



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Desarrollo de una aplicación para el cálculo de la huella de carbono en proyectos de construcción

TRABAJO FIN DE MASTER

MASTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Alberto Pedreño Manresa
Director: Ángel Molina García
Codirector: Ignacio García-Legaz Quesada



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, Septiembre 2014



Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar a mis tutores, Ángel Molina García de la Universidad Politécnica de Cartagena e Ignacio García-Legaz Quesada del Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia. Gracias a ellos este proyecto ha sido posible.

Además quisiera también agradecer a todo el equipo del Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia, por su ayuda en este proyecto y por su apoyo en mi estancia como becario en su centro.

Agradecer también a Antonio Urbina Yeregui y a todo el cuerpo docente del Máster en energías renovables de la Universidad Politécnica de Cartagena y finalmente a mis padres por todo el apoyo que me han dado.



Índice

1. Introducción	5
2. Análisis de ciclo de vida	6
2.1 Introducción	6
2.2 Metodología:	7
2.2.1. Definición del objetivo y el alcance (Goal and scope definition)	7
2.2.2. Análisis del inventario	9
2.2.3. Evaluación del inventario	12
2.2.4. Interpretación del ciclo de vida	14
2.3 Normativa	17
3. Huella de carbono	18
3.1 Introducción	18
3.2 El calentamiento global	19
3.2.1 El efecto invernadero	19
3.3 Lucha contra el cambio climático	20
3.3.1 Cumbre de Río	20
3.3.2 Protocolo de Kioto	21
3.3.3 Rumbo a Kioto II	23
3.4 Metodología	23
3.4.1 Objetivo y alcance	23
3.4.2 Análisis del inventario	23
3.4.3 Evaluación del inventario	24
3.4.4 Interpretación del ciclo	25
3.5 Normativa	26
4. Calculadora de huella de carbono para proyectos de construcción	28
4.1 Introducción	28
4.2 Esquema de la aplicación	28
4.3 Base de datos	29
4.4 Funciones y macros	36
4.5 Hormigón	41
4.6 Informe de resultados	42
4.7 Instrucciones	46
4.8 Versiones	47
5. Conclusiones	48
6. Bibliografía	49
Anexo I: Prueba de la aplicación e informe de resultados	50



Índice de tablas

<i>Tabla 1: categorías de impacto y unidades</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Material de cantera</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Mortero</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4. Bloques de hormigón</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5. Vidrio</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6. Acabados</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7. Metales.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8. Plásticos.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 9. Madera</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 10. Aislante, yeso y otros</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 11. Cementos</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 12. Energía.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 13. Medios de transporte</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 14. Transporte de materiales.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 15- Referencias</i>	<i>34</i>



Índice de figuras

<i>Figura 1 – Etapas de un ACV.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 - Límites del sistema (system boundaries).</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3 - Asignación</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 – Procedimiento simplificado para el análisis del inventario.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5 – Elementos de la fase EICV</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6 – Interpretación del ACV.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7 – Anexos del protocolo de Kioto</i>	<i>22</i>
<i>Figura 8 – Objetivos del protocolo de Kioto.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 9. Relación entre las hojas de la aplicación</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10. Descargas del Inventory of Carbon and Energy (ICE) durante 2007.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 11. Función BUSCARV</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12. Función SI</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13. Botón Reset</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14. Botón imprimir</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15. Menú fecha.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16. Menú desplegable</i>	<i>41</i>
<i>Figura 17. Introducción de datos del hormigón.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 18. Introducción de datos en informe de resultados</i>	<i>42</i>
<i>Figura 19. Huella de carbono total y por categorías</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20. Diagrama de barras.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 21. Gráfico circular</i>	<i>43</i>
<i>Figura 22. Informe de resultados página 1.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 23. Informe de resultados página 2.....</i>	<i>45</i>



1. Introducción

El análisis de ciclo de vida (ACV) se ha convertido en una herramienta fundamental a la hora de mejorar el impacto ambiental de un producto, proceso o servicio. Cada vez más empresas en todo el mundo utilizan este sistema para reducir sus emisiones o para adaptarse a las cada vez más estrictas normativas ambientales.

Uno de los sectores que causan más impacto en el medio ambiente es la construcción, donde la mayor parte de los materiales utilizados provienen de la minería y de la tala de árboles, además del uso de grandes extensiones de terreno y maquinaria pesada.

El ACV puede ayudar a mejorar a la construcción de edificios y naves con un menor impacto ambiental mediante el estudio de los métodos y los materiales utilizados en la construcción, así como del uso que se le vaya a dar al edificio o a la nave.

Este proyecto consistirá en el desarrollo de una aplicación para el cálculo de la huella de carbono en construcciones y de un análisis sobre la "huella de carbono" en el sector.

La "huella de carbono es una categoría dentro del ACV, que se centra únicamente en las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta categoría es especialmente atractiva porque todos los resultados vienen dados en toneladas o kilogramos equivalentes de CO₂, lo cual simplifica la comprensión para personas sin formación técnica.

Tras la firma y ratificación del protocolo de Kioto, el estudio de la huella de carbono se ha convertido en un arma para luchar contra el exceso de emisiones de algunas industrias, ayudando a evitar sanciones por parte del gobierno.

La huella de carbono también es utilizada como herramienta de marketing. Anunciando la cantidad de CO₂ utilizado para la producción de un producto, ciertas compañías intentan atraer compradores asegurando que sus productos son más "ecológicos" que los de sus competidores.

A día de hoy, la huella de carbono está presente en la vida cotidiana de muchas personas, pudiendo encontrar en internet numerosas aplicaciones para calcular de forma aproximada la huella de carbono personal y también como reducir esta misma.



2. Análisis de ciclo de vida

2.1 Introducción

El análisis de ciclo de vida (ACV) o life cycle assessment (LCA) es una técnica para estudiar los aspectos ambientales e impactos ambientales de un producto o servicio a lo largo de toda su vida, desde la adquisición de la materia prima hasta su disposición final, pasando por la producción, utilización, reciclado, etc.

El ACV puede tener diversas aplicaciones, desde marketing (etiquetado ecológico) hasta cumplimiento de legislaciones ambientales, pasando por mejora y desarrollo de productos. Asimismo esta técnica puede ser interesante para empresas que deseen reducir el impacto que generan, para gobiernos que quieran desarrollar políticas medioambientales y universidades y centros de investigación que quieran comparar el impacto de nuevos procesos o productos. Las decisiones de un ACV deben basarse en las ciencias naturales.

Existen cuatro fases dentro de un ACV:

1. Definición del objetivo y el alcance
2. Análisis del inventario
3. Evaluación del impacto ambiental
4. Interpretación

El ACV no tiene por qué comprender todo el ciclo de vida de un producto o servicio (cradle to grave), sino que puede abarcar una parte, como la producción (gate to gate), o solamente la utilización y desecho (gate to grave).

Además también podemos centrarnos solo en el análisis del inventario, o en la definición del objetivo y el alcance, en caso de que queramos plantear un problema. Los dos tipos de estudio más comunes son el análisis de ciclo de vida (ACV) y el análisis del inventario del ciclo de vida (ICV). Los análisis del inventario de ciclo de vida son similares al ACV pero no incluyen la evaluación del impacto del ciclo de vida.

Por último debemos tener en cuenta que el ACV trata los aspectos e impactos ambientales de un producto o servicio. Los impactos económicos y sociales quedarán fuera del alcance del estudio. Sin embargo se puede combinar un ACV con otras herramientas para un análisis más profundo.

Las áreas de aplicación habituales del ACV son los sistemas de gestión ambiental y evaluación del desempeño ambiental, el etiquetado ambiental y las declaraciones ambientales, la integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de un producto, la inclusión de aspectos ambientales

en las normas de productos y la cuantificación de gases de efecto invernadero.

2.2 Metodología:

El ACV se divide en cuatro fases bien definidas.

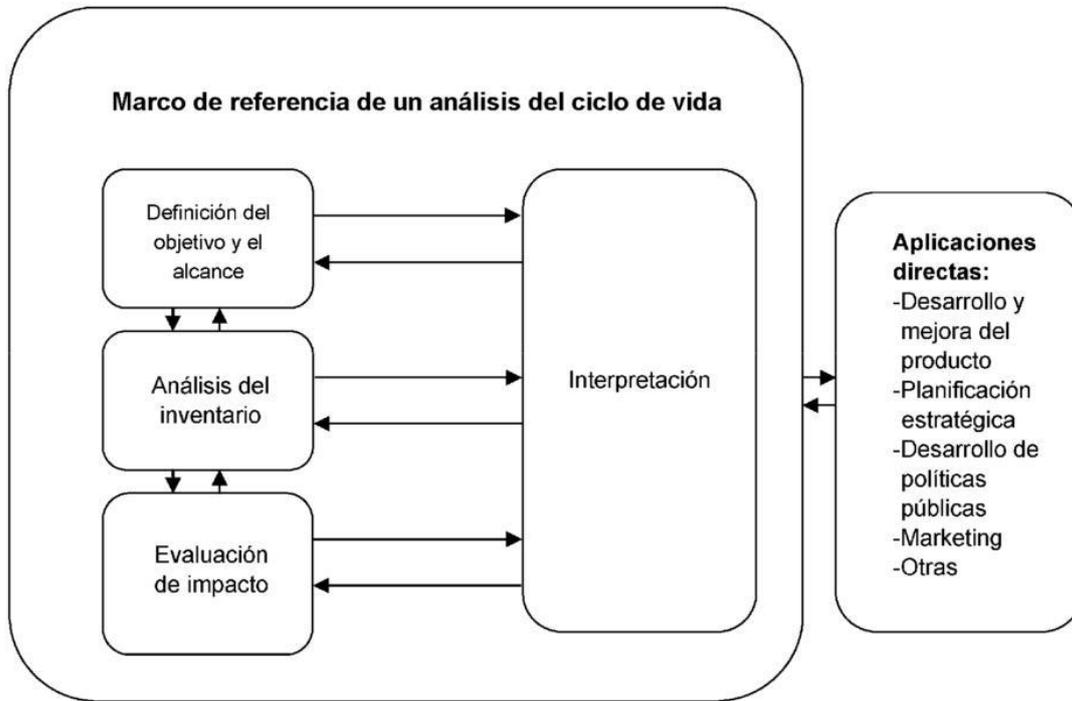


Figura 1 – Etapas de un ACV

2.2.1. Definición del objetivo y el alcance (Goal and scope definition)

El “goal” consistirá en definir un objetivo para nuestro estudio. Esta fase es vital en aplicaciones como marketing o en desarrollo y mejoras de un producto. Debemos dejar claro la finalidad de nuestro análisis, el propósito, ya sea un informe, un proyecto o un artículo, y a quién ira enfocado, técnicos, investigadores, lectores, etc.

También deberemos especificar si vamos a realizar una comparación o no.

El “scope” o alcance, definirá los límites del sistema (system boundaries), además de la unidad funcional, la función del ACV y los flujos de referencia.

La unidad funcional es la cuantificación de las características de desempeño de un producto. El propósito de la unidad funcional es marcar una referencia desde la que realizar nuestro análisis. La unidad funcional es necesaria para asegurar que los resultados del ACV son comparables, siendo de especial relevancia si vamos a realizar una comparación o cuando se evalúan

sistemas diferentes. Un sistema puede disponer de diversas funciones y las que nos interesen dependerán del alcance y del objetivo del ACV. El flujo de referencia es la medida de las salidas de los procesos en un sistema del producto seleccionado, estando siempre en concordancia con la unidad funcional.

EJEMPLO La función fabricar, puede tener como unidad funcional la fabricación de una tonelada de hormigón. Para cada sistema, tendremos unas entradas y unas salidas de material y energía, que serán nuestros flujos de referencia.

Los límites del sistema (system boundaries) definen los procesos a ser incluidos en el sistema. La forma ideal de crear un sistema para un producto sería si en los límites de nuestro sistema los flujos son elementales.

Los criterios por los que elegiremos los límites del sistema vendrán dados por el objetivo y el alcance del estudio. Cuando establezcamos los límites del sistema, estos deberán dividirse en etapas, como la adquisición de materias primas, transporte, reciclaje, producción de energía, etc. En muchos casos, los límites definidos inicialmente tendrán que ser ajustados.

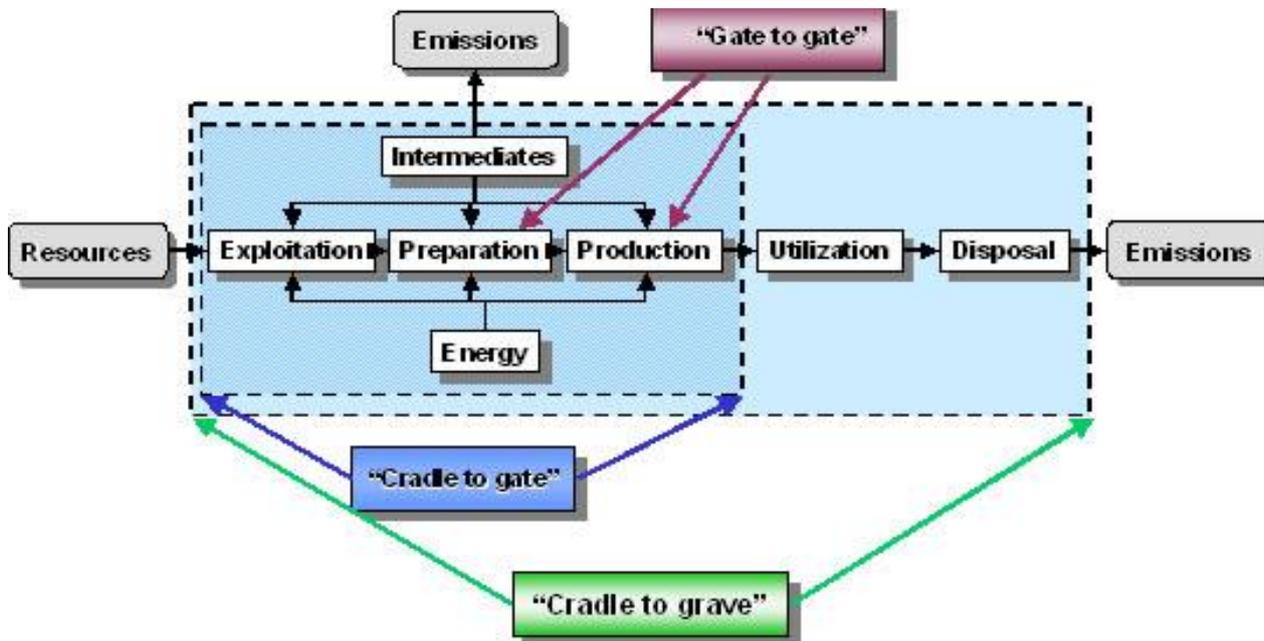


Figura 2 - Límites del sistema (system boundaries).

Podemos definir cuatro modalidades principales de ACV:

1. Cradle to grave (desde la cuna a la tumba): en esta modalidad los límites del sistema son lo más amplio posibles. Se realiza el estudio desde que la materia prima entra en el proceso hasta que se recicla o desecha después de su vida útil.



2. Cradle to gate (producción de un producto): Los límites del sistema se fijan en la fábrica. Se realiza el estudio desde que la materia prima entra en el proceso hasta que sale de la fábrica. No se estudia ni el uso ni el desecho o reciclaje.
3. Gate to grave (fuera de fábrica): Los límites del sistema son desde la salida de fábrica hasta su posterior desecho o reciclaje.
4. Gate to gate (dentro de la fábrica): El límite del sistema se utiliza para acotar un solo paso o proceso dentro de la fábrica. Se utiliza esta modalidad para estudiar y mejorar procesos de producción.

