Alcance 1+2	78,3%
	Alcance 1+2 y 3	21,7%
Sector de la industria	Manufacturera	66,7%
	Otros sectores	33,3%

Tabla 4. Estadística estudio HC y sector industrial<sup>20</sup>

Mediante la aplicación de un modelo de regresión logística se obtuvieron una serie de resultados que permitieron concluir que con las hipótesis H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> y H<sub>6</sub> no se encontraron evidencias suficientes para aceptarlas. Solo se aceptaron las hipótesis H<sub>3</sub>, H<sub>4</sub> y H<sub>5</sub>.

La hipótesis H<sub>3</sub>, que muestra una relación entre el grado de divulgación de la HC y el grado de apalancamiento, fue aceptada. Esto se asocia a la práctica de ciertas empresas altamente apalancadas, de elaborar reportes de las operaciones y responsabilidad social para mantener informados a sus acreedores y reducir costos de agencia.

La hipótesis H<sub>4</sub>, que relaciona el grado de divulgación del comportamiento ambiental de las empresas con los esfuerzos para el cálculo de su HC, presenta una relación directa. Por lo que aquellas empresas con una mayor transparencia con su

comportamiento ambiental tendrían mayor tendencia a registrar su HC de mayor alcance.

La hipótesis H<sub>5</sub>, sugiere que las empresas más jóvenes tienen mayor tendencia a reportar un mayor alcance de la HC, en comparación con las empresas más longevas. Esto es debido a que las empresas más tradicionales aún no se han hecho eco de la voluntariedad del registro de la HC. Por lo que estas empresas necesitarían una serie de motivaciones adicionales a las existentes en la actualidad para que tengan un mayor compromiso con el registro de la HC.

El estudio permitió identificar una relación positiva del grado de registro de la HC con la rentabilidad, el apalancamiento, las divulgaciones previas y la edad de las empresas. Sin embargo, se obtuvieron resultados negativos con la relación del sector industrial manufacturero y el tamaño de la organización. Además, las empresas españolas que se registraron en el Registro Nacional consiguieron reducir su HC en una media de reducción del 6,7%.

### 3. Objetivos

Ante el aumento de la preocupación de la sociedad al cambio climático se han desarrollado múltiples herramientas con la finalidad de disminuir las emisiones de GEI. El objetivo principal del presente trabajo es realizar una revisión bibliográfica acerca de la herramienta de la HC, empleada para calcular las emisiones de GEI a la atmósfera en el ciclo de vida de un individuo, organización o producto.

Los principales objetivos que van a ser tratados en este trabajo son:

- La descripción de las diferentes metodologías más relevantes para el seguimiento y cálculo de la HC.
- La comparación de la HC de diferentes productos agroalimentarios a lo largo de su ciclo de vida.

## 4. Trabajo realizado

### 4.1. Estudio de las diversas metodologías para el cálculo de la huella de carbono

A día de hoy se han desarrollado diversas metodologías y normas para el cálculo de la HC de un producto, organización o servicio. Las más empleadas son la norma ISO 14064<sup>21,22,23</sup>, el GHC Protocol - Alcances 1,2 y 3<sup>24</sup>, la norma PAS 2060: 2010<sup>25</sup> y la metodología Bilian Carbone<sup>26</sup>. En general, todas ellas presentan unos pasos comunes para el cálculo de la HC que se describen a continuación.

- **Fase de inicio.** En esta fase se define tanto el objetivo del estudio como el alcance al que se desea llegar. Dependiendo del alcance de las emisiones de GEI será necesario recopilar los datos de las emisiones tanto si son de actividades controladas por la empresa o por terceros.

Una vez que se define el alcance, se realiza el mapa del proceso, que consiste en plasmar de forma gráfica las actividades del ciclo de vida del producto en las que se producen emisiones a la atmósfera. Esto engloba todo el proceso, desde la producción de materias primas hasta el consumo final y posterior desechado, debiendo indicar todos los inputs/outputs de materias primas, todos los transportes empleados en la cadena de producción y todos los residuos generados.

Después de definir el mapa de proceso, se decide el tipo de huella que se quiere calcular:<sup>27</sup>

- Business-to-business (B2B), que consiste en que el consumidor final es otra empresa que utiliza el producto como materia prima para la producción de otros productos. En este caso se incluirían las emisiones generadas desde la producción de las materias primas, producción y transporte hacia el nuevo cliente.
- Business-to-consumer (B2C), donde el consumidor es el usuario final. De este modo, se incluyen las emisiones aportadas desde la producción de materias primas, transporte hasta la fábrica, proceso de producción, distribución, consumo del consumidor y el reciclado o la eliminación de los desechos.

- **Cálculo de la huella de carbono.** De una forma general, la HC se calcula a partir de la siguiente fórmula:<sup>28</sup>

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato actividad} * \text{Factor de emisión}$$

Donde:

- El factor de emisión (FE) supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Dependiendo de la actividad estos factores serán diferentes.
- El dato de actividad es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de los GEI.
- **Análisis de riesgos y oportunidades.** Una vez que se conoce el valor numérico de la HC y las fuentes de emisión asociadas a éste, se realiza un análisis de riesgos y oportunidades con la finalidad de alcanzar la eficiencia en los procesos y mejorar el empleo de los recursos
- **Plan de mitigación.** El plan de mitigación realizado por la empresa consiste en establecer una serie de medidas y estrategias para disminuir o suprimir las emisiones de GEI a la atmósfera. La opción más efectiva para la reducción de la HC es aumentando la eficiencia en la producción.

Una vez descritos los pasos comunes que presentan todas las metodologías para el cálculo de la HC, se analizan las diferentes metodologías más importantes para su cálculo, tanto para organizaciones, como para productos o servicios.

#### 4.1.1. La norma ISO 14064

La norma International Organization for Standardization (ISO) 14064 es una herramienta empleada en el área de cálculo de GEI. El objetivo es dar credibilidad y veracidad a los reportes de GEI, así como las declaraciones de reducción de GEI. La norma se compone de tres partes diferentes.

- **ISO 14064-1:** se centra en el diseño y desarrollo de los inventarios de GEI a nivel organizativo.<sup>21</sup> El contenido de la norma detalla los principios y requisitos que se deben establecer tanto para la elaboración como el seguimiento de los inventarios.

- **ISO 14064-2:** contiene la metodología de cálculo de la reducción de emisiones relacionadas al diseño de actividades o ejecución de proyectos.<sup>22</sup>
- **ISO 14064-3:** describe los requisitos y recomendaciones necesarios para la correcta ejecución de los procesos de validación y verificación de los inventarios de emisiones de GEI.<sup>23</sup>

Familia ISO 14064		
ISO 14064-1	ISO 14064-2	ISO 14064-3
Organizaciones y productos	Metodología para el cálculo de la HC	Validación y verificación

Tabla 5. Familia ISO 14064

La metodología de implantación de la norma consta de tres procesos:

- Se definen los límites de la organización y los límites operativos de la misma. Además, se debe identificar y seleccionar las fuentes de emisión de GEI susceptibles de ser analizadas.
- Cuantificación de las emisiones empleando la metodología correspondiente a la finalidad del estudio.
- Realizar el inventario final de emisiones de GEI según las instalaciones y la organización. La unidad de medida empleada son las toneladas (ton) y los resultados obtenidos para cada tipo de GEI debe ser expresada en toneladas de CO<sub>2</sub>eq. Además, deben quedar documentados las acciones o proyectos que ponga en marcha la organización para disminuir sus emisiones de GEI.

