



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PROYECTO FIN DE CARRERA

Análisis de Ciclo de Vida del uso urbano del agua en Zaragoza

Autor:

Pedro Monge Hernández

Directores:

Javier Uche Marcuello
Amaya Martínez Gracia

En Zaragoza, septiembre de 2012

Resumen

Con este Proyecto Fin de Carrera se acomete un Análisis de Ciclo de Vida centrado en el uso urbano del agua en la ciudad de Zaragoza., destinado a conocer los impactos ambientales generados por el mismo.

El estudio se divide en diferentes comparativas que analizan los impactos de todos los aspectos que caracterizan este uso, tales como: tecnologías ACS, individual/comunitario, doméstico/comercial, uso de energía solar térmica para ACS y por último el uso urbano completo.

Para realizar todos los análisis se ha utilizado el software SimaPro 7.2 siguiendo las directrices que proponen las normativas de referencia ISO para este tipo de trabajos. El cálculo de los impactos se ha llevado a cabo con tres métodos: IPCC 2007, ReCiPe Midpoint y Eco-indicador 99.

En la etapa de montaje se han tenido en cuenta todos los materiales relacionados de alguna manera con el agua (tuberías, tecnologías ACS, electrodomésticos, útiles de baño). Para la fase de operación se han incluido consumos energéticos para generar agua caliente (gas natural, gasoil, electricidad), el consumo eléctrico asociado a los electrodomésticos, así como el uso de detergentes y jabones.

Los resultados de los diferentes estudios muestran que el uso urbano es la fase del ciclo integral del agua que mayor impacto genera y que, dentro de éste, la operación supone la mayor parte de la huella, muy por encima del montaje.

Las tecnologías de generación de ACS más respetuosas con el medioambiente son las que utilizan como combustible gas natural, aunque el uso de electricidad también es muy válido debido a la gran participación de energías renovables en la producción eléctrica española.

Del estudio de solar térmica, se extrae la conclusión de que se debe incentivar la instalación de este tipo de sistemas, ya que reducen en gran medida (~50%) los impactos.

Por último, este trabajo se centra en la cuantificación de los impactos medioambientales del uso urbano del agua en Zaragoza, pero también debe servir como base para encontrar acciones que lleven a la reducción de esa huella en el entorno en la medida de lo posible, teniendo en cuenta que Zaragoza es una ciudad de tamaño medio y por lo tanto los impactos siempre van a ser elevados.

Índice

1. OBJETO Y ALCANCE	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. ESTUDIOS PREVIOS	8
3.1. CICLO INTEGRAL DEL AGUA EN ZARAGOZA	9
4. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	12
4.1. HISTORIA DEL ACV	12
4.2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. METODOLOGÍA Y ASPECTOS GENERALES	14
4.2.1. <i>Metodología del ACV</i>	16
4.2.1.1. Definición y alcance del estudio.....	16
4.2.1.2. Análisis de inventario.....	20
4.2.1.3. Análisis de impactos.....	22
4.2.1.4. Interpretación de resultados.....	24
4.2.2. <i>Normas de referencia</i>	25
4.2.2.1. ISO 14040	25
4.2.2.2. ISO 14041	25
4.2.2.3. ISO 14042	25
4.2.2.4. ISO 14043	25
4.2.2.5. Otras normas ISO relevantes	26
4.2.3. <i>Métodos de cálculo</i>	26
4.2.3.1. IPCC 2007.....	27
4.2.3.2. ReCiPe.....	28
4.2.3.3. Eco-indicador 99	30
5. CICLO INTEGRAL DEL AGUA.....	33
5.1. CICLO HIDROLÓGICO NATURAL DEL AGUA	33
5.2. CICLO INTEGRAL DEL AGUA.....	33
5.2.1. <i>Etapas del ciclo integral del agua</i>	34
5.2.2. <i>Ciclo integral del agua en Zaragoza</i>	36
5.2.2.1 Fases.....	36
5.2.2.1.1. Captación	36
5.2.2.1.2. Potabilización	36
5.2.2.1.3. Transporte y distribución	37
5.2.2.1.4. Usos	37
5.2.2.1.5. Depuración	37
5.2.2.2. Uso urbano del agua en Zaragoza	40
6. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA AL USO URBANO DEL AGUA EN ZARAGOZA	44
6.1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL ESTUDIO	44
6.2. ANÁLISIS DE INVENTARIO.....	47
6.2.1. <i>Montaje</i>	47
6.2.2. <i>Operación</i>	51
6.3. ANÁLISIS DE IMPACTOS	53
6.3.1. <i>IPCC 2007</i>	53
6.3.2. <i>ReCiPe</i>	54
6.3.3. <i>Eco-indicador 99</i>	54
6.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	54
6.4.1. <i>Comparativa Montaje + operación / Proceso tipo</i>	54
6.4.2. <i>Comparativa Tecnologías ACS</i>	56
6.4.3. <i>Comparativa Individual / Comunitario</i>	60
6.4.4. <i>Comparativa Doméstico / Comercial</i>	63
6.4.5. <i>Uso urbano</i>	67
6.4.6. <i>Estudio solar térmica</i>	69

7. CONCLUSIONES	71
REFERENCIAS	73

Anexos

1. Consumo de agua desagregado en Zaragoza. Año 2010.
2. Distribución de la cobertura de la demanda eléctrica en España. Año 2011.
3. Factores de ponderación para SimaPro.

1. Objeto y alcance

El objeto de este proyecto es el estudio de los distintos impactos ambientales del uso urbano del agua en Zaragoza, y la comparación entre diferentes aspectos dentro de este uso (tecnologías ACS, individual/comunitario), así como con otras fases del ciclo integral del agua en Zaragoza, mediante la utilización de un Análisis de Ciclo de Vida.

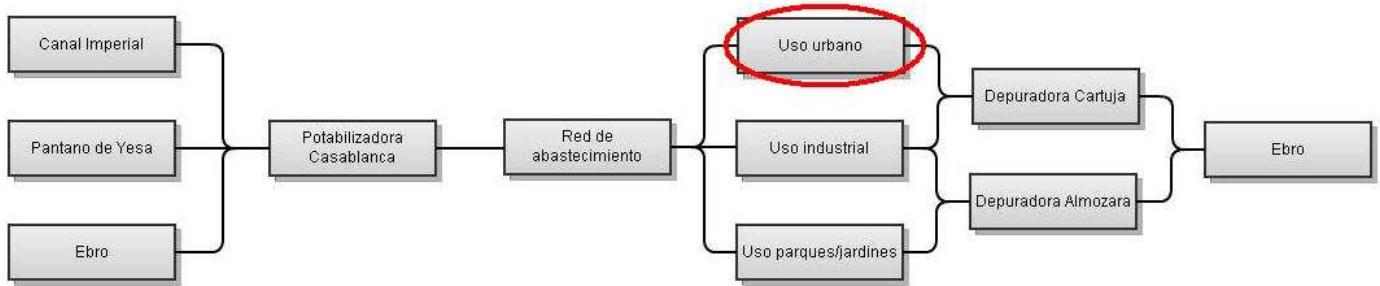


Diagrama de flujo del ciclo integral de agua en Zaragoza

En el diagrama superior se observa claramente cual es el alcance de este estudio. Dentro de los tres usos principales del agua en Zaragoza, se analizan los impactos del uso urbano.

2. Introducción

Con este proyecto se quiere analizar el ciclo de vida del uso urbano del agua en Zaragoza, estudiando los diferentes impactos ambientales derivados de este uso.

Este tipo de estudios han sufrido una evolución y crecimiento muy rápido debido a la incipiente preocupación, por parte tanto de empresas como de organismos públicos, por conocer el impacto medioambiental que generan ciertas actividades y procesos, con la intención de realizar cambios y mejoras, dirigidos a reducir su huella medioambiental.

Este proyecto forma parte de un trabajo mucho más detallado, dedicado al estudio del ciclo integral del agua en la ciudad de Zaragoza, donde se incluyen desde la captación, potabilización y usos, hasta la depuración.

No solo se busca conocer de manera precisa el impacto total del uso urbano (incluyendo uso doméstico y comercial), sino poder comparar la eficiencia ambiental de las diferentes particularidades que caracterizan el uso urbano del agua en una ciudad, tales como: tecnologías para ACS y uso individual o comunitario del agua.

El software utilizado para realizar este Análisis de Ciclo de Vida es SimaPro v. 7.2, realizando los cálculos mediante tres métodos distintos: IPCC 2007, ReCiPe y Eco-indicator 99.

El proyecto está organizado de la siguiente manera:

En primer lugar, el apartado 1 trata sobre el objeto y el alcance del proyecto, exponiendo los análisis que se han realizado y las fronteras del estudio.

En el apartado 2 se expone una pequeña introducción al Análisis de Ciclo de Vida del uso urbano del agua en Zaragoza y se explica la estructura utilizada en la realización de este proyecto.

En el capítulo 3 se recopilan y comentan estudios previos existentes sobre Análisis de Ciclo de Vida relacionados con el ciclo integral del agua, o fases específicas de éste. Por otro lado, se explican y comentan los proyectos más relevantes vinculados al ciclo integral del agua en Zaragoza.

Seguidamente, en el capítulo 4 se realiza una breve introducción al Análisis de Ciclo de Vida, exponiendo la metodología general necesaria para realizar estudios de esta índole. También se reseñan ciertos aspectos generales que rigen este tipo de trabajos, tales como las principales normas ISO que se deben seguir, o un pequeño resumen de los tres métodos de cálculo utilizados (IPCC 2007, ReCiPe y Eco-indicator 99).

En el apartado 5 se exponen las principales fases del ciclo integral del agua, haciendo hincapié en el estudio de las diferentes etapas del de Zaragoza. En este mismo capítulo, al final, se recopila toda la información referida al objeto de estudio de este proyecto, el uso urbano del agua en la ciudad de Zaragoza.

En el capítulo 6 se aplican todas las fases de la metodología general de los Análisis de Ciclo de Vida al objeto de estudio: Definición y alcance del estudio, análisis de inventario, análisis de impactos e interpretación de resultados.

En el apartado 7, se exponen las principales conclusiones alcanzadas después de aplicar la metodología general de ACV al uso urbano del agua en Zaragoza.

Por último, se listan las referencias utilizadas para la realización de este proyecto y una serie de anexos con información referente al estudio.

3. Estudios previos

Como se ha comentado anteriormente, son muchos los trabajos realizados en el ámbito del Análisis de Ciclo de Vida pero, normalmente, estos estudios se centran en productos o procesos muy concretos.

Algunos ejemplos son “Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems” (A.F. Sherwani, J.A. Usmani, Varun, 2009), “Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater” (Christopher J. Koroneos, Evangelia A. Nanaki, 2012) o “A possibilistic life-cycle assessment model for evaluating alternative transportation fuels” (Raymond R Tan, Alvin B Culaba, Michael R.I Purvis, 2003).

Los Análisis de Ciclo de Vida referentes al ciclo integral del agua, en cambio, no están tan extendidos, aunque poco a poco se van publicando más estudios sobre el tema. La mayoría de estos documentos se centran en fases muy concretas del ciclo, tales como plantas de tratamiento o métodos de abastecimiento.

Dentro de los estudios de diferentes métodos de abastecimiento de agua encontramos, los artículos “Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa: The Rosslyn industrial area as a case study” (Landu Landu and Alan C Brent, 2006) y “Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems” (Jennifer Stokes and Arpad Horvath, 2005).

En el primero se analiza el abastecimiento de agua potable para su uso industrial, incluyendo captación, bombeo, uso, así como generación eléctrica y tratamiento de desechos. Los resultados más relevantes son que los aspectos que mayor huella generan es la extracción de agua del río y el consumo eléctrico (hecho muy común en la mayoría de ACVs ya que la generación eléctrica supone un gran impacto). Existen varias limitaciones en este estudio, las más relevantes son que la recogida de datos es complicada debido a la confidencialidad de las empresas, y por lo tanto, realizar la extrapolación a otros lugares no sería demasiado preciso.

El trabajo de Jennifer Stokes and Arpad Horvath compara, en dos regiones de California, los impactos del abastecimiento urbano por desalación, importación o reciclaje. Las conclusiones a las que se llegan con este análisis son que el uso de agua reciclada debería fomentarse en contra de la desalación, pero debido a la dificultad de conseguir grandes cantidades de agua mediante ese método, propone un futuro análisis que estudiaría los efectos de utilizar agua reciclada para inodoros, riego y usos similares.

Por otro lado, existen varios artículos que estudian o comparan métodos de tratamiento del agua, como “LCA of Drinking and Wastewater Treatment Systems of Bologna City: Final Results” (Mario Tarantini, Federica Ferri, 2001), que analiza el ciclo urbano del agua en la ciudad de Bolonia, centrándose en las plantas de tratamiento. Los resultados demuestran que la producción eléctrica para bombeo y la descarga del efluente tratado son los mayores responsables de los impactos. En cambio, los productos químicos

utilizados en los procesos de tratamiento y el transporte son muy poco importantes comparados con los anteriores.

“Comparative environmental LCA on water treatment plants” (Christian Bouchard, Alexandre Bonton, Stéphane Jedrzejak Benoît Barbeau, 2009) compara el proceso convencional de tratamiento del agua con el método del nanofiltrado. Los datos obtenidos afirman que el proceso de nanofiltrado, donde el mayor impacto se produce en el consumo eléctrico, es mucho más amigable que el convencional, donde son los químicos los generadores de la huella medioambiental. Un aspecto reseñable, y que se repite en la mayoría de estudios, es que la operación genera mucho más impacto que la construcción o el desmantelamiento.

“Environmental impact of using different energy sources for family house heating” (Marcin Bukowski, Henryk Manteuffel Szoeg, 2010) trata sobre nueve tipos diferentes de fuentes de energía para la generación de calor en viviendas. Las conclusiones más significativas son que, la generación de calor mediante combustión de carbón es la más dañina, mientras que la combustión de madera y el uso de bomba de calor son los métodos que dejan menos huella.

El mayor inconveniente de todos los artículos revisados reside en que, a pesar de ser estudios muy exactos, son de procesos específicos del ciclo integral del agua, y ninguno entra en las fases de uso.

Sin embargo, no son incompatibles, sino todo lo contrario, mediante la realización de diferentes Análisis de Ciclo de Vida de todas las etapas del ciclo integral del agua, su posterior estudio y puesta en común, se puede conseguir una imagen mucho más precisa que si se intenta realizar el estudio completo.

3.1. Ciclo integral del agua en Zaragoza

Dentro del ámbito más concreto del ciclo integral del agua en Zaragoza existen diversos trabajos y proyectos muy interesantes.

Uno de ellos es “Proyecto Zaragoza Ciudad Ahorradora de Agua” llevado a cabo por la Fundación Ecología y Desarrollo y el Ayuntamiento de Zaragoza.

Con este trabajo se busca, a través de la aplicación de buenas prácticas en el uso del agua, conseguir un ahorro en el consumo de agua urbana en Zaragoza. El proyecto se ha coordinado a través de 5 etapas:

- Pequeños pasos, grandes soluciones: dirigido a profesionales vinculados al consumo de agua.
- 50 buenas prácticas: dirigido a grandes consumidores de agua.
- Escuela para el uso eficiente del agua: extiende los modelos de actuación en la fase 2.
- 100,000 compromisos con Zaragoza: certifica 100,000 compromisos ciudadanos destinados a un uso más correcto del agua.

Por otro lado el Ayuntamiento de Zaragoza, apoyado por participación privada, aprobó en 2002 el proyecto “Ecociudad Valdespartera Zaragoza”. Lo que se buscó con “Ecociudad Valdespartera Zaragoza” era el desarrollo sostenible en el nuevo barrio al sur de la ciudad.

Se basa en criterios de desarrollo sostenibles, destacando la arquitectura bioclimática de las construcciones, es decir, basadas en el uso de energías alternativas. En el tema del consumo de agua se tuvieron varios aspectos en cuenta a la hora de desarrollar el proyecto, donde destacan:

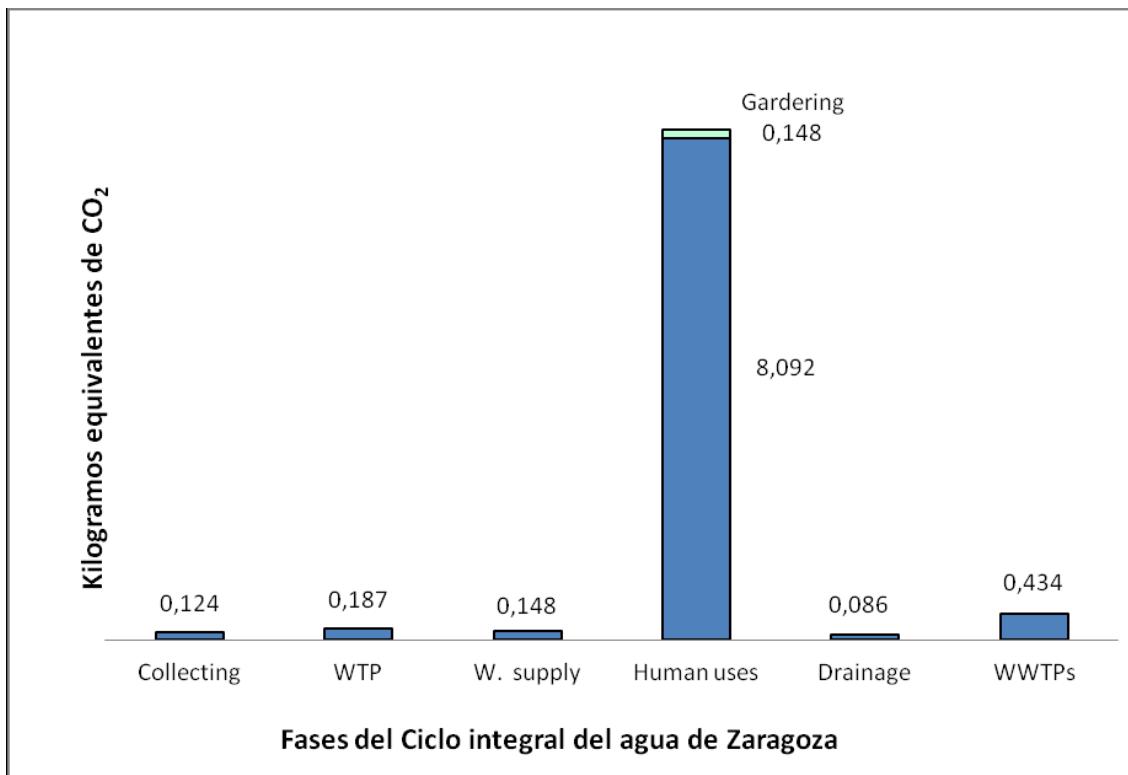
- Uso de griferías con reducción de caudal.
- Estanques para la recogida de agua de lluvia para su posterior uso en el riego de parques y jardines.
- Diseño de la red de riego separada de la de agua potable.
- Red de alcantarillado separativa de aguas pluviales y residuales.

Por último, otro proyecto llevado a cabo en Zaragoza referido al consumo eficiente del agua es SWITCH (Gestión Sostenible del Agua para Mejorar la Salud de la Ciudades del Mañana). Incluido en el VI Programa Marco de la Unión Europea y liderado por UNESCO-IHE, promueve el uso y la gestión eficiente del agua por parte de los ciudadanos.

El objetivo principal es el desarrollo, aplicación y demostración de soluciones científicas y tecnológicas que ayuden a lograr una gestión del agua urbana sostenible en las ciudades del futuro.

El estudio de Análisis de Ciclo de Vida de todo el ciclo integral del agua en Zaragoza ha sido llevado a cabo por la Fundación CIRCE, en el proyecto CENAME. Los resultados se publicaron en “Life cycle analysis of the integral water cycle in a city: a guide for a sustainable planning” (Uche, J. and Martínez, A., 2012).

Los datos finales obtenidos con este estudio, como se puede ver en la gráfica siguiente, son muy clarificadores.



Distribución de impactos con IPCC para el ciclo integral del agua en Zaragoza^[23]

El mayor impacto (alrededor del 87%) proviene del uso del agua en el ámbito urbano e industrial. Por lo tanto, este proyecto tiene su principal justificación en que, dentro de todo el ciclo integral del agua, el uso, y más concretamente, el uso urbano, es el más impactante medioambientalmente, y resulta interesante aclarar cuales son los aspectos a cambiar o a incentivar para intentar reducir esa huella.

4. Análisis de Ciclo de Vida

4.1. Historia del ACV

La guerra de 1973, entre Israel y, por otro lado, Siria y Egipto, supuso el embargo del suministro de petróleo tanto a Europa como a Estados Unidos. Este hecho trajo consigo un aumento en el precio de los combustibles, lo que puso de manifiesto la dependencia mundial de estos combustibles.

Los países desarrollados, entonces, comenzaron a preocuparse sobre aspectos como el ahorro de energía, la búsqueda de fuentes alternativas y el desarrollo de productos ambientalmente responsables.

Aunque, antes de esta incipiente preocupación, en 1963, Harold Smith en la Conferencia Mundial de Energía de 1963 ya estudió las necesidades energéticas para la fabricación de ciertos productos químicos.

También, entre 1960 y 1970, el Departamento de Energía de los Estados Unidos (país que más desarrolló estos estudios) realizó trabajos sobre requerimientos energéticos de algunos procesos y su impacto ambiental.

En 1969, la compañía Coca-Cola encargó un estudio al Midwest Research Institute (MRI) con la finalidad de determinar qué cantidad de materiales, energía e impactos estaban asociados al ciclo integral de los envases de sus productos. La motivación de Coca-Cola para encargar este estudio fue, entre otros aspectos, escoger entre envases de plástico o vidrio y averiguar si era más rentable que los fabricaran empresas externas. Las conclusiones obtenidas por el MRI, pusieron de manifiesto la superioridad de los envases de plástico frente a los de vidrio.

En el año 1971, diversas universidades de Estados Unidos, tales como la Universidad de Illinois y la de Stanford, comenzaron a realizar análisis de manera independiente centrados en productos de empresas privadas.

En esa misma época, un estudio realizado por la Fundación Nacional para la Ciencia sobre Investigación de las Necesidades Nacionales sobre los residuos generados por los procesos de producción sentó las bases de lo que actualmente se conoce como la fase de inventario.

En 1973 se creó, en Estados Unidos, el primer software sobre ACV financiado por una empresa cliente de MRI. Tenía muchos fallos, pero fue el elemento precursor.