También debemos tener en cuenta la calidad de los datos, siendo especialmente importante en estos estudios donde puede existir manipulación de datos intencionada con el fin de desacreditar algunos de estos estudios. Debemos obtener los datos de fuentes fiables para poder estudiar e interpretar correctamente el ACV.

Debemos saber con certeza los siguientes puntos a la hora de utilizar unos datos:

- **Adquisición de datos:** debemos saber si los cálculos han sido calculados, medidos o estimados.
- **Referencia temporal:** ¿Cuándo se obtuvieron los datos?
- **Referencia geográfica:** ¿Dónde se obtuvieron los datos? Este punto es de especial importancia, ya que si comparamos un mismo proceso en dos países distintos, encontraremos que los impactos son diferentes. Esto es debido a que no todos los países generan su electricidad con los mismos métodos, así, países como Dinamarca o España, para un mismo proceso, tendrá menos impactos que si este hubiera tenido lugar en Inglaterra, donde hay menos generación de electricidad mediante energías renovables.
- **Tecnología:** es de especial importancia conocer con que tecnología se ha realizado un cierto proceso. Las nuevas tecnologías por regla general suelen ser más eficientes energéticamente y por tanto su impacto es mucho menor.

3.2.2. Análisis del inventario

El análisis del inventario comienza con la recopilación de los datos y los métodos de cálculo que utilizaremos para cuantificar los flujos de entrada y salida del sistema del producto que estemos estudiando.

El análisis del inventario es un proceso iterativo, conforme vayamos recopilando datos y aprendiendo sobre el sistema, podremos identificar requisitos o limitaciones que requerirán cambios para poder cumplir los objetivos del estudio. El reajuste de los límites del sistema es algo bastante habitual. Es necesario documentar los resultados de este proceso de ajuste, de esta manera podremos comprender mejor todo el proceso que se ha llevado a cabo, así como los procesos que se han suprimido o añadido.

2.2.2.1. La recopilación de datos

Los datos de cada proceso unitario dentro de los límites de nuestro sistema deben catalogarse en los siguientes grupos principales:

- Las entradas de energía y materias primas
- Los productos, coproductos y residuos
- Emisiones al aire y vertidos al agua y suelo
- Otros aspectos ambientales
-

2.2.2.2. Cálculo de datos

Debemos realizar los siguientes procedimientos:

- Validar los datos recopilados
- Relacionar los datos con los procesos unitarios
- Relacionar los datos con el flujo de referencia de la unidad funcional

Es necesario escalar la cantidad de materia prima y de energía necesaria para un proceso a la unidad un funcional. Si solo vamos a producir una tonelada de hormigón, debemos calcular que energía corresponderá a la producción de una sola tonelada de hormigón, ya que seguramente los datos que hayamos conseguido serán para producción de una cantidad mucho mayor.

Para el cálculo de los flujos de energía debemos tener muy en cuenta las diferentes fuentes de energía, así como la eficiencia de la conversión y de la distribución.

Los datos que vayamos a incluir en el inventario deben recopilarse para cada proceso unitario que se encuentre dentro de los límites del sistema. Estos datos, ya sean medidos, calculados o estimados serán las entradas y salidas de los procesos unitarios.

Finalmente, la asignación o "allocation" es un proceso de vital importancia dentro de un análisis de ciclo de vida. Muy pocos procesos industriales tienen como resultado un único producto, y en caso de ser así, el flujo de entrada jamás será igual al de salida, ya que no existe ningún proceso que sea perfecto.

Debido a que la mayoría de procesos tienen subproductos que se reciclan o desechan, debemos realizar un proceso de asignación. Esto consiste en asignar una parte proporcional del impacto y de la energía del proceso a nuestro producto de estudio. A la hora de introducir datos de reciclaje, este proceso es especialmente relevante.

EJEMPLO En un proceso el flujo de entrada son 100Kg de materia prima. Obtenemos como flujo de salida 70Kg de producto A y 30Kg de producto B.

Asignaremos un 70% del impacto generado por el proceso al producto A y un 30% al producto B

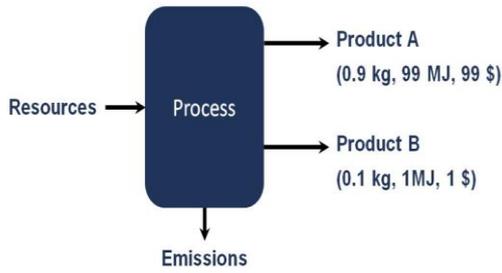


Figura 3 - Asignación

El análisis del inventario, podría representarse de una manera simplificada con el siguiente esquema:

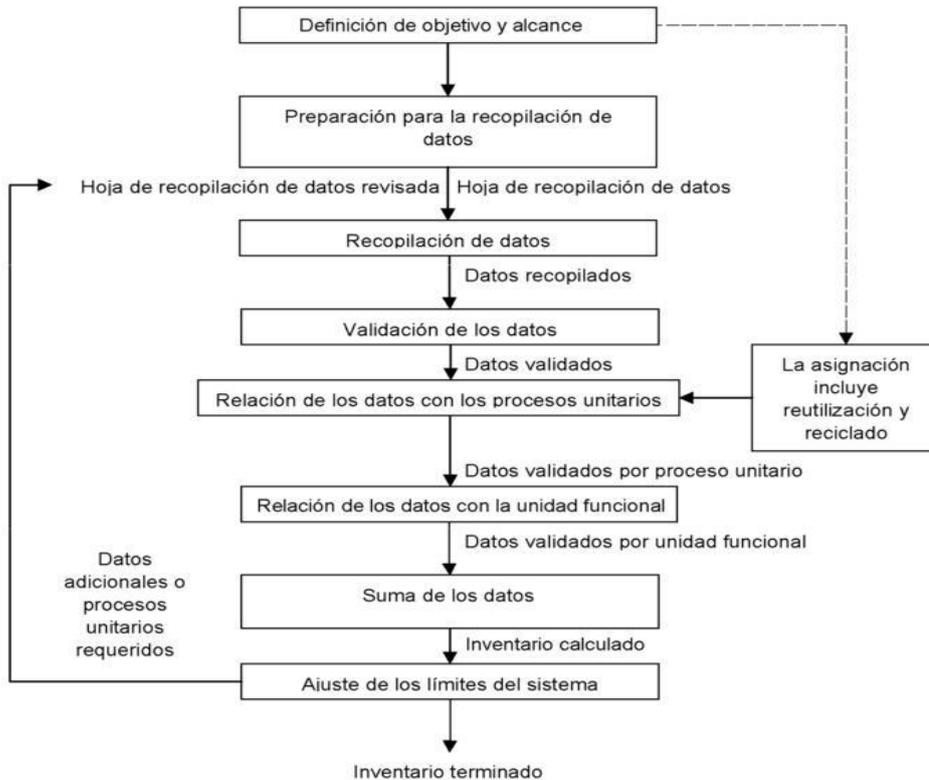


Figura 4 – Procedimiento simplificado para el análisis del inventario

2.2.3. Evaluación del inventario

En esta fase, también llamada evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) tiene como finalidad evaluar los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV). El proceso consiste en asociar los datos del inventario (energía, materias primas, etc.) con las categorías de impactos ambientales específicos y con los indicadores de cada categoría. Esta fase proporciona mucha información para la fase de interpretación del ciclo de vida.

La EICV podría considerarse un proceso iterativo si realizamos una revisión del objetivo y el alcance del estudio de ACV para determinar si se han cumplido los objetivos del estudio, o para realizar modificaciones, si consideramos que los datos obtenidos en la evaluación no alcanzan el objetivo.

Antes de realizar la evaluación será necesario saber qué forma de modelado y que categorías dentro de la evaluación nos interesan, todo ello para mantener la máxima transparencia en la evaluación a fin de asegurar que no haya ningún tipo de confusión a la hora de interpretar los resultados.

2.2.3.1. Elementos de la EICV

Para realizar la EICV es necesario dividir la evaluación en diferentes etapas.

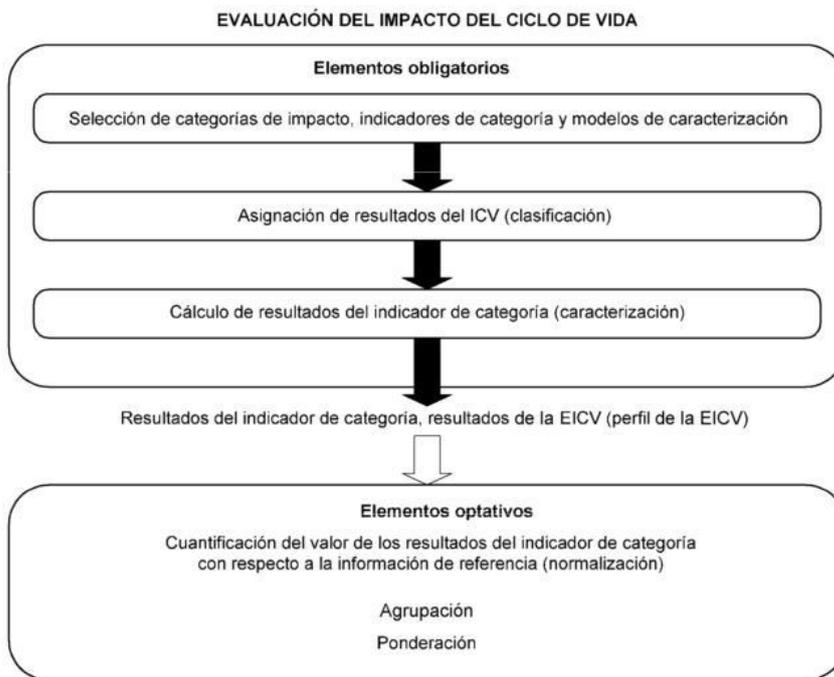


Figura 5 – Elementos de la fase EICV

En la EICV debemos tener en cuenta los siguientes elementos obligatorios:

- Seleccionar las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.
- Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas (clasificación).
- Cálculo de los resultados de indicadores de categoría (caracterización)

Existen dos principales metodologías de análisis de impactos:

1. Orientadas al problema (problem-oriented or mid point). Capa de ozono, calentamiento global, contaminación de aguas, etc. (Ej. TRACI o CML)
2. Orientadas al daño (damage-oriented or end point). Daño al ser humano, daño a ecosistemas, etc. (Ej. Ecoindicator 99)

Las entradas y salidas de materia y energía son catalogadas en categorías de impacto. Usando unos factores de caracterización se cuantifica todo a una unidad equivalente que será con la que se represente el impacto en dicha categoría.

Las categorías de impacto se suelen dividir en grupos, según el método que se estemos utilizando.

	Categoría de impacto	Unidades
Aire	<i>Acidificación atmosférica</i>	<i>ton SO2 equivalente</i>
	<i>Calentamiento global</i>	<i>ton CO2 equivalente</i>
	<i>Efectos en la salud humana</i>	<i>ton Benceno equivalente</i>
	<i>Formación de ozono fotoquímico</i>	<i>ton etileno equivalente</i>
	<i>Agotamiento de ozono</i>	<i>ton CFC11 equivalente</i>
Agua	<i>Acidificación acuática</i>	<i>ton H+ equivalente</i>
	<i>Demanda acuática de oxígeno</i>	<i>ton oxígeno equivalente</i>
	<i>Ecotoxicidad metales</i>	<i>ton Cobre equivalente</i>
	<i>Ecotoxicidad otros</i>	<i>ton formaldehído equivalente</i>
Tierra	<i>Eutrofización</i>	<i>ton NO3 equivalente</i>
	<i>Uso de tierra</i>	<i>m2 por año</i>

Tabla 1: categorías de impacto y unidades

Este es solo un ejemplo de categorías de impacto, otros métodos utilizan otras categorías a su vez divididas en otros grupos.



Dentro de la EICV podemos añadir algunos elementos opcionales:

- **Normalización:** es el cálculo de la magnitud de los resultados de indicadores de categoría con respecto a una información de referencia.

$$N_i = \frac{EB_i}{A_i}$$

Donde N_i = resultado normalizado, EB_i = carga ambiental de la categoría de impacto y A_i = área de referencia.

- **Agrupación:** es la organización y clasificación de las categorías de impacto.
- **Ponderación:** es la transformación y suma de los resultados del indicador a través de las categorías de impacto utilizando factores numéricos basados en juicios de valor.
- **Análisis de la calidad de los datos:** mejora la comprensión en la recopilación de los resultados del indicador y del perfil de la EICV.

2.2.4. Interpretación del ciclo de vida

La interpretación del ciclo de vida es la fase en la cual los resultados del inventario y de evaluación de impacto se estudian y se interpretan. Esta interpretación debe tener en cuenta que los resultados obtenidos en la EICV están basados en un enfoque relativo, indican efectos ambientales potenciales y no predicen los impactos en los puntos finales de categoría.

Esta interpretación dará como resultado conclusiones y recomendaciones para los encargados de la toma de decisiones, que sean acordes con el objetivo y el alcance del estudio.

Esta fase debe ofrecer una lectura comprensible y coherente de la presentación de resultados de un ACV. La interpretación también puede convertirse en un proceso iterativo de revisión y actualización del alcance del ACV, así como la actualización de los datos utilizados.

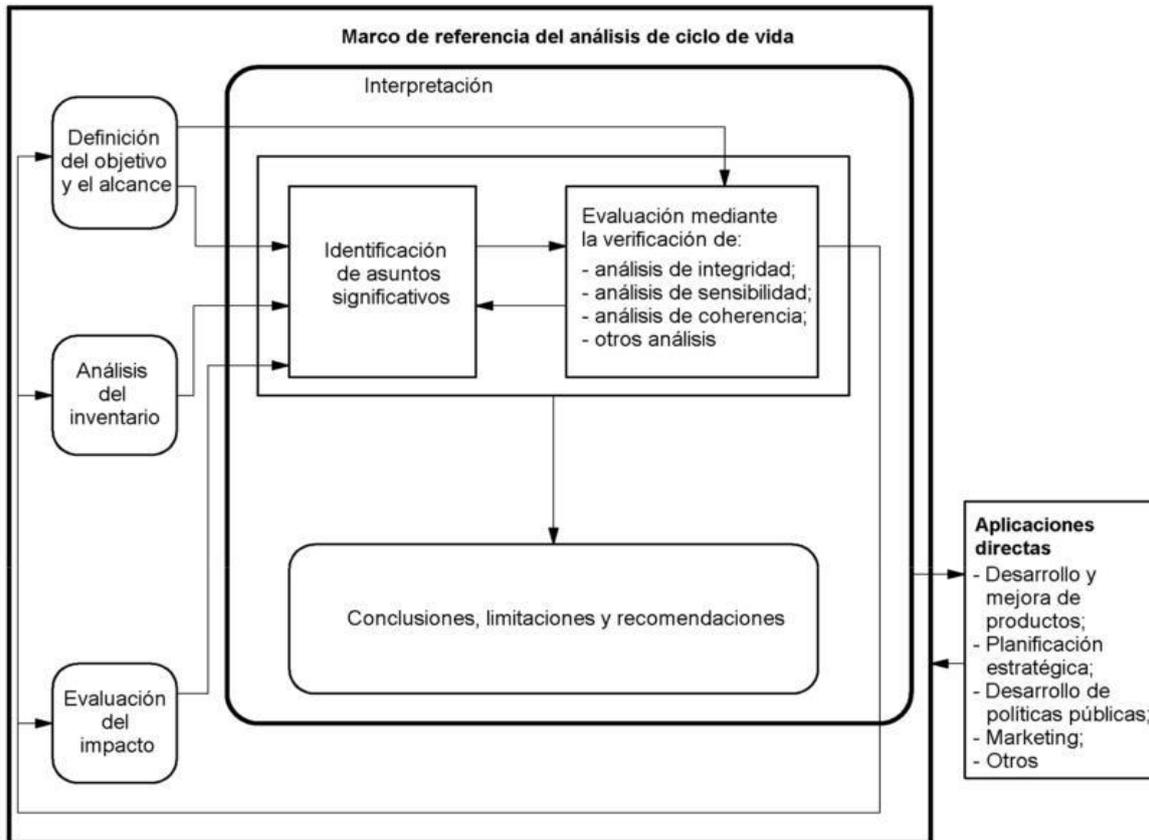


Figura 6 – Interpretación del ACV

El objetivo de esta fase es el fortalecimiento de la confianza y la fiabilidad en los resultados del estudio de ACV. Los resultados deben ser presentados de manera que quien haya encargado el estudio tenga una visión clara y comprensible de este.