#### 4.1.2. El GHC Protocol – Alcances 1,2 y 3

La iniciativa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHC Protocol) está formada por diversas empresas y organizaciones, tanto gubernamentales como no gubernamentales, bajo la coordinación del World Resources Institute (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD).<sup>24</sup> El objetivo de la organización es desarrollar estándares de contabilidad aceptados internacionalmente para la contabilidad las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y tres gases industriales fluorados que son los compuestos hidroflocarbonados (HFC), perfluorocarbonados (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), todos ellos recogidos por el Protocolo de Kyoto. La

metodología presenta tres alcances de implementación dependiendo del tipo de emisiones.

- **GHG Protocol - Alcance 1 y 2.** El estándar definido por el GHG Protocol en sus alcances 1 y 2 recoge las emisiones de tipo directo y las emisiones indirectas originadas por el consumo de electricidad (enfoque más próximo al inventario de emisiones).

La metodología de implantación de la norma se divide en los siguientes apartados:

- Se definen los límites organizacionales seleccionando las unidades de negocio y actividades que van a ser incluidas en proceso de contabilización de emisiones.
  - Se establecen los límites operacionales identificando las emisiones asociadas a cada actividad y definiendo el alcance para su posterior contabilidad.
  - Seguimiento de las emisiones a lo largo del tiempo. Para que las emisiones medidas sean comparables a lo largo del tiempo, las emisiones deben recalcularse en el caso de que la estructura de la organización sufra cambios.
  - Identificación y cálculo de las emisiones de GEI que se divide en la identificación de las fuentes de emisión de GEI, selección de un método de cálculo de emisiones de GEI, recolección de los datos sobre las actividades, elección de los factores de emisión, aplicación de las herramientas de cálculo y envío de los datos a nivel corporativo.
  - La implementación de un sistema de gestión de la calidad del inventario para asegurar que la información recogida como el cálculo de las emisiones se han realizado de una forma veraz y consistente.
- **GHG Protocol – Alcance 3.** El estándar definido por el GHG Protocol en su alcance 3 presenta la misma metodología que para los alcances 1 y 2 con la diferencia que esta norma considera las emisiones definidas como “otras indirectas” que son aquellas emisiones que no son generadas ni controladas por la organización. Por ello, la implementación del alcance 3 conlleva la dificultad para delimitar los agentes suministradores que forman parte de la cadena de valor. Se consideran aquellas emisiones que realmente sean relevantes para el proceso y su posterior cálculo.

### 4.1.3. La norma PAS 2060:2010

La norma PAS 2060:2010 (Public Available Specification) elaborada por la BSI como ampliación de la norma PAS 2050.<sup>25</sup> Esta herramienta permite el cálculo de emisiones de diferentes organismos y además permite a la entidad que está realizando el cálculo alcanzar el objetivo de neutralidad mediante la cuantificación, reducción y compensación de las emisiones de GEI asociadas a un producto, actividad o servicio. Por lo que su implementación no solo conlleva al cálculo de la HC, sino a establecer una serie de objetivos de reducción de emisiones de sus procesos. Si la empresa cumple todos los requisitos definidos, obtiene la certificación de “empresa neutra” en base al documento de declaración de neutralidad.

La implementación de la norma PAS 2060:2010 requiere los siguientes pasos:

- Elección del sujeto para el que se quiere alcanzar la neutralidad en emisiones. Tanto la justificación y la elección del sujeto por parte de la organización deben quedar documentadas.
- Cálculo de la HC asociada a las actividades de la organización utilizando la metodología adecuada. La metodología y cálculos empleados deben quedar documentados.
- Desarrollo del Plan de Gestión de la HC, que recoge tanto el compromiso de neutralidad para el sujeto seleccionado, como el plan previsto de actuaciones. En el caso de que no se puedan reducir determinadas emisiones se deberá emplear una estrategia de compensación que deberá ser incluida en el documento definiendo la cantidad de emisiones a compensar.
- Aplicación de las acciones necesarias para la reducción de la HC del sujeto y posteriormente, recalcular la HC siguiendo la metodología empleada anteriormente.
- Introducir medidas de compensación de emisiones para reducir las emisiones residuales de GEI, que son un tipo de emisiones que no se pueden reducir con las acciones correctoras aplicadas anteriormente.

La PAS 2060:2010 presenta dos tipos de declaración:

- La declaración de compromiso de alcanzar la neutralidad en emisiones que conlleva al cálculo de la HC de la organización y documentar en un Plan de Gestión.
- La declaración de consecución de la neutralidad en las emisiones conlleva a que la organización haya conseguido reducir la HC del sujeto seleccionado y haya compensado las emisiones restantes.

#### **4.1.4. La metodología Bilan Carbone**

La metodología Bilan Carbone fue desarrollada por la Agencia de Medio Ambiente y Energía Francesa (ADEME) para el cálculo de HC compatible a las metodologías definidas anteriormente.<sup>26</sup> El objetivo es proporcionar la máxima información acerca de las emisiones asociadas a procesos relacionados con la actividad de las empresas y es aplicable a todo tipo de actividades (servicios, industrial, sector público, etc). La herramienta se compone por una primera versión de negocios que es utilizada para la evaluación de las emisiones asociadas al sector industrial o terciario, y una segunda versión que permite el cálculo de todas las actividades industriales, agrícolas, y residenciales de un territorio determinado gestionado por la autoridad local.

La implementación de la norma Bilan Carbone presenta unos pasos muy similares a las metodologías descritas anteriormente, con la diferencia que los otros métodos consideraban las emisiones en alcance 1,2 y 3, y en este caso, la metodología para la selección de los límites de cuantificación señala tres enfoques:

- In company. Incluye solamente las emisiones generadas directamente en las instalaciones controladas por la organización y asociada a consumos dentro de la misma. Este alcance es útil para proporcionar los datos de fuentes fijas en las instalaciones de la organización.
- Alcance intermedio. Se consideran las emisiones totales debidas a la cadena de fabricación de un servicio o producto. Este enfoque resulta útil para grandes entidades que necesiten conocer el total de sus emisiones.

- Alcance general. Se contabilizan aquellas emisiones debidas a la producción de bienes y servicios de la organización y asociadas al uso de productos o servicios que la organización vende o proporciona a sus clientes.

La ventaja de esta metodología con respecto a las otras es que no tiene en cuenta solamente las emisiones generadas directamente en los límites de la organización sino todas aquellas que resultan de los procesos necesarios para el funcionamiento de la organización.

A pesar de presentar una ventaja importante con respecto a las otras metodologías, presenta una serie de limitaciones para su implementación:

- La dificultad que presentan las organizaciones para disponer de datos fiables y completos de las emisiones asociadas a sus procesos dificulta su implementación.
- Los FE incluidos en la herramienta de cálculo Bilan Carbone son aproximados.
- Las emisiones generadas debidas al uso de los productos o servicios que la organización vende o presta son estimaciones.
- La aplicación no está adaptada para las organizaciones que se dedican a la gestión de residuos.

En la tabla 6 se comparan las diferentes metodologías analizadas y se recogen las principales características de ellas, permitiendo facilitar la elección de una u otra según las características y objetivos de la propia organización.