Entre 1975 y 1988, al finalizar la crisis del petróleo, disminuyó el interés por los estudios ACV.

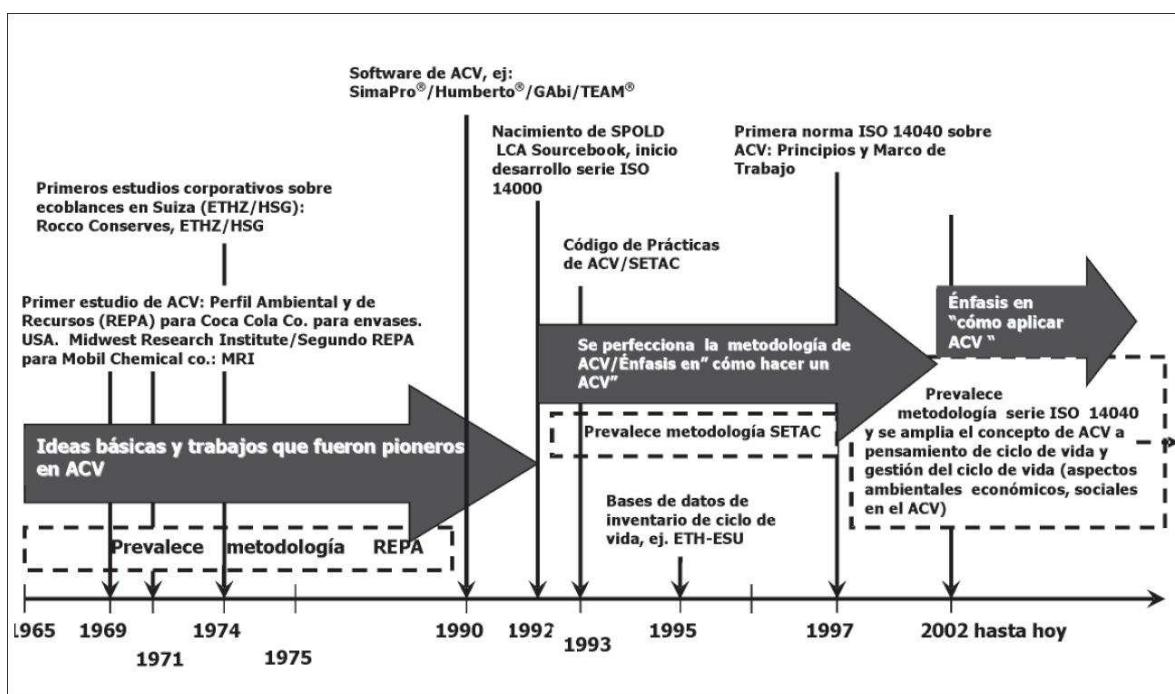
Hasta 1988 no volvió a crecer el interés por los ACV debido a lo que se denominó como crisis de los residuos sólidos.

En 1990, gracias a la SETAC, se adoptó finalmente el término Life Cycle Assessment.

En 1991, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos empezó a promover el ACV con el objetivo principal de hacer público guías metodológicas y bases de datos. Como consecuencia de esto, en 1992, Franklin Associates publicó un artículo que incluía una explicación exhaustiva, por primera vez, de la metodología del ACV.

En 1993, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos publicó una guía para una correcta realización de la etapa del inventario.

En el 2001 se creó el Centro Americano para la Evaluación de Ciclo de Vida (American Center for Life Cycle Assessment, ACLCA), para fortalecer la capacidad en la diseminación del conocimiento sobre el ACV.



4.2. Análisis de Ciclo de Vida. Metodología y aspectos generales

Como la preocupación por el medio ambiente aumenta, surge la necesidad, por parte de industrias y negocios, de analizar como afectan sus actividades a su entorno.

La sociedad está más concienciada en lo referente a la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos, así pues, muchos negocios proporcionan “productos verdes” que, a su vez, usan “procesos verdes”.

Las empresas, por lo tanto, necesitan herramientas que les ayuden a investigar de qué maneras pueden reducir sus efectos en el entorno, y ahí es donde entra el Análisis de Ciclo de Vida.

Estos estudios consideran el ciclo íntegro de vida de un producto, “desde la cuna a la tumba”. Esta definición comienza con la extracción de los materiales para crear el producto y termina en el momento en que todos esos materiales son devueltos a la tierra.

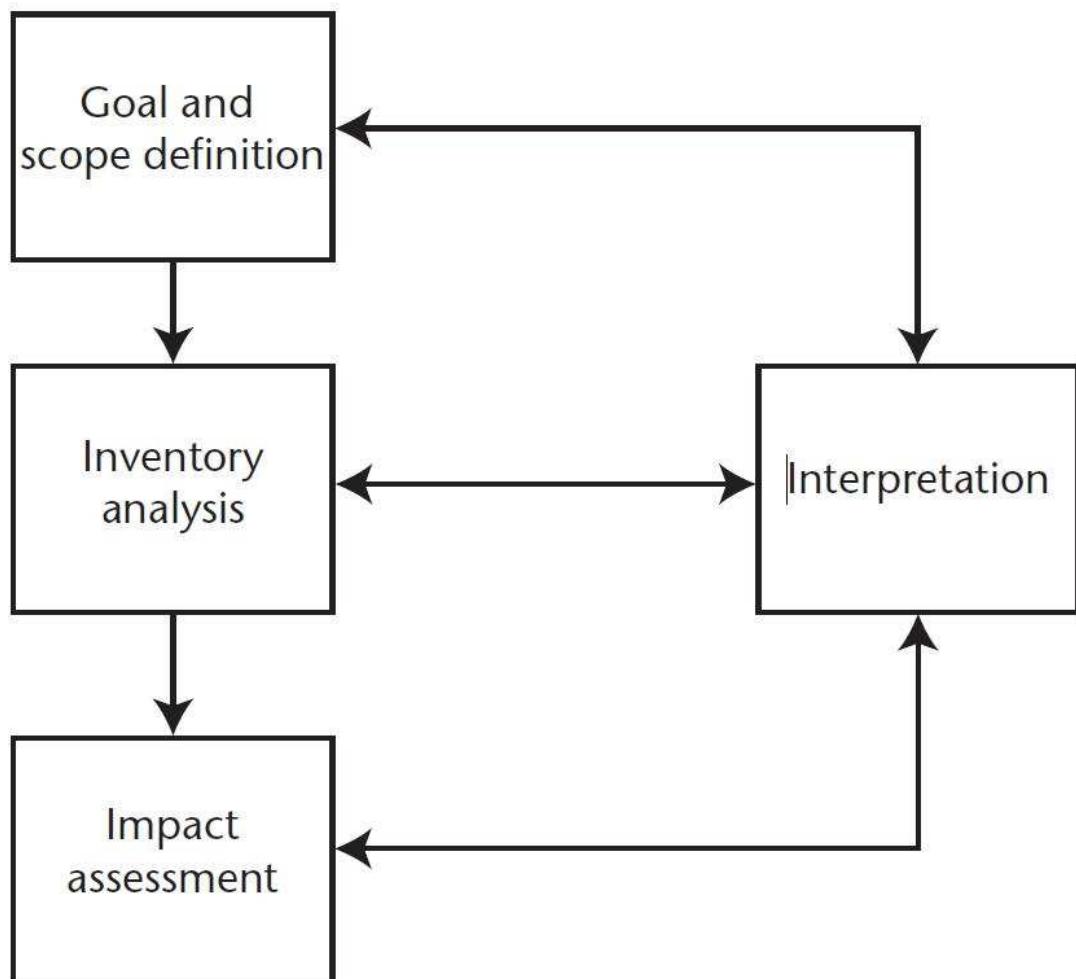
El ACV evalúa todas las etapas de la vida de un producto, desde el punto de vista de que son independientes, lo que significa que una operación sigue a otra. Así el ACV posibilita una estimación de los impactos ambientales acumulados resultantes de todas esas etapas^[5].

El ACV analiza los impactos ambientales potenciales asociados a un producto, proceso o servicio mediante:

- Creación de un inventario tanto de materiales como de energía.
- Evaluación de los impactos ambientales asociados al inventario.
- Interpretación de los resultados que ayuden a la toma de decisiones.

El ACV es un proceso sistemático y estructurado que consiste de cuatro fases principales, que serán explicadas con mayor detalle más adelante:

- Definición y alcance del estudio: Define y describe el producto, proceso o actividad. Establece el contexto en el que el análisis va a ser realizado e identifica los límites.
- Análisis de inventario: Identifica y cuantifica el uso de la energía y los materiales.
- Análisis de impactos: Analiza los potenciales efectos humanos y ecológicos del uso de la energía y los materiales identificados en el inventario.
- Interpretación de resultados: Evalúa los resultados del inventario y los impactos, entendiendo las suposiciones e incertidumbres usadas para generar esos resultados^[4].



Marco y fases de un Análisis de Ciclo de Vida^[3]

4.2.1. Metodología del ACV

4.2.1.1. Definición y alcance del estudio

Esta fase del proceso de ACV es la que define el propósito y el método de estudio del análisis.

En esta fase deben ser determinados los siguientes aspectos:

1. Definir del objeto de estudio.
2. Determinar que tipo de información es necesaria.
3. Determinar el grado de especificación requerida.
4. Determinar cómo deben ser organizados los datos y cómo deben mostrarse los resultados.
5. Definir el alcance del estudio.
6. Determinar las normas básicas para la realización del trabajo.

Esta etapa determina el tiempo y los recursos necesarios, así como, guía el proceso en conjunto para asegurar que los resultados obtenidos sean consecuentes. Todas las decisiones tomadas en este punto afectarán a cómo el estudio es guiado o la importancia de los resultados finales.

1. Definir el objeto de estudio.

El estudio ACV puede tener muy diversas aplicaciones, entre otras:

- Valorar la contribución relativa de procesos separados.
- Apoyar la certificación de productos.
- Proporcionar información para toma de decisiones.
- Guiar el desarrollo de productos y procesos.

2. Determinar que tipo de información es necesaria.

Los estudios ACV pueden ayudar a responder importantes cuestiones. Se deben identificar esas cuestiones que ayudaran a definir los parámetros de estudio. Una vez establecidas las cuestiones a responder, se necesita determinar que información es necesaria para contestar a esas preguntas.

3. Determinar el grado de especificación requerida.

En algunos casos el nivel de especificación es obvio, en otros, en cambio, pueden existir gran cantidad de opciones, desde un estudio muy genérico, hasta uno centrado en un producto en concreto.

Normalmente, si el ACV se realiza para organizaciones de manera interna, el estudio es mucho más específico, ya que se cuenta con toda la información necesaria, que si se realiza para un propósito público.

4. Determinar cómo deben ser organizados los datos y cómo deben mostrarse los resultados.

Una manera de organizar la información es con la *unidad funcional*, que describe apropiadamente la función del producto o proceso estudiado. Cuanto más cuidadosa sea la decisión de esa unidad funcional, se obtendrán mejores resultados y más útiles.

Este concepto es muy importante ya que permite la comparación de dos o más productos equivalentes, sabiendo que esta comparación es correcta al utilizar la misma unidad.

5. Definir el alcance del estudio.

Como ya se ha explicado, los estudios ACV incluyen cuatro etapas: obtención de materiales, producción, uso y mantenimiento, y reciclado/tratado de residuos.

Se debe determinar si todas estas etapas deben incluirse en el estudio, o si se puede prescindir de alguna.

Obtención de materiales.

El ciclo de vida comienza con la extracción de materiales y energía de la tierra. El transporte de estos materiales desde el punto de extracción al de proceso también debe estar incluido.

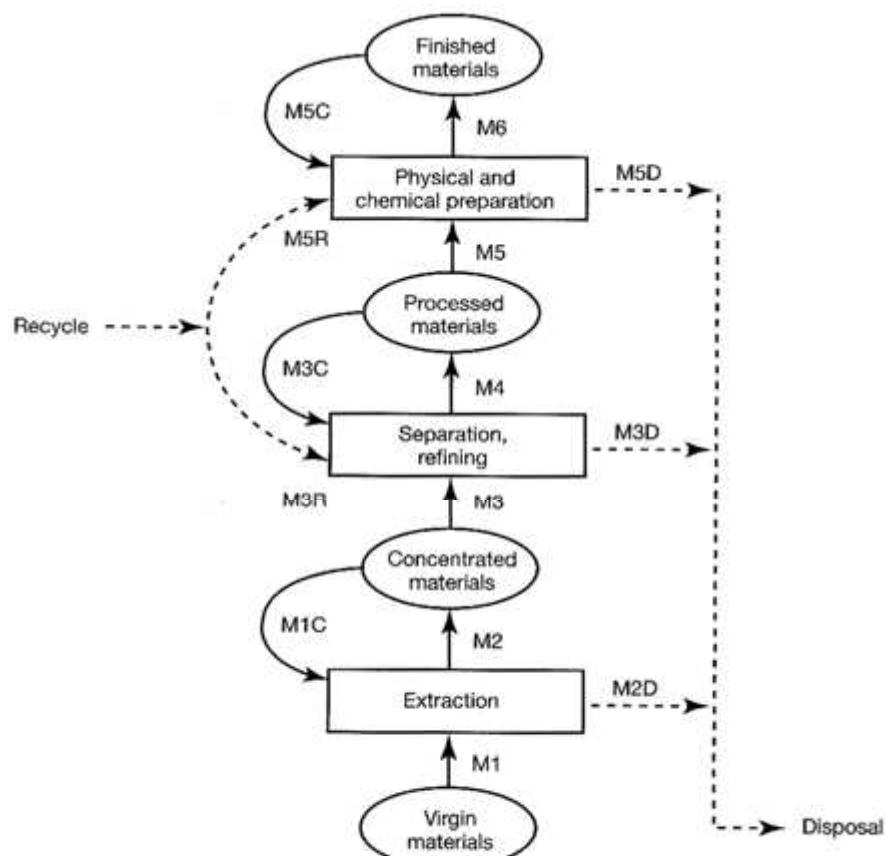


FIGURE 2.5 Materials flows in virgin materials processing.
 (Graedel, 1998, page 24)

Diagrama de flujo para la obtención de materiales^[2]

Producción.

Durante esta etapa, los materiales se transforman en un producto, repartido, posteriormente, al cliente. Se diferencian tres procesos:

- Procesado de materiales.
- Fabricación del producto.
- Empaquetado y distribución.

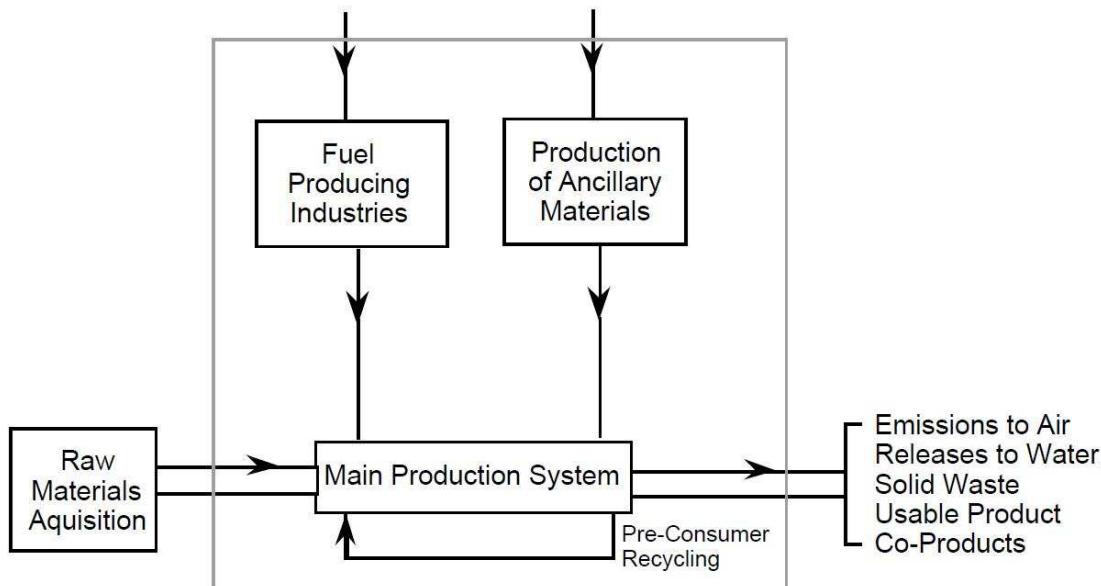


Diagrama de flujo en la etapa de fabricación^[6]

Uso y mantenimiento.

Esta etapa incluye el uso y mantenimiento por parte del cliente. Involucra todas las actividades asociadas al producto una vez que es distribuido, tales como consumos energéticos, desechos,...

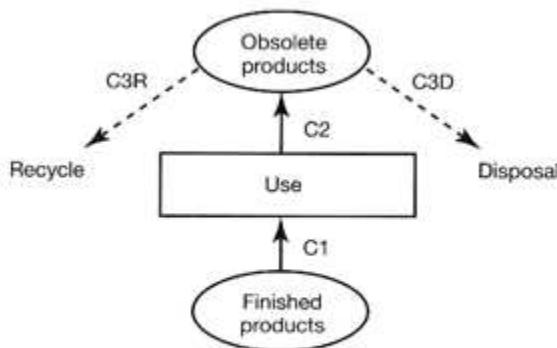


FIGURE 2.7 Materials flows in customer use.
(Graedel, 1998, page 26)

Diagrama de flujo en la fase de uso final^[2]

Reciclado/Tratado de residuos.

Incluye la energía necesaria y los desechos asociados a esta etapa.

Dentro de la etapa de definir el alcance del estudio es muy importante imponer los límites de éste. Es necesario incluir todos los pasos que puedan afectar a la interpretación general para el que ha sido realizado.

Normalmente, solo cuando una fase es exactamente la misma en proceso y materiales para todas las alternativas, ésta puede ser excluida.

6. Determinar las normas básicas para la realización del trabajo.

Antes de proceder a la realización del inventario es necesario definir algunos procedimientos para el estudio.

- Documentar suposiciones.
- Asegurar la calidad mediante procedimientos que permitan que el estudio cumpla el objeto y alcance esperados.
- Definir qué debe ser incluido en el informe final.

4.2.1.2. Análisis de inventario

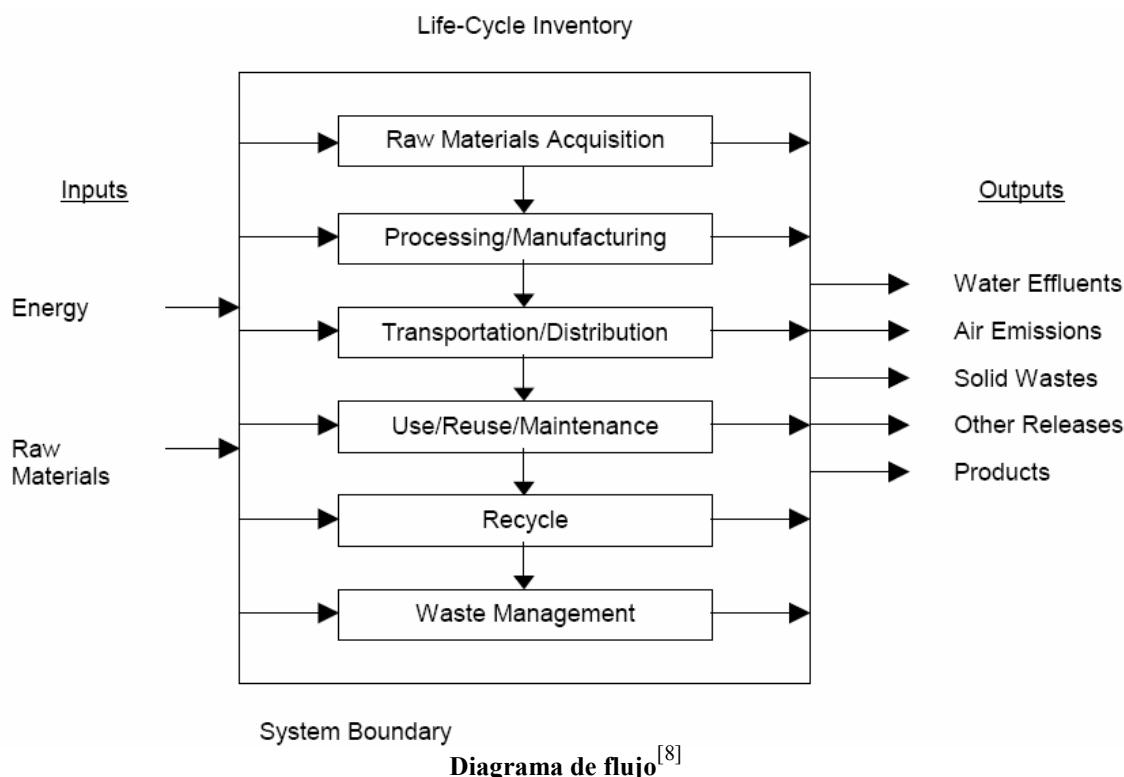
El inventario de un ACV es un proceso de cuantificación de la energía, materiales, emisiones, residuos y otros desechos del ciclo de vida de un producto o proceso^[3]. Sin el inventario no existen bases para evaluar o comparar impactos ambientales o mejoras potenciales.

El nivel de precisión y detalle en esta etapa es crucial para la consecución de unos resultados finales óptimos.

Según la EPA existen cuatro pasos necesarios para realizar un buen análisis de inventario:

1. Desarrollar un diagrama de flujo del proceso a estudiar.

Consiste en crear un mapa con todas las entradas (inputs) y salidas (outputs) del producto o proceso evaluado.



Los límites de este diagrama ya estarán definidos en la etapa de definición y alcance del estudio.

Para una correcta recolección de información es apropiado ver el diagrama como una serie de subsistemas. Definido éste como un paso individual o proceso que forma parte del sistema de producción estudiado.

Algunos pasos pueden ser agrupados en un solo subsistema si existe una falta de información específica de esos pasos.

2. Desarrollar un plan de recolección de información.

Los puntos más importantes en este paso son:

- Definir la calidad de la información necesaria.
- Identificar fuentes de información con la calidad requerida.
- Desarrollar una hoja de trabajo para organizar la información.

3. Recoger información.

Esta etapa del proceso de inventario se simplifica mucho si se utiliza un software de ACV, ya que solo es necesario encontrar información de los inputs y outputs del sistema.