La evaluación debe realizarse de acuerdo con el objetivo y el alcance del estudio.

En la evaluación es recomendado utilizar las tres técnicas siguientes:

- **Verificación del análisis de integridad**

La verificación del análisis de integridad sirve para asegurarnos de que toda la información y los datos necesarios para la interpretación están disponibles y completos.

- **Verificación del análisis de sensibilidad**

La verificación del análisis de sensibilidad sirve para evaluar la confiabilidad en los resultados y conclusiones finales determinando como están afectados por las incertidumbres en los datos, métodos de asignación o cálculos de los resultados. Debemos tener en cuenta los asuntos predeterminados por el objetivo y el alcance, los resultados de las fases anteriores y la opinión de los expertos y las experiencias previas.

- **Verificación del análisis de coherencia**

La verificación del análisis de coherencia es determinar si las suposiciones, métodos y datos son coherentes con el objetivo del alcance.

3.2.4.2 Conclusiones y recomendaciones

En esta fase de la interpretación, nuestro objetivo es llegar a conclusiones, estudiar las limitaciones y realizar recomendaciones para quien haya encargado el estudio de ACV.

Las conclusiones se deben obtener del estudio y debería ser un proceso iterativo con respecto a fases anteriores del ACV. Para las conclusiones deberíamos seguir las siguientes directivas:

1. Identificación de asuntos significativos
2. Evaluación de la integridad y coherencia de la metodología y los resultados.
3. Obtención y verificación de conclusiones preliminares con los requisitos del objetivo y el alcance del estudio, incluyendo los requisitos de calidad en datos, metodología y cálculos.
4. En caso de ser coherentes las conclusiones, comunicarlas como las conclusiones finales.

Finalmente, las recomendaciones deberán basarse en las conclusiones finales del estudio y deben reflejar un resultado lógico y acorde al objetivo y al alcance.

Si entra dentro del objetivo y el alcance de nuestro estudio, habrá que comunicar las recomendaciones a quien deba tomar las decisiones. Las recomendaciones siempre deberán estar relacionadas con la aplicación prevista.



2.3 Normativa

Actualmente, en España no existe ninguna normativa por lo que se obligue a realizar un análisis de ciclo de vida dentro de un proyecto de impacto ambiental. Debido a esto, tampoco existen normas a nivel nacional que regulen la realización de este tipo de estudios.

El único caso en el que es necesario un ACV es, si queremos obtener una etiqueta ecológica de tipo III para nuestro producto, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14025: 2010. Etiquetas y declaraciones ambientales.

A pesar de que cada vez es más común los edificios con cero emisiones, no suelen llevar asociados análisis de ciclo de vida en sus proyectos.

Como ya hemos visto, el análisis de ciclo de vida, puede ayudarnos no solo a entender y mejorar un proceso o producto (en este caso un edificio), sino que además puede ayudarnos a justificar los impactos, ya que a pesar de que la construcción pueda suponer un gran impacto en el entorno, el uso que se le de a este y la reutilización pueden compensar de sobra este impacto inicial. Además a la hora de construir un edificio con cero emisiones, podemos comprobar realmente como además de reducir el consumo energético, podemos compensar por otra parte el gasto energético empleado en su construcción, y así estudiar el balance neto de emisiones no solo durante su funcionamiento.

Actualmente existen dos normas vigentes a nivel internacional para el análisis de ciclo de vida.

- **ISO 14040: 2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. [1]**
- **ISO 14044: 2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.[2]**

En la primera norma (ISO 14040) se explica de manera general que es un análisis de ciclo de vida y el marco de referencia metodológico. En la segunda norma (ISO 14044) se explican los requisitos y directrices del ACV y la se desarrolla mucho más la metodología a utilizar.

Además de las normas es necesaria la utilización de software especializado para el ACV. Los más conocidos son SimaPro y GaBi, que cuentan con grandes bases de datos incluidas y con diferentes métodos de evaluación de impacto y de caracterización.

3. Huella de carbono

3.1 Introducción

El cambio climático ha sido identificado como uno de los mayores retos que tienen que afrontar naciones, gobiernos, industrias y ciudadanos en los próximos años. Las acciones presentes y pasadas, incluyendo la emisión de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases de efecto invernadero a través la actividad humana, como la combustión de combustibles fósiles o las emisiones de procesos químicos, tendrán un efecto en el clima global futuro.

La emisión de gases de efecto invernadero suele ser estudiada a nivel global, nacional e industrial. Sin embargo podemos ser capaces de conocer de manera aproximada las emisiones gases de efecto invernadero asociados a un producto o servicio, y a los diferentes procesos o fases dentro de su creación.

La huella de carbono no es ni más ni menos que un análisis de ciclo de vida, cuyo objetivo es el conocimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, así, en la fase de evaluación del inventario, mediremos únicamente estas emisiones, y no nos centraremos en el resto de impactos, como por ejemplo contaminación de agua o radiación. Dicho de otra manera, el cálculo de la huella de carbono es un análisis de ciclo de vida o un análisis de inventario cuya evaluación se hace solamente con una categoría de impacto, el calentamiento global.

Es importante entender el aspecto económico relacionado a la emisión de gases de efecto invernadero y por tanto la importancia económica de la huella de carbono.

En muchos países las empresas tienen que destinar grandes cantidades de dinero a pagar las emisiones de gases de efecto invernadero, este desembolso está directamente relacionado con el protocolo de Kioto, ya que estas empresas pagan la parte equivalente a lo que emiten, incentivando así las mejoras en eficiencia energética y en medio ambiente.

Conocer los puntos críticos de un proceso o servicio, aquellos que, en el caso de la huella de carbono, producen más emisiones, es vital a la hora de reducir emisiones, y según el caso, ahorrar dinero.

Además de las componentes medioambientales, la huella de carbono se está convirtiendo en una herramienta de marketing para muchas compañías.



3.2 El calentamiento global

El calentamiento global es la subida inequívoca y continua de la temperatura de la media en la tierra. Desde 1971, el 90% del calentamiento se ha producido en los océanos. Desde principios del siglo 20, la temperatura del aire y de la superficie de los océanos ha aumentado en 0,8°C, y alrededor de dos tercios de ese aumento se ha producido desde 1980. Cada una de las últimas tres décadas ha sido sucesivamente más cálida que ninguna otra década desde 1850.

El calentamiento global conlleva un cambio climático que puede ser causado o no por el hombre. La principal causa del calentamiento global es el efecto invernadero.

Existen numerosos informes que estudian muy profundamente el cambio climático, siendo los más importantes el informe Stern y los informes del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

3.2.1 El efecto invernadero

“Cuando decimos que un objeto es «transparente» porque podemos ver a través de él, no queremos necesariamente decir que lo puedan atravesar todos los tipos de luz. A través de un cristal rojo, por ejemplo, se puede ver, siendo, por tanto, transparente. Pero, en cambio, la luz azul no lo atraviesa. El vidrio ordinario es transparente para todos los colores de la luz, pero muy poco para la radiación ultravioleta y la infrarroja.

Pensad ahora en una casa de cristal al aire libre y a pleno sol. La luz visible del Sol atraviesa sin más el vidrio y es absorbida por los objetos que se hallen dentro de la casa. Como resultado de ello, dichos objetos se calientan, igual que se calientan los que están fuera, expuestos a la luz directa del Sol.

Los objetos calentados por la luz solar ceden de nuevo ese calor en forma de radiación. Pero como no están a la temperatura del Sol, no emiten luz visible, sino radiación infrarroja, que es mucho menos energética. Al cabo de un tiempo, ceden igual cantidad de energía en forma de infrarrojos que la que absorben en forma de luz solar, por lo cual su temperatura permanece constante (aunque, naturalmente, están más calientes que si no estuviesen expuestos a la acción directa del Sol).

Los objetos al aire libre no tienen dificultad alguna para deshacerse de la radiación infrarroja, pero el caso es muy distinto para los objetos situados al sol dentro de la casa de cristal. Sólo una parte pequeña de la radiación infrarroja que emiten logra traspasar el cristal. El resto se refleja en las paredes y va acumulándose en el interior. La temperatura de los objetos interiores sube mucho más que la de los exteriores. Y la temperatura del interior de la casa va aumentando hasta que la radiación infrarroja que se filtra por el vidrio es suficiente para establecer el equilibrio.

Esa es la razón por la que se pueden cultivar plantas dentro de un invernadero, pese a que la temperatura exterior bastaría para helarlas. El calor adicional que se acumula dentro del invernadero -gracias a que el vidrio es bastante transparente a la luz visible pero muy poco a los infrarrojos- es lo que se denomina «efecto invernadero».



La atmósfera terrestre consiste casi por entero en oxígeno, nitrógeno y argón. Estos gases son bastante transparentes tanto para la luz visible como para la clase de radiación infrarroja que emite la superficie terrestre cuando está caliente. Pero la atmósfera contiene también un 0,03 por 100 de anhídrido carbónico, que es transparente para la luz visible pero no demasiado para los infrarrojos. El anhídrido carbónico de la atmósfera actúa como el vidrio del invernadero.

Como la cantidad de anhídrido carbónico que hay en nuestra atmósfera es muy pequeña, el efecto es relativamente secundario. Aun así, la Tierra es un poco más caliente que en ausencia de anhídrido carbónico. Es más, si el contenido en anhídrido carbónico de la atmósfera fuese el doble, el efecto invernadero, ahora mayor, calentaría la Tierra un par de grados más, lo suficiente para provocar la descongelación gradual de los casquetes polares.

Un ejemplo de efecto invernadero a lo grande lo tenemos en Venus, cuya densa atmósfera parece consistir casi toda ella en anhídrido carbónico. Dada su mayor proximidad al Sol, los astrónomos esperaban que Venus fuese más caliente que la Tierra. Pero, ignorantes de la composición exacta de su atmósfera, no habían contado con el calentamiento adicional del efecto invernadero. Su sorpresa fue grande cuando comprobaron que la temperatura superficial de Venus estaba muy por encima del punto de ebullición del agua, cientos de grados más de lo que se esperaban.”

Asimov, I. (2003). Cien preguntas básicas sobre la ciencia. Madrid: Alianza editorial. [14]

3.3 Lucha contra el cambio climático

A lo largo de las últimas décadas ha habido muchas iniciativas para la protección del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático. Ejemplos de esto son la cumbre de Rio en 1992 y la creación del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), sin embargo a día de hoy la iniciativa más conocida es el protocolo de Kioto (Kyoto Protocol).

3.3.1 Cumbre de Rio

La cumbre de rio fue una de las Cumbres de la Tierra organizadas por la ONU que se celebró en Rio de Janeiro (Brasil) en 1992, donde participaron 178 países. La Cumbre fue la oportunidad para crear y adoptar un programa de acción para el siglo XXI, que llevaría el nombre de Programa 21 (Agenda 21).

El Programa 21 abarca cuestiones de numerosos ámbitos como la salud, vivienda, contaminación del aire, gestión de los mares, bosques y montañas, la desertificación, etc. A día de hoy el Programa 21 se sigue utilizando como referencia para la aplicación de medidas de desarrollo sostenible.



La Cumbre de Rio también sirvió para la aprobación de la Convención sobre el Cambio Climático, donde se reconoce la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que condujo a la firma en 1997 del Protocolo de Kioto.

3.3.2 Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un tratado firmado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC). Es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global. Además se incluyen también otros gases industriales: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

El protocolo fue inicialmente adoptado en diciembre de 1997 en Kioto, Japón, pero no fue hasta 2005 que entro en vigor. En 2009 ya eran 187 estados los que ratificaron el protocolo, sin embargo Estados Unidos, uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero no ratificó el protocolo.

El compromiso sería de obligatorio cumplimiento cuando lo ratificasen los países industrializados que emitieran al menos un 55% de las emisiones totales de CO₂. Rusia ratificó en 2004 después de que la UE pagase la reconversión industrial y la modernización de sus instalaciones, en especial las petroleras.

Los mecanismos del protocolo de Kioto están definidos por algunos artículos, por ejemplo:

Comercio de emisiones: Artículo 17, permite a los países que tienen unidades de emisión de sobra, vender este exceso a países que han sobrepasado su objetivo. Todo este sistema de intercambio es conocido como el mercado del carbono (carbon market).

Mecanismos de desarrollo limpio: Artículo 12, permite a un país con una reducción de emisiones o una limitación para cumplir su compromisos, implementar un proyecto de reducción de emisiones en un país desarrollado. Con estos proyectos se pueden conseguir unos créditos de reducción de emisiones (certified emission reduction (CER) credits) que equivalen cada uno a una tonelada de CO₂, que pueden ser utilizados para cumplir con los objetivos de Kioto.

Aplicación conjunta: Artículo 6, permite a países desarrollados (Anexo I) conseguir unidades de reducción de emisión (emission reduction units (ERUs)) por proyectos de reducción de emisiones en otros países desarrollados (Anexo I), estas unidades equivalen a una tonelada de CO₂.