	ISO 14064	GHC Protocol- Alcance 1 y 2	GHC Protocol Alcance 3	PAS 2060:2010	Bilian Carbone
<b>Organización</b>	Organización Internacional de Normalización	World Business Council for Sustainable Development World Resources Institute	World Business Council for Sustainable Development World Resources Institute	British Standard Institute	ADEME
<b>Utilidad</b>	Inventario de emisiones	Inventario de emisiones	Huella de carbono	Huella de carbono y compensación de emisiones	Huella de carbono
<b>Gases considerados</b>	Todos los GEI	6 gases Protocolo de Kyoto	6 gases Protocolo de Kyoto	6 gases Protocolo de Kyoto	6 gases Protocolo de Kyoto
<b>Uso internacional</b>	SI	SI	SI	SI	NO
<b>Recomendaciones para la reducción</b>	SI	NO	NO	SI	SI
<b>Recomendaciones para la compensación</b>	NO	NO	NO	SI	NO
<b>Alcance de las emisiones</b>	Directas/ Indirectas/ Otras indirectas	Directas/ Indirectas	Directas/ Indirectas/ Otras indirectas	Directas/ Indirectas/ Otras indirectas	Directas/ Indirectas/ Otras indirectas
<b>Escala</b>	Organización/ Producto	Organización/ Producto/ Servicio	Organización/ Producto/ Servicio	Organización/ Producto	Organización/ Producto/ Servicio
<b>Certificación/ verificación</b>	Si Verificación de los inventarios de las emisiones Certificación a nivel ISO	No El GHC Protocol no es un estándar de verificación (ofrece alternativas y guías para hacerlo) No certifica las verificaciones	No El GHC Protocol no es un estándar de verificación (ofrece alternativas y guías para hacerlo) No certifica las verificaciones	SI Permite la verificación de los inventarios y emisiones reducidas Certifica la neutralidad de emisiones de la empresa	NO Bilian Carbone no es un estándar de verificación No certifica las verificaciones

Tabla 6. Tabla comparativa de las diferentes metodologías para el cálculo de la HC

### **4.3. La huella de carbono de productos agroalimentarios**

El sector agroalimentario incluye el sector de la agricultura, fuente de materias primas vegetales y animales, y el procesamiento de alimentos.<sup>29</sup> Actualmente, el desarrollo de la industria agroalimentaria busca la automatización completa de los procesos de producción. Además, las actividades más importantes del sector agroalimentario incluyen reducir la sobreproducción y el desperdicio de alimentos, promover el consumo sostenible y el desarrollo económico, gestionar de forma sostenible los recursos naturales con el objetivo de reducir las emisiones de GEI.

La producción agrícola tiene lugar en casi el 40% de la superficie terrestre del planeta, utilizando el 70% de agua dulce para ello.<sup>1</sup> Además, la industria agroalimentaria es la industria básica de la mayoría de los países en el mundo por lo que es el centro de su economía global. Asimismo, la producción de alimentos es la responsable de casi el 30% del consumo mundial de energía para el funcionamiento de todos los eslabones de la cadena de producción y distribución, siendo la responsable de un tercio de las emisiones de GEI totales del planeta.

A continuación, se realiza una revisión bibliográfica sobre la HC de carbono a lo largo del ciclo de vida de diferentes productos agroalimentarios. Se analiza la HC de diferentes productos cárnicos, un derivado de animales y un producto agrícola manufacturado.

#### **4.3.1. Cálculo huella de carbono del pan**

Para el cálculo de la HC del pan de centeno, nos hemos basado en el trabajo realizado por Jensen et al., 2014.<sup>30</sup> En este trabajo se estima la HC de 1 kg de pan de centeno convencional producido a escala industrial y se identifican las etapas que contribuyen significativamente a las emisiones de los GEI. El alcance de este estudio engloba todo el ciclo de vida del pan de centeno, es decir, desde la producción de las materias primas hasta que se consume el producto final, estandarizado por la norma ISO 14064. Para ello, este estudio considera una cadena de suministros de panadería industrial en Dinamarca. A continuación, se describen las diferentes fases que contribuyen a las emisiones de GEI a lo largo del proceso de producción del pan de centeno.

- Para el **cultivo**, se utilizan semillas, fertilizantes y plaguicidas, pero además se requiere de gasóleo para llevar a cabo las actividades de siembra, como arar, sembrar y cosechar. Después de la cosecha, los cultivos deben secarse para reducir el contenido de humedad al 14% para su almacenamiento. La panadería industrial danesa solo utiliza centeno y extracto de malta de cebada. Además, el cultivo de ambos cereales da como resultado la coproducción de paja, utilizada para forraje y calefacción. En la siguiente tabla se muestra el inventario empleado para la etapa de cultivo junto a la emisión total de kg CO<sub>2</sub>eq/kg grano.

	Centeno	Cebada de primavera
Materia seca	86%	85%
Producción	5.881 kg/ha	5.490 kg/ha
Electricidad	17 kW.h	32 kW.h
Diesel	1.176 kW.h	1.273 kW.h
Aceite lubricante	176 kW.h	138 kW.h
Semillas	170 kg	235 kg
Fertilizante N	129 kg	123 kg
Fertilizante P	18 kg	22 kg
Fertilizante K	55 kg	43 kg
Plaguicidas	1,2 kg	1,8 kg
Emisiones de N <sub>2</sub> O directo e indirecto	2,97 kg	3,0 kg
Paja	4.760 kg	3.019
<b>Impacto medioambiental</b>		
Cambio climático	0,223 kg CO <sub>2</sub> eq/kg grano	0,298 kg CO <sub>2</sub> eq/kg grano

Tabla 7. Inventario para el cultivo de 1 ha de centeno y cebada primaveral y HC en kg CO<sub>2</sub>eq/kg grano

- El **procesamiento de ingredientes** es la siguiente etapa para la fabricación del pan. Los ingredientes son harina de centeno integral, grano de centeno limpio, y en menor medida, sal, levadura y extracto de malta procedente de la cebada primaveral. Se lleva a cabo la molienda de los cereales que consiste en la limpieza del grano recibido, su almacenamiento en silos, humedecimiento con agua, molienda en diferentes rollos, control y empaque. Para el proceso de molienda se han utilizado los datos del estudio de Valsemøllen et al 2012, recogidos en la tabla 8.<sup>31</sup>

Aporte	Molienda
Grano de centeno	1.000 kg
Agua (proceso)	81,7 L
Aguas residuales	7,0 L
Electricidad	74,4 Kw.h
Calefacción urbana	4,3 kW.h
Gas natural	0 kW.h
Diesel	0 kW.h
<b>Producción</b>	
Harina de centeno	1.000 kg
Salvado	0 kg
<b>Impacto medioambiental</b>	
Cambio climático	0,253 kg CO <sub>2</sub> eq/kg harina

Tabla 8. Inventario para la molienda<sup>31</sup>

- El **embalaje** incluye el material de embalaje primario, como las bolsas de plástico de polietileno, y el material de embalaje secundario, como las cajas de plástico retornables. La HC para el sistema de envasado es de 0,028 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de pan. Este dato es extraído del estudio de Williams and Wikstrom et al., 2011, ya que su sistema de envasado está de acuerdo con este estudio.<sup>32</sup>
- El **procesamiento del producto final** requiere el uso de energía dividida en la electricidad necesaria para la maquinaria y refrigeración, así como el gas natural para la calefacción.

Estudio	Jensen et al., 2014 <sup>30</sup>
Producto de pan	Centeno
Ingredientes	1.167 kg
Agua (limpieza, etc.)	88 L
Energía	0 kW.h
Electricidad	187 kW.h
Calefacción	358 kW.h
<b>Producción</b>	
Pan	1.000 kg
Vapor de agua	100 kg
Residuo orgánico	67 kg
<b>Impacto medioambiental</b>	
Cambio climático	0,340 kg CO <sub>2</sub> eq/kg pan

Tabla 9. Inventario procesamiento final del producto

- El **transporte** desde el cultivo hasta la fábrica, o desde la fábrica a la panadería, emite emisiones de GEI a la atmósfera. Para el cálculo de las emisiones, se debe

tener en cuenta el tipo de conducción, el tipo y tamaño del vehículo, tipo de combustible empleado, asignación de los kilómetros recorridos, etc. En la siguiente tabla se describen todos los transportes que se han realizado durante el proceso de producción del pan. La HC total del transporte en la producción de pan es de 0,071 kg CO<sub>2</sub>eq/kg pan.