4. Evaluar y documentar los resultados del análisis de inventario.

Cuando se presenta el informe final es importante describir la metodología usada en el análisis de inventario. El informe debe definir los sistemas analizados y los límites impuestos.

Todas las suposiciones realizadas durante el inventario tienen que estar explicadas, así como las bases de comparación entre sistemas y el uso de ratios equivalentes.

4.2.1.3. Análisis de impactos

En el análisis de los impactos de un ACV se evalúa los potenciales impactos para la salud humana y el medio ambiente. Debe abordar tanto los efectos ecológicos y en la salud humana, como el agotamiento de los recursos.

Los resultados de esta fase muestran las diferencias en los impactos ambientales para cada opción.

Los pasos principales para realizar el análisis de impactos de manera correcta son:

1. Selección y definición de categoría de impacto.

Identificar categorías de impactos relevantes, como: calentamiento global, acidificación, toxicidad terrestre,...

2. Clasificación.

Clasificar los resultados obtenidos en el análisis de inventario en las diferentes categorías de impacto (por ejemplo: dióxido de carbono con calentamiento global).

Impact Category	Scale	Examples of LCI Data (i.e. classification)	Common Possible Characterization Factor	Description of Characterization Factor
Global Warming	Global	Carbon Dioxide (CO ₂) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Methane (CH ₄) Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Global Warming Potential	Converts LCI data to carbon dioxide (CO ₂) equivalents Note: global warming potentials can be 50, 100, or 500 year potentials.

Stratospheric Ozone Depletion	Global	Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Halons Methyl Bromide (CH_3Br)	Ozone Depleting Potential	Converts LCI data to trichlorofluoromethane (CFC-11) equivalents.
Acidification	Regional Local	Sulfur Oxides (SOx) Nitrogen Oxides (NOx) Hydrochloric Acid (HCl) Hydrofluoric Acid (HF) Ammonia (NH_4)	Acidification Potential	Converts LCI data to hydrogen (H ⁺) ion equivalents.
Eutrophication	Local	Phosphate (PO_4) Nitrogen Oxide (NO) Nitrogen Dioxide (NO_2) Nitrates Ammonia (NH_4)	Eutrophication Potential	Converts LCI data to phosphate (PO_4) equivalents.
Photochemical Smog	Local	Non-methane hydrocarbon (NMHC)	Photochemical Oxident Creation Potential	Converts LCI data to ethane (C_2H_6) equivalents.
Terrestrial Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to rodents	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Aquatic Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to fish	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Human Health	Global Regional Local	Total releases to air, water, and soil.	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Resource Depletion	Global Regional Local	Quantity of minerals used Quantity of fossil fuels used	Resource Depletion Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of resource used versus quantity of resource left in reserve.
Land Use	Global Regional Local	Quantity disposed of in a landfill or other land modifications	Land Availability	Converts mass of solid waste into volume using an estimated density.
Water Use	Regional Local	Water used or consumed	Water Shortage Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of water used versus quantity of resource left in reserve.

Categorías de impacto más usadas en los análisis de impacto^[5]

3. Caracterización.

Modelar los impactos del análisis de inventario dentro de las categorías de impacto usando factores de conversión con base científica.

4. Normalización.

Expresar los impactos potenciales de manera que puedan ser comparados (por ejemplo: comparar el efecto del dióxido de carbono y el metano en el calentamiento global)

5. Agrupación.

Ordenar o clasificar los indicadores. Una manera de ordenarlos sería la localización: local, regional o global.

6. Ponderación.

Hacer hincapié en los impactos potenciales más importantes.

7. Evaluación de los resultados del análisis de impactos.

Proporcionar un mejor entendimiento de la fiabilidad de los resultados de esta etapa.

4.2.1.4. Interpretación de resultados

Es la última fase del proceso de ACV. La interpretación de resultados es un proceso sistemático que identifica, cuantifica, comprueba y evalúa la información obtenida del análisis de inventario y del análisis de impactos.

ISO define los siguientes objetivos para la interpretación de los resultados de un ACV:

1. Analizar resultados, llegar a conclusiones, explicar limitaciones y dar recomendaciones basadas en las fases anteriores del ACV, así como informar de los resultados de una manera clara.
2. Proporcionar los resultados del ACV de manera entendible, completa y consistente, acorde con la definición y el alcance del estudio.

Cuando se realizan los análisis de inventario e impactos es necesario realizar suposiciones y estimaciones, todas estas decisiones deben ser incluidas en los resultados finales.

En algunos casos, si el ACV se utiliza para la toma de decisiones, puede no dejar claro si una alternativa es mejor a otra, debido a la incertidumbre de los resultados. Pero aún así sirve para dar una visión y un mejor entendimiento de los impactos asociados a los productos o procesos estudiados, donde ocurren (local, regional o global) y la importancia relativa en comparación con otras alternativas.

La normal ISO 14043 establece los pasos para una correcta interpretación de los resultados.

1. Identificación de las cuestiones más relevantes en los análisis de inventario e impactos.
2. Evaluación que considere integridad, sensibilidad y pruebas de consistencia.
3. Conclusiones y recomendaciones.

4.2.2. Normas de referencia

Los estándares que guían los estudios de ACV son los establecidos por la Organización Internacional para la Estandarización ISO.

4.2.2.1. ISO 14040

Gestión medioambiental, ACV, Principios y estructura (1997)^[9]. Proporciona una visión clara de la práctica, aplicaciones y limitaciones del ACV para un amplio rango de usuarios potenciales, incluidos aquellos con conocimientos limitados en el campo^[10].

4.2.2.2. ISO 14041

Gestión medioambiental, ACV, Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario del ciclo de vida (1998). Este documento pretende proporcionar directrices y requisitos para la preparación, desarrollo y revisión crítica del análisis de inventario.

4.2.2.3. ISO 14042

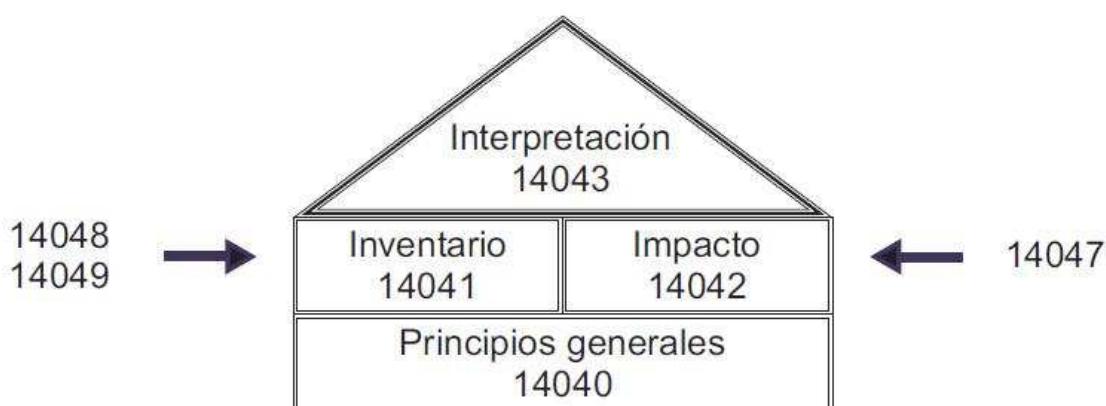
Gestión medioambiental, ACV, Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida; Environmental management LCA-LCIA/Life Cycle Impact Assessment (2000). Expone las reglas para una correcta realización de la fase de análisis de impactos.

4.2.2.4. ISO 14043

Gestión medioambiental, ACV, Interpretación del ciclo de vida. Environmental management, LCA-LCI (2000). En este documento se sientan las bases para la interpretación de los resultados del ACV en relación a la fase de objeto del estudio, incluyendo el alcance de éste, así como el origen y calidad de la información recopilada.

4.2.2.5. Otras normas ISO relevantes

- ISO/TR 14047. Contiene ejemplos que ilustran como llevar a cabo un ACV acorde a la norma ISO 14042.
- ISO/TS 14048. Proporciona los requisitos y la estructura para la documentación de la información, asegurando así la claridad y certeza de los datos utilizados.
- ISO/TR 14049. Incluye ejemplos en la aplicación de la norma ISO 14041 para la definición y alcance del estudio, así como para el análisis de inventario^[11].

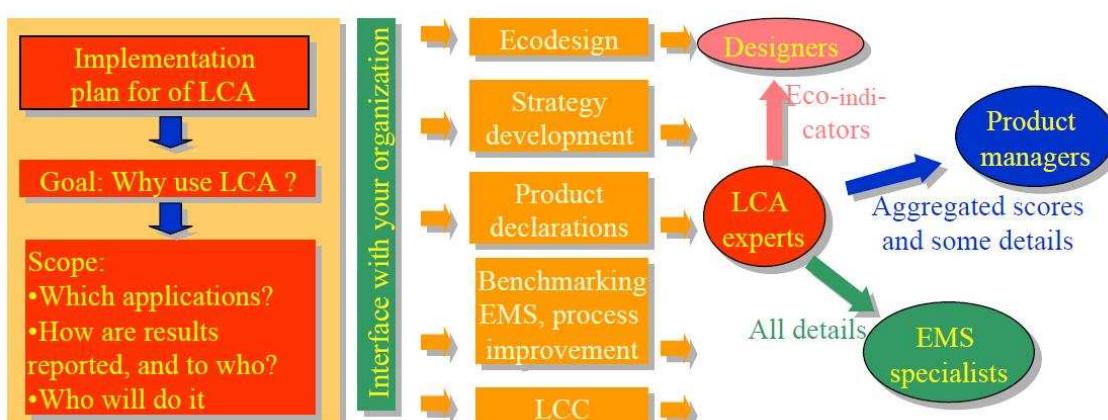


Estructura del ACV según normas ISO^[7]

4.2.3. Métodos de cálculo

Así como la fase de inventario y análisis de impactos, el objeto y el alcance del estudio son las fuentes más importantes de información a la hora de seleccionar el método de cálculo que se va a utilizar.

La decisión depende en gran medida del nivel de agregación de los resultados requeridos. Normalmente esto depende del público al que va dirigido el estudio, y su capacidad de compresión de los resultados.



Esquema para la elección del método de cálculo idóneo para cada audiencia^[4]

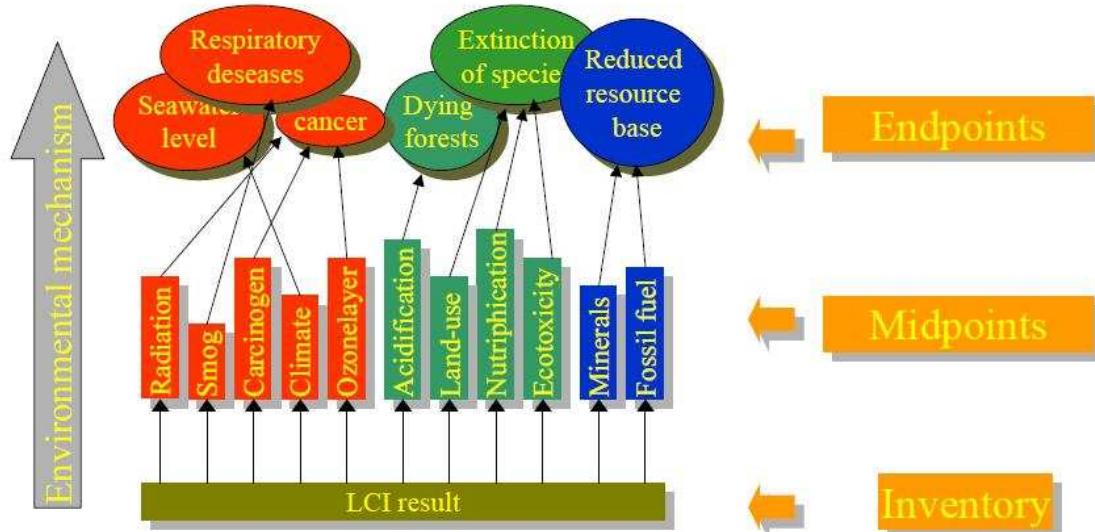
Existe una gran cantidad de métodos de cálculo, pero en este estudio solo se han utilizado: IPCC 2007, ReCiPe y Eco-indicator 99.

La elección de los métodos idóneos, como se ha dicho anteriormente, depende en su mayor parte del objeto del estudio.

Una ayuda importante en este proceso de sección es la definición de los endpoints. Los endpoints son considerados aspectos de preocupación ambiental, tales como salud humana, extinción de especies, disponibilidad de recursos en el futuro, etc.

Por otro lado, los midpoints, podríamos colocarlos en un paso intermedio entre el inventario y los endpoints.

Normalmente, estos indicadores, más cercanos al estudio de inventario, suelen tener menos incertidumbre pero son más abstractos. En cambio, los indicadores más próximos a los endpoints son mucho más entendibles y fácilmente interpretables que los midpoints, aunque pierden precisión.



Ejemplo de diagrama de flujo desde inventario a endpoints^[4]

4.2.3.1. IPCC 2007

Este método de cálculo es una actualización del IPCC 2001, desarrollado por IPCC (Internacional Panel on Climate Change).

IPCC 2007 lista los factores de cambio climático de IPCC con un plazo de 20, 100 y 500 años^[16].

El método IPCC considera el CO₂ como el gas de efecto invernadero que más afecta al equilibrio radiativo en la Tierra, por ello es considerado el gas de referencia para la medición del resto de gases invernaderos.

Para poder evaluar y comparar los resultados se establece una emisión de CO₂ equivalente, que causaría, en un espacio de tiempo establecido, los mismos efectos en la atmósfera que la emisión de cierta cantidad de cualquier gas invernadero o una mezcla de ellos.

Cuando el estudio se realiza sobre un solo gas de efecto invernadero, el CO₂ equivalente se halla multiplicando la cantidad del gas inicial por su potencial calentamiento mundial.

Si se trata de una mezcla de gases, el resultado final se consigue sumando el CO₂ equivalente de todos ellos.

Los factores de caracterización de este método son:

- No incluir formación indirecta de monóxido de dinitrógeno debido a emisiones de nitrógeno.
- No representar el forzamiento radiativo debido a emisiones de NO_x, agua, sulfato, etc. en la estratosfera inferior y la troposfera superior.
- Incluir la formación de CO₂ debido a emisiones de CO.
- No considerar el rango de efectos indirectos establecidos por IPCC.
- Considerar la absorción de CO₂ biogénico como impacto negativo^[16].

4.2.3.2. ReCiPe

ReCiPe fue creado por RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit, Nijmegen y CE Delft^[18].

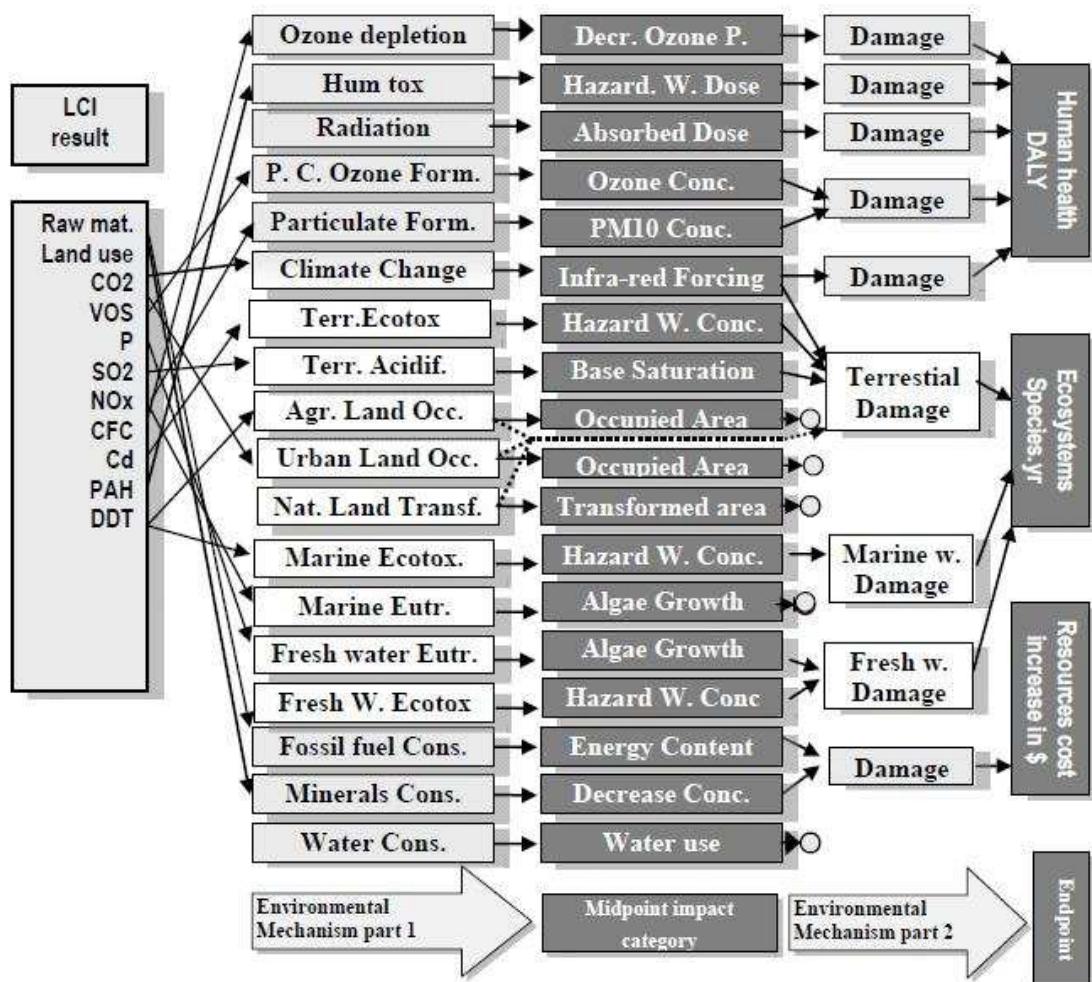
El objetivo principal de este método es transformar la larga lista de resultados del análisis de inventario en un número limitado de puntuaciones de los indicadores.

Estos indicadores expresan la severidad relativa en una categoría de impacto ambiental.

En ReCiPe se determinan dos niveles:

- Indicadores midpoint:
 - Climate change (CC)
 - Ozone depletion (OD)
 - Terrestrial acidification (TA)
 - Freshwater eutrophication (FE)
 - Marine eutrophication (ME)
 - Human toxicity (HT)
 - Photochemical oxidant formation (POF)
 - Particulate matter formation (PMF)
 - Terrestrial ecotoxicity (TET)
 - Freshwater ecotoxicity (FET)
 - Marine ecotoxicity (MET)
 - Ionising radiation (IR)

- Agricultural land occupation (ALO)
- Urban land occupation (ULO)
- Natural land transformation (NLT)
- Water depletion (WD)
- Mineral resource depletion (MRD)
- Fossil fuel depletion (FD)
- Indicadores endpoint:
 - Damage to human health (HH)
 - Damage to ecosystem diversity (ED)
 - Damage to resource availability (RA)^[17]



Relación entre inventario, midpoints y endpoints en ReCiPe 2008^[17]

Cada método contiene factores acorde a tres perspectivas. Estas perspectivas representan un conjunto de aspectos como tiempo o desarrollo de tecnología.

Individualista: se basa en un interés a corto plazo, con una perspectiva temporal de 100 años o menos.

Se asienta en una visión optimista, que supone que los avances tecnológicos resolverán muchos problemas en el futuro.

Jerárquica: es un modelo de consenso, basado en los principios más comunes respecto a plazo temporal y otros. Es considerado como el modelo por defecto.

Igualitaria: es la perspectiva más cauta. Posee el periodo de tiempo mas largo. Incluye impactos que todavía no están completamente asentados, pero de los que se posee cierta información.

To midpoint impact category:	Perspectives	I	H	E
climate change	20-yr time horizon	100 yr	500 yr	
ozone depletion	—	—	—	
terrestrial acidification	20-yr time horizon	100 yr	500 yr	
freshwater eutrophication	—	—	—	
marine eutrophication	—	—	—	
human toxicity	100-yr time horizon organics: all exposure routes metals: drinking water and air only only carcinogenic chemicals with TD ₅₀ classified as 1, 2A, 2B by IARC	infinite all exposure routes for all chemicals all carcinogenic chemicals with reported TD ₅₀	infinite	infinite all exposure routes for all chemicals all carcinogenic chemicals with reported TD ₅₀
photochemical oxidant formation	—	—	—	
particulate matter formation	—	—	—	
terrestrial ecotoxicity	100-yr time horizon	infinite	infinite	
freshwater ecotoxicity	100-yr time horizon	infinite	infinite	
marine ecotoxicity	100-yr time horizon sea + ocean for organics and non-essential metals. for essential metals the sea compartment is included only, excluding the oceanic compartments	infinite sea + ocean for all chemicals	infinite sea + ocean for all chemicals	infinite sea + ocean for all chemicals
ionising radiation	100-yr time horizon	100,000 yr	100,000 yr	
agricultural land occupation	—	—	—	
urban land occupation	—	—	—	
natural land transformation	—	—	—	
water depletion	—	—	—	
mineral resource depletion	—	—	—	
fossil fuel depletion	—	—	—	

Relación entre los midpoints y las perspectivas en ReCiPe 2008^[17]

4.2.3.3. Eco-indicador 99

Eco-indicador 99 es un método de análisis de impacto para ACV con base científica así como un método de eco diseño pragmático. Ofrece una vía para medir diversos impactos ambientales, y muestra los resultados con un único valor.

Se basa, al igual que ReCiPe, en las tres perspectivas (individualista, jerárquica e igualitaria).

Se centra en el estudio de 3 categorías de impacto:

- Daño a la salud humana. Expresado como el número de años de vida perdidos y el número de años vividos con discapacidad (DALYs).
 - Efectos respiratorios y cancerígenos.
 - Efectos de cambio climático.
 - Agotamiento de la capa de ozono.
 - Radiación ionizante.
- Daño a la calidad del ecosistema. Expresa la pérdida de especies en una zona durante un tiempo determinado.
 - Ecotoxicidad.
 - Acidificación y eutrofización.
 - Uso y transformación del terreno.
- Daño a los recursos. Expresado como el excedente de energía necesario para futuras extracciones de minerales y combustibles fósiles^[19].