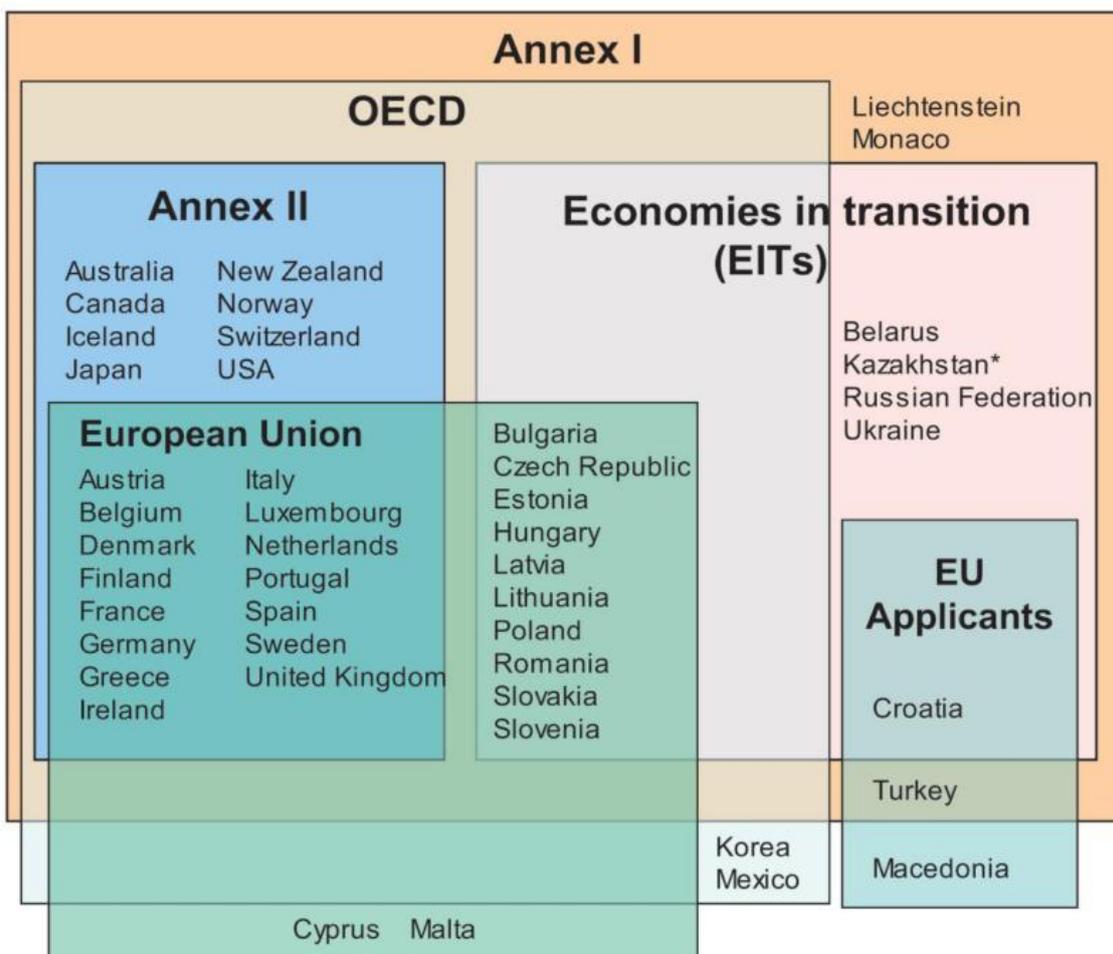


Figura 7 – Anexos del protocolo de Kioto

Los objetivos de España fueron los siguientes:

Country	Change in GHG Emissions (1990- 2004)	EU Assigned Objective for 2012	Treaty Obligation 2008-2012
Germany	-17%	-21%	-8%
Canada	+27%	n/a	-6%
Australia	+25%	n/a	+8%
Spain	+49%	+15%	-8%

Figura 8 – Objetivos del protocolo de Kioto

España al ser considerada en los años 90 un país en desarrollo, se le permitió emitir un 15% más de gases de efecto invernadero para 2012, sin embargo en el periodo de 14 años, de 1990 a 2004, aumentaron las emisiones un 49%, más del triple del objetivo para 2012.



3.3.3 Rumbo a Kioto II

La decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18) sobre cambio climático ratificó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kioto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020.

Se pretende que este segundo periodo del Protocolo dure 8 años, estableciendo los objetivos en el 2020. Sin embargo algunos de los países más industrializados, como Estados Unidos, Rusia, Japón o Canadá, no mostraron mucho interés y decidieron no respaldar la prorroga.

Respecto al financiamiento y a la tecnología de apoyo a países en desarrollo se realizaron avances importantes. Los países desarrollados reafirmaron el compromiso de financiamiento a largo plazo hasta el 2020.

3.4 Metodología

3.4.1 Objetivo y alcance

En esta primera etapa, al igual que en el análisis de ciclo de vida, habrá que especificar cuál es el objetivo de nuestro estudio, mejorar un proceso, una campaña de marketing, etc.

Una vez conocemos el objetivo podremos definir el alcance del estudio. Si queremos mejorar un proceso, no es necesario establecer los límites del sistema de la cuna a la tumba, ya que solo nos interesan los procesos para fabricar el producto, y no el uso o el desecho de este. En el caso de una campaña de marketing sí que puede ser interesante dejar bien claro las propiedades que pudiera tener el producto tras su uso, por ejemplo, si es biodegradable o se puede reciclar.

Es también importante establecer desde un principio la unidad funcional que se utilizara para el estudio según el objetivo, como una tonelada de producto o una lata de refresco.

3.4.2 Análisis del inventario

En esta etapa habrá que crear un inventario, con los procesos y los flujos de entrada y salida de energía y materia para cada proceso.

Al igual que en el análisis de ciclo de vida, análisis del inventario en la huella de carbono es un proceso iterativo, conforme vayamos recopilando datos y aprendiendo sobre el sistema, podremos identificar requisitos o limitaciones que requerirán cambios para poder cumplir los objetivos del estudio. El reajuste de los límites del sistema es algo bastante habitual. Es necesario documentar los resultados de este proceso de ajuste, de esta manera podremos comprender mejor todo el proceso que se ha llevado a cabo, así como los procesos que se han suprimido o añadido.



A la hora de utilizar unos datos, debemos seguir unas normas de calidad que ayudarán a hacer el cálculo de la huella de carbono mucho más preciso.

- Es necesario conocer cuando fueron tomados los datos con la mayor exactitud posible, año y si es posible mes.
- El lugar de procedencia de los datos también es de vital importancia, siendo necesario como mínimo el país, especificando región y ciudad cuando sea posible.
- La tecnología utilizada para los procesos (por ejemplo tipo de reactor), tratando de especificar lo máximo posible.
- La precisión de la información es vital (datos, modelos y suposiciones). Ante la posibilidad de elegir, cuanto más preciso sean los datos mejor.

3.4.3 Evaluación del inventario

Es en la evaluación del inventario donde el cálculo de la huella de carbono se desvía del análisis de ciclo de vida habitual.

Esta fase tiene como finalidad evaluar los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del inventario del ciclo de vida. Consiste en asociar los datos del inventario (flujos de materia y energía) con las diferentes categorías de los impactos y sus indicadores respectivos.

Como ya hemos repetido numerosas veces, el análisis de ciclo de vida es un proceso iterativo, será posible obtener resultados más precisos cuantas más veces repitamos el proceso.

En el análisis de ciclo de vida sería necesario, según el objetivo y el alcance, definir las categorías de evaluación que nos interesan. Sin embargo en la huella de carbono solo existe una categoría, el calentamiento global, siendo su unidad la tonelada de CO₂ equivalente.

Antes de realizar la evaluación será necesario saber qué forma de modelado y que categorías dentro de la evaluación nos interesan, todo ello para mantener la máxima transparencia en la evaluación a fin de asegurar que no haya ningún tipo de confusión a la hora de interpretar los resultados.

Las entradas y salidas de materia y energía son catalogadas en categorías de impacto. Usando unos factores de caracterización se cuantifica todo a una unidad equivalente que será con la que se represente el impacto en dicha categoría.

Las categorías de impacto se suelen dividir en grupos, según el método que se estemos utilizando.

En el caso de la huella de carbono, la categoría de impacto es el calentamiento global.

Cada entrada en el inventario debe ser asociada con la categoría de impacto adecuada, en el caso de la huella de carbono, prácticamente todas las entradas posibles tienen un impacto en el calentamiento global, ya que sea cual sea el proceso, es muy probable que se haya utilizado algún tipo de combustible o la propia fabricación y transporte de las piezas para que ese proceso haya sido posible.

A continuación será necesario hacer una caracterización. Este paso es uno de los más importantes y consiste en modelar todos los impactos potenciales en una sola unidad que representara la categoría de impacto. Para el calentamiento global, la unidad con la que se suele trabajar son los kilogramos de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

Para convertir todos los impactos a una sola unidad se deben de usar unos factores de caracterización para cada categoría de impacto. Estos factores deben de ser capaces unificar varias unidades en una sola, por ejemplo, las emisiones de azufre y de otros compuestos, multiplicadas por el factor de caracterización darán como resultado kilogramos de dióxido de carbono equivalente.

Tras obtener los kg CO₂e de todo nuestro inventario, podemos normalizar los resultados para compararlos entre ellos, según sea el objetivo de nuestro estudio. Con la normalización podremos obtener más fácilmente los puntos críticos de nuestro estudio, aquellas entradas del inventario que representan una anomalía, indicándonos donde debemos actuar para reducir las emisiones.

Tras tener todos los resultados, se puede realizar la última etapa, la interpretación del ciclo.

3.4.4 Interpretación del ciclo

La interpretación consiste en identificar, cuantificar, revisar y evaluar la información resultante del inventario y del análisis del inventario para comunicar los resultados.

La norma ISO comenta sobre la interpretación del ciclo:

1. Analiza los resultados, concluye, establece los límites y realiza recomendaciones basadas en las fases anteriores del análisis para informar de los resultados de la manera más concisa y transparente.
2. Presenta de manera simple, completa y consistente los resultados en concordancia con el objetivo y el alcance del estudio.



Respecto al objetivo y el alcance, debemos tener claro desde un primer momento para que el objetivo de nuestro estudio. Existen muchas aplicaciones para los estudios de huella de carbono, se puede comparar dos productos similares para conocer en cual se han emitido más gases de efecto invernadero, también es posible simplemente de informar de la cantidad de CO₂e que se ha emitido o se emitirá en la vida de un producto, etc. Las aplicaciones son muy amplias, desde marketing hasta estudios de impacto ambiental, mejora de eficiencia energética, etc.

Como ya se hemos comentado varias veces, los procesos relacionados con ACV y huella de carbono son iterativos, podemos utilizar los resultados obtenidos de la interpretación para mejorar una parte del proceso y volver a realizar el estudio y comprobar que realmente hemos reducido emisiones.

A la hora de transmitir las conclusiones de la interpretación debemos realizar un informe lo más claro y organizado posible. Se deben presentar los métodos utilizados, las suposiciones que hemos tomado en cuenta, las fuentes de nuestros datos, la metodología, y todo ello en suficiente detalle para que el lector sea capaz de entender toda la complejidad del estudio de una manera sencilla.

3.5 Normativa

Para examinar la normativa referente a la huella de carbono, vamos a dividir esta en dos grupos, normativa para el cálculo de la huella de carbono en productos y en organizaciones.

- Producto:

PAS 2050 Verificación de la huella de carbono

Esta norma publicada por British Standards Institution (BSI) en 2008 y luego en 2011 es de aplicación voluntaria. Las organizaciones que declaren la conformidad respecto a la norma PS 2050 deben garantizar que el análisis del ciclo de vida sea completo.

Esta norma diferencia dos tipos de ciclo de vida, Business to Business y Business to Customer. En el primer caso se considera el ciclo hasta la entrega del producto a otra organización, siendo el segundo caso cuando el ciclo es completo, incluyendo etapas posteriores a la entrega a otras organizaciones o al usuario. [6]

PAS 2060 Especificación para la Neutralidad de Carbono

Norma también publicada por British Standards Institution (BSI) que ayuda a que las organizaciones puedan asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de emisiones de gases de efecto invernadero son correctas y no se realicen fraudes.



La norma proporciona orientación sobre la cuantificación, reducción y compensación de las emisiones de gases de efecto invernadero sobre una materia específica en un ámbito muy diverso. [7]

ISO 14067 Huella de carbono de productos

Esta norma aún no está disponible en español y seguirá directrices marcadas por el borrador del estándar Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard elaborado por GHG Protocol. [8]

- Organización

GHG Protocol

El protocolo de gases de efecto invernadero (GHG Protocol) es una herramienta para calcular y comunicar los inventarios de emisiones. Ha sido desarrollado por World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

Es una metodología complicada y extensa para la el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero directos e indirectos. Permite el tratamiento de emisiones indirectas que se producen a partir de fuentes que no son propiedad de la empresa, como extracción de una materia prima o el transporte de esta. [9]

ISO 14064 Gases de efecto invernadero

La norma ISO 14064 incluye los requisitos para la determinación de los límites de emisión de gases de efecto invernadero, la cuantificación de emisiones de la organización y la identificación de actividades o acciones específicas de la compañía con el objeto de mejorar la gestión de las emisiones.

La norma se compone de 3 partes:

1. ISO 14064-1, especifica a nivel de organizaciones.[3]
2. ISO 14064-2, especifica a nivel de proyecto.[4]
3. ISO 14604-3, validación y verificación de declaraciones.[5]

ISO 14069 Huella de carbono de las organizaciones

Esta norma aún no está disponible en español pero pretende ser una guía para aplicar la ISO 14064-1 en empresas de distintos sectores. [10]

4. Calculadora de huella de carbono para proyectos de construcción

4.1 Introducción

Existen en el mercado multitud de programas que permiten realizar análisis de ciclo de vida y cálculos de la huella de carbono, sin embargo, su precio hace que no estén al alcance de todos.

A lo largo de este proyecto, hemos visto las diferentes metodologías y normativas para el cálculo de los ciclos de vida y de la huella de carbono, y es con el desarrollo de una aplicación Excel donde todo ello tomara forma en una calculadora que permitirá de una manera aproximada poder calcular las toneladas de CO₂e de un proyecto de construcción.

Debemos entender las limitaciones a las que nos enfrentamos a la hora de realizar esta aplicación. En primer lugar se ha optado por utilizar Microsoft Excel porque no requiere amplios conocimientos de programación, además de ser una herramienta muy versátil y de formar parte de Microsoft Office, software con el que prácticamente todos los ordenadores cuentan.

A lo largo de este capítulo se desarrollará el proceso de creación de la herramienta, desde la base de datos utilizada, hasta las formulas y las macros que forman la calculadora.

4.2 Esquema de la aplicación

La aplicación es un archivo Excel con 8 hojas relacionadas, estas son:

- **Instrucciones:** esta hoja sirve como introducción y guía para el usuario, en ella se explica cómo utilizar la aplicación y se describe cada una de las partes de que se compone.
- **Materiales:** esta es la primera parte de la calculadora, en ella se listan la mayor parte de los materiales de la base de datos para que el usuario introduzca los datos de su proyecto, es decir, la cantidad de material, el medio de transporte y la distancia desde la fábrica al lugar de la obra.
- **Hormigón:** debido a que para cada situación se utiliza una dosificación de hormigón diferente, en la aplicación se ha optado por introducir un apartado exclusivamente para hormigones, donde el usuario puede introducir hasta 5 tipos de hormigones especificando la dosificación, el tipo de cemento, la cantidad en metros cúbicos, el medio de transporte y la distancia.
- **Energía agua y transporte:** en esta hoja se introducen la energía utilizada en la construcción así como el combustible y el agua, además del transporte del personal necesario para llevar a cabo el proyecto.

- **Informe resultados:** hoja donde se recoge todas las emisiones y se muestra al usuario de una forma simple, y con gráficas. Además permite introducir el nombre del proyecto y la fecha para poder imprimirlo.
- **Impresión:** hoja que contiene un botón que permite al usuario imprimir directamente el informe de resultados.
- **Datos:** hoja que contiene la base de datos de la aplicación, el usuario puede cambiar las columnas de densidad y de toneladas de CO₂e en caso de que quiera usar datos diferentes a los proporcionados.
- **Referencia:** se muestran las fuentes de donde se han tomado los datos para realizar la base de datos.