Desde	Hacia	Toneladas camión	Distancia (km)
Cultivo (centeno y cebada primaveral)	Secado de granos	28–32	50
Secado de granos	Molino	40–48	70
Molino	Panadería	40	85
Cultivo	Malteado	28–32	50
Malteado	Panadería	20	204
Sal	Panadería	20–26	298
Levadura	Panadería	20–26	226
Panadería	Depósitos	40–48	201
Depósitos	Venta al por menor	7,5–12	175
Cultivo (cebada y trigo)	Alimentación	12	25
Producción de piensos	Ganado	28	25
Harina de soja (Argentina y Brasil)	Dinamarca	-	-
Melaza (Rusia y Alemania)	Dinamarca	40	-
Harina de soja y melaza (Dinamarca)	Producción de ganado	28	121
Paja	Producción de ganado	28–32	50
Residuos de la panadería, molino y depósitos	Producción de ganado	20-26	12
Paja	Incineración	28–32	50
Venta minorista	Incineración	-	20
Consumo	Incineración	-	20

Tabla 10. Datos de transporte de la producción de pan de centeno

- En este estudio no se dispone de datos sobre cómo se **consume** el pan en Dinamarca. Se considera que el pan se almacena en condiciones ambientales y que la mitad del pan consumido se tuesta y la otra mitad se consume directamente. El valor de la HC para el consumo de pan es de 0,150 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de pan según el estudio realizado por Espinoza-Orias et al., 2011.<sup>33</sup>

- La **gestión de residuos** es una etapa crucial para reducir el valor final de la HC. Los residuos generados durante la etapa de producción de pan de centeno se incineran, produciendo electricidad y calor. Se estimó que la reducción de la HC debido a la gestión de residuos fue de 0,325 kg CO<sub>2</sub>eq, calculado de acuerdo al estudio de Astrup et al., 2009.<sup>34</sup>

La HC para 1 kg de pan de centeno consumido en Dinamarca es de 0,731 kg CO<sub>2</sub>eq. En la figura 4 se muestran las contribuciones relativas de las etapas del ciclo de vida de la HC del pan de centeno.

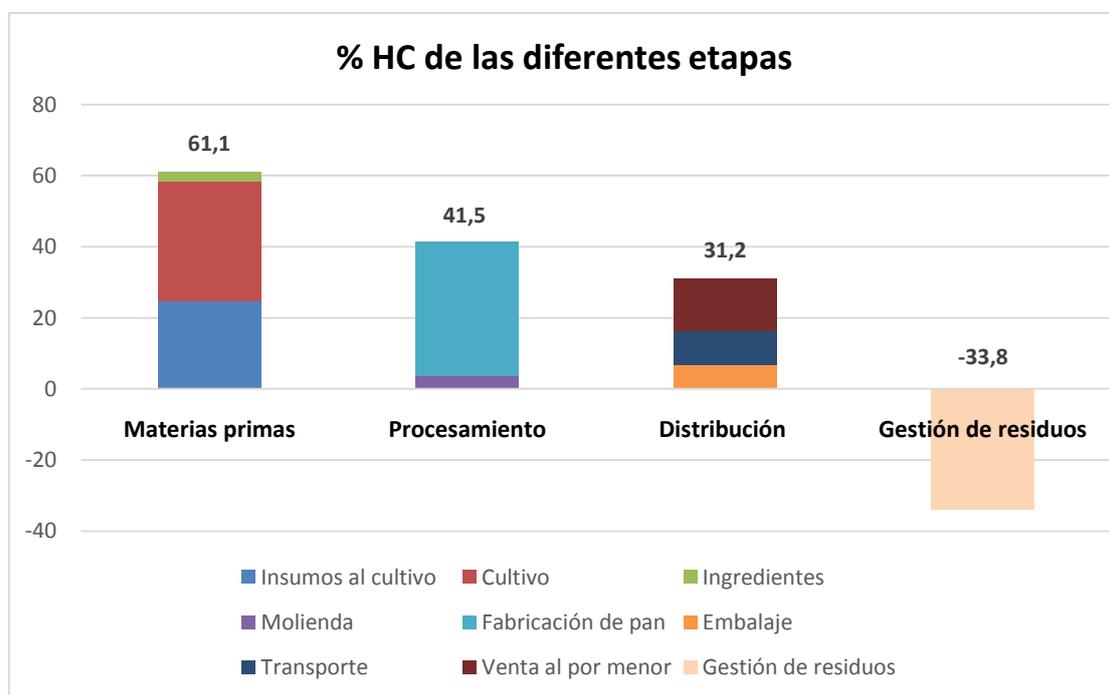


Figura 4. Contribuciones relativas de las etapas del ciclo de vida de la HC del pan de centeno

La etapa que supone una mayor contribución de emisiones de GEI es la de producción de materia prima, con un valor de 0,412 kg CO<sub>2</sub>eq para este trabajo y un porcentaje del 61,1%. La segunda etapa con un mayor aporte al cálculo global de la HC es la etapa de procesamiento de los ingredientes, ya que a lo largo de esta etapa se consume una gran cantidad de energía, obteniendo un valor de 0,279 kg CO<sub>2</sub>eq y un porcentaje del 41,5%. Las etapas restantes también contribuyen al valor final de la HC total pero en menor medida. Sin embargo, la gestión de residuos es una etapa determinante para reducir la HC, con una reducción total de 0,325 kg CO<sub>2</sub>eq, es decir, un porcentaje del 33,8%.

### 4.3.2. Cálculo de la huella de carbono de los huevos de gallinas camperas

Análogamente, se ha estudiado la HC producida por los huevos de gallinas camperas. La metodología empleada en este trabajo consiste en la evaluación del ciclo de vida de un producto estandarizada por norma ISO 14064.

Se seleccionaron tres fincas representativas de la producción de huevos en el país de Gales.<sup>35</sup> Las tres fincas productoras de huevos emplean gallinas ponedoras Rhode Island Red en libertad compradas como pollas de 1,5 kg en el mes 1, y vendidas a los 14 meses como gallinas de 2,2 kg. Se supuso que las aves estaban al aire libre durante un promedio de 12 horas diarias durante el ciclo de 14 meses.

La finca 1 suministra cajas de huevos a las otras dos fincas a coste cero ya que todas operan como un mismo grupo de productores. La finca 1 productora de huevos presenta una superficie de 28 hectáreas con 3.000 gallinas ponedoras y 20 ovejas adultas no lactantes para el mantenimiento de la hierba utilizada para el pasto de las gallinas. El alimento empleado durante el proceso de producción de huevos fue de 132 toneladas que se dividen en 70% de trigo, 12% de soja, 4% de girasol más minerales. El consumo promedio diario de cada ave fue de 13 g de alimento.

La finca 2 es una finca mixta de 39 hectáreas con 5.000 gallinas ponedoras, principal ingreso de la empresa, y 250 ovejas y 6 vacas nodrizas que producen cordero y vacuno como ingreso secundario. La alimentación para las aves de la finca fue de 267 toneladas con un consumo promedio para cada ave de 16 g de alimento al día.

La finca 3 también es una finca mixta de 79 hectáreas donde su ingreso principal es debido a la leche producida por un hato lechero de 50 cabezas con sus respectivas crías. Su ingreso secundario es gracias a 6.000 gallinas ponedoras. El alimento empleado para las aves fue de 11 g de alimento al día. Además, la finca también tiene 8 vacas más 120 ovejas que representan una pequeña proporción de los ingresos globales.

En la siguiente tabla, se recogen los principales componentes de las emisiones de GEI en la producción de huevos de gallinas camperas.