	Hierachist (EI'99 H/A)		Egalitarian (EI'99 E/E)		Individualist (EI'99 I/I)	
	Normalisation	Weights	Normalisation	Weights	Normalisation	Weights
Human Health	0.0154 DALYs(0,0)	40%	0.0155 DALYs(0,0)	30%	0.00825 DALYs(0,1)	55%
Ecosystem Quality Resources	5130 PDF*m2*a 8410 MJ	40% 20%	5130 PDF*m2*a 5940 MJ	50% 20%	4510 PDF*m2*a 150 MJ	25% 20%

Factores de normalización y peso para las tres perspectivas^[20]

Dentro de la etapa de caracterización encontramos:

- Cancerígenos: afectan debido a las emisiones de sustancias cancerígenas al aire, agua y suelo. El daño está expresado en numero de años vividos con discapacidad (DALY)/kg emisión.
- Orgánicos respiratorios: resultan de la niebla tóxica estival, debido a emisiones de sustancias orgánicas al aire, causando efectos respiratorios. El daño está expresado en numero de años vividos con discapacidad (DALY)/kg emisión.
- Inorgánicos respiratorios: se deben a la niebla tóxica invernal causada por las emisiones de polvo, azufre y óxidos de nitrógeno al aire. El daño está expresado en numero de años vividos con discapacidad (DALY)/kg emisión.
- Cambio climático: daño, expresado en DALY/kg emisión, resultado del incremento de enfermedades y muertes por el cambio climático.
- Radiación: daño, expresado en DALY/kg emisión, resultado de la radiación radioactiva.
- Capa de ozono: daño, expresado en DALY/kg emision, debido al incremento de radiación UV como resultado de la emisión de sustancias que eliminan ozono al aire.
- Ecotoxicidad: daño a la calidad del ecosistema, como resultado de la emisión de sustancias ecotóxicas al aire, agua y suelo. Se entiende como el porcentaje de todas las especies presentes en el medio viviendo bajo estrés toxico. El daño está expresado en Potentially Affected Fraction (PAF)*m2*year/kg emisión.
- Acidificación y eutrofización: daño a la calidad del ecosistema, como resultado de la emisión de sustancias acidificantes al aire. Se entiende como el daño a las especies objetivo (plantas) en zonas naturales. El daño está expresado en PAF*m2*year/kg emisión.

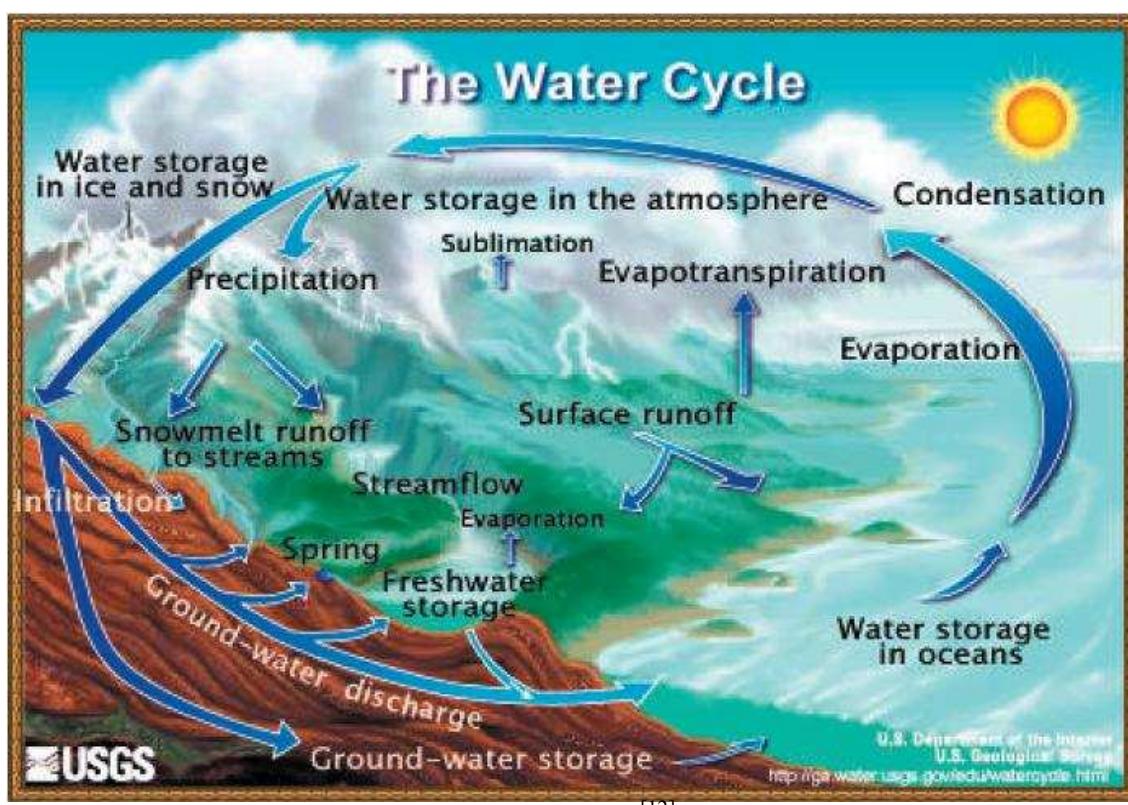
- Uso del terreno: daño resultante de la conversión u ocupación de terreno. El daño está expresado en PAF*m²*year/kg emisión.
- Minerales: excedente de energía por kg de mineral, como resultado de la disminución de éstos.
- Combustibles fósiles: excedente de energía por MJ, kg o m³ extraído de combustible fósil, como resultado del descenso en la calidad de los recursos^[16].

5. Ciclo integral del agua

5.1. Ciclo hidrológico natural del agua

El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella^[13]. Este movimiento es, principalmente, producido por la energía del sol, así como las fuerzas de gravedad y rotación de la Tierra.

La interacción del ser humano con este ciclo, modificándolo, crea lo que se conoce como ciclo integral del agua.



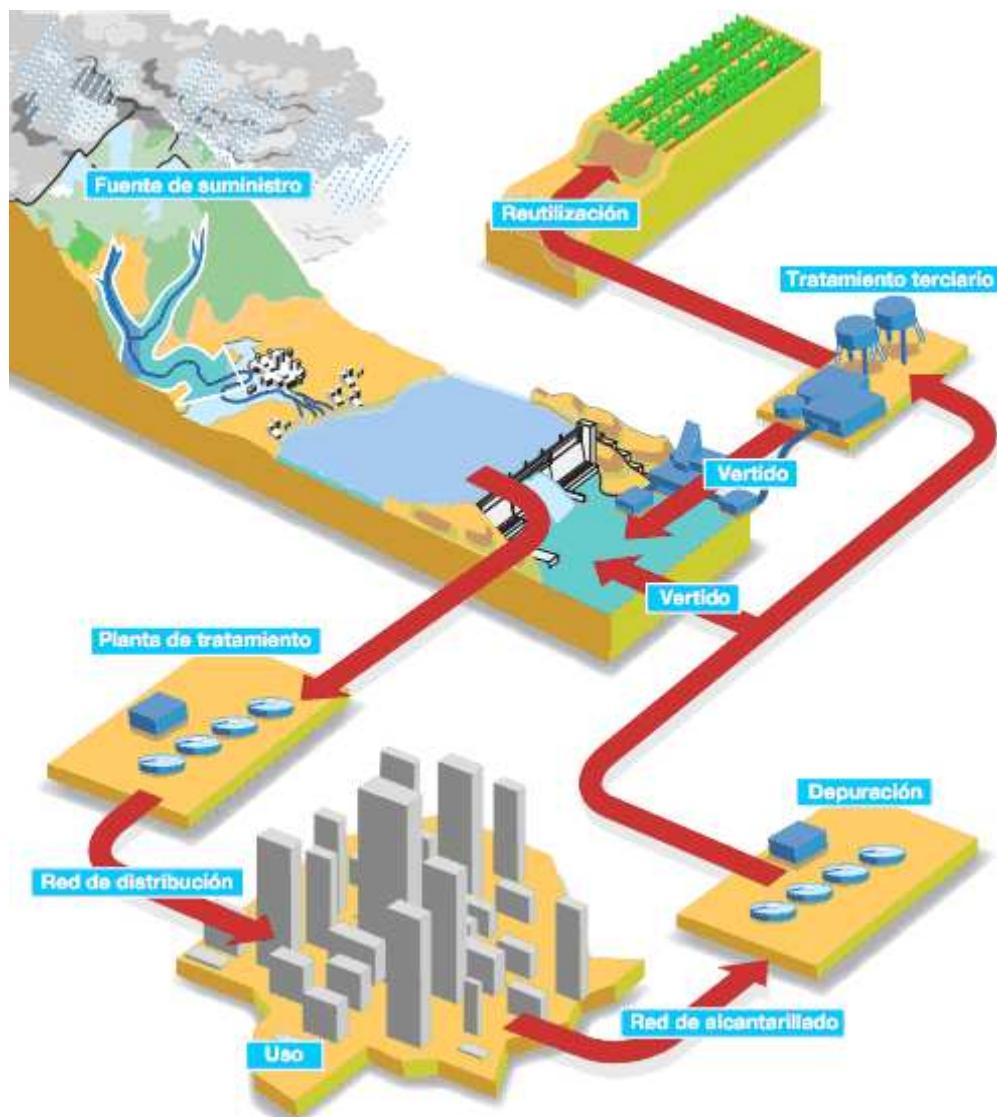
5.2. Ciclo integral del agua

El ciclo integral del agua engloba todas las actividades relacionadas con el agua que hacen posible su uso por las personas. Comprende desde la captación y potabilización, hasta su depuración, reciclaje y retorno al medio natural.

5.2.1. Etapas del ciclo integral del agua

- **Captación:** es el proceso de obtención del agua de la fuente natural. Las fuentes naturales más habituales son las aguas subterráneas (pozos) y las aguas superficiales (ríos y lagos).
- **Potabilización:** por el cual el agua es sometida a procesos físico-químicos y a la cloración para que pueda ser consumida con total garantía sanitaria.
Esto es debido a que el agua captada que se transporta hasta la planta de tratamiento es de composición muy variable, especialmente la que proviene de fuentes superficiales, a menudo afectadas por actividades industriales, agrícolas y ganaderas.
En algunos lugares el agua es obtenida del proceso de desalación del agua del mar. La desalinización es un proceso que permite separar la mayor parte de las sales presentes en el agua de mar, para producir agua dulce apta para el consumo humano.
- **Transporte:** una vez tratada y apta para el consumo humano, el agua ha de ser distribuida al usuario final.
Este proceso incluye la elevación del agua hasta los depósitos de almacenamiento y la distribución hasta cada punto de suministro a través de una red de tuberías que conducen el agua hasta los núcleos urbanos.
- **Distribución:** etapa final del agua en su recorrido por la red de tuberías hasta llegar a cada usuario.
Aunque el control de calidad del agua es una constante en todas las etapas, en esta fase cobra mayor relevancia por tratarse del último punto de control de sus características sanitarias y organolépticas antes de ser consumida.
El agua distribuida puede tener diferentes usos: domésticos, industriales, comerciales, sistemas contra incendios, riego y baldeo, turísticos, deportivos, etc.
- **Alcantarillado:** una vez utilizada, el agua residual va a parar a la red de alcantarillado, que facilita la recogida de las aguas residuales y pluviales, y las conduce hasta las estaciones depuradoras.
- **Depuración:** las aguas residuales son sometidas a un proceso de depuración para reducir la carga contaminante del agua utilizada.
Es el paso previo para poder retornarla al medio natural con los mínimos riesgos ambientales, o para destinarla a otros usos secundarios.
- **Reciclaje:** este paso permite dar al agua usada usos secundarios, como el riego de jardines, de vías públicas o de fuentes ornamentales. Estos usos no necesitan de la calidad del agua potable y nos permiten reservarla para el consumo humano.

- Retorno: El agua depurada que no se utiliza se retorna al río o al mar mediante conducciones especiales o emisarios submarinos, tratando de alterar lo mínimo posible los sistemas naturales^[14].

Fases del ciclo integral del agua^[15]

5.2.2. Ciclo integral del agua en Zaragoza

5.2.2.1 Fases

5.2.2.1.1 Captación

Existen tres fuentes principales que realizan el abastecimiento de agua a la ciudad de Zaragoza.

En primer lugar, el pantano de Yesa que recoge el agua de los Pirineos. Es principal suministrador de agua (en 2010, 40.6 hm³). Situado en el noroeste de la provincia de Zaragoza, el agua llega hasta la capital mediante una tubería de 150 km y el pantano de La Loteta^[23].

Por otro lado está el Canal Imperial, que conduce agua del propio río Ebro durante una distancia de unos 150 km (desde Tudela hasta El Burga de Ebro)^[22]. Supuso en 2010 unos 21.6 hm³.

En último lugar, y el que menor aportación supone, es el bombeo directo desde el río Ebro. Esto se debe a que esta fuente de agua solo se utiliza en casos en los que no es posible conseguir el agua necesaria del Canal Imperial, debido a operaciones de limpieza y mantenimiento de éste. En 2010, sólo 1.1 hm³ fueron captados de esta forma.

5.2.2.2.2 Potabilización

Las tres fuentes de captación anteriormente explicadas son transportadas hasta la planta potabilizadora de agua de Casablanca, situada en el barrio de Casablanca. El proceso que se sigue en la planta de Casablanca es el siguiente:

- Desbaste: se eliminan sólidos, mediante filtrado por rejas.
- Precloración y coagulación: se añade, en una primera etapa, clorar para oxidar la materia orgánica. A su vez, se agrega sulfato de alúmina como agente coagulante.
- Carbón activo: para mejorar la calidad del agua se añade carbón activo en polvo.
- Floculación y decantación: con el proceso floculación se aglutinan floculantes para, posteriormente, realizar su decantación.
- Filtración sobre arena: el agua se filtra y se separan los sólidos en suspensión.
- Bombeo a depósitos: se eleva el agua hasta una altura máxima de 8.5 metros mediante los grupos motobomba.
- Desinfección final: se realiza con el método de cloración, y se eliminan los microorganismos existentes aún en el agua.
- Estaciones de recloración: al pasar el tiempo, el cloro va desapareciendo, para ello se dispone de 10 estaciones que reponen el cloro perdido^[24].

5.2.2.3. Transporte y distribución

Una vez realizado el proceso de potabilización, y el agua es apta para el consumo humano, se inyecta en la red de distribución, transportándola tanto al núcleo urbano de la ciudad de Zaragoza, como a zonas industriales.

5.2.2.4. Usos

Los usos más relevantes a los que se dedica el agua en Zaragoza son (los consumos de industria y parques y jardines son estimados):

- Uso urbano: es el objeto de estudio de este proyecto y será desarrollado más adelante. Es el más significativo de los tres. Incluye uso doméstico y comercial.
- Uso industrial: en 2010 supuso un consumo de 16.5 hm³. Aglutina el agua utilizada por todas las industrias en la zona de Zaragoza y alrededores (polígonos industriales, etc.)
- Uso en parques y jardines: en 2010 se consumieron 3.96 hm³^[32] en esta etapa. Incluye captación de agua del freático, del Canal Imperial y de la red de agua potable.

5.2.2.5. Depuración

Después de los distintos usos, el agua se recolecta sin necesidad de bombeo y se redirige hacia las dos estaciones depuradoras de agua de Zaragoza.

Estación depuradora de aguas residuales de La Almozara

Situada cercana al barrio del mismo nombre en Zaragoza. Está dimensionada para dar servicio a una población equivalente de unos 100.000 habitantes. En el año 2010 trató 11 hm³. Con los fangos generados, la planta de La Almozara genera biogás usado para generación eléctrica en un motor de combustión interna de 287 kW, que supone el 70% de las necesidades eléctricas de la planta^[25].

Las etapas del tratamiento del agua son:

- Separación de sólidos gruesos: a través de una doble reja.
- Elevación del agua: para que fluya por gravedad a lo largo de su tratamiento.
- Pretratamiento: mediante una etapa de desbaste y otra de desarenado y desengrasado.
- Decantación primaria: donde los sólidos se sedimentan por gravedad.
- Tratamiento biológico: transformación de la materia orgánica disuelta en el agua a través de fangos activos.
- Recirculación de fangos: los fangos se remueven para permitir que el proceso anterior se realice satisfactoriamente.
- Decantación secundaria: similar a la decantación primaria, pero eliminando fangos.
- Desinfección: una vez depurada, se añade cloro.

El proceso de tratamiento de los fangos es:

- Espesamiento: por gravedad. Se eliminan olores con carbón activo.
- Bombeo y acondicionamiento del fango: se envían los fangos al digestor primario y se acondicionan con cloruro férrico para evitar el sulfuro de hidrógeno en el biogás obtenido.
- Tamizado de fangos: se eliminan productos que entorpecen el proceso de digestión anaerobia mediante dos rejillas.
- Digestión primaria: una primera digestión anaerobia en un digestor calorifugado.
- Digestión secundaria: apura el proceso de digestión y almacena los fangos para el secado.
- Deshidratación: se secan los fangos para su posterior uso en aplicación agrícolas.

Depuradora de aguas residuales de La Cartuja

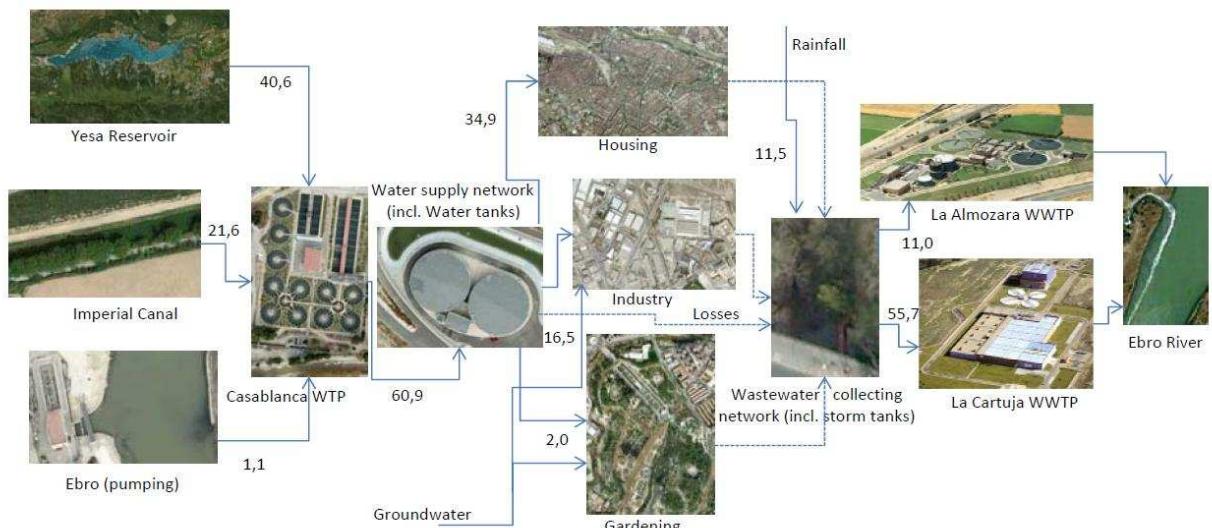
Situada en el pueblo de La Cartuja, muy cercano a la ciudad de Zaragoza. Esta planta da servicio a una población equivalente de 1.000.000 de habitantes. Los fangos generados en el proceso de depurado siguen un tratamiento de secado y posterior combustión. En 2010 esta planta trató 55,7 hm³.

Las distintas etapas seguidas en el tratamiento del agua son:

- Predesbaste.
- Elevación de agua: hasta una altura de 10 metros.
- Desbaste.
- Desarenado y desengrasado.
- Sistema de acondicionamiento de residuos.
- Decantación primaria.
- Tratamiento biológico: mediante un sistema de difusión del aire por burbuja gruesa.
- Recirculación de fangos.
- Decantación secundaria.
- Cloración: se desinfecta el flujo mediante cloro gas y se elimina el fósforo por adición de cloruro férrico.

Los elementos de la línea de fangos son:

- Espesamiento.
- Almacenamiento de fangos.
- Deshidratación: mediante decantadoras centrifugas.
- Secado: parte de los fangos se secan mediante el vapor del horno.
- Incineración: quema de los fangos en dos hornos de lecho fluido.
- Depuración: limpieza de los gases de escape de los hornos^[26].



Ciclo integral y balance hídrico de 2010 en Zaragoza^[21]

En el esquema superior se presenta el balance hídrico de Zaragoza en el año 2010 con la sucesión de todas las etapas del ciclo integral anteriormente explicadas, así como la cantidad de agua correspondiente a cada una de ellas.

5.2.2.2. Uso urbano del agua en Zaragoza

De todos los usos del agua en la ciudad de Zaragoza, el uso urbano, entendido como el conjunto de uso doméstico y comercial, es el más representativo. Atendiendo al balance hídrico del 2010, se observa que supone más del 65% del agua consumida, muy por delante del uso industrial (~30%) o el dirigido a parques y jardines (~4%).

Gracias a la colaboración del Ayuntamiento de Zaragoza al proporcionar la información relacionada con los consumos de agua (Anexo 1) es posible comprender un poco mejor las actividades que engloba el uso urbano.

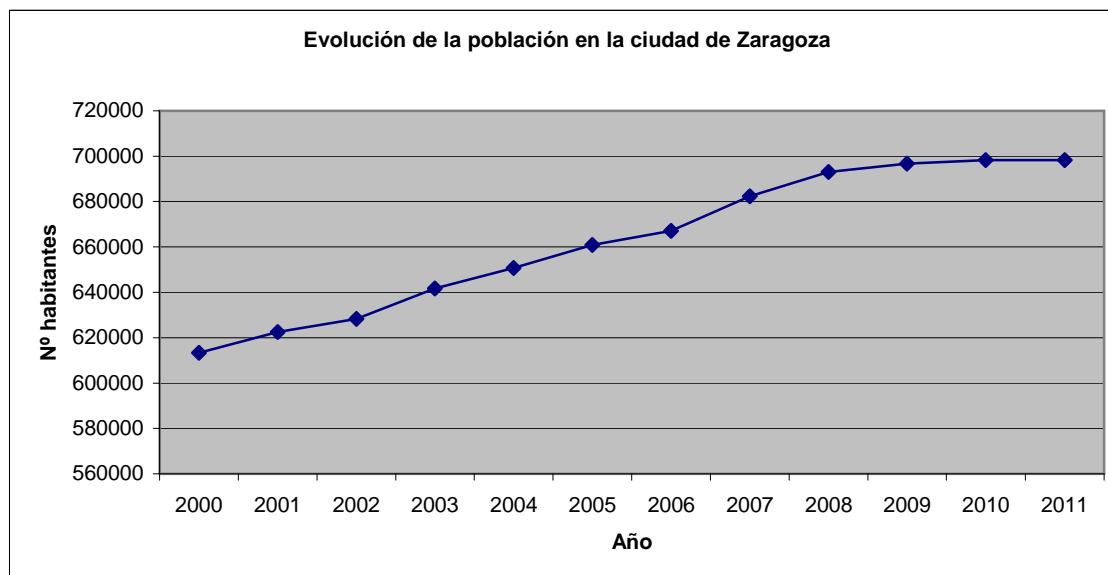
La separación más sencilla consiste en dividir el consumo total en uso doméstico (viviendas) y uso comercial (restauración, hoteles, comercios, oficinas,...). Existen muchos más uso, pero son poco representativos en comparación con los anteriores, tales como los dedicados a obras, incendios, hospitales o recogida de basuras entre otros.