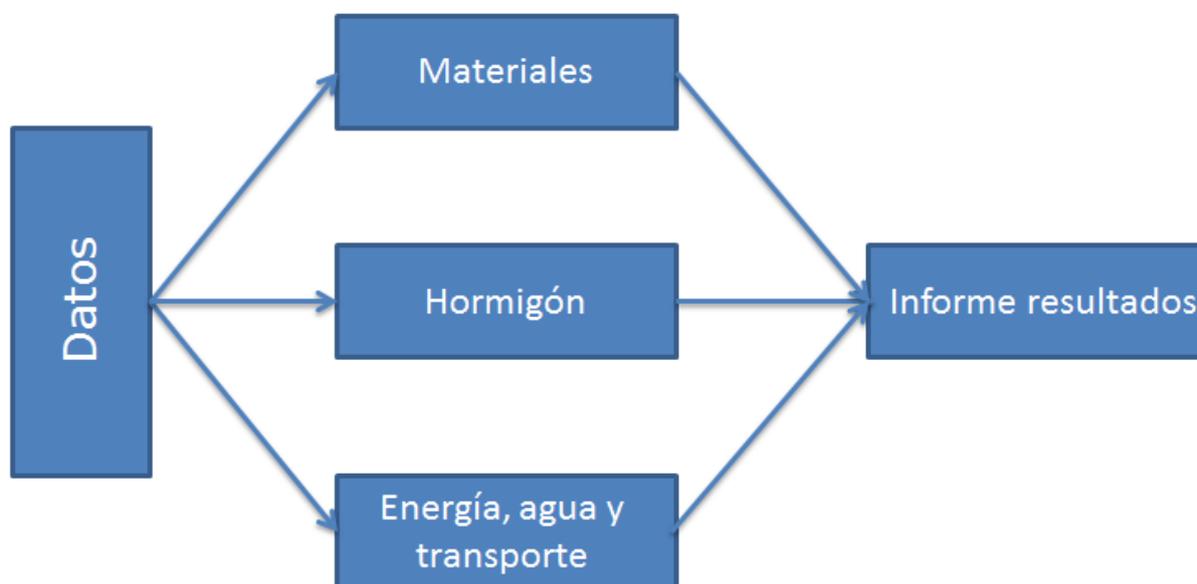


Figura 9. Relación entre las hojas de la aplicación

4.3 Base de datos

La base de datos es la parte fundamental de la aplicación, y se trata de un inventario que tiene tanto entradas de materiales como de energía, transporte y combustibles. Todas las entradas de la base de datos han sido agrupadas para la comodidad del usuario y además cuentan con la densidad aproximada del material y las toneladas de CO₂e emitidas en la fabricación del material.

En el caso de nuestros datos, los límites del sistema, que se utilizaron en el estudio para obtener sus emisiones, son hasta la salida de fábrica, lo que se denomina "Cradle to gate".

La base de datos se compone de las siguientes entradas:

Categoría	Material	Densidad aproximada del material (toneladas/m3)	tCO ₂ e/t material	Límites del sistema	referencia
-----------	----------	---	-------------------------------	---------------------	------------

Material de cantera	Árido	2,0	0,0052	cradle to gate	1
	Árido reciclado	2,0	0,005	cradle to gate	1
	Asfalto, 4% (Betún)	1,7	0,066	cradle to gate	1
	Asfalto, 5% (Betún)	1,7	0,071	cradle to gate	1
	Asfalto, 6% (Betún)	1,7	0,076	cradle to gate	1
	Asfalto, 7% (Betún)	1,7	0,081	cradle to gate	1
	Asfalto, 8% (Betún)	1,7	0,086	cradle to gate	1
	Betún	2,4	0,49	cradle to gate	1
	Mármol	2,7	0,13	cradle to gate	1
	Azulejo Mármol	2,7	0,21	cradle to gate	1
	Ladrillo	1,9	0,24	cradle to gate	1
	Arcilla general	1,9	0,24	cradle to gate	1
	Azulejo Arcilla	1,9	0,48	cradle to gate	1
	Cerámica general	2,4	0,7	cradle to gate	1
	Azulejos y revestimiento de cerámica	1,9	0,78	cradle to gate	1
	Arena	2,24	0,0051	cradle to gate	1
	Cal	1,2	0,78	cradle to gate	1
	Tierra general	1,7	0,024	cradle to gate	1
	Piedra general	2,0	0,079	cradle to gate	1
	Granito	2,9	0,7	cradle to gate	1
Caliza	2,2	0,09	cradle to gate	1	
Arenisca	2,2	0,06	cradle to gate	1	
Esquisto	2,7	0,002	cradle to gate	1	
Pizarra	2,7	0,035	cradle to gate	1	

Tabla 2. Material de cantera

Mortero	Mortero (1:3 cemento:arena mezcla)	1,9	0,221	cradle to gate	1
	Mortero (1:4 cemento:arena mezcla)	1,9	0,182	cradle to gate	1
	Mortero (1:5 cemento:arena mezcla)	1,9	0,156	cradle to gate	1
	Mortero (1:6 cemento:arena mezcla)	1,9	0,136	cradle to gate	1
	Mortero (1:½:4½ Cemento:Cal:Arena mezcla)	1,9	0,213	cradle to gate	1
	Mortero (1:1:6 Cemento:Cal:Arena mezcla)	1,9	0,174	cradle to gate	1
	Mortero (1:2:9 Cemento:Cal:Arena mezcla)	1,9	0,155	cradle to gate	1

Tabla 3. Mortero

Bloques de hormigón	Bloque - 8MPa Fuerza compresiva	1,1	0,063	cradle to gate	1
	Bloque - 10 Mpa Fuerza compresiva	1,2	0,078	cradle to gate	1
	Bloque - 12 Mpa Fuerza compresiva	1,3	0,088	cradle to gate	1
	Bloque - 13 Mpa Fuerza compresiva	1,4	0,107	cradle to gate	1
	Bloque de hormigón celular	0,8	0,32595	cradle to gate	1

Tabla 4. Bloques de hormigón

Vidrio	Vidrio	2,5	0,91	cradle to gate	1
	Lana de vidrio (glasswool)	0,032	1,6324	cradle to gate	1
	Vidrio reforzado	2,5	1,35	cradle to gate	1

Tabla 5. Vidrio

Acabados	Pintura (general)	1,2	2,91	cradle to gate	1
	Pintura soluble al agua	1,3	2,54	cradle to gate	1
	Pintura soluble en acetona	1,2	3,76	cradle to gate	1
	Resina epoxy	1,2	6,042	cradle to gate	1

Tabla 6. Acabados

Categoría	Material	Densidad aproximada del material (toneladas/m3)	tCO ₂ e/t material	Límites del sistema	referencia
-----------	----------	---	-------------------------------	---------------------	------------

Metales	Cobre en tubería o lámina (EU)	8,9	2,71	cradle to gate	1
	Cobre reutilizado	8,9	0,27	cradle to gate	1
	Hierro	7,9	2,03	cradle to gate	1
	Plomo	11,3	1,67	cradle to gate	1
	Acero: General - UK (EU) Contenido reciclado medio	7,8	1,46	cradle to gate	1
	Acero: Barra - UK (EU) Contenido reciclado medio	7,8	1,4	cradle to gate	1
	Acero: Lámina - UK (EU) Contenido reciclado medio	7,8	1,38	cradle to gate	1
	Acero: Lámina, Galvanizado - UK (EU) Contenido reciclado medio	7,8	1,54	cradle to gate	1
	Acero: Tubería- UK (EU) Contenido reciclado medio	7,8	1,45	cradle to gate	1
	Acero: Cable - Virgen	7,8	3,02	cradle to gate	1
	Acero: Inoxidable	8,0	6,519	cradle to gate	1
	Acero reutilizado	7,8	0,146	cradle to gate	1
	Aluminio: General	2,7	9,16	cradle to gate	1
	Aluminio: productos fundidos	2,7	9,22	cradle to gate	1
	Aluminio: Extrusión	2,7	9,08	cradle to gate	1
Aluminio: Lámina	2,7	9,18	cradle to gate	1	

Tabla 7. Metales

Plásticos	Plástico (general)	1,38	3,31	cradle to gate	1
	Polietileno (general)	0,92	2,54	cradle to gate	1
	Resina de polietileno de alta densidad	0,96	1,93	cradle to gate	1
	Polietileno de alta densidad tubería	1,05	2,52	cradle to gate	1
	Poliestireno expandido	1,05	3,29	cradle to gate	1
	Poliestireno (general)	1,05	3,43	cradle to gate	1
	Poliestireno de alto impacto	1,05	3,42	cradle to gate	1
	PVC (general)	1,38	3,1	cradle to gate	1
	PVC tubería	1,41	3,23	cradle to gate	1

Tabla 8. Plásticos

Madera	Madera en general	0,5	0,31	cradle to gate	1
	Madera laminada encolada	0,5	0,42	cradle to gate	1
	Aglomerado	26	0,58	cradle to gate	1
	Fibra vulcanizada de densidad media (MDF)	14	0,39	cradle to gate	1
	Tablero de tiras orientadas	0,6	0,45	cradle to gate	1
	Tablero de partículas	6	0,54	cradle to gate	1
	Contrachapado	11	0,45	cradle to gate	1
	Madera reciclada	0,7	0,03	cradle to gate	1

Tabla 9. Madera

Categoría	Material, combustible o energía	Densidad aproximada del material (toneladas/m3)	tCO ₂ e/t material	Límites del sistema	referencia
-----------	---------------------------------	---	-------------------------------	---------------------	------------

Aislante, yeso y otros	Membrana impermeabilizante	0,0009	4,45	cradle to gate	
	Goma	1,5	2,85	cradle to gate	1
	Gravilla	2,0	0,00742	cradle to gate	1
	Fibra de vidrio	1,7	8,10	cradle to gate	1
	Aislante (general)	0,04	1,9716	cradle to gate	1
	Aislante lana de vidrio (glasswool)	0,03	1,431	cradle to gate	1
	Aislante poliestireno	0,04	3,43	cradle to gate	1
	Aislante poliuretano	0,03	4,84	cradle to gate	1
	Lana de roca	0,05	1,12	cradle to gate	1
	Yeso	1,3	0,13	cradle to gate	1
	Pladur	1,0	0,39	cradle to gate	1

Tabla 10. Aislante, yeso y otros

Cementos	Cemento portland medio 94% Clinker	1,5	0,95	cradle to gate	1
	Escoria de altos hornos granulada	1,5	0,083	cradle to gate	1
	Cenizas volantes	1,5	0,008	cradle to gate	1
	Cemento tipo desconocido	1,5	0,88	cradle to gate	1
	Cemento Portland Calizo, CEM II/A-LL (20% Caliza)	1,5	0,75	cradle to gate	
	Cemento Portland Calizo, CEM II/A-LL (13% Caliza)	1,5	0,815	cradle to gate	2
	Cemento Portland Calizo, CEM II/A-LL (6% Caliza)	1,5	0,88	cradle to gate	2
	Cemento portland cenizas volantes, CEM II/A-V (20% cenizas volantes)	1,5	0,75	cradle to gate	2
	Cemento portland cenizas volantes, CEM II/A-V (13% cenizas volantes)	1,5	0,81	cradle to gate	2
	Cemento portland cenizas volantes, CEM II/A-V (6% cenizas volantes)	1,5	0,87	cradle to gate	2
	Cemento portland cenizas volantes, CEM II/B-V (35% cenizas volantes)	1,5	0,61	cradle to gate	2
	Cemento portland cenizas volantes, CEM II/B-V (28% cenizas volantes)	1,5	0,67	cradle to gate	2
	Cemento portland cenizas volantes, CEM II/B-V (21% cenizas volantes)	1,5	0,73	cradle to gate	2
	Cemento portland escoria, CEM II/B-S (35% escoria altos hornos)	1,5	0,62	cradle to gate	2
	Cemento portland escoria, CEM II/B-S (28% escoria altos hornos)	1,5	0,68	cradle to gate	2
	Cemento portland escoria, CEM II/B-S (21% escoria altos hornos)	1,5	0,74	cradle to gate	2
	Cemento Altos hornos, CEM III/A (65% escoria altos hornos)	1,5	0,36	cradle to gate	2
	Cemento Altos hornos, CEM III/A (50.5% escoria altos hornos)	1,5	0,48	cradle to gate	2
	Cemento Altos hornos, CEM III/A (36% escoria altos hornos)	1,5	0,61	cradle to gate	2
	Cemento Altos hornos, CEM III/B (80% escoria altos hornos)	1,5	0,23	cradle to gate	2
	Cemento Altos hornos, CEM III/B (73% escoria altos hornos)	1,5	0,285	cradle to gate	2
	Cemento Altos hornos, CEM III/B (66% escoria altos hornos)	1,5	0,34	cradle to gate	2

Categoría	Material	Densidad aproximada del material (toneladas/m3)	tCO ₂ e/t material	Límites del sistema	referencia
-----------	----------	---	-------------------------------	---------------------	------------

Cementos	Cemento puzolanico, CEM IV/B-V (55% escoria altos hornos)	1,5	0,42	cradle to gate	2
	Cemento puzolanico, CEM IV/B-V (45.5% escoria altos hornos)	1,5	0,505	cradle to gate	2
	Cemento puzolanico, CEM IV/B-V (36% escoria altos hornos)	1,5	0,59	cradle to gate	2
	6-20% Cenizas volantes(CEM II/A-V)	1,86	0,74	cradle to gate	1
	21-35% Cenizas volantes (CEM II/B-V)	1,5	0,83	cradle to gate	1
	21-35% tierra granulada de alto horno (CEM II/B-S)	1,5	0,69	cradle to gate	1
	36-65% tierra granulada de alto horno (CEM III/A)	1,5	0,71	cradle to gate	1
	66-80% tierra granulada de alto horno (CEM III/B)	1,5	0,52	cradle to gate	1

Tabla 11. Cementos

Categoría	Combustible o energía	Densidad aproximada del material	referencia
-----------	-----------------------	----------------------------------	------------

Energía	Diésel	0,8368	kg/litre	0,0031761	tCO ₂ e/litro	3
	Biodiesel	0,8897	kg/litre	0,0013674	tCO ₂ e/litro	3
	Electricidad red	NA		0,000332	tCO ₂ e/kWh	3
	Gas	0,0007459	kg/litre	0,002217	tCO ₂ e/m3	3
	Gasoil	0,837	kg/litre	0,0035865	tCO ₂ e/litro	3
	Agua	1	kg/litre	0,00000034	tCO ₂ e/litro	3

Tabla 12. Energía

	Tipo de vehículo y tamaño	Datos: gCO ₂ e/pasajero.km	Referencia
Medio de transporte	Coche pequeño gasolina, hasta 1.4 litros	160,61	3
	Coche pequeño diésel, hasta 1.7 litros	147,0	3
	Coche mediano gasolina, de 1.4 a 2.0 litros	200,88	3
	Coche mediano diésel, de 1.7 a 2.0 litros	177,2	3
	Coche mediano hibrido	119,65	3
	Coche mediano GLP	184,28	3
	Coche mediano gas natural comprimido	164,84	3
	Coche gasolina grande, por encima de 2.0 litros	290,14	3
	Coche diésel grande, por encima de 2.0 litros	230,49	3
	Coche grande hibrido	198,41	3
	Coche grande GLP	265,73	3
	Coche grande gas natural comprimido	237,48	3
	Motocicleta pequeña (hasta 125cc)	87,73	3
	Motocicleta grande (500cc o mas)	137,24	3
	Furgoneta gasolina hasta 3.5 toneladas	211,149	3
Furgoneta diésel hasta 3.5 toneladas	250,923	3	
Furgoneta GLP hasta 3.5 toneladas	264,06	3	

	Tipo de vehículo y tamaño	Datos: gCO ₂ e/pasajero.km	Referencia
Medio de transporte	Furgoneta gas natural comprimido hasta 3.5 ton.	241,451	3
	Tren	47,38	3
	Metro	63,12	3
	Autobús	101,55	3
	Vuelo nacional	296,35	3
	Vuelo corto (< 3 horas) Turista	175,61	3
	Vuelo corto (< 3 horas) Business	263,62	3
	Vuelo largo (<6 horas) Turista	166,95	3
	Vuelo largo (<6 horas) Business	484,09	3
	Vuelo largo (<6 horas) Primera clase	667,71	3

Tabla 13. Medios de transporte

		tCO ₂ e/t.km	Referencia
Transporte de materiales	Carretera	0,00126335	3
	Tren	0,00003451	3
	Barco	0,000005974	3

Tabla 14. Transporte de materiales

La lista de materiales original era mucho más larga pero se suprimieron numerosas entradas al ser materiales que no se utilizan en España como el árido marino.