Emisión de GEI en las 3 granjas (kg CO <sub>2</sub> /año)	Granja						% Huella de carbono		
	1		2		3		Aves de corral	Rumiantes	General
	Aves de corral	Rumiantes	Aves de corral	Rumiantes	Aves de corral	Rumiantes			
Combustible	33,1	-	3,7	717	11,9	12,3	8,9	1,1	7,7
Electricidad	6,3		2,0	389	7,2	7,4	2,6	0,6	2,0
Emisiones procedentes de existencias no económicas	-	-	3,55	686	2,74	3,65	0,9	0,4	0,6
Separación de empresas	-	-	-	-	-	-	12,5	2,1	10,3
<b>Carbono incorporado de :</b>									
Pollos	14,5	-	24,1	-	24,1	-	10,0	0,0	5,6
Pensos concentrados	83,42	-	168,7	19,59	139,1	108,1	62,2	12,5	39,8
Fertilizantes	55	-	0	19,9	0	59,6	0,0	9,1	3,7
Ropa de cama	306	-	0	357	0	1,34	0,1	0,2	0,1
Embalaje	3,25	-	0	0	0	0	0,6	0,0	0,6
Otros combustibles	0	-	0	599	0	12,44	0,0	1,0	0,5
Emisiones de transporte	8,67	-	288	1,20	6,54	2,52	2,8	0,5	2,2
<b>Emisiones directas e indirectas de:</b>									
Estiércol	3,6	-	4,9	7,6	8,8	7,3	2,8	2,4	2,2
Suelo (N de estiércol)	14,9	-	26,3	51,9	17,02	86,9	9,4	18,8	12,7
Suelo (N de fertilizante)	0	-	0	13,40	0	16,5	0,0	4,4	1,6
Fermentación entérica (CH <sub>4</sub> )	1,04	-	1,89	99,6	886	382,1	0,6	51,4	22,0
<b>Total</b>	<b>169,1</b>	<b>-</b>	<b>235,5</b>	<b>216,10</b>	<b>218,3</b>	<b>700,2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Tabla 11. Emisiones de GEI para la producción de huevos y carne en las 3 granjas (kg CO<sub>2</sub>/año)

En la tabla 12 se recogen los valores de la HC calculados en este estudio para los productos y subproductos de los huevos de gallinas camperas y ganado rumiante.

Emisiones de GEI agrícolas (kg CO <sub>2</sub> /kg de producto)	Productos avícolas		Productos de rumiantes			Emisiones totales por granja (kg CO <sub>2</sub> /ha)
	Huevos (docena)	Huevos (1 kg)	Cordero	Carne de vaca	Leche	
Granja 1	2,3	1,6	-	-	-	6,037
Granja 2	1,9	1,4	12,5	9,0	-	11,169
Granja 3	2,5	1,8	12,6	5,2	1,3	11,454

Tabla 12. Emisiones GEI (kg CO<sub>2</sub>/kg de producto) de productos y subproductos de huevos de gallinas camperas y ganado rumiante y emisiones totales GEI por granja (kg CO<sub>2</sub>/ha)

El promedio de la HC de los de huevos de los tres productores es de 2,2 kg CO<sub>2</sub>eq/docena de huevos y 1,6 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de huevos. La HC Además, la HC promedio de la granja 2 y 3 para la carne de cordero y de vacuno es 12,55 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de producto y 7,2 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de producto respectivamente.

La HC de la explotación agrícola 1 es la menor de todas con 6,03 toneladas de CO<sub>2</sub>eq/ha. En la granjas mixtas 2 y 3, se observa que los valores de las emisiones de GEI casi se duplican con respecto a la granja 1 ya que al ser granjas mixtas, las emisiones adicionales de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O asociado al ganado rumiante generan una mayor cantidad de emisiones con valores próximos a las 11 toneladas de CO<sub>2</sub>eq/ha.

El principal componente de la HC de los huevos camperos es el incorporado en el proceso de producción y consumo de los piensos como se puede observar en la tabla 11, que representa el 50% en la granja 1, el 73% en la granja 2 y el 65% en la granja 3. En el caso de la carne roja y la leche producida en la granja 2 y 3, el principal factor de la HC es el CH<sub>4</sub> de la fermentación entérica con un valor del 46% en la granja 2 y 50% en la granja 3. La fermentación entérica es un proceso que tiene lugar en el aparato digestivo de algunos animales. Los microorganismos del tracto digestivo descomponen mediante procesos de fermentación anaeróbica los carbohidratos de los alimentos ingeridos, transformándolos en moléculas simples y solubles que pueden ser utilizadas por el animal. Uno de los subproductos de esta fermentación anaeróbica es el CH<sub>4</sub>.

La contribución de GEI del transporte y diesel es del 28,4% para la HC de la granja 1, sin embargo, en las demás granjas el porcentaje es mucho más pequeño ya que el modo de distribución es mucho más económico entre las empresas avícolas y de rumiantes.

El cálculo de las emisiones de GEI de cada granja permite establecer una serie de mejoras para la reducción de estos valores. Algunas acciones de mejora para reducir las emisiones serían:

- Emplear cajas de huevos de proveedores de la zona.
- Gestionar los depósitos de estiércol de manera anaeróbica.
- Exportar todo el estiércol almacenado a una unidad de digestión anaeróbica.
- Reducción de la tasa de accidentes del ciclo de producción.
- Reducir la huella del producto.

Escenarios de reducción de emisiones (kg de CO <sub>2</sub> /ha de granja o docena de huevos)	Granja					
	1		2		3	
	hectárea	docena	hectárea	docena	hectárea	docena
Emplear cajas de huevos de proveedores de la zona	-1,5		-		-	
Manejar el estiércol anaeróbicamente	-2,2		-1,9		-3,7	
Todo el estiércol vendido a la unidad del digestor anaeróbico (N exportado)	-4,7		-5,7		-10,9	
Reducir la huella del producto (%)		-1,1		-0,8		-0,1
Disminuir la tasa de accidentes		-5,1		-5,3		-5,8

Tabla 13. Escenarios de reducción de emisiones GEI (kg de CO<sub>2</sub>/ha de granja)

De los escenarios mencionados anteriormente en la tabla 13, el que ofrece una mayor reducción en las emisiones de GEI sería la exportación de estiércol a un digestor anaeróbico. Esto permitiría reducir las emisiones totales de GEI en un 7% al eliminar tanto las emisiones directas del almacenamiento (CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O) como las emisiones al suelo (N<sub>2</sub>O). En la finca 1 se podrían reducir las emisiones del transporte si se empleasen envases producidos próximos a la zona, por lo que el CO<sub>2</sub> emitido debido al consumo de combustible sería menor (1,5%).

### 4.3.3. Cálculo de la huella de carbono de la carne de cerdo y pollo

Como tercer escenario se propuso analizar la HC por kilogramo de carne de cerdo y de pollo, fabricada en sistemas de producción intensiva.<sup>36</sup> Para el cálculo, se realizó un inventario del ciclo de vida de ambos productos. Las fincas objeto del estudio de localizan en Argentina.

En Argentina, las fincas de 300 cabezas hasta 1500 cabezas representan el 73% de la producción nacional de la carne de cerdo. Para la producción del cerdo se consideran dos métodos diferentes: la producción hoop y en confinamiento. La producción hoop consiste en que los cerdos se encuentran en una estructura de armazón, construida sobre unos postes de madera y recubierta sobre una lona de polietileno, durante todo su ciclo de vida. La producción en confinamiento se basa en que los cerdos permanecen durante todas sus etapas del ciclo de vida en confinamiento, utilizándose este sistema cuando el costo de la tierra es elevado o el área disponible es limitada. En la tabla 14, se recogen los diferentes parámetros de los dos procesos productivos del cerdo.

	Hoop	Confinamiento
Embarazo	83%	87%
Período de parto	115 días	115 días
Lechones por cerda	10,5	11,5
Período de lactancia	24 días	21 días
Mortalidad por lactancia	12%	10%
Período de deteste	70 días	70 días
Período de engorde	95 días	95 días
Mortalidad en fase de engorde	4%	2,5%
Nacimientos por año por cerdo	2,2	2,4
Cerdos por cerda por año	19,5	23,2
Relación de conversión alimenticia	3,2	3
Peso de sacrificio	109 kg	109 kg

Tabla 14. Parámetros productivos de hoop y confinamiento del cerdo

La cadena de producción del cerdo y del pollo se han dividido en dos subsistemas: la alimentación y el ganado.