Uso doméstico

Con los datos obtenidos del Ayuntamiento de Zaragoza se sabe que el consumo dedicado a fines domésticos, en el año 2011, estuvo situado por debajo de los 22 hm³.

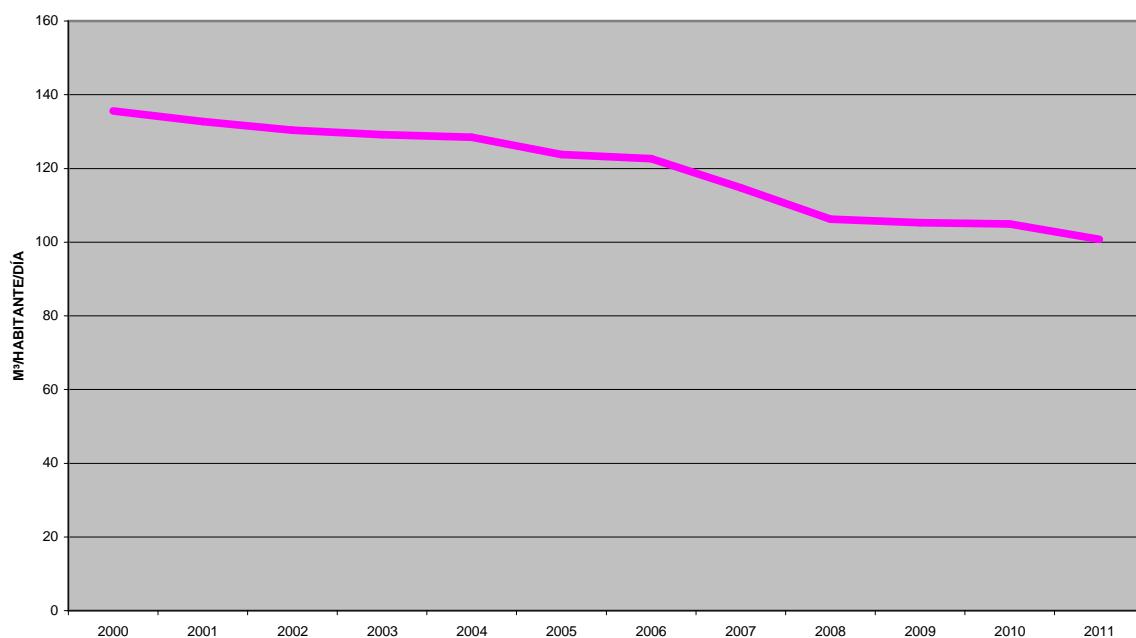
Dentro del uso doméstico cabe destacar que la vivienda habitada en la ciudad de Zaragoza ha pasado, en 10 años, de aproximadamente 225,000 (Datos INE) a 322,000 (Atlas Zaragoza), un aumento de casi 100,000 hogares.

Lo mismo ha ocurrido con la población de la capital aragonesa. Se ha pasado de 613,433 habitantes en el año 2000, a que, en 2011, se haya tenido que dar suministro de agua potable, a una población total de 698,186 personas.



A pesar del aumento de población que debe ser abastecida, los estudios del Ayuntamiento de Zaragoza, muestran que, gracias a las campañas de concienciación, el consumo de agua es mucho más eficiente con el paso de los años.

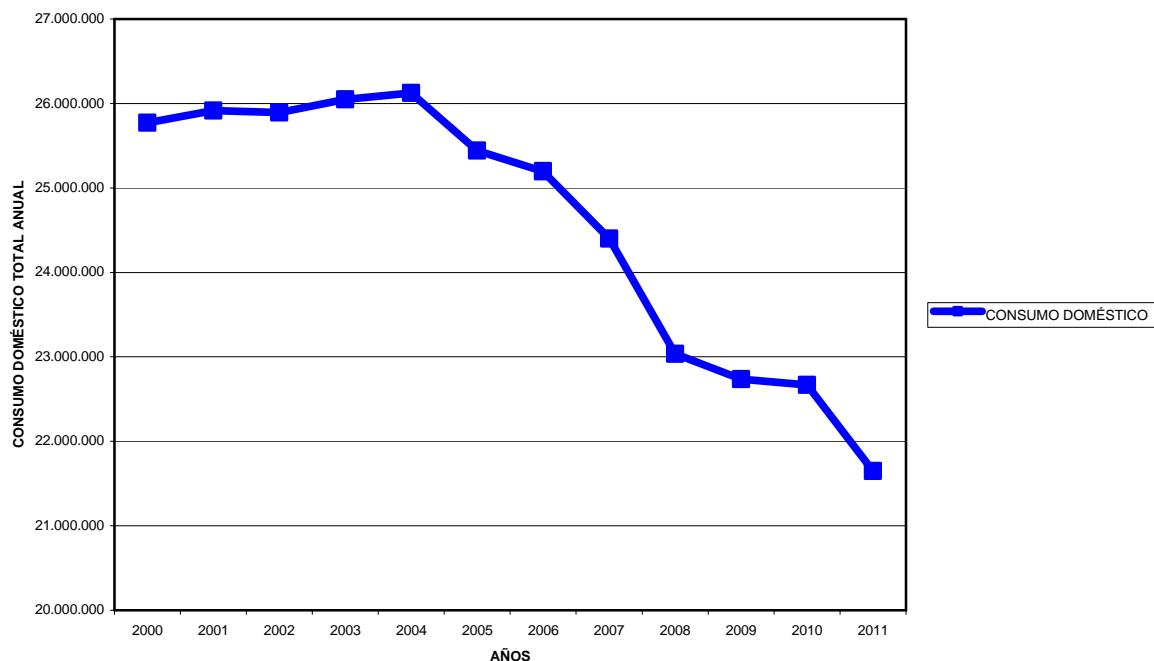
EVOLUCIÓN DEL CONSUMO MEDIO DE ZARAGOZA EN USOS DOMÉSTICOS POR HABITANTE Y DÍA



En 11 años se ha producido una reducción del consumo medio por habitante y día de, aproximadamente, un 25%, pasando de 136 a 101 litros / habitante y día.

Este descenso tan marcado se traduce en una disminución del consumo doméstico total representado en la siguiente gráfica.

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DOMÉSTICO EN ZARAGOZA DESDE 2000



En el mismo período de tiempo se ha reducido un 16.2% el consumo doméstico total de la ciudad de Zaragoza.

Uso comercial

Por otro lado, el consumo comercial alcanzó en 2011 a una cifra de casi 7 hm^3 , lo que supone un descenso respecto al año anterior de algo más de un 5%. En el desglose de este consumo, la mayor aportación corre a cargo del sector de la restauración y los hoteles.

Gracias a los datos proporcionados por HORECA y la Asociación de Cafés y Bares de Zaragoza, se concluyó que la cifra total de locales dedicados a restauración en Zaragoza, agrupando tanto bares, cafeterías como restaurantes, asciende, aproximadamente, a 3200.

En lo referente a los hoteles, el Ayuntamiento de Zaragoza cuenta con información de todos los establecimientos dedicados a esta actividad. En la capital aragonesa existen 53 hoteles que suman una cantidad total de 4922 habitaciones.

El gasto de agua de este grupo se estimó, gracias al estudio “Tipologías de consumo de agua en abastecimientos urbano-turísticos de la Comunidad Valenciana” y contrastando esa información, a su vez, con las asociaciones anteriormente citadas.

Para el ámbito de la restauración se obtuvo un consumo de agua potable total en el año 2011 de 3.2 hm^3 . El uso de agua referente a las actividades desarrolladas por los hoteles en Zaragoza ascendió a 1.6 hm^3 .

Otro sector incluido en el uso comercial de agua es el de las oficinas. En Zaragoza, según la información obtenida del Atlas de Zaragoza, existen un total de 8587 locales dedicados a esta actividad. Esto se traduce en una superficie útil de, aproximadamente, $900,000 \text{ m}^2$.

Con los datos proporcionados por el CTE y el artículo “Determinación de la dotación de agua” del departamento de Mecánica de Fluidos y Recursos Hídricos de la Universidad de Antioquia se estimó un consumo total en el año 2011 de 1.4 hm^3 .

Por último, el sector que completa el consumo comercial de la ciudad de Zaragoza es el de los comercios y centros comerciales. Este grupo es el más heterogéneo y, por lo tanto, el que mayor incertidumbre presentó a la hora de estimar su consumo.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) y del Ayuntamiento de Zaragoza, existen un total de 12500 locales dedicados al ámbito de la actividad comercial.

Por otro lado, en Zaragoza existen 10 centros comerciales:

1. Grancasa
2. Augusta
3. Plaza
4. Aragonia
5. Puerto Venecia
6. Puerta Cinegia
7. Porches del Audiorama
8. Utrillas Plaza
9. Independencia
10. Carrefour Actur

Finalmente, se estimó un consumo total de agua en 2011 para el conjunto de comercios y centros comerciales de 0.6 hm^3 .

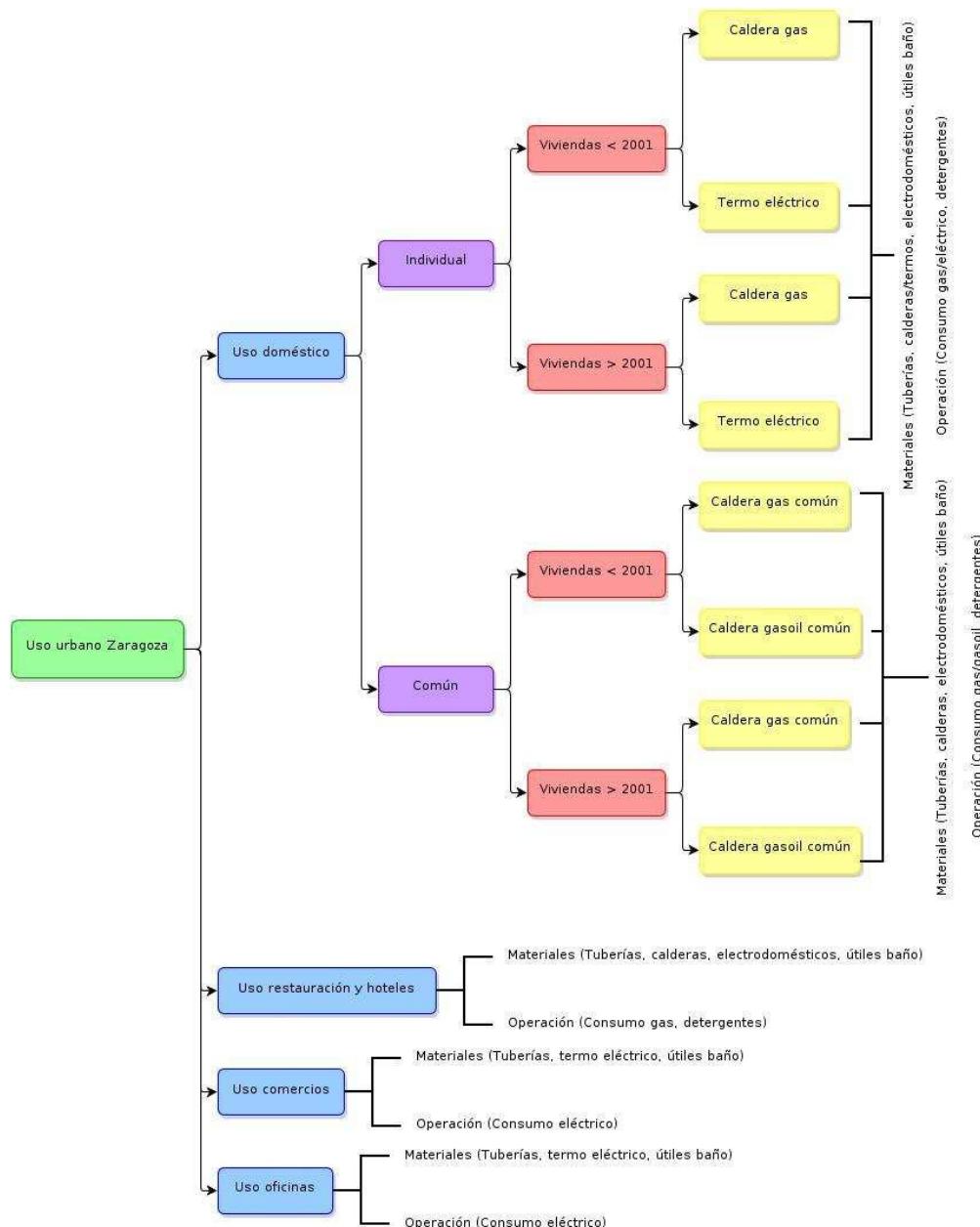
Así pues, la suma de consumos de restauración y hoteles (4.8 hm^3), oficinas (1.4 hm^3) y comercios y centros comerciales (0.6 hm^3) dan la cifra de los 6.8 hm^3 de agua consumida en actividades comerciales.

6. Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida al uso urbano del agua en Zaragoza

6.1. Definición y alcance del estudio

Mediante la aplicación del ACV al caso de estudio se pretende obtener una visión más clara de los impactos ambientales derivados del uso urbano del agua en la ciudad de Zaragoza.

El siguiente gráfico ayuda a entender mejor la forma de abordar y organizar el estudio.



Esquema del estudio de Análisis de Ciclo de Vida del uso urbano del agua en Zaragoza

Como norma general, se ha considerado una vida útil de 20 años para las distintas tecnologías de generación de ACS y útiles de baño y cocina. Para las tuberías se han tomado 50 años como media.

Cabe destacar el hecho de separar las viviendas en “antiguas” (<2001) y “nuevas” (>2001). Esto se debe a que los materiales de las tuberías (tienen un peso relativo importante) cambian. En las antiguas son de hierro/cobre y en las nuevas de distintos compuestos plásticos.

Al realizar diferentes análisis y comparativas, no existe una sola unidad funcional, sino que ésta varía según el estudio que se realiza.

En primer lugar, la comparativa de tecnologías para generación de ACS en viviendas. Se busca distinguir que procesos son más impactantes medioambientalmente hablando para conseguir agua caliente. En este estudio la unidad funcional es 1 m^3 de agua para el conjunto de hogares con el mismo tipo de tecnología (se han considerado: caldera de gas individual, termo eléctrico, caldera de gas comunitaria y caldera de gasoil comunitaria).

El siguiente es la confrontación del uso individual y comunitario del agua en viviendas. Se ha realizado para observar la diferencia entre estos dos métodos de abastecimiento de agua. La unidad funcional es 1 m^3 de agua para el total de casas con abastecimiento individual y 1 m^3 para el conjunto de casas con abastecimiento comunitario.

Otro estudio realizado es la comparativa del uso doméstico con el resto de consumos comerciales. La unidad funcional en este caso es 1 m^3 para todas las viviendas de la ciudad de Zaragoza, 1 m^3 para restauración y hoteles, 1 m^3 para oficinas y 1 m^3 para comercios y centros comerciales.

Por último, se estudia el impacto total del uso urbano. Esto es, aunados consumo doméstico y comercial. La unidad funcional es 1 m^3 de agua en uso urbano, repartido a todas las fases del ciclo.

Todas las entradas de montaje (materiales, detergentes,...) así como las de operación (transporte y consumo de combustibles, consumo eléctrico,...) están referidas, dependiendo del estudio, a esas unidades funcionales.

En este proyecto se han tenido en cuenta los siguientes procesos:

- Todos los materiales e instalaciones para el consumo de agua tanto en viviendas como en el ámbito comercial (tuberías, generadores de ACS, electrodomésticos, útiles de baño y cocina).
- Transporte y consumo de electricidad y combustibles fósiles (gas natural y diésel).
- Producción y uso de detergentes y jabones.
- Procesos de extracción y transformación de todas las materias primas involucradas.
- Transporte de todos los materiales y equipos hasta el punto de uso, así como el tratamiento de los desechos.

A pesar de tener datos concretos por parte del Ayuntamiento de Zaragoza sobre los consumos de agua, al ser un estudio de un ámbito tan heterogéneo como es, por ejemplo, las viviendas o comercios en Zaragoza, cierta parte de la información necesaria para realizar el análisis se basa en una serie de suposiciones y consideraciones a continuación listadas.

En referencia a los materiales:

- Solo se tiene en cuenta la instalación de tuberías dentro de las viviendas y locales (no se consideran bajantes ni acometida), y se ha tomado un diámetro de tuberías constante para todos los cálculos.
- Para saber la distancia media de tuberías dependiendo del tamaño de la vivienda/local, se ha tomado un valor medio para una casa de 90 m² (mediante una consulta a un profesional de la fontanería) y se ha extrapolado al resto.
- Se ha tomado una distribución de materiales similar de los distintos tipos de tecnologías para la generación de ACS, así como para los electrodomésticos y útiles de baño. Esto es, todas las calderas individuales son iguales, todos los termos eléctricos son semejantes, todas las lavadoras pesan lo mismo y están fabricadas de los mismos materiales,...

Para la operación:

- Se han tomado unos valores de variación de temperatura y rendimiento constantes para hallar el consumo energético dedicado a generación de ACS para las distintas tecnologías, así como el porcentaje de agua dedicada a este fin. Para el uso doméstico se han utilizado los datos de “Estudio preliminar del análisis de ciclo de vida del ciclo integral del agua urbana en Zaragoza” (Félix Sáez-Benito Díaz, 2011).
- Al igual que en el punto anterior, el consumo eléctrico de los electrodomésticos y el uso de detergentes y jabones también se ha considerado igual para todo el uso doméstico. Se ha hecho lo mismo para el dedicado a restauración y hoteles (aunque se han supuesto unos valores diferentes que en el doméstico).

Otras suposiciones a tener en cuenta son:

- Utilizando los datos de “El uso del agua en los hogares de la ciudad de Zaragoza. Encuesta ACTUR” (Ramón Barberán Ortí y Manuel J. Salvador Figueras), se han extrapolado al resto de viviendas de Zaragoza los datos de consumo de agua y de número de electrodomésticos y útiles de baño por vivienda.
- Al tomar constante el tamaño y distribución de materiales de las calderas, se ha supuesto que las calderas comunitarias dedicadas a uso doméstico dan servicio a una media de 10 viviendas como valor constante, realizando, a partir de ese punto, los cálculos necesarios.
- Debido a la falta de información en el ámbito de comercios y oficinas se han tenido que suponer ciertas instalaciones (número de útiles de baño y tipo de generación de ACS).

6.2. Análisis de inventario

6.2.1. Montaje

Como se observa en el esquema de cómo se ha organizado el estudio, los materiales del uso doméstico se han dividido por tipo de generación de ACS y edad de la vivienda. El resto de usos están agrupados según se ha explicado anteriormente (restauración/hoteles, oficinas y comercios/centros comerciales).

Para la caldera individual de gas y las comunitarias se ha utilizado la misma distribución de materiales (hierro fundido, acero galvanizado y cobre)^[33], pero variando el peso. Consultando catálogos, para la individual se ha considerado un peso de 45 kg, las calderas comunitarias 270 kg, dando servicio a 10 viviendas. El peso supuesto para el termo es de 40 kg (acero inoxidable, cobre y espuma de poliuretano).

Las lavadoras y lavavajillas se han considerado iguales, con un peso de 85 kg, distribuidos en acero, polipropileno, cobre y aluminio^[34].

Para las tuberías, consultando a un profesional de la fontanería, se ha considerado un diámetro exterior de 18 mm e interior de 16 mm constante. Para calcular la distancia media de conducción dependiendo del tamaño de la vivienda, se han supuesto 41 metros para una casa de 90 m², y se ha extrapolado al resto. En las viviendas antiguas (<2001), el reparto entre tuberías es de, 26% cobre y 74% hierro^[33]. Para las viviendas nuevas (>2001), al no tener datos válidos, se han supuesto tuberías de polipropileno, polietileno y PVC, repartidas a partes iguales.

El aislante de tuberías utilizado ha sido fibra de vidrio de espesor 2 mm, utilizada solo en las conducciones con agua caliente.

En los útiles de baño, consultando catálogos, estos son los pesos utilizados:

- Inodoro (loza): 22.5 kg
- Lavabo (loza): 7 kg
- Bidé (loza): 17 kg
- Bañera (chapa): 90 kg
- Ducha (loza): 25 kg
- Grifos (acero y latón): 2.5 kg

Uso doméstico

Según los datos del estudio “El uso del agua en los hogares de la ciudad de Zaragoza. Encuesta ACTUR” (Ramón Barberán Ortí y Manuel J. Salvador Figueras), todas las viviendas cuentan con lavadora, y el 72% cuenta con lavavajillas. Se ha considerado que, de media, las viviendas cuentan con 2 inodoros, 2 lavabos, 1.3 bidés, 1.5 duchas, 1.3 bañeras y 4 grifos, repartidos entre acero y latón a partes iguales.