También es notable la falta de hormigón, y esto es porque la aplicación tiene una sección dedicada principalmente al hormigón, ya que por una parte es uno de los materiales más utilizados en la construcción en España y por otro lado según el proyecto las dosificaciones son diferentes.

Todas las entradas de la base de datos provienen de 3 fuentes diferentes que son las siguientes:

Nº de referencia	Fuente	Enlace
1	Inventory of Carbon and Energy (ICE) Version 2.0. Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK	http://www.bath.ac.uk/mech-eng/research/sert/
2	British Cement Association (BCA, 2009); Fact Sheet 18 [P2] Embodied CO ₂ of factory-made cements and combinations	http://cement.mineralproducts.org/documents/Factsheet_18.pdf
3	Defra (2011); Guidelines to Defra / DECC's Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting, v1.1, 08/08/2011	https://www.gov.uk/measuring-and-reporting-environmental-impacts-guidance-for-businesses

Tabla 15- Referencias

La referencia nº1, **Inventory of Carbon and Energy (ICE)** es un inventario realizado por el departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Bath en Reino Unido. Este inventario se compone de más de 400 entradas, permitiendo realizar análisis de la energía y las emisiones asociadas a edificios, productos o sistemas. La base de datos se hizo pública en internet recibiendo una buena acogida representada por un gran número de descargas.

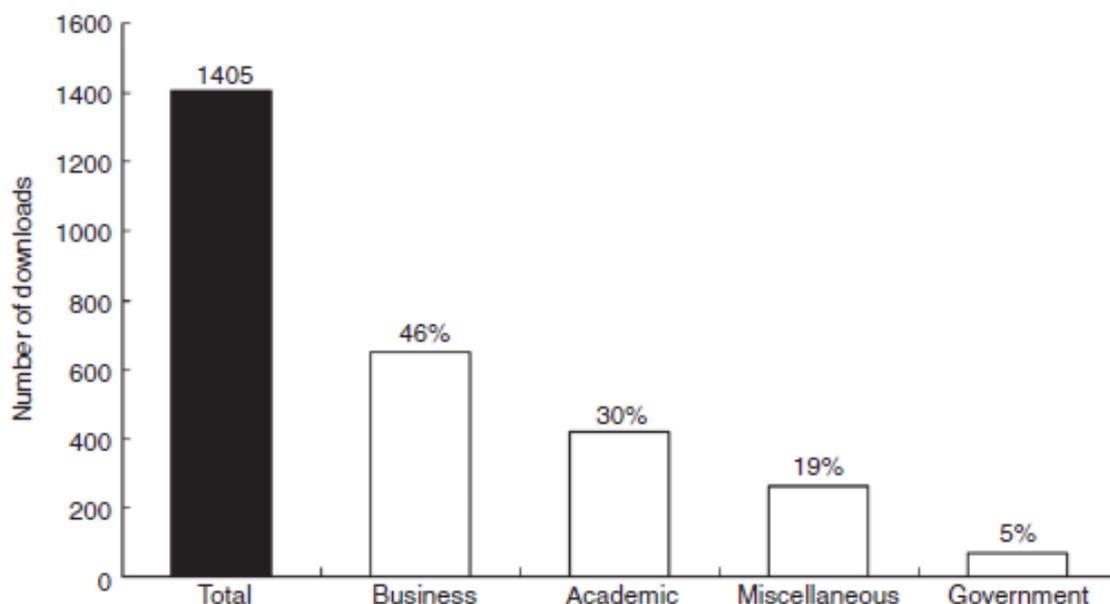


Figura 10. Descargas del Inventory of Carbon and Energy (ICE) durante 2007

Como se puede ver en la figura 9, alrededor de la mitad de las descargas fueron realizadas por empresas, mientras que un tercio de las descargas fue para investigación. [11]

La referencia nº2, **Embodied CO2 of factory-made cements and combinations**, se trata de un estudio realizado por la British Cement Association (BCA) en 2009 donde realizaron análisis de ciclo de vida para conocer las emisiones de la cadena de fabricación de cemento. Las entradas son mucho menos numerosas que las del ICE, ya que se centran exclusivamente en el cemento, sin embargo es la base de datos gratuita más completa que hemos podido encontrar y a pesar de que no incluye todos los tipos de cemento que se fabrican en suelo Español, nos puede ser de utilidad, ya que contamos con diferentes tipos de cemento además de un cemento tipo desconocido que en caso de duda servirá para que el usuario tenga unos resultados precisos. [12]

Este estudio se realizó siguiendo la norma ISO 14067.

La referencia nº3, **Guidelines to Defra / DECC's Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting**, es otro inventario realizado por el Department of Environment Food & Rural Affairs del gobierno británico. Este inventario es increíblemente amplio y consiste en las emisiones en toneladas de CO₂e de todo tipo de combustibles, energía y vehículos. Debemos tener en cuenta que las emisiones respecto a energía eléctrica son muy diferentes de las que obtendríamos en España, ya que el mix eléctrico es diferente, pero ya que no existen inventarios similares a este por parte del gobierno español, utilizaremos este, proporcionado por el gobierno británico.

Hemos podido observar que las 3 fuentes con las que hemos compuesto nuestra base de datos son todas del Reino Unido, por desgracia España no tiene estudios similares que pudiéramos utilizar de forma gratuita, así que nos hemos visto en la necesidad de usar datos de otros países. Teniendo en cuenta que los métodos de fabricación son prácticamente los mismos y que el mix eléctrico difiere notablemente, será necesario informar de esto en caso de realizar un estudio utilizando la aplicación que hemos creado. [13]

4.4 Funciones y macros

A la hora de convertir la base de datos en una calculadora, debemos utilizar una serie de fórmulas de Excel además de las operaciones habituales.

Para poder trasladar la información de la base de datos a la calculadora, permitiendo que cualquier cambio en los valores de densidad o emisiones de cada material, se traslade automáticamente a la parte de cálculo es necesario utilizar la función BUSCARV.

La función **BUSCARV** en Excel nos permite buscar un valor dentro de un rango de datos ayudándonos a obtener el valor de una tabla que coincide con el valor que estamos buscando.

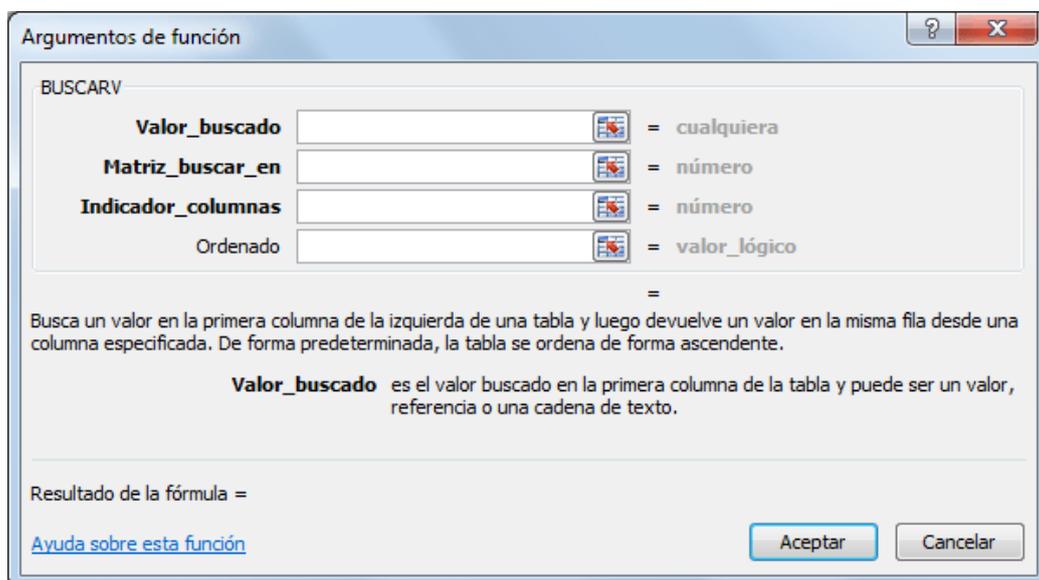


Figura 11. Función BUSCARV



- **Valor_buscado** (obligatorio): Este es el valor que se va a buscar en la primera columna de la tabla, que previamente hemos nombrado. Podemos colocar el texto encerrado en comillas o podemos colocar la referencia a una celda que contenga el valor buscado. Excel no hará diferencia entre mayúsculas y minúsculas.
- **Matriz_buscar_en** (obligatorio): La tabla de búsqueda que contiene todos los datos donde se tratará de encontrar la coincidencia del Valor_buscado. Se puede introducir el rango de celdas o el nombre de la tabla.
- **Indicador_columnas** (obligatorio): Una vez que la función BUSCARV encuentre una coincidencia del Valor_buscado nos devolverá como resultado la columna que indiquemos en este argumento. El Indicador_columnas es el número de columna que deseamos obtener siendo la primera columna de la tabla la columna número 1. En nuestro caso lo utilizamos para la densidad y las toneladas de dióxido de carbono equivalentes.
- **Ordenado** (opcional): Este argumento debe ser un valor lógico, es decir, puede ser falso o verdadero. Con este argumento indicamos si la función BUSCARV realizará una búsqueda exacta (FALSO) o una búsqueda aproximada (VERDADERO). En caso de que se omita este argumento o que especifiquemos una búsqueda aproximada se recomienda que la primera columna de la tabla de búsqueda esté ordenada de manera ascendente para obtener los mejores resultados.

La otra función importante utilizada es la función condicional **SI**, que utilizamos con dos objetivos, primero para dejar a 0 los cálculos hasta que no se hayan introducido todos los datos (especialmente útil en la parte de hormigón ya que hasta que no se introduzca toda la dosificación y cantidad de hormigón no nos dará un valor de CO₂e) y segundo para el transporte de materiales y el tipo de cemento en el hormigón ya que las emisiones varían, así el usuario puede elegir del menú desplegable el medio y la calculadora cambiara automáticamente el valor de las emisiones.

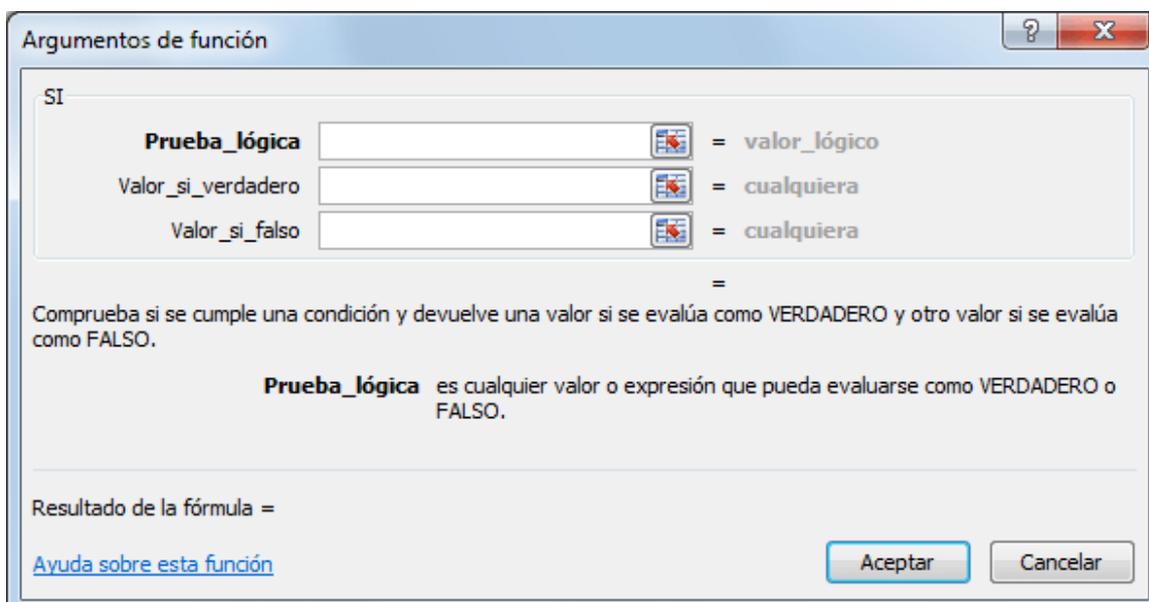


Figura 12. Función SI

- **Prueba_lógica** (obligatorio): Expresión lógica que será evaluada para conocer si el resultado es VERDADERO o FALSO.
- **Valor_si_verdadero** (opcional): El valor que se devolverá en caso de que el resultado de la *Prueba_lógica* sea VERDADERO.
- **Valor_si_falso** (opcional): El valor que se devolverá si el resultado de la evaluación es FALSO.

Respecto a las **macros**, en la aplicación encontramos 3 tipos de macros diferentes, que nos permiten automatizar tareas para aportar más comodidad y rapidez.

- **Reset:** esta macro, acompañada de un botón dejar en blanco el rango de casillas correspondiente, incluyendo los menús desplegable los cuales pueden ser difíciles de borrar para el usuario ya que es necesario utilizar la tecla suprimir y no la de retroceso. Esta macro se encuentra en cada categoría de materiales, en la hoja de hormigón y en la de energía, agua y transporte.