El subsistema de alimentación ( $S_1$ ) engloba los diferentes tipos de dieta tanto para los pollos como para los cerdos. Los alimentos principales para las dietas de ambos son maíz y soja. Dependiendo del método de procesamiento de la soja, las dietas serán diferentes. Para la dieta EE-SBM, se obtiene harina de soja extraída por prensado y aceite de soja crudo desgomado. La extracción por prensado consiste en ejercer presión sobre la materia prima, obteniendo el aceite sin utilizar sustancias extractivas. En el caso de la dieta SE-SBMO, la harina de soja y aceite de soja es extraída con un disolvente. Por otro lado, la producción de los ingredientes para la fabricación de los piensos se divide en dos partes. La primera parte implica las emisiones de GEI que están asociadas con la producción de los ingredientes para la producción de piensos. La segunda parte engloba todas las actividades relacionadas con el transporte, procesamiento y mezcla de ingrediente.

El subsistema de ganadería ( $S_2$ ), engloba las actividades desde la recepción de los pollitos y la gestación de la cerda, hasta el sacrificio de los pollos y cerdos. En este estudio no se incluyeron en el cálculo final de emisiones de GEI la aplicación de estiércol en tierras agrícolas, los desechos de los criaderos y el índice de mortalidad.

El inventario empleado para los subsistemas de producción del cerdo y pollo con su diferente dieta alimentaria se recogen en la siguiente tabla:

Inventario	Pollo		Cerdo (hoop)		Cerdo (confinamiento)	
	EE-SBM	SE-SBMO	EE-SBM	SE-SBMO	EE-SBM	SE-SBMO
<b>Entrada de datos</b>						
<b>Subsistema de alimentación (S<sub>1</sub>)</b>						
Maíz	1.193 kg	1.422 kg	2.602 kg	2.505 kg	2.372 kg	2.456 kg
Haba de soja	1.021 kg	1.294 kg	1.096 kg	1.263 kg	1.043 kg	1.102 kg
Premezcla	21,4 kg	21,4 kg	167 kg	155 kg	159 kg	147 kg
Sal, trigo, fosfato monocálcico	54,4 kg	50,5 kg	-	106 kg	-	87,4 kg
Electricidad	42 kW.h	52,9 kW.h	126 kW.h	55,9 kW.h	120 kW.h	52,4 kW.h
Gas natural	-	12,2 m <sup>3</sup>	-	20,1 m <sup>3</sup>	-	19,5 m <sup>3</sup>
Diesel	72,9 L	78,6 L	150 L	138 L	127 L	127 L
Fertilizantes sintéticos N	66,3 kg	77 kg	138 kg	147 kg	128 kg	136 kg
Fertilizantes sintéticos P	21 kg	22,3 kg	38,9 kg	39,5 kg	35,8 kg	36,2 kg
Fertilizantes sintéticos S	10,5 kg	11,1 kg	19,4 kg	19,8 kg	17,9 kg	18,1 kg
Herbicidas	10,9 kg	11,6 kg	20,3 kg	20,2 kg	18,7 kg	18,5 kg
Insecticidas	0,226 kg	0,236 kg	0,369 kg	0,339 kg	0,347 kg	0,301 kg
Fungicidas	0,0106 kg	0,0091 kg	0,0143 kg	0,0143 kg	0,0134 kg	0,0130 kg
<b>Subsistema animal (S<sub>2</sub>)</b>						
Alimentación de S <sub>1</sub>	2.139 kg	2.136 kg	3.690 kg	3.690 kg	3.413 kg	3.413 kg
Electricidad	97,9 kW.h	97,9 kW.h	15,8 kW.h	15,8 kW.h	267 kW.h	267 kW.h
Gasoil	21,5 L	21,5 L	-	-	-	-
Instalaciones	142 MJ	142 MJ	158,3 MJ	158,3 MJ	187 MJ	187 MJ
<b>Salida de datos</b>						
<b>Subsistema de alimentación (S<sub>1</sub>)</b>						
CO <sub>2</sub>	862 kg	959 kg	1.740 kg	1.655 kg	1.608 kg	1.608 kg
N <sub>2</sub> O	2,95 kg	3,24 kg	5,74 kg	5,70 kg	5,27 kg	5,27 kg
<b>Subsistema animal (S<sub>2</sub>)</b>						
CO <sub>2</sub>	106 kg	106 kg	18,7 kg	18,7 kg	145 kg	145 kg
CH <sub>4</sub>	1,01 kg	1,01 kg	32,2 kg	32,2 kg	72,8 kg	72,8 kg
N <sub>2</sub> O	0,457 kg	0,457 kg	0,202 kg	0,202 kg	0,885 kg	0,885 kg
Excreción de N	58,1 kg	58,1 kg	92,1 kg	92,1 kg	80,4 kg	80,4 kg

Tabla 15. Inventario de datos para sistemas de producción de cerdo y pollo en Argentina por cada tonelada de peso vivo de animal

En la tabla 16 se muestran los valores de energía y emisiones de GEI para el subsistema de alimentación para la producción de cerdos y pollos.

Ganado	Dieta	Emisiones de GEI (kg CO <sub>2</sub> eq/kg de alimento)
Pollo	Con EE-SBM	0,815
	Con SE-SBMO	0,903
Cerdo (hoop)	Con EE-SBM	0,935
	Con SE-SBMO	0,910
Cerdo (confinamiento)	Con EE-SBM	0,931
	Con SE-SBMO	0,892

Tabla 16. Emisiones de GEI por tonelada de alimento para el subsistema de alimentación de cerdos y pollos

La alimentación de los cerdos y de los pollos con las dietas EE-SBM y SE-SBMO, presenta valores muy similares de HC. Además, la producción del cerdo según el método hoop o en confinamiento genera unas emisiones muy semejantes, con valores de 0,935 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de cerdo y 0,931 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de cerdo respectivamente.

En la siguiente tabla, se muestran los porcentajes de contribución de los subsistemas de alimentación de cerdos y pollos de emisiones de GEI.

Porcentajes de emisiones de GEI (%)	Subsistema de alimentación de pollos	Subsistema de alimentación de cerdos
	Emisiones de GEI (%)	Emisiones de GEI (%)
Fabricación de fertilizantes	16–11	17–10
Plaguicidas		
Consumo de diesel para las operaciones agrícolas	9	8
Producción de semillas y secado de granos	-	-
Residuos de cultivos y aplicación de fertilizantes	31–20	28–21

Tabla 17. Porcentajes de emisiones de GEI de los subsistemas de alimentación de pollos y cerdos

Como se observa en la tabla anterior, la emisión de GEI durante el proceso de producción de pollos es del 87% de los GEI totales. Para la producción de cerdos con un sistema de producción hoop, el subsistema de alimentación es el responsable del 67% de las emisiones de GEI, mientras para la producción en confinamiento el valor es del 51%.

En los subsistemas ganaderos los resultados son diferentes a los del subsistema de alimentación. La principal fuente de emisión de GEI son las emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> de

la gestión del estiércol. En la tabla 18, se recogen los valores de emisiones de GEI en los subsistemas de ganadería de pollos y cerdos.

	Subsistema de ganadería de pollos	Subsistema de ganadería de cerdos
	Emisiones de GEI (kg CO <sub>2</sub> eq/kg producto)	Emisiones de GEI (kg CO <sub>2</sub> eq/kg producto)
Total	0,29	1,72

Tabla 18. Emisiones de GEI y consumo de energía en subsistema de ganadería de pollos y cerdos

En la tabla 19, se recogen los valores totales de emisiones de GEI para la producción de una tonelada de pollo y cerdo a lo largo de su ciclo de vida.