Caldera individual

Viviendas caldera individual < 2001

Hierro fundido	7518346,5
Acero galvanizado	714663,9
Cobre	1629356,5
Acero	11909043,1
Polipropileno	7598825,9
Aluminio	633235,5
Loza	17123057,3
Chapa	16892054,9
Latón	721882,7
Fibra vidrio	276369,3

Viviendas caldera individual > 2001

Hierro fundido	2465376,2
Acero galvanizado	308172,0
Cobre	392094,4
Acero	5135328,8
Polipropileno	3318916,5
Aluminio	273059,1
Loza	7383677,2
Chapa	7284066,1
Latón	311284,9
PVC	62200,4
Multicapa	40805,0
Fibra vidrio	119173,9

Termo eléctrico

Viviendas termo < 2001

Hierro fundido	600345,2
Acero inoxidable	1713268,2
Cobre	540712,5
Espuma poliuretano	192502,1
Acero	3969681,0
Polipropileno	2532942,0
Aluminio	211078,5
Loza	5707685,8
Chapa	5630685,0
Latón	240627,6
Fibra vidrio	92123,1

Viviendas termo > 2001

Acero inoxidable	738782,8
Cobre	129660,5
Espuma poliuretano	83009,3
Acero	1711776,3
Polipropileno	1106305,5
Aluminio	91019,7
Loza	2461225,7
Chapa	2428022,0
Latón	103761,6
PVC	20733,5
Multicapa	13601,7
Fibra vidrio	39724,6

Caldera comunitaria de gas

Viviendas caldera comunitaria gas < 2001

Hierro fundido	923192,2
Acero galvanizado	75670,3
Cobre	282947,4
Acero	2101595,8
Polipropileno	1340969,3
Aluminio	111747,4
Loza	3021716,0
Chapa	2980950,9
Latón	127391,1
Fibra vidrio	48771,1

Viviendas caldera comunitaria gas > 2001

Hierro fundido	261039,8
Acero galvanizado	32630,0
Cobre	67215,6
Acero	906234,5
Polipropileno	585691,2
Aluminio	48186,9
Loza	1303001,9
Chapa	1285423,4
Latón	54932,6
PVC	10976,5
Multicapa	7200,9
Fibra vidrio	21030,7

Caldera comunitaria de gasoil

Viviendas caldera comunitaria gasoil < 2001

Hierro fundido	307730,7
Acero galvanizado	25223,4
Cobre	94315,8
Acero	700531,9
Polipropileno	446989,8
Aluminio	37249,1
Loza	1007238,7
Chapa	993650,3
Latón	42463,7
Fibra vidrio	16257,0

Viviendas caldera comunitaria gasoil > 2001

Hierro fundido	87013,3
Acero galvanizado	10876,7
Cobre	22405,2
Acero	302078,2
Polipropileno	195230,4
Aluminio	16062,3
Loza	434334,0
Chapa	428474,5
Latón	18310,9
PVC	3658,8
Multicapa	2400,3
Fibra vidrio	7010,2

Uso comercial

Restauración y hoteles

Consultando las asociaciones HORECA y Asociación de Cafes y Bares Zaragoza, se ha llegado a la conclusión de que existen, aproximadamente, 1920 locales “grandes” (superan los 1000 m³/año) y 1280 locales “pequeños”.

Para los locales grandes se ha supuesto una distancia media de 85 metros de tuberías (hierro/cobre), 2.5 calderas individuales, 4 lavavajillas domésticos, 8 inodoros, 4 lavabos y 8 grifos.

En los locales pequeños, las conducciones ascienden a 40 metros de media (hierro/cobre), y se han utilizado para realizar los cálculos, 1 caldera individual, 2 lavavajillas domésticos, 4 inodoros, 2 lavabos y 3 grifos.

En lo referente a los hoteles, sabiendo el número total de habitaciones (4922) se ha supuesto una media de 30 metros por habitación. A su vez, los valores medios por habitación han sido: 1 inodoro, 1 bidé, 1 lavabo, 1 bañera y 2 grifos.

Como elementos comunes en los hoteles se han considerado 2 calderas comunitarias, 5 lavadoras y 5 lavavajillas.

Restauración y hoteles

Hierro fundido	378623,1
Acero galvanizado	33244,2
Cobre	45046,5
Acero	516693,5
Polipropileno	329562,0
Aluminio	27463,5
Loza	761353,0
Latón	31505,0
Chapa	442980,0
Fibra vidrio	17289,2

Oficinas

Según el INE, existen en Zaragoza un total de 8587 locales dedicados a oficinas. Con los datos del Atlas de Zaragoza, que calcula una superficie útil de 900000 m², se ha supuesto una distancia media de conducciones de 55 metros. Al ser datos del 2001, se han considerado tuberías de hierro y cobre.

En el apartado de equipamiento, se ha supuesto que cada local cuenta con: 1 termo eléctrico, 4 inodoros, 4 lavabos y 5 grifos.

Oficinas

Hierro fundido	148682,0
Acero inoxidable	344005,2
Espuma poliuretano	43000,7
Cobre	63353,8
Acero	54293,8
Loza	1025066,0
Latón	54293,8
Fibra vidrio	22815,3

Comercios y centros comerciales

El ámbito de los comercios y centros comerciales es del que menos datos se han podido conseguir. Según el INE, en 2001, existían 12484 locales comerciales. Para ellos se han supuesto: 40 metros de tuberías (hierro/cobre), 1 termo eléctrico, 2 inodoros, 2 lavabos y 2 grifos.

En los centros comerciales se ha utilizado un valor medio de 2000 metros de tuberías, teniendo en cuenta la distinción entre nuevos y antiguos. Así mismo, se han considerado 2.5 calderas comunitarias, 42 inodoros, 42 lavabos y 42 grifos.

Comercios

Hierro fundido	126942,5
Acero galvanizado	891,0
Cobre	52977,7
Acero	31735,0
Loza	748946,0
Latón	31735,0
Polipropileno	76,1
Multicapa	76,1
PVC	112,2
Fibra vidrio	18600,4
Espuma poliuretano	49936,0
Acero inoxidable	444430,4

6.2.2. Operación

Dentro de la fase de operación se han tenido en cuenta el consumo eléctrico (tanto de termo como de electrodomésticos), el de combustibles fósiles (gas natural y diésel) para la generación de ACS, así como el de detergentes y jabones.

Hay que tener en cuenta que estos valores varían según el estudio o comparativa que se realice.

Uso doméstico

Para este uso se ha supuesto que el porcentaje de agua que se utiliza como ACS es del 21.83%, así mismo, el dedicado a lavadora es un 6%, y un 2% para el lavavajillas^[35].

Caldera individual

Para la caldera de individual se ha utilizado un rendimiento del 90% con una variación de temperatura de 40 grados.

$$\text{Consumo específico de gas (kWh/m}^3\text{)} = \mathbf{11,29}$$

Termo eléctrico

En el caso del termo, el rendimiento es del 80% (ya que el efecto Joule no es tan efectivo) y una variación de temperatura de 50 grados, para compensar ese bajo rendimiento.

Consumo eléctrico específico (kWh/m^3) = **15,88**

Caldera comunitaria de gas

Para los dos tipos de calderas comunitarias se han supuesto los mismos valores, un rendimiento del 95%, con una variación de 50 grados (es mayor que en la individual porque se han considerado las pérdidas debido a la conducción).

Consumo específico de gas (kWh/m^3) = **13,37**

Caldera comunitaria de diésel

Consumo específico de diésel (kWh/m^3) = **13,37**

Lavadora

El consumo eléctrico se ha calculado tomando un valor medio de 100 litros/lavado y 1.02 kWh/lavado.

Consumo eléctrico específico (kWh/m^3) = **0,66**

Para el consumo de detergente se ha supuesto 35 gr/lavado.

Consumo de detergente específico (kg/m^3) = **0,02**

Lavavajillas

En el caso del lavavajillas, los consumos son 35 litros/lavado, 1.05 kWh/lavado y 21 gr/lavado.

Consumo eléctrico específico (kWh/m^3) = **0,54**

Consumo de detergente específico (kg/m^3) = **0,01**

Jabón

Para el jabón, se ha calculado un consumo de 0,207 kg/mes.

Consumo de jabón específico (kg/m^3) = **0,03**

Uso comercial

Restauración y hoteles

En restauración el porcentaje de agua dedicada a ACS supuesto es del 30%, para los hoteles, el 40%.

Consumo específico de gas restauración (kWh/m³) = **18,38**

Consumo específico de gas hoteles (kWh/m³) = **24,50**

El consumo de agua que pasa por los electrodomésticos industriales se ha considerado que es un 25%.

Consumo eléctrico específico por electrodomésticos (kWh/m³) = **7,50**

Consumo de detergente específico (kg/m³) = **0,15**

Oficinas

En los sectores de oficinas y comercios, solo el 5% del agua se dedica a generación de ACS.

Consumo eléctrico específico por termo (kWh/m³) = **3,64**

Comercios y centros comerciales

Consumo eléctrico específico por termo (kWh/m³) = **3,64**

6.3. Análisis de impactos

Para conseguir una mejor visión y contrastar los datos de impacto obtenidos, se ha decidido utilizar tres métodos diferentes de cálculo.

6.3.1. IPCC 2007

Es un método muy interesante ya que reduce todo el Análisis de Ciclo de Vida a una única categoría de impacto, el cambio climático (kg de CO₂ equivalente).

Las etapas de Clasificación y Caracterización han sido realizadas mediante el software SimaPro 7.2.

6.3.2. ReCiPe

Es el método de cálculo más actualizado, por lo tanto, su base de datos es la que menores incertidumbres presenta.

El ReCiPe utilizado ha sido el Midpoints H/E. A diferencia de los demás métodos utilizados, éste va dedicado a audiencias con ciertos conocimientos de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, así como de las diferentes categorías de impacto.

El programa utilizado en este proyecto (SimaPro 7.2) incluye la fase de Caracterización y de Normalización. En esta última, las distintas categorías de impacto se han ponderado por sus factores correspondientes para hallar el impacto final del estudio.

6.3.3. Eco-indicador 99

Este método de cálculo estudia los daños causados tanto a la salud humana, como al ecosistema y a los recursos.

- Daños a la salud humana (DALY): Cancerígenos, orgánicos respirados, inorgánicos respirados, cambio climático, radiación y capa de ozono.
- Daños al ecosistema ($\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{año}$): Ecotoxicidad, acidificaron/eutrofización.
- Daños a los recursos (MJ): Minerales y combustibles fósiles.

Permite ponderar todas las categorías de impacto de las fases de Caracterización y Normalización en una única puntuación, haciendo las comparaciones de diferentes fases mucho más sencillas.

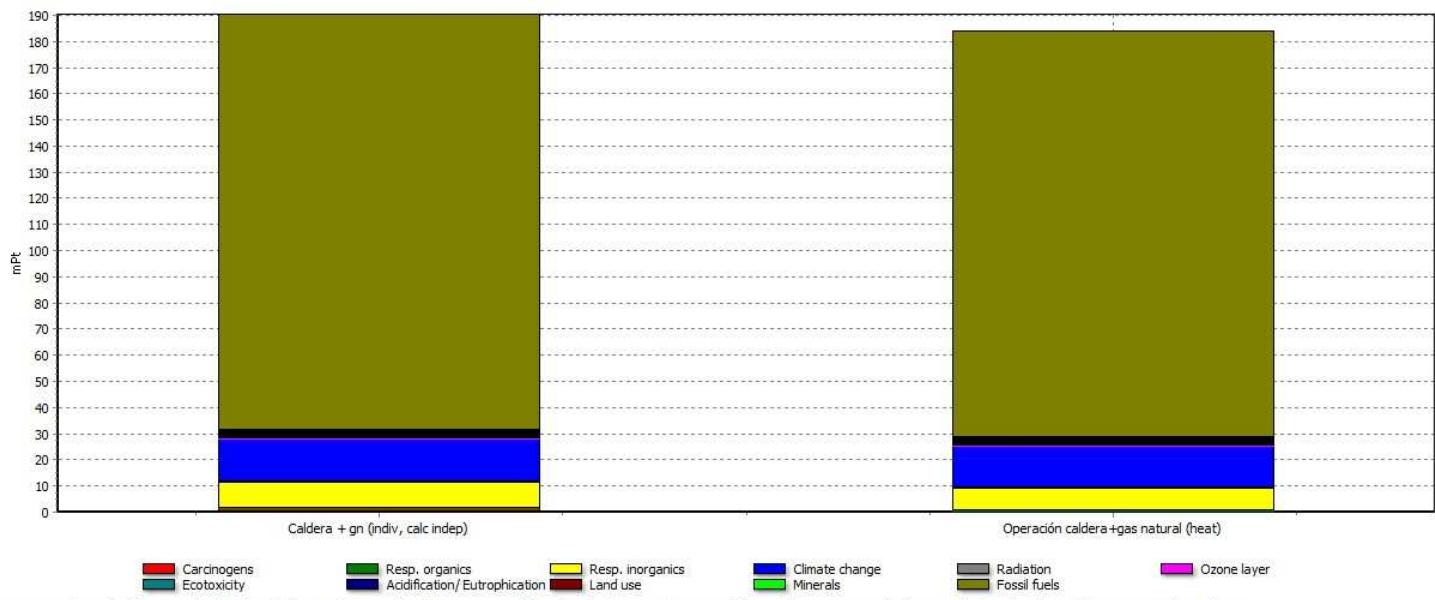
6.4. Interpretación de resultados

6.4.1. Comparativa Montaje + operación / Proceso tipo

Con esta comparativa se ha querido comprobar que los datos obtenidos y las suposiciones hechas en la fase de Análisis de inventario fueron correctos.

Para ello, se ha enfrentado el montaje (materiales) y la operación (consumo energético) de la caldera supuesta con el proceso tipo (Heat, at boiler), que incluye también tanto materiales como consumo de gas, de la base de datos de SimaPro.

El estudio se realizó con los métodos IPCC 2007 y Eco-indicador 99, para poder comparar los resultados y asegurar la veracidad de éstos.



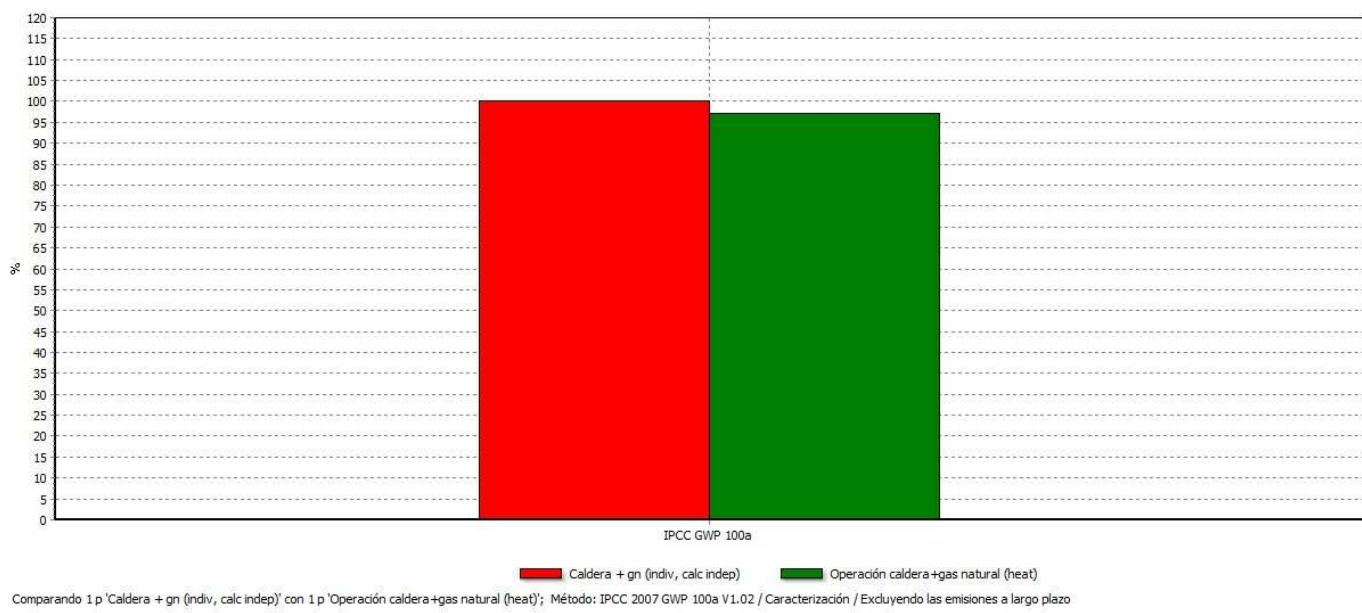
Eco 99. Gráfico puntuación única. Comparativa Montaje + operación / Proceso tipo

La columna de la izquierda representa el conjunto de datos obtenidos en la fase de Análisis de inventario, la de la derecha referencia al proceso tipo de la base de datos.

Como se puede observar no solo la diferencia de puntuación es mínima (~7 mPt), sino que la distribución de los impactos es muy similar.

En esta primera comparativa se observa lo que va a ser la tendencia en el resto de los estudios, el consumo de combustibles fósiles es, con mucha diferencia, el aspecto que mayor impacto genera. Esto se debe, en gran medida, al agotamiento de dichos combustibles (en este caso gas natural) en la fase de operación.

Cabe destacar la importancia relativa de las categorías de Climate change y de Resp. inorganics. Es consecuencia del proceso de combustión del gas natural, ya que se produce CO₂, NO_x,...



IPCC 2007. Comparativa Montaje + operación / Proceso tipo

Al igual que con Eco 99, el proceso tipo de la base de datos genera prácticamente el mismo impacto (kg de CO₂ equivalente) que el montaje y la operación supuestos.

La diferencia en este caso es de menos del 5%.

6.4.2. Comparativa Tecnologías ACS

Este estudio se ha realizado para comprender que métodos generan mayor impacto en la generación de ACS. La unidad funcional en este caso es 1m³ por cada tecnología (caldera individual de gas, termo eléctrico, caldera comunitaria de gas y caldera comunitaria de diésel).

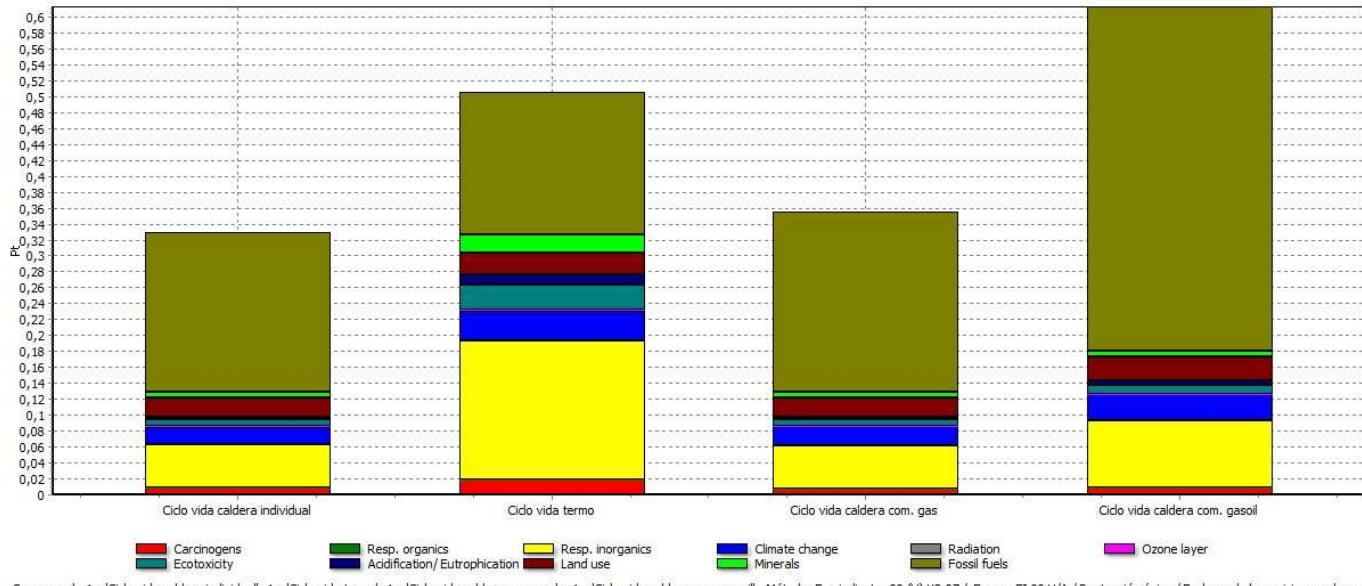
Al entrar en juego el consumo eléctrico, se tuvo que modificar el mix energético español de la base de datos, ya que estaba obsoleto (Anexo 2). Utilizando el mix energético de 2011, los datos obtenidos han sido los siguientes.

Categoría de impacto	Unidad	Caldera individual	Termo eléctrico	Caldera com. gas	Caldera com. gasoil
Total	Pt	0,330	0,506	0,355	0,613
Carcinogens	Pt	0,009	0,018	0,008	0,009
Resp. organics	Pt	0,000	0,000	0,000	0,000
Resp. inorganics	Pt	0,053	0,174	0,053	0,084
Climate change	Pt	0,023	0,038	0,024	0,033
Radiation	Pt	0,000	0,001	0,000	0,000
Ozone layer	Pt	0,000	0,000	0,000	0,000
Ecotoxicity	Pt	0,009	0,032	0,009	0,011
Acidification/ Eutrophication	Pt	0,003	0,012	0,003	0,005
Land use	Pt	0,025	0,027	0,025	0,030
Minerals	Pt	0,007	0,022	0,007	0,008
Fossil fuels	Pt	0,201	0,180	0,226	0,433

Eco 99. Tabla puntuación única. Comparativa Tecnologías ACS

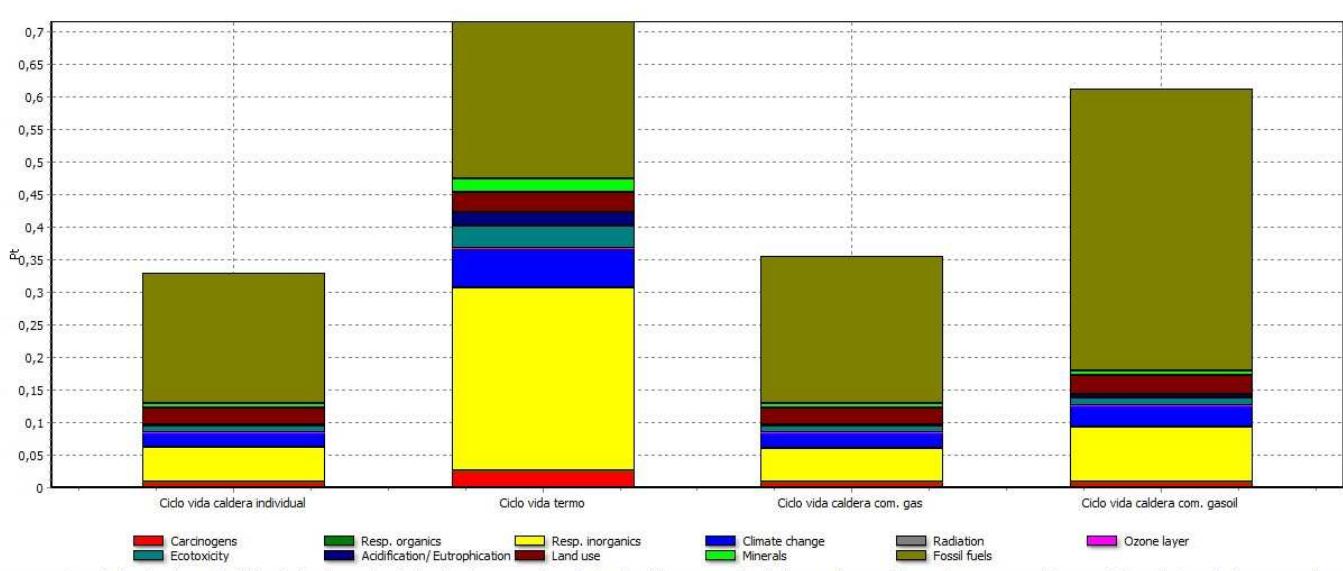
La tecnología que más impacto genera es el de caldera comunitaria de gasoil. Esto es consecuencia, sobretodo, del uso de diésel en la generación de ACS.