Figura 13. Botón Reset

El código utilizado para la macro es:

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```
Hoja4.Range("G22:H48").Value = ""
```

```
End Sub
```

Donde CommandButton2 es el botón asociado a la macro, Hoja4 es la hoja donde se actuará la macro y G22:H48 es el rango de celdas que se dejaran en blanco

- Imprimir:** esta macro, también acompañada de un botón permite al usuario imprimir el informe de resultados con un solo click desde la hoja de Impresión.



Figura 14. Botón imprimir

El código utilizado en esta macro es:

```

Private Sub Imprimir_Click()
Sheets("4.Informe resultados").Select
ActiveWindow.SelectedSheets.PrintOut From:=1, To:=2,
Copies:=1, Collate _
:=True, IgnorePrintAreas:=False
End Sub
  
```

Donde Imprimir es el botón asociado a la macro, sheets es la hoja que queremos imprimir, from y to es desde que hoja hasta que hoja queremos imprimir, y copies es el número de copias.

- Fecha:** la macro fecha no lleva asociada ningún botón para activarse, sino que al seleccionar la casilla donde está la fecha, aparece un menú para elegir la fecha, siendo la fecha del día por definición además de poder elegir otra fecha.

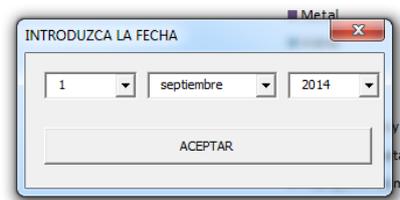


Figura 15. Menú fecha



El código utilizado es bastante complejo, en primer lugar en la hoja de informa de resultados esta esté código:

```
Private Sub Worksheet_SelectionChange(ByVal Target As Range)  
If Not Application.Intersect(Target, Range("D6")) Is Nothing  
Then  
Call LANZAFECHA  
End If  
End Sub
```

Este código sirve para que al pulsar en la celda D6, se lance la macro LANZAFECHA, que es la que realizará toda la tarea de poner la fecha correspondiente al día, y que lleva asociado un formulario con 3 cuadros combinados.

El código asociado al formulario es el siguiente:

```
Private Sub BotonFecha_Click()  
DIA = UserFecha.ComboDia  
MES = UserFecha.ComboMes  
AÑO = UserFecha.ComboAño  
LAFECHA = DIA & "/" & MES & "/" & AÑO  
ActiveCell.Value = CDate(LAFECHA)  
Unload UserFecha  
ActiveCell.Offset(0, 1).Select  
End Sub  
Private Sub ComboDia_Enter()  
For D = 1 To 31  
ComboDia.AddItem D  
Next  
End Sub  
  