Ganado	Dieta	Emisiones de GEI (kg CO <sub>2</sub> eq/kg de alimento)
Pollo	Con EE-SBM	2,03
	Con SE-SBMO	2,22
Cerdo (hoop)	Con EE-SBM	5,17
	Con SE-SBMO	5,14
Cerdo (confinamiento)	Con EE-SBM	6,06
	Con SE-SBMO	6,04

Tabla 19. Valores totales de consumo de energía y emisiones de GEI para la producción de cerdo y pollo

El valor de la HC para la producción de pollo oscila entre 2,03–2,22 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de producto. En el caso de los cerdos, se obtuvo un valor de la HC de 5,17–5,14 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de producto para el sistema de producción hoop y para el sistema de producción en confinamiento se obtuvieron unos valores de 6,06–6,04 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de producto.

#### 4.4. Comparación de la HC de diferentes productos agroalimentarios

En el presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica sobre las diferentes HC de diferentes productos agroalimentarios. En la tabla 20 y figura 5 se muestran las diferentes HC del ciclo de vida de los siguientes productos:

Producto agroalimentario	HC (kg CO <sub>2</sub> eq/kg de producto)	Fuente bibliográfica
1 kg de pan de centeno	0,731	Jensen et al., 2014 <sup>30</sup>
1 kg de huevos	1,6	Taylor et al., 2014 <sup>35</sup>
Leche	1,3	Taylor et al., 2014 <sup>35</sup>
Carne de cordero	12,55	Taylor et al., 2014 <sup>35</sup>
Carne de vaca	7,2	Taylor et al., 2014 <sup>35</sup>
Carne de cerdo*	6,05	Arrieta et al., 2019 <sup>36</sup>
Carne de pollo*	2,125	Arrieta et al., 2019 <sup>36</sup>

Tabla 20. HC de diferentes productos agroalimentario (kg CO<sub>2</sub>eq/kg de producto)

\* Promedio de la HC empleando las dietas EE-SBM SE-SBMO

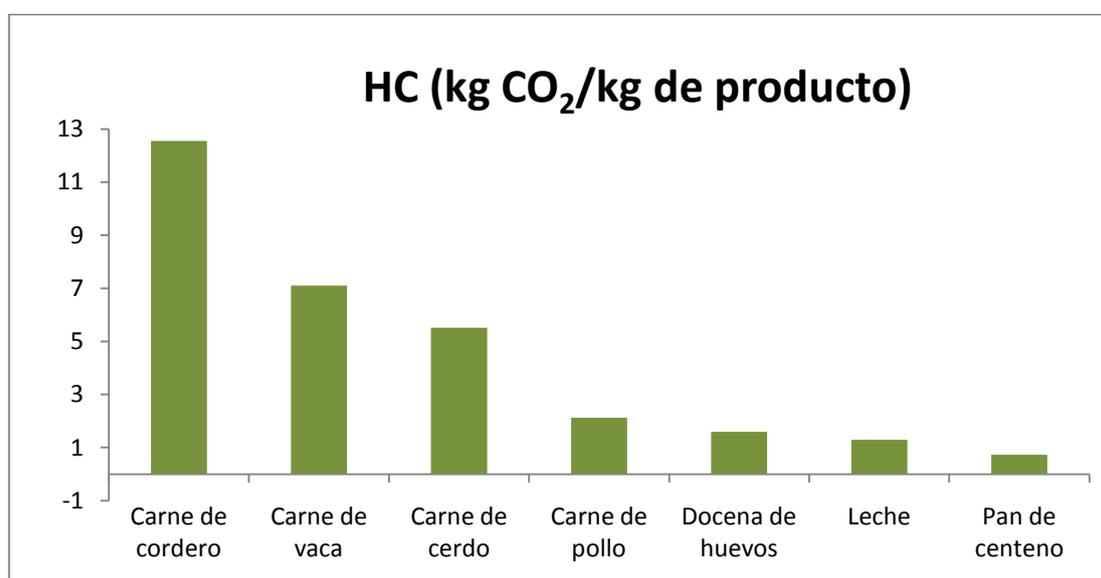


Figura 5. HC de diferentes productos agroalimentario (kg CO<sub>2</sub>eq/kg de producto)

El pan de centeno es el producto que presenta una menor HC (0,731 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de pan) con respecto a los otros productos analizados en este trabajo. En cambio, la carne de cordero y de vacuno es el producto agroalimentario con mayor HC (12,55 y 7,2 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de carne respectivamente) a lo largo de su ciclo de vida ya que estos animales emiten grandes cantidades de metano en comparación con otros. Además, la producción de carne de vacuno y de cordero necesita 10 veces más de recursos que la producción de pollo, carne con la menor HC en este trabajo.

Por otro lado, la leche y los huevos de gallina presentan unos valores de HC de 1,3 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de leche y 1,6 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de huevos respectivamente. Ambos valores son muy similares ya que los dos son productos derivados de animales.

Se observa que la etapa con mayor contribución a la HC es la de producción y consumo de los piensos, ya que están compuestos por cereales y semillas oleaginosas que, para su producción, requieren el uso de fertilizantes, pesticidas y del transporte. Además, se observa que la etapa de gestión de residuos presenta un gran potencial a la hora de la reducción de la HC, pudiendo llegar a reducir las emisiones de GEI en un 7% con respecto al valor total.

## 5. Conclusiones/conclusións/conclusions

### Conclusiones

En la revisión bibliográfica acerca de las diferentes metodologías para el cálculo de la HC se determinó que, dependiendo de los objetivos y características de la organización, producto o servicio, serán más recomendables unas u otras. La metodología que más abarca los diferentes parámetros es la norma ISO 14064, norma empleada para el cálculo de la HC de los productos agroalimentarios analizados anteriormente. Es la más adecuada ya que permite el cálculo de la HC de una organización o producto con un alcance de emisiones directas, indirectas y otras indirectas. Además, es de uso internacional y presenta una serie de recomendaciones para la reducción de la HC. Sin embargo, el principal inconveniente de esta metodología es que no permite el cálculo de la HC para un servicio. Para este caso en concreto, la metodología más adecuada es la Bilian Carbone que, a pesar de no tener un uso internacional, es la idónea para el cálculo de la HC para un servicio en concreto.

La comparación de la HC de diferentes productos agroalimentarios dio lugar a valores muy diversos dependiendo del ciclo de vida de cada producto. Se analizaron cuatro tipos de carne, huevos y pan de centeno, con valores de HC muy distintos entre ellos, ya que esto dependía de la alimentación, tipo de producción ganadera, distribución y gestión de los residuos generados. Sin embargo, se determinó que la etapa donde se producían mayores emisiones de GEI fue durante la fase de producción de los productos fue en la etapa de producción y consumo de los piensos para los animales, con valores próximos al 60% de las emisiones totales. En general, la HC de productos cárnicos es mayor que la de los derivados de animales (huevos, leche) y esta a su vez mayor que la de los productos agrícolas elaborados (pan).

### Conclusións

Na revisión bibliográfica acerca das diferentes metodoloxías para o cálculo da Pegada de Carbono (PC) determinouse que, dependendo dos obxectivos e características da organización, produto ou servizo, serán máis recomendables unhas ou outras. A metodoloxía que máis abarca os diferentes parámetros é a ISO 14054, norma

empleada para o cálculo da PC dos produtos agroalimentarios analizados con anterioridade. É a idónea xa que permite o cálculo da PC dunha organización ou produto cun alcance de emisións directas, indirectas e outras indirectas. Ademais, é de uso internacional e presenta unha serie de recomendacións para a redución da PC e para a súa compensación. Con todo, o principal inconveniente desta metodoloxía é que non permite o cálculo da PC para un servizo. Polo que debe considerarse o uso da metodoloxía Bilian Carbone que, a pesar de non ter un uso internacional, é a idónea para o cálculo da PC para un servizo en concreto.