Como se ha dicho anteriormente, la operación es siempre el aspecto que más huella deja. De ahí que la categoría Fossil fuels sea la que más contribuya. Dentro de eso, el diésel marca una gran diferencia al considerarse un combustible “sucio”.



Eco 99. Gráfico puntuación única. Comparativa Tecnologías ACS

Para poner de manifiesto la importancia de actualizar el mix energético, se realizó el mismo estudio con el predeterminado de la base de datos.



Eco 99. Gráfico puntuación única. Comparativa Tecnologías ACS (mix ES antiguo)

En este caso, la tecnología menos amigable medioambientalmente hablando es el termo eléctrico. Esta diferencia tan notable, se debe a que el mix de la base de datos supone un porcentaje muy elevado de generación eléctrica mediante carbón, lo que dispara los valores de las categorías Fossil fuels y Resp. inorganics.

Con el método IPCC 2007, los resultados finales fueron los siguientes.

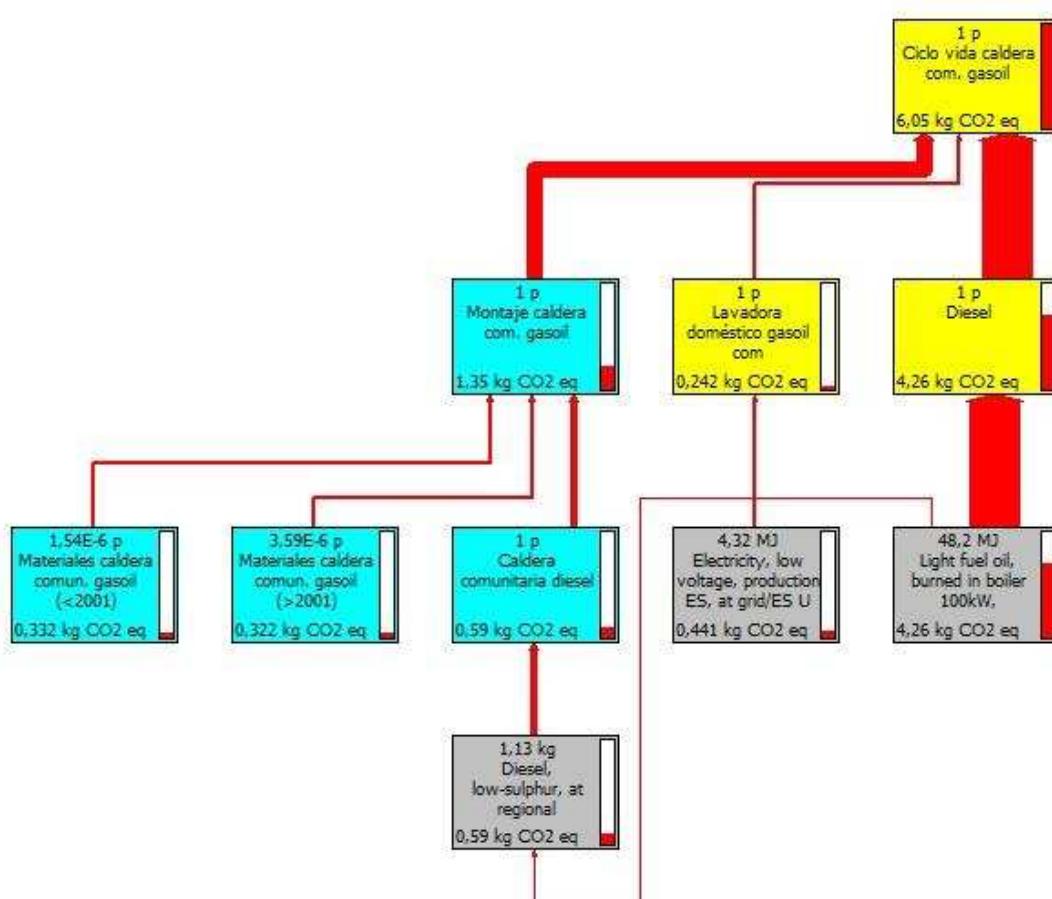
Categoría de impacto	Unidad	Caldera individual	Termo eléctrico	Caldera com. gas	Caldera com. gasoil
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	4,59	7,01	4,98	6,05

IPCC 2007. Tabla. Comparativa Tecnologías ACS

En este caso, a pesar de utilizar el mix de 2011, el termo genera más impacto que el resto, incluso que la caldera de gasoil.

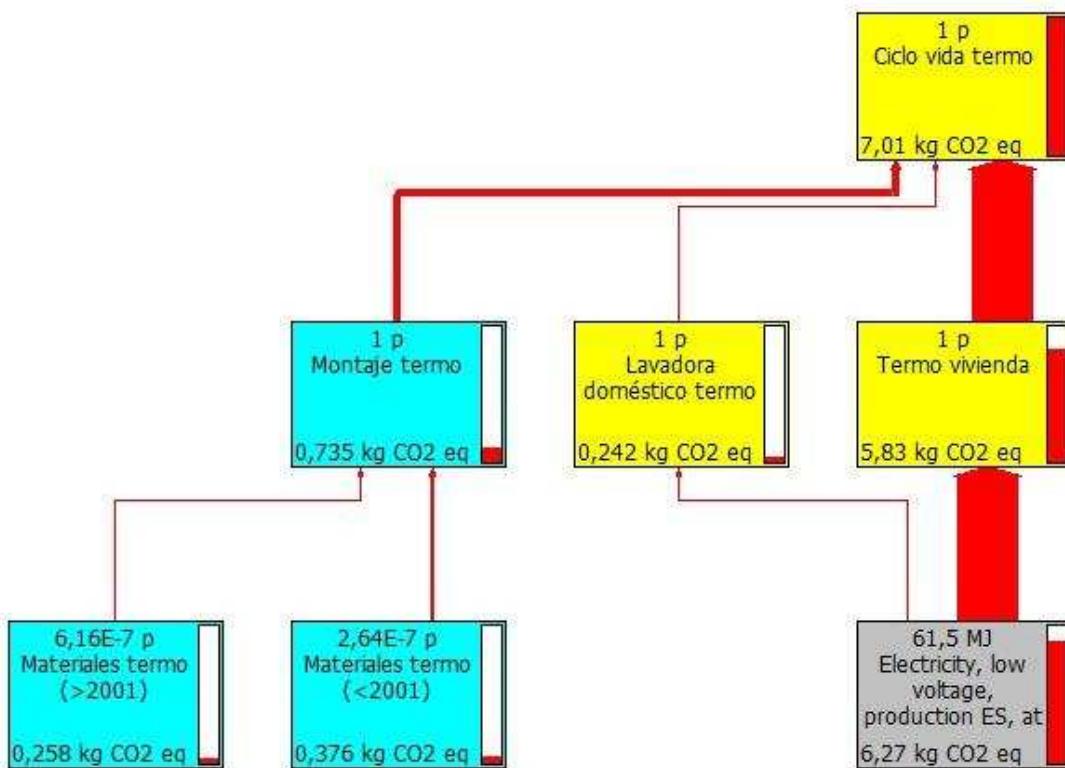
La explicación es que el método IPCC se centra en el cambio climático, por lo tanto, da más importancia a las categorías de impacto Resp. inorganics y Climate change del método Eco 99, donde el termo eléctrico supera al resto de tecnologías..

Con los árboles de flujo se observa claramente la distribución de kg de CO₂ equivalente de ambas tecnologías.



IPCC 2007. Árbol de flujo. Caldera comunitaria de gasoil

La suma de la fase de producción/transporte y combustión de gasoil supone el grueso del impacto, 4.85 kg CO₂ equivalente. Aproximadamente el 80% de toda la huella.

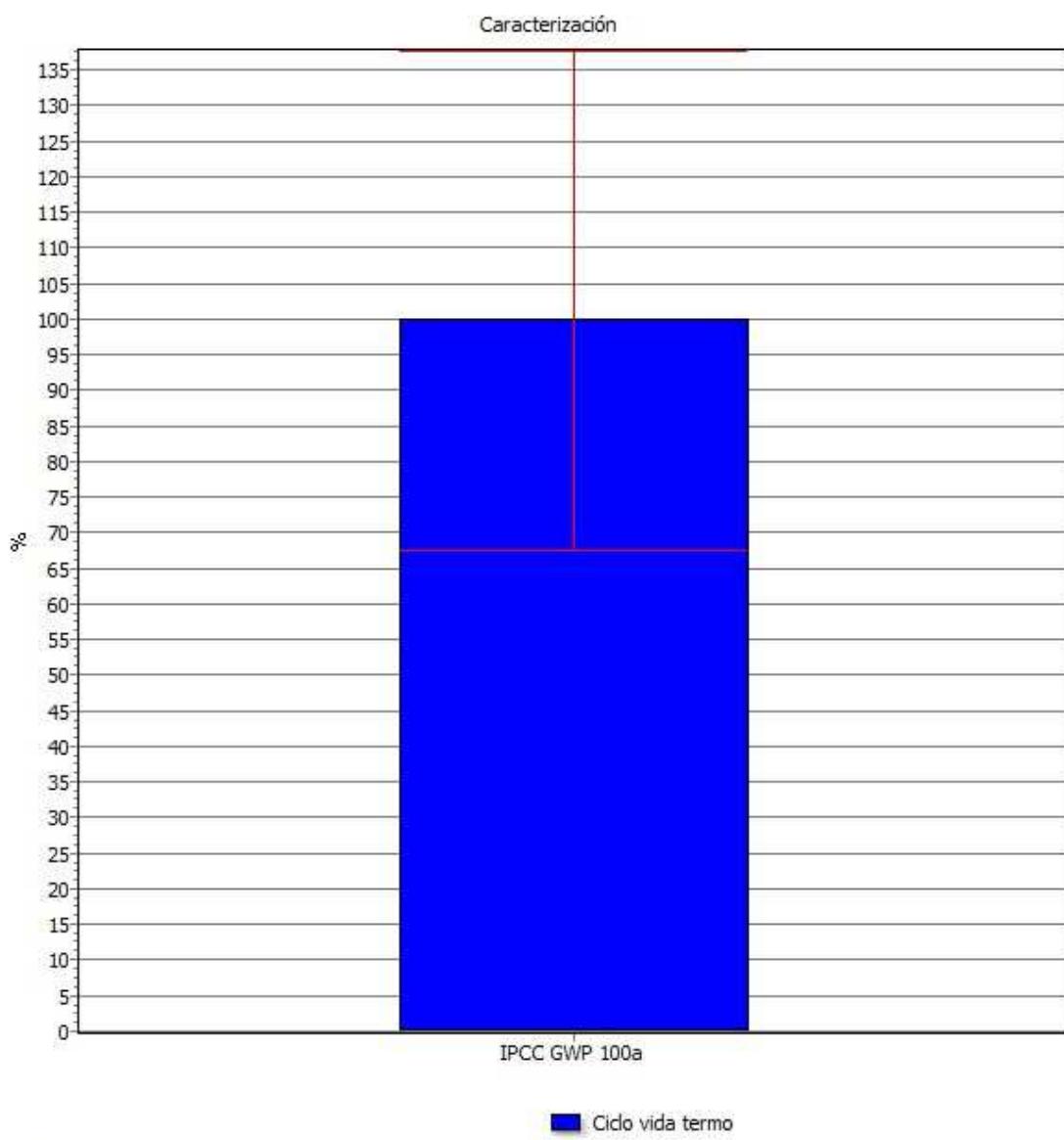


IPCC 2007. Árbol de flujo. Termo eléctrico

En este caso, la generación eléctrica es lo que contribuye más al impacto final de las viviendas con termo eléctrico.

Comparando con la caldera de gasoil donde la operación suponía 4.85 kg CO₂, en el caso del termo la operación genera 5.83 kg CO₂, de ahí que el termo, con el método IPCC, supere a la caldera de diésel.

Por último, en el análisis de incertidumbre realizado a todas las tecnologías, el proceso que más dudas genera es el termo eléctrico, con una incertidumbre de hasta el 35%, mientras que el resto como máximo alcanzan un 15%. Esto se debe a que el proceso de generación eléctrica de la base de datos de SimaPro lleva consigo muchos subprocesos derivados.

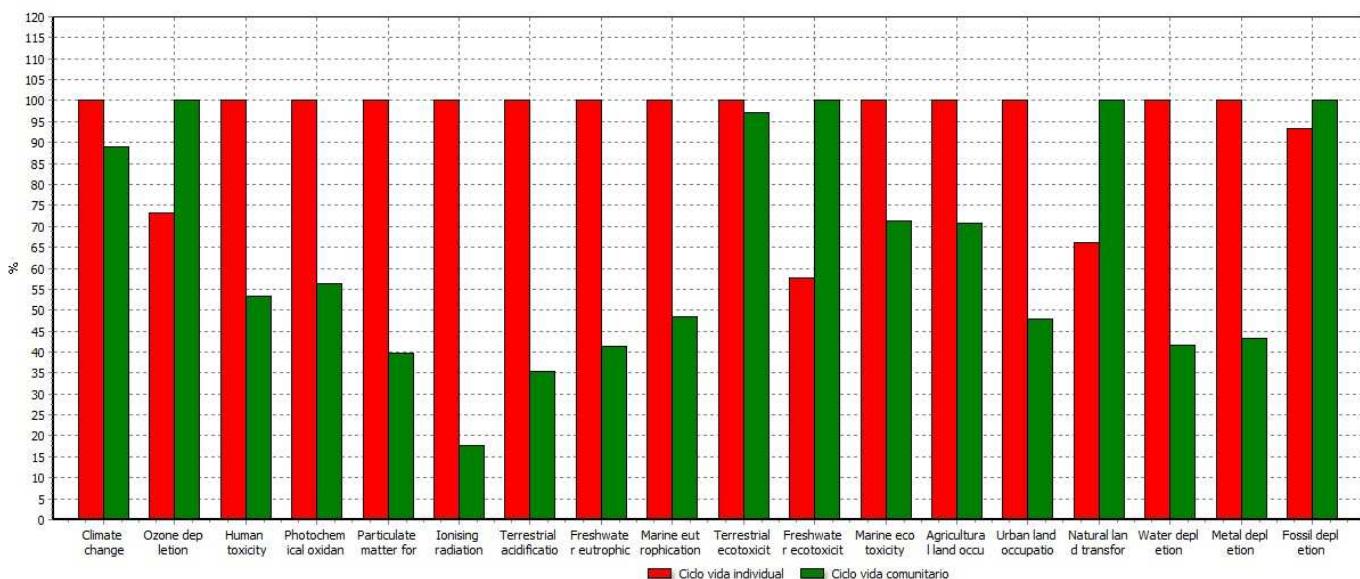


Análisis de incertidumbre. Termo eléctrico

6.4.3. Comparativa Individual / Comunitario

En este caso lo que se ha pretendido es conocer lo que a priori parece más racional, que el uso comunitario del agua es mucho más eficiente que el individual. La unidad funcional es 1m^3 de agua para el conjunto de viviendas con sistemas individuales de abastecimiento (caldera individual y termo), y 1m^3 para las casas con uso comunitario (calderas comunitarias de gas y diésel).

Con el análisis mediante ReCiPe, en la fase de Caracterización se obtuvieron los siguientes resultados.

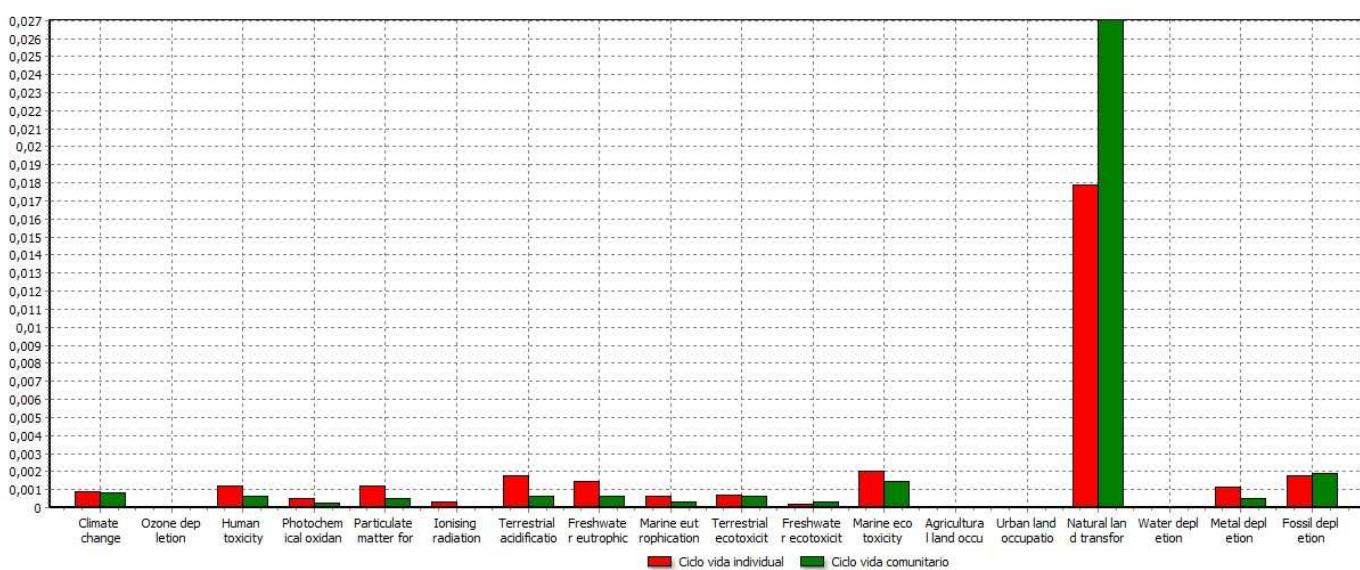


Comparando 1 p 'Ciclo vida individual' con 1 p 'Ciclo vida comunitario'; Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.04 / Europe ReCiPe H / Caracterización / Excluyendo las emisiones a largo plazo

ReCiPe. Gráfico caracterización. Comparativa Individual / Comunitario

En principio, parece que el ciclo de vida del uso individual genera más impacto que el comunitario, pero en las categorías más relevantes como son Natural land transformation y Fossil depletion, el abastecimiento comunitario supera al individual.

Este hecho se observa en la gráfica de Normalización (categorías ponderadas con sus respectivos valores).



Comparando 1 p 'Ciclo vida individual' con 1 p 'Ciclo vida comunitario'; Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.04 / Europe ReCiPe H / Normalización / Excluyendo las emisiones a largo plazo

ReCiPe. Gráfico normalización. Comparativa Individual / Comunitario

Realizando el análisis con Eco 99 e IPCC se observa que existe diferencia entre individual y comunitario, pero no es tan contundente como se podría esperar.

Categoría de impacto	Unidad	Ciclo vida individual	Ciclo vida comunitario
Total	Pt	0,664	0,641
Carcinogens	Pt	0,019	0,007
Resp. organics	Pt	0,000	0,000
Resp. inorganics	Pt	0,175	0,074
Climate change	Pt	0,055	0,049
Radiation	Pt	0,001	0,000
Ozone layer	Pt	0,000	0,000
Ecotoxicity	Pt	0,024	0,008
Acidification/ Eutrophication	Pt	0,013	0,006
Land use	Pt	0,028	0,028
Minerals	Pt	0,014	0,005
Fossil fuels	Pt	0,334	0,464

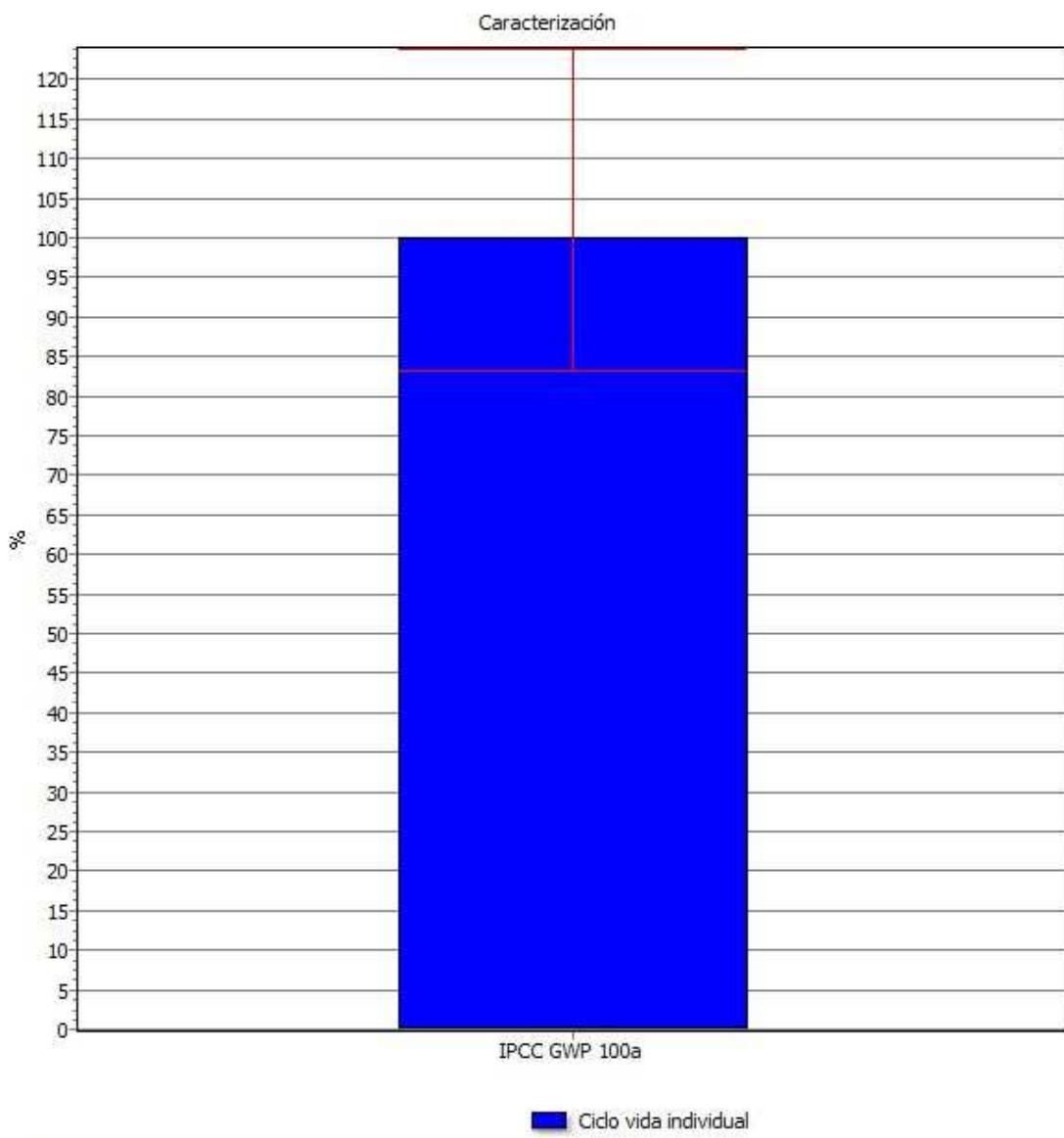
Eco 99. Tabla puntuación única. Comparativa Individual / Comunitario

Con Eco 99 el uso individual supera al comunitario pero por escasos 0.02 Pt.