Private Sub UserForm_Initialize()  
ComboDia = Day(Now())  
ComboMes = Format(Now(), "mmmm")  
ComboAño = Year(Now())  
End Sub
```

Cada uno de los cuadros combinados, día, mes y año, llevan su propio código. Para día, queremos poder elegir de 1 a 31, lo cual es simple con la función For D = 1 To 31. Para mes y año, la cosa es más complicada, ya que no podemos elegir de 1 a 2014, ya que la lista sería interminable, así que para el mes y el año se han creado 2 listas en una hoja oculta, la hoja número 9, de donde tomaremos los valores para sus respectivos cuadros combinados.

Finalmente, cabe destacar la inclusión de menús desplegables para la elección del medio de transporte de los materiales (camión, tren o barco) y para el tipo de cemento en el apartado de hormigón. Estos menús nos permiten minimizar el espacio necesario a la hora de incluir largas listas, o simplemente cuando en una sola celda tenemos diferentes opciones.

Hormigon 1	Toneladas metro cubico hormigón
Cemento portland cenizas volantes, CEM II/A-V (20% cenizas volantes)	
Cemento portland cenizas volantes, CEM II/A-V (13% cenizas volantes)	
Cemento portland cenizas volantes, CEM II/A-V (6% cenizas volantes)	
Cemento portland cenizas volantes, CEM II/B-V (35% cenizas volantes)	
Cemento portland cenizas volantes, CEM II/B-V (28% cenizas volantes)	
Cemento portland cenizas volantes, CEM II/B-V (21% cenizas volantes)	
Cemento portland escoria, CEM II/B-S (35% escoria altos hornos)	
Cemento portland escoria, CEM II/B-S (28% escoria altos hornos)	
Árido	

Figura 16. Menú desplegable

4.5 Hormigón

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en nuestro país, además de ser uno de los que más emisiones producen por su contenido en cemento.

Debido a que la dosificación del hormigón puede variar según la función y la zona climática donde se vaya a utilizar, hemos decidido crear un apartado especial para el hormigón.

En la hoja de hormigón se puede introducir hasta 5 tipos de hormigón, donde el usuario debe especificar, el tipo de cemento (dentro de los disponibles), la dosificación en toneladas por metro cubico, los metros cúbicos totales, medio de transporte y kilómetros.

Hormigón 1	Toneladas por metro cubico de hormigón	tCO ₂ e/ m ³	Metros cúbicos de hormigón	Distancia (Km)	Medio de transporte
		0			
Árido					
Aqua					

[Reset](#)

Figura 17. Introducción de datos del hormigón

Se ha de tener en cuenta que el acero del hormigón armado se debe introducir en la hoja de materiales, y no ira incluido en el apartado de hormigones.



4.6 Informe de resultados

Una vez el usuario ha introducido todos los datos que conoce, en la hoja de informe de resultados puede obtener la cantidad total de emisiones del conjunto de materiales, hormigón, energía y transporte, tanto de personal como de materiales.

En primer lugar nos encontramos con el nombre del proyecto y la fecha, que los tendrá que introducir el usuario.

Nombre del proyecto	Nave Industrial
Fecha	02/09/2014

Figura 18. Introducción de datos en informe de resultados

Después tenemos la huella de carbono total del proyecto de construcción, en toneladas de CO₂e, y el subtotal por cada categoría así como el porcentaje.

Huella de carbono total	2679,85	Toneladas CO ₂ e
Subtotal	Toneladas CO ₂	%
Material de cantera	0	0,00%
Hormigón, cemento y morteros	1757,485	65,58%
Madera	0	0,00%
Metal	570,0873	21,27%
Vidrio	2,75275	0,10%
Acabados	0	0,00%
Plásticos	21,0919	0,79%
Aislante, yeso y otros	32,07758	1,20%
Equipos y caseta de obra	0	0,00%
Transporte de materiales	296,3514	11,06%
Transporte de personal	0	0,00%

Figura 19. Huella de carbono total y por categorías

Finalmente para mostrar los datos de una forma más sencilla, se han incluido un diagrama de barras y un gráfico circular.

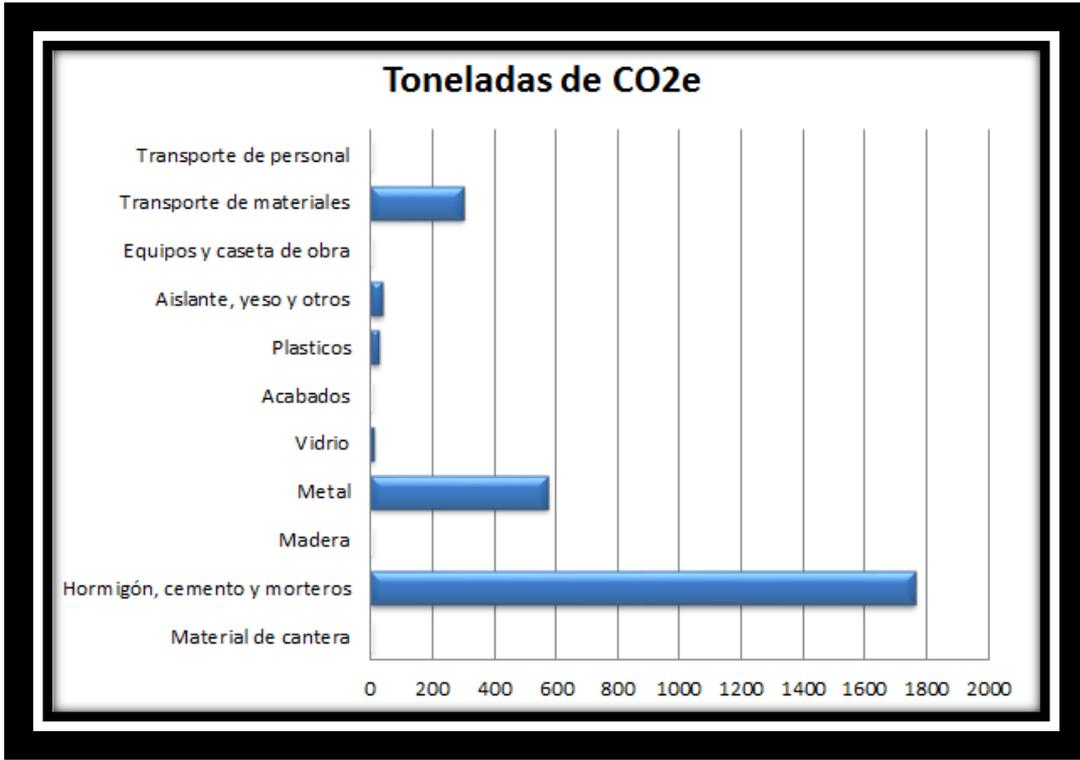


Figura 20. Diagrama de barras

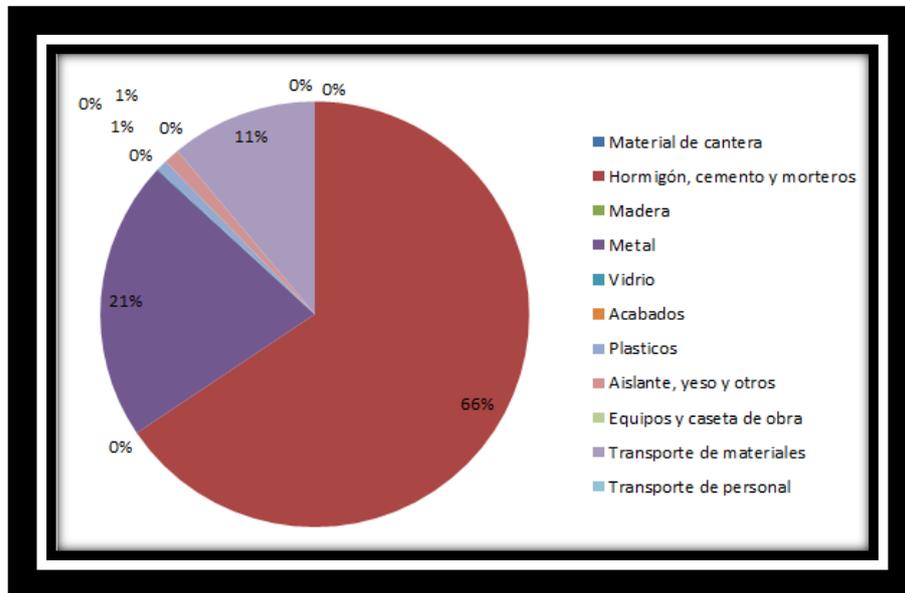


Figura 21. Gráfico circular

El informe de resultados está preparado para que el usuario pueda imprimirlo en un archivo PDF de 2 páginas.

La composición final del informe de resultados es la siguiente:

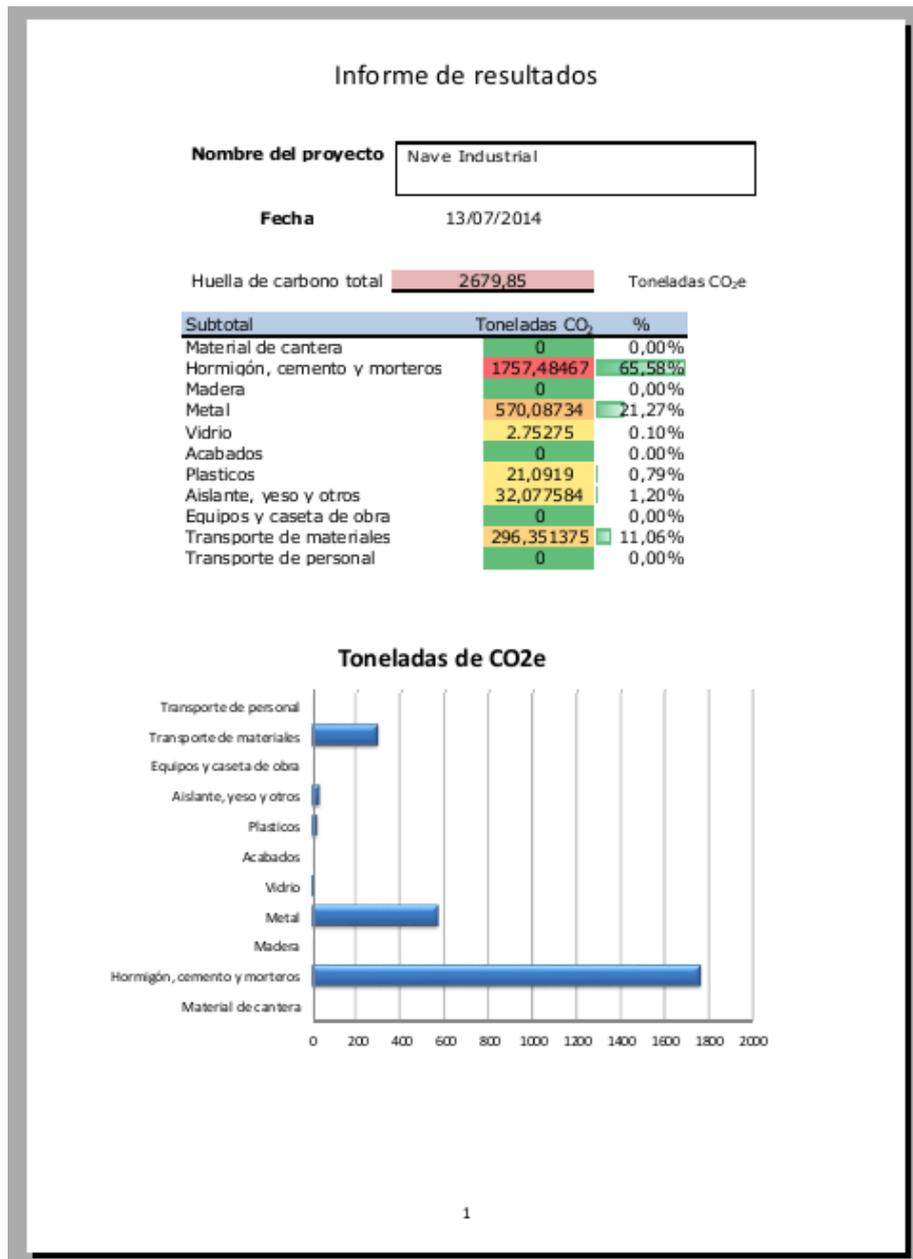


Figura 22. Informe de resultados página 1

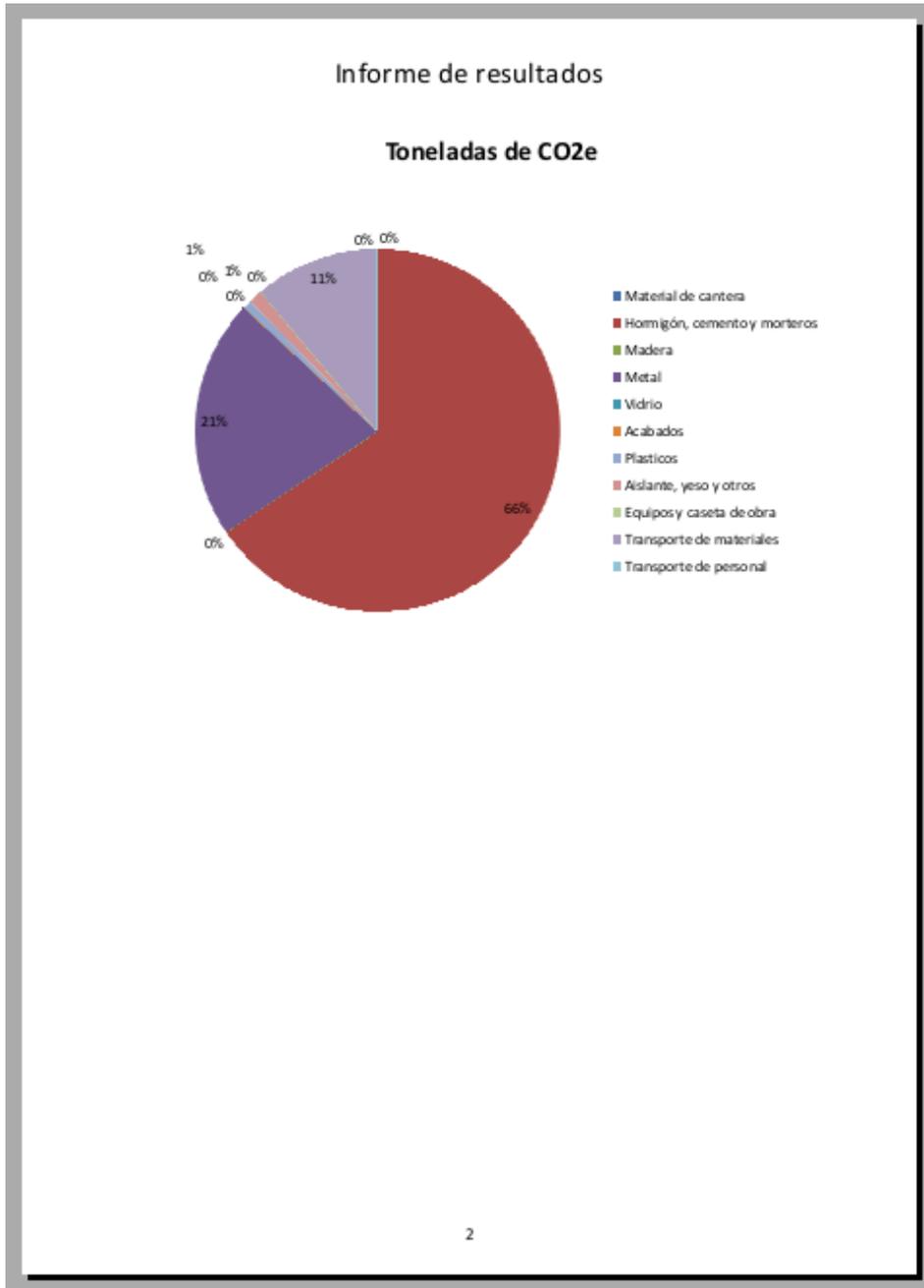
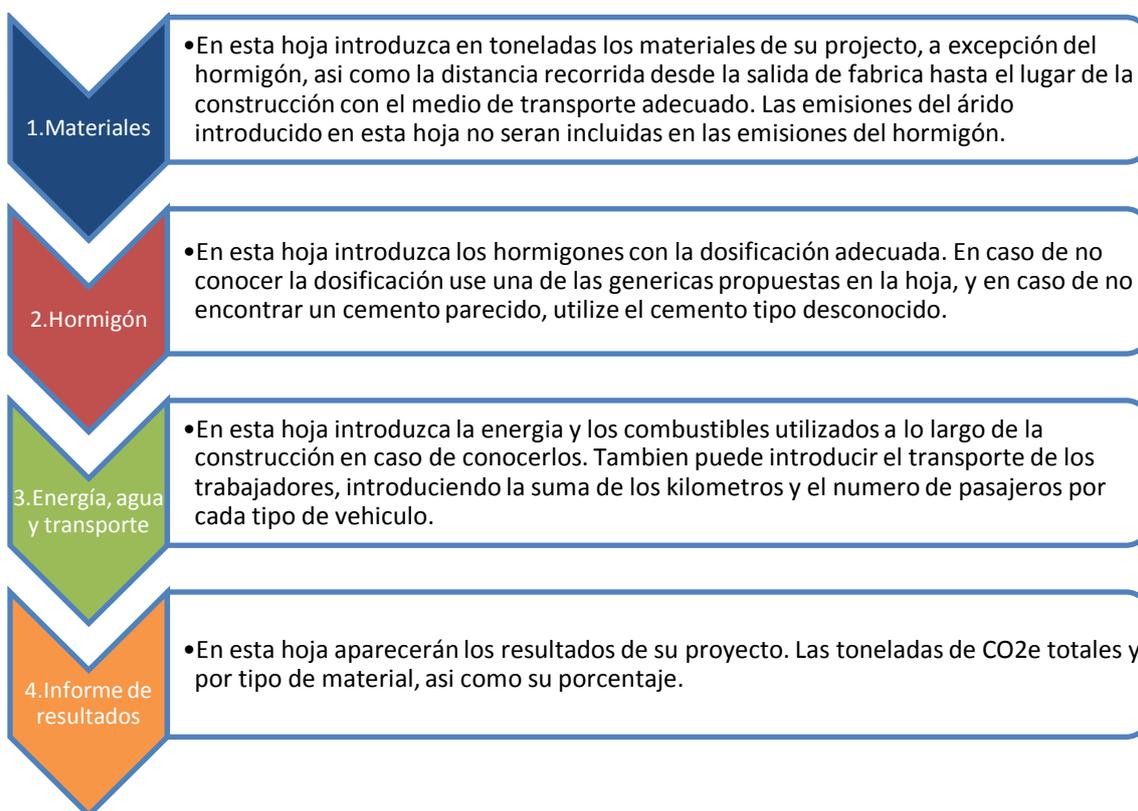


Figura 23. Informe de resultados página 2

4.7 Instrucciones

La primera hoja de la aplicación sirve de presentación y de guía para el usuario, ya que encontrará la información necesaria para utilizar la calculadora a la perfección.

En primer lugar encontramos un esquema con el orden en el que se recomienda introducir los datos, así como que introducir en cada una de las hojas y alguna aclaración.



La calculadora es incapaz de hacerlo todo, así que el usuario deberá tener unos pequeños conocimientos previos sobre que es la huella de carbono, además de tener todos los datos necesarios del proyecto. Recordemos que tanto los ciclos de vida como los estudios de huella de carbono no son precisos del todo, y a pesar de que son procesos iterativos y podemos repetirlos numerosas veces para "afinar" el resultado, es el propio concepto de ciclo de vida lo que impide que se ajusten totalmente a la realidad.

La parte más difícil a la hora de introducir los datos es la parte de energía, agua y transporte, ya que en el proyecto no se detallan los gastos de energía ya combustible de la maquinaria que se va a utilizar, ni el transporte que van a utilizar los trabajadores, ni la distancia a la que viven, así que es de esperar que muchos usuarios ignoren ese apartado.



Ante todo, el usuario debe usar su propio criterio y un poco de imaginación, si desconoce algún material o el tipo de cemento a utilizar. A pesar de haber tratado de prever estas situaciones, al trabajar con bases de datos gratuitas, no podemos esperar la misma cantidad de opciones que en un software de pago, ni la misma precisión, pero los resultados pueden darnos una idea de que materiales son los que más emisiones llevan asociadas, o las emisiones del transporte del material respecto a su propia fabricación.

4.8 Versiones

A partir de que se consigue una versión funcional de la aplicación, se han ido añadiendo mejoras y corrigiendo errores. Es muy importante realizar una versión inicial que sea lo más simple posible para luego ir trabajando sobre ella.

- V1.0. Primera versión funcional de la aplicación.

Esta versión contenía todas las hojas salvo la de instrucciones, no colores ni celdas condiciones. La aplicación era totalmente funcional y el informe de resultados consistía en una casilla con el número total de toneladas de CO₂e.

- V1.1. Corregidos varios errores de traducción y revisión de ortografía. Añadido nombre de proyecto, fecha, subtotaes y gráficas para el informe de resultados.

Tras la versión inicial (V1.0) se descubrieron algunos fallos de traducción que una vez corregidos se ha podido realizar una revisión ortográfica. Además se ha dado forma al informe de resultados, añadiendo una casilla para introducir el nombre del proyecto y la fecha. También se añaden en el informe de resultados los subtotaes y las gráficas.

- V1.2. Añadida macro y menú para selección de fecha.

Se añade la macro para la fecha en el informe de resultados, al seleccionar la casilla de la fecha se despliega un menú para elegir día, mes y año.



5. Conclusiones

El análisis de ciclo de vida y el cálculo de la huella de carbono son herramientas muy útiles que están utilizándose cada vez más con fines no solo ambientales, sino también económicos y de marketing.

Aplicado al sector de la construcción puede ayudar a reducir el impacto de un proyecto de construcción. Conociendo los puntos críticos, es decir los materiales más contaminantes, podemos tratar de reducir las emisiones en la producción de dichos materiales, optando por mejorar los procesos de fabricación o tratando de reciclar cuando sea posible estos materiales.

El cemento, debido a su fabricación, es uno de los materiales más contaminantes, además de ser de los más utilizados. La extracción en sí de los minerales tiene una baja huella de carbono, ya que las grandes cantidades con las que se trabajan disminuyen las emisiones, es en los hornos donde se extrae la humedad de los minerales donde se producen más emisiones, ya que en algunos casos se utilizan residuos como combustible lo que puede liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Si tenemos en cuenta, que el cemento forma parte del hormigón, que es uno de los materiales más utilizados en España, tenemos ya uno de los puntos críticos donde podríamos implantar mejoras para reducir las emisiones en el sector.

Es interesante también tener en cuenta que el árido, también parte del hormigón tiene una baja emisión, y a pesar de poderse reciclar, el árido reciclado tiene casi las mismas emisiones que el árido normal. Al trabajarse en canteras en cantidades tan grandes, como hemos dicho antes, se reducen bastante las emisiones, sin embargo, los procesos para poder reciclar el árido, apenas compensan ya que crean emisiones casi equiparables a las de una cantera. Otro material especialmente contaminante es el aluminio, aunque no es muy utilizado en grandes estructuras, es el metal que más emisiones produce en su fabricación.

A la hora de implantar métodos para el cálculo de la huella de carbono en el sector de la construcción, nos encontramos con un problema, y es que apenas existen incentivos para calcular y mejorar las emisiones. Cuando estaba en vigor el protocolo de Kioto, era el gobierno quien pagaba la compra de derechos de emisión, mientras que en otros países como Alemania, las empresas debían pagar en proporción a sus emisiones. Si una empresa puede reducir sus emisiones, y con ello ahorra impuestos, se crea un incentivo económico que es inexistente en España.

La huella de carbono por tanto puede resultar más interesante a nivel de marketing y en España al no existir ningún tipo de incentivo.



6. Bibliografía

- [1] ISO 14040: 2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- [2] ISO 14044: 2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- [3] ISO 14064-1: 2006 Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y declaración de las emisiones y reducciones de fases de efecto invernadero.
- [4] ISO 14064-2: 2006 Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificaciones y orientaciones, a nivel de proyecto, para la cuantificación, la monitorización y la declaración de las reducciones y de las mejoras en la eliminación de gases de efecto invernadero.
- [5] ISO 14064-3: 2006 Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificaciones y orientaciones, para la validación y verificación de las declaraciones de gases de efecto invernadero.
- [6] PAS 2050 Verificación de la huella de carbono
- [7] PAS 2060 Especificación para la Neutralidad de Carbono
- [8] ISO 14067 Huella de carbono de productos
- [9] GHG Protocol
- [10] ISO 14069 Huella de carbono de las organizaciones
- [11] Hammond, G. P. and Jones, C. I. (2011) Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0
- [12] British Cement Association (BCA, 2009); Fact Sheet 18 [P2] Embodied CO2 of factory-made cements and combinations
- [13] Defra (2011); Guidelines to Defra / DECC's Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting
- [14] Asimov, I. (2003). Cien preguntas básicas sobre la ciencia. Madrid: Alianza editorial.

Anexo I: Prueba de la aplicación e informe de resultados

Como prueba de la aplicación, se ha utilizado un proyecto de una nave industrial sin uso definido. Debido a la poca información del proyecto, solo se han podido obtener el estado de mediciones de la nave, sin muchos detalles, pero será suficiente para comprobar que la calculadora funciona sin problemas y que el informe de resultados es correcto.

Los materiales que se van a introducir en la calculadora son los siguientes:

	Material	Cantidad	Unidades	TRANSPORTE (Km)
CIMENTACIONES	Hormigón limpieza	488	m3	16
	Hormigón normal	220	m3	16
ESTRUCTURA	ACERO	330,427	ton	26
PARED	Bloque hormigón	103,04	ton	19
Techo	Chapa acero	51,548	ton	13
	Poliuretano	6,6276	ton	13
Tuberías	PVC	6,53	ton	3
Pavimentos	Hormigón normal	5132	m3	16
Puertas basculantes	ACERO	6	ton	26
Ventanas	Vidrio	3,025	ton	7

Para el hormigón, no hemos podido encontrar las dosificaciones, así que utilizaremos las de ejemplo de la aplicación. El acero del hormigón armado va incluido dentro del acero de la estructura, y lo introduciremos como acero general, contenido reciclado medio.

El informe de resultados obtenido con la aplicación son las dos siguientes páginas.

Informe de resultados

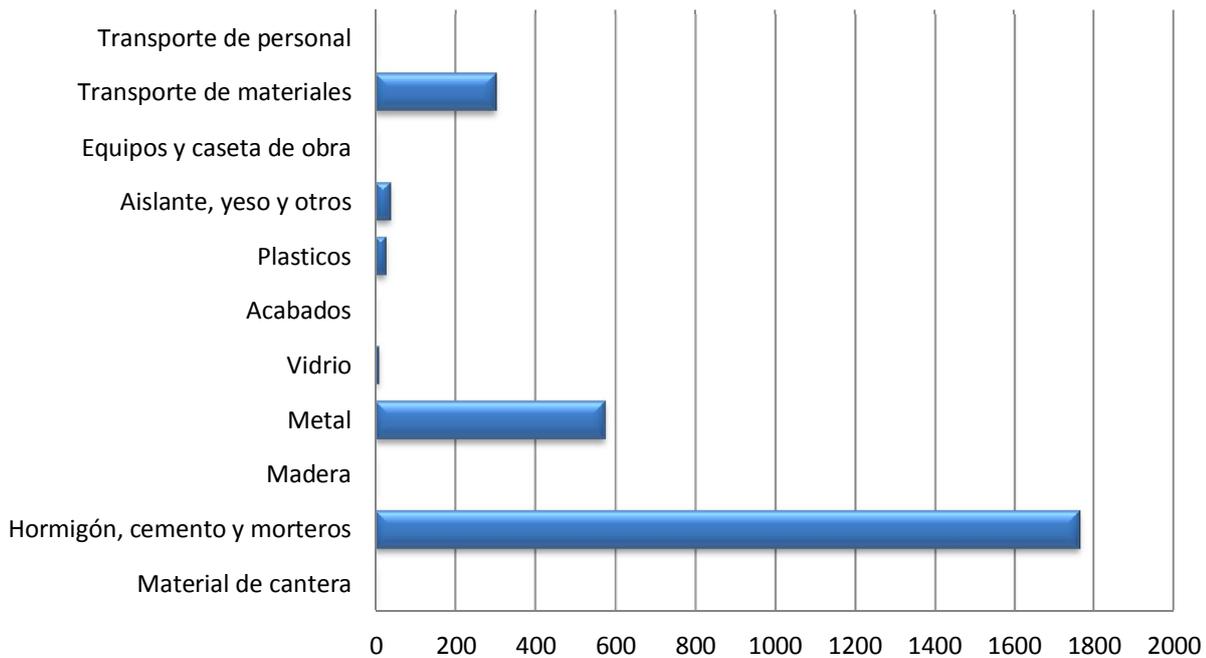
Nombre del proyecto Nave Industrial sin uso definido

Fecha 13/07/2014

Huella de carbono total **2679,85** Toneladas CO₂e

Subtotal	Toneladas CO ₂	%
Material de cantera	0	0,00%
Hormigón, cemento y morteros	1757,48467	65,58%
Madera	0	0,00%
Metal	570,08734	21,27%
Vidrio	2,75275	0,10%
Acabados	0	0,00%
Plasticos	21,0919	0,79%
Aislante, yeso y otros	32,077584	1,20%
Equipos y caseta de obra	0	0,00%
Transporte de materiales	296,351375	11,06%
Transporte de personal	0	0,00%

Toneladas de CO₂e



Informe de resultados

Toneladas de CO2e