A comparación da PC de diferentes produtos agroalimentarios deu lugar a valores moi diversos dependendo do ciclo de vida de cada produto. Analizáronse catro tipos de carne, ovos e pan de centeo, con valores de PC moi distintos entre eles, xa que isto dependía da alimentación, tipo de produción gandeira, distribución e xestión dos residuos xerados. Con todo, determinouse que a etapa onde se producían maiores emisións de GEI durante o proceso de produción dos produtos foi na fase de produción e consumo dos pensos para os animais, con valores próximos ao 60% das emisións totais. En xeral, a PC dos produtos cárnicos é maior ao dos derivados animais (ovos, leite) e á súa vez é superior ao dos produtos agrícolas procesados (pan).

## Conclusions

In the bibliographic review about the different methodologies for calculating the carbon footprint (CF) it was determined that, depending on the objectives and characteristics of the organization, product or service, one or the other will be more recommendable. The methodology that most encompasses the different parameters is ISO 14064, standard used to calculate the HC of the agri-food products previously analyzed. It is the most suitable and allows the estimation of the CF of an organization or product with a range of direct, indirect and other indirect emissions. In addition, it is internationally used and presents a series of recommendations for the reduction of CF and for its compensation. However, the main drawback of this methodology is that it does not allow the calculation of the CF for a service. Due to that, the Bilian Carbone methodology should be considered despite not having an international use, as it is the ideal one for calculating the CF for a specific service.

The comparison of the CF of different agri-food products gave rise to very different values depending on the life cycle of each product. Four types of meat, eggs and rye bread were analyzed, with very different CF values between them. These values depend on the diet, type of livestock production, distribution and management of the waste generated. Accordingly, it was determined that the stage where the highest GHG emissions were produced during the production process of the products was in the stage of production and consumption of animal feed. This period obtained values close to 60% of total emissions. In general, the CF of meat products is greater than that of animal derivatives (eggs, milk). And this last one is at the same time greater than that of processed agricultural products (bread).

## 6. Bibliografía

---

- 1 Thøgersen, J. (2021). Consumer behavior and climate change: Consumers need considerable assistance. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 42, 9-14.
- 2 Riosmena, F. (2021). Cambio climático global, ecología política y migración. *Revista de Estudios Sociales*, (76).
- 3 Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*.
- 4 González Elizondo, M., Jurado Ybarra, E., González Elizondo, S., Aguirre Calderón, Ó. A., Jiménez Pérez, J., & Nívar Cháidez, J. D. J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia uanl*, 6(3).
- 5 Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2020, 24 de mayo). Qué es el cambio climático. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico/>
- 6 Ecoticias. El periódico verde. (2021, 4 de Junio). La concentración de CO<sub>2</sub> es un “non-stop”. <https://www.ecoticias.com/co2/200685/concentracion-CO2-non-stop>
- 7 Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. In *Integrated assessment of water resources and global change* (pp. 35-48). Springer, Dordrecht.
- 8 WWF, G. F. N. (2008). Informe Planeta Vivo 2008.
- 9 Castillo, R. M. (2007). Algunos aspectos de la huella ecológica. *Intersedes: Revista de las sedes regionales*, 8(14), 11–25.
- 10 Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (2007, Octubre) Análisis de la huella ecológica de España. <https://www.footprintnetwork.org/content/images/uploads/Huella%20ecologica%20de%20Espana.pdf>
- 11 Global Footprint Network. (2021, 1 de Junio). Huella Ecológica. <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/exposiciones-del-ceneam/exposiciones-itinerantes/huella-ecologica/default.aspx>
- 12 Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1), 135-160.
- 13 Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of ‘carbon footprint’. *Ecological economics research trends*, 1, 1–11.
- 14 Ministerio del Medio Ambiente. (2021, 3 de Junio). Huella de Carbono. <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>

- 
- <sup>15</sup> Formación sostenible. (2021, 3 de Junio). ¿Qué es la huella de carbono? <https://formacionsostenible.org/que-es-la-huella-de-carbono/>
- <sup>16</sup> Frohmann, A., & Olmos, X. (2013). Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático.
- <sup>17</sup> Banerjee, S. B. (2001). Corporate environmental strategies and actions. *Management Decision*.
- <sup>18</sup> Matsumura, E. M., Prakash, R., & Vera-Munoz, S. C. (2014). Firm-value effects of carbon emissions and carbon disclosures. *The accounting review*, 89(2), 695–724.
- <sup>19</sup> Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación. (2021, 10 de Junio). Huella de carbon y exportaciones de alimentos. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4013/S2012089\\_es.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4013/S2012089_es.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- <sup>20</sup> Córdova, C. R., Zorio-Grima, A., & García-Benau, M. (2018). Nuevas formas de reporting corporativo: Información sobre la huella de carbono en España. *Revista de Administração de Empresas*, 58(6), 537–550.
- <sup>21</sup> ISO. (2021, 10 de Junio). ISO 14064-1:2006(es) <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>
- <sup>22</sup> ISO. (2021, 10 de Junio). ISO 14064-2:2006(es) <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-2:ed-1:v1:es>
- <sup>23</sup> ISO. (2021, 10 de Junio). ISO 14064-3:2006(es) <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-3:ed-1:v1:es>
- <sup>24</sup> Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. (2021, 13 de Junio). Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP\\_GPC%20%28Spanish%29.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf)
- <sup>25</sup> AEC. (2021, 13 de Junio). PAS 2060. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-pas-2060>
- <sup>26</sup> Ministère de la transition écologique. (2021, 14 de Junio). Bilan Carbone <https://www.bilans-ges.ademe.fr/en/accueil>
- <sup>27</sup> Germán, G. S. Huella de Carbono. Asociación Española para la Calidad. [https://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c25fc97e-13e8-47b1-bd9d-1d2a28a50e9f&groupId=10128](https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=c25fc97e-13e8-47b1-bd9d-1d2a28a50e9f&groupId=10128)
- <sup>28</sup> Ministerio para la transición Ecológica. (2021, 4 de Junio). 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](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf)

- <sup>29</sup> Karwacka, M., Ciużyńska, A., Lenart, A., & Janowicz, M. (2020). Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. *Sustainability*, 12(16), 6463.
- <sup>30</sup> Jensen, J. K., & Arlbjørn, J. S. (2014). Product carbon footprint of rye bread. *Journal of cleaner production*, 82, 45–57.
- <sup>31</sup> Valsemøllen, (2012). Appendix of Environmental Approval for Valsemøllen A/S (in Danish). Available at. <http://www.esbjergkommune.dk/om-kommunen/annoncer/arkiv/%5bXn7haPP8LnPpb3NMzbfIB9YZ3lvkFVQUWtue31XLI%5c/Till%C3%A6g-af-milj%C3%B8godkendelse-for-Valsem%C3%B8llen-A/S.aspx>
- <sup>32</sup> Williams, H., Wikstrom, F., (2011). Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: a comparative analysis of five food items. *J. Clean. Prod.* 19 (1), 43–48.
- <sup>33</sup> Espinoza-Orias, N., Stichnothe, H., Azapagic, A., (2011). The carbon footprint of bread. *Int. J. Life Cycle Assess.* 16 (4), 351-365.
- <sup>34</sup> Astrup, T., Møller, J., Fruergaard, T., (2009). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Manage. Res.* 27 (8), 789–799.
- <sup>35</sup> Taylor, R. C., Omed, H., & Edwards-Jones, G. (2014). The greenhouse emissions footprint of free-range eggs. *Poultry science*, 93(1), 231–237.
- <sup>36</sup> Arrieta, E. M., & González, A. D. (2019). Energy and carbon footprints of chicken and pork from intensive production systems in Argentina. *Science of the total environment*, 673, 20–28.