Categoría de impacto	Unidad	Ciclo vida individual	Ciclo vida comunitario
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	10,11	9,01

IPCC 2007. Tabla. Comparativa Individual / Comunitario

En este caso, la diferencia a favor del comunitario es de 1 kg CO₂ equivalente menos que el consumo individual.

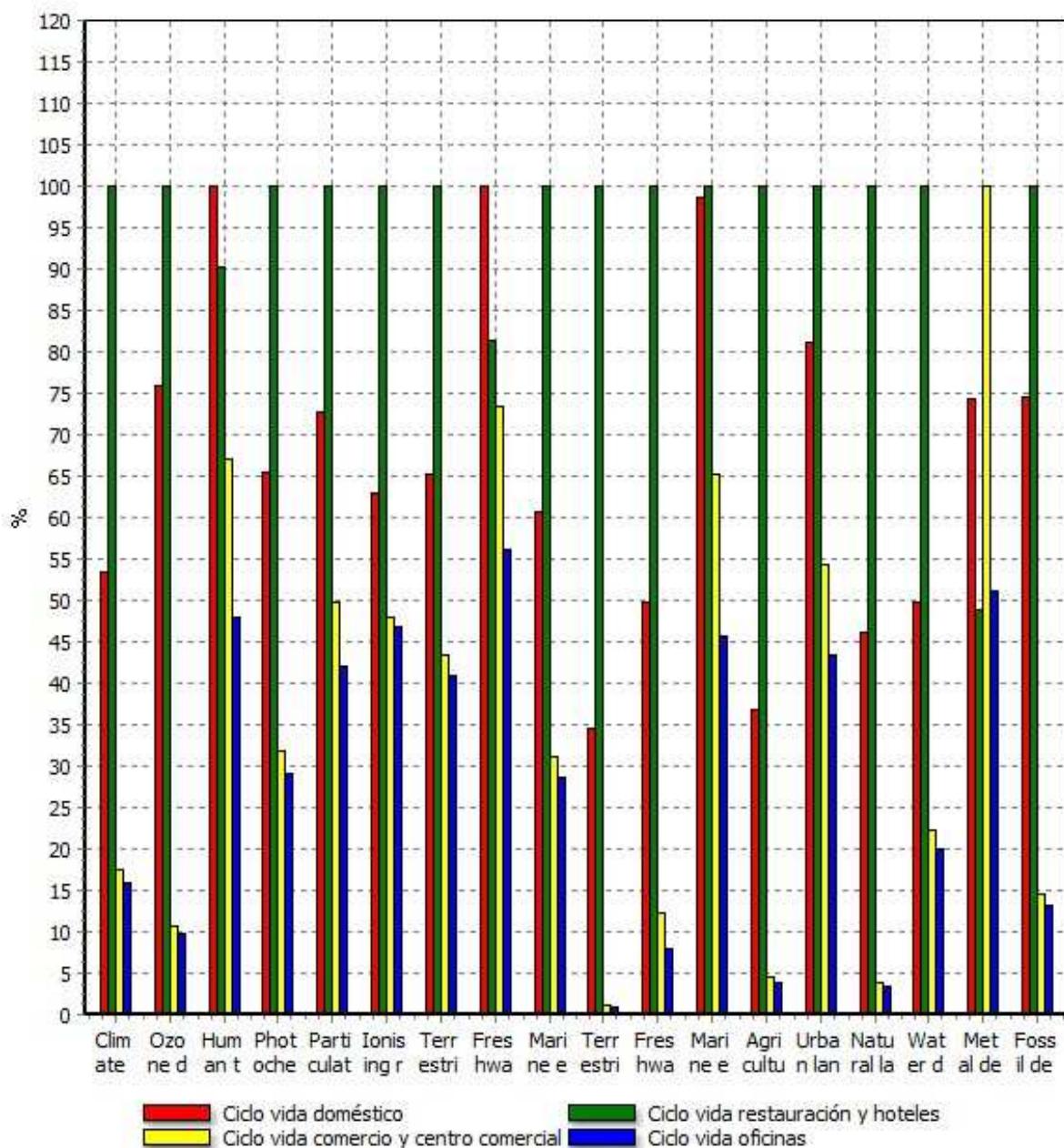


El análisis de incertidumbre plasma resultados similares al anterior estudio. Al entrar el termo eléctrico como uso individual, este supone una incertidumbre de hasta el 25%, mientras que el comunitario se queda en un 12%.

6.4.4. Comparativa Doméstico / Comercial

En esta parte del análisis se estudia, con una misma unidad (1m^3 de agua para cada uso), que consumo, entre el doméstico y todos los comerciales, supone un mayor impacto.

En la fase de Caracterización de ReCiPe se observan ciertos aspectos relevantes de esta comparativa que se extienden a los análisis realizados con el resto de métodos de cálculo.



Comparando 1 p 'Cicle vida doméstico', 1 p 'Cicle vida restauración y hoteles', 1 p 'Cicle vida comercio y centro comercial'

ReCiPe. Gráfico caracterización. Comparativa Doméstico / Comercial

En primer lugar, se observa que el uso en restauración y hoteles desciende en todas las categorías disponibles.

Por otro lado, un hecho relevante es la gran contribución de comercios y centros comerciales a la categoría de Metal depletion. Se debe a la gran infraestructura (conducciones sobretodo) que, normalmente, disponen los centros comerciales en función a su consumo relativo de agua..

Para contrastar mejor estos resultados, se muestran a continuación los resultados obtenidos con el método Eco 99.

Categoría de impacto	Unidad	Doméstico	Restauración y hoteles	Comercio y centro comercial	Oficinas
Total	Pt	0,455	0,646	0,131	0,103
Carcinogens	Pt	0,008	0,008	0,005	0,004
Resp. organics	Pt	0,000	0,000	0,000	0,000
Resp. inorganics	Pt	0,067	0,088	0,047	0,038
Climate change	Pt	0,026	0,050	0,009	0,008
Radiation	Pt	0,000	0,000	0,000	0,000
Ozone layer	Pt	0,000	0,000	0,000	0,000
Ecotoxicity	Pt	0,010	0,009	0,014	0,008
Acidification/ Eutrophication	Pt	0,005	0,007	0,003	0,003
Land use	Pt	0,026	0,073	0,001	0,001
Minerals	Pt	0,007	0,005	0,012	0,006
Fossil fuels	Pt	0,306	0,407	0,040	0,036

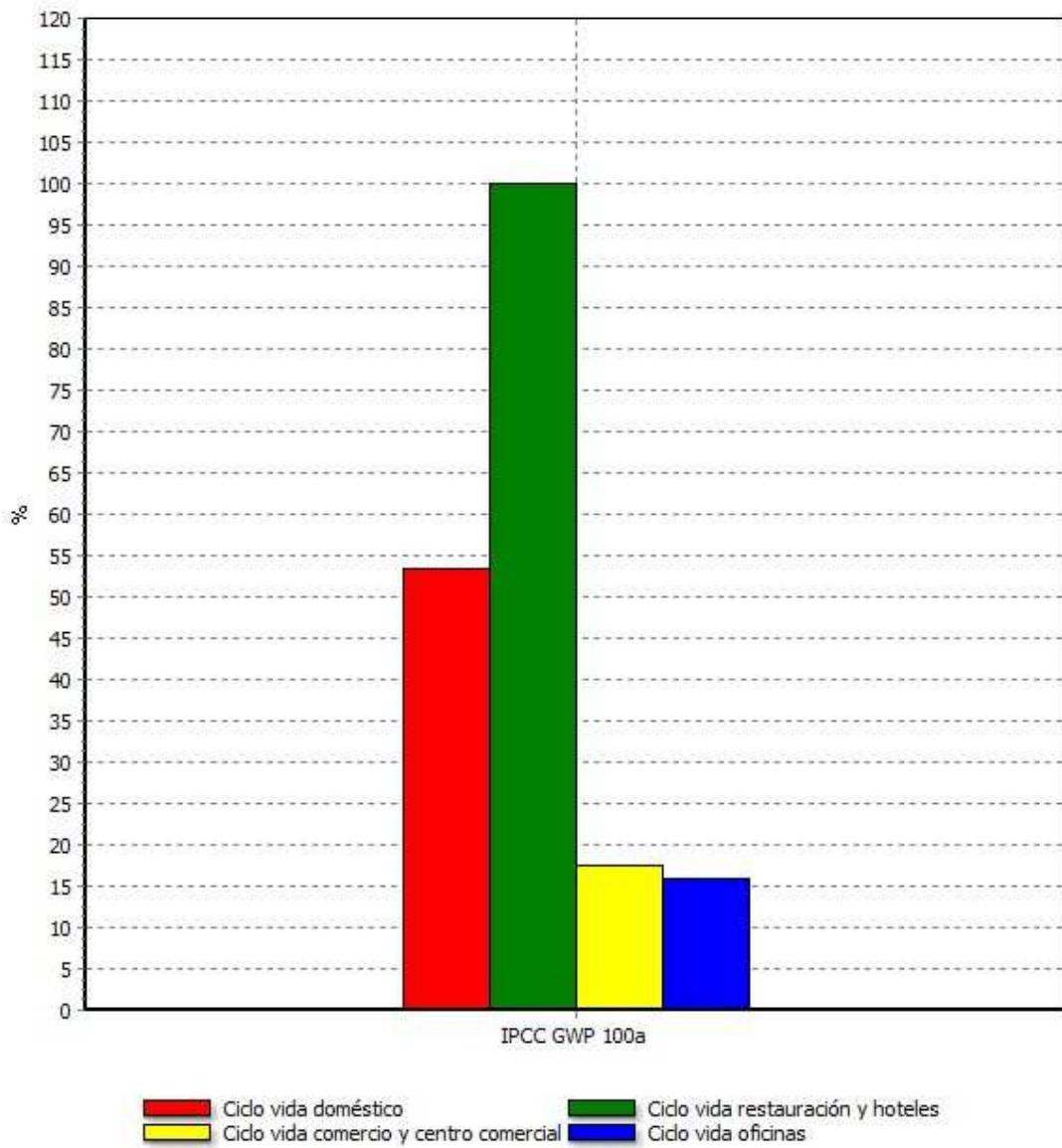
Eco 99. Tabla puntuación única. Comparativa Doméstico / Comercial

Ocurre lo mismo que en el caso anterior, el uso en restauración y hoteles es superior al resto, seguido por el doméstico. La mayor contribución a la puntuación total es la categoría de impacto Fossil fuels.

Tanto oficinas como comercios y centros comerciales son muy poco representativos. Hecho que se verá acentuado en el análisis del uso urbano total debido al poco consumo respecto a las otras categorías.

En este caso, los comercios y centros comerciales también destacan en la categoría Minerals, equivalente a Metal depletion en ReCiPe.

Por último, el análisis con IPCC 2007.



IPCC 2007. Gráfico. Comparativa Doméstico / Comercial

Como era de esperar, los resultados obtenidos siguen la misma tendencia que los estudios anteriores.

La explicación a que el uso en restauración y hoteles sea tan elevado es por el gran consumo eléctrico que conlleva, y porque la mayor parte del agua consumida es utilizada en electrodomésticos de tamaño considerable (se han tenido en cuenta lavadoras y lavavajillas industriales).

6.4.5. Uso urbano

En este análisis final se han juntado todos los usos urbanos, ponderados por sus consumos de agua según los datos del Ayuntamiento de Zaragoza (Anexo 1). Al ser el uso doméstico el más pesado de todos es entendible que éste sea el que mayor impacto genere. La unidad funcional es 1m³ de agua para el total del uso urbano, repartido según la distribución de consumos.

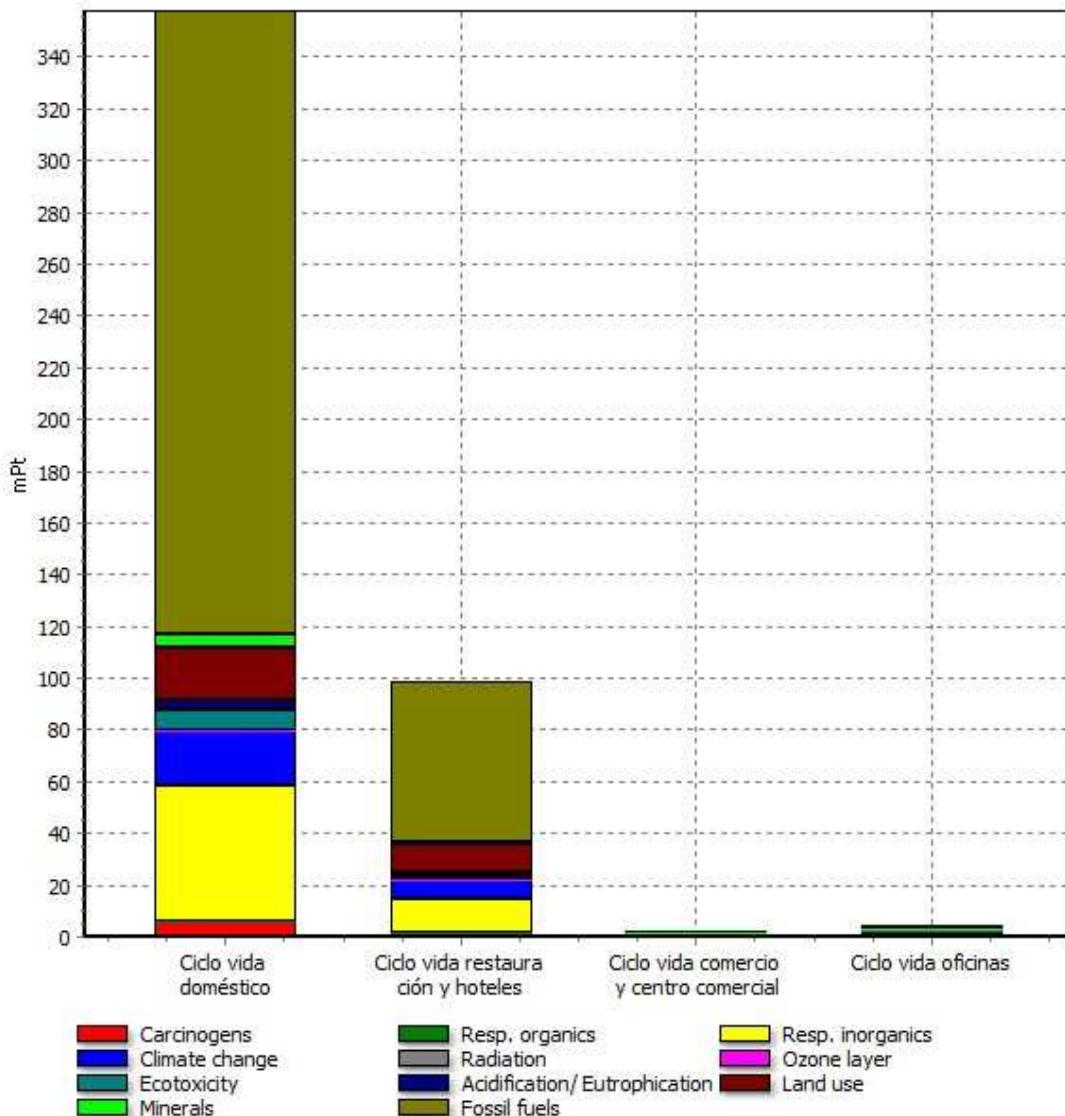


Analizando 1 p 'Ciclo vida urbano'; Método: ReCiPe Midpoint (H) V1.04 / Europe ReCiPe H / Caracterización / Excluyendo

ReCiPe. Gráfico caracterización. Uso urbano

Al haber tanta diferencia en los consumos de agua, el uso doméstico destaca en todas las categorías, muy por encima del resto de usos comerciales.

Cabe destacar que, a pesar de la poca cantidad de agua en comercios y centros comerciales (~2% del total), sigue manteniendo una representación destacable en la categoría Metal depletion por las causas anteriormente citadas.



Analizando 1 p 'Ciclo vida urbano'; Método: Eco-indicator 99 (H) V2.07 / Europe EI 99 H/A / Puntuación única / Excluyen

Eco 99. Gráfico puntuación única. Uso urbano

En el gráfico de puntuación única de Eco 99 se observa la mínima relevancia que tienen en el impacto total del uso urbano los dedicados a comercios y oficinas. Otro comentario derivado del gráfico es que, a pesar del alto consumo eléctrico en el uso de restauración y hoteles evidenciado en el análisis anterior, al ponderarlo por el agua dedicada a este tipo de negocios (~15% del total), su contribución se ve muy reducida.

Categoría de impacto	Unidad	Total	Doméstico	Restauración y hoteles	Comercio y centro comercial	Oficinas
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	5,32	3,84	1,39	0,03	0,06

IPCC 2007. Tabla. Uso urbano

Con el análisis mediante IPCC se puede afirmar que la huella generada por el uso urbano de agua en la ciudad de Zaragoza es de 5.3 kg CO₂ equivalente por metro cúbico de agua.

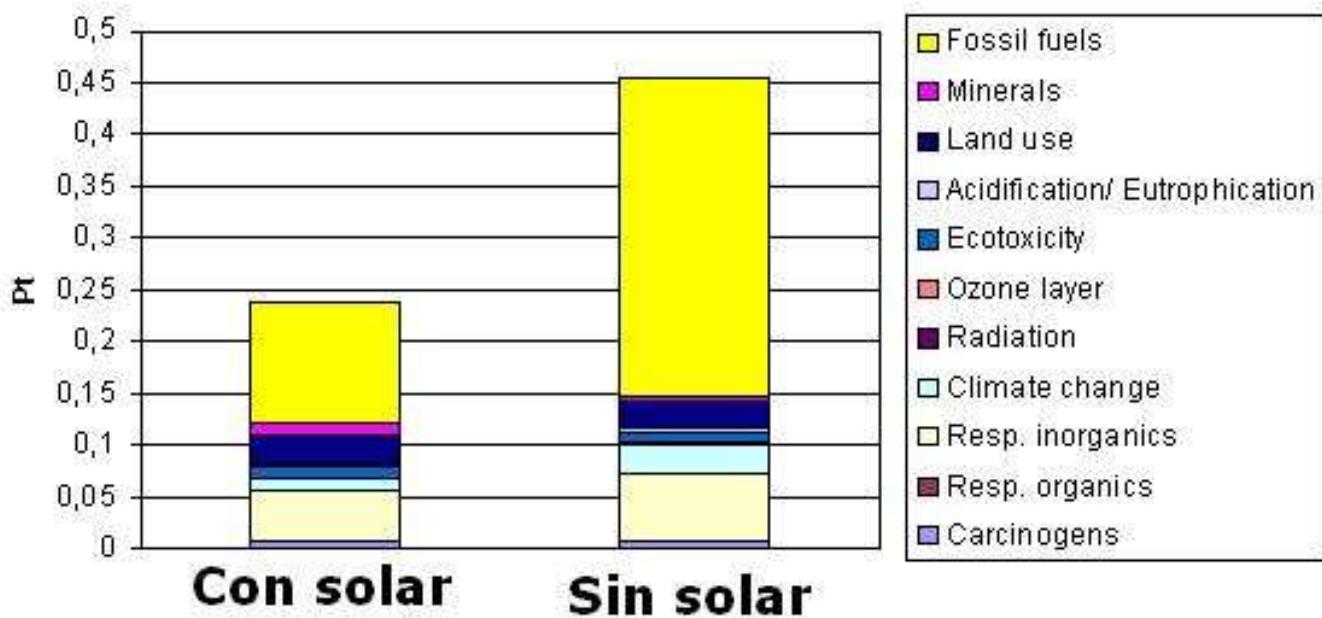
6.4.6. Estudio solar térmica

Este estudio complementario analiza los cambios en el impacto del uso doméstico si el 70%, contribución solar mínima para la zona IV (Zaragoza), del consumo energético para ACS fuese obtenido mediante energía solar térmica.

La única variación que se ha realizado es reducir el consumo de combustibles dedicado a ACS un 70%, y se ha añadido el proceso tipo de la base de datos de SimaPro de generación de calor mediante una instalación solar (Flat Plate Collector).

Los resultados son muy clarificadores.

Comparativa doméstico solar



Eco 99. Gráfico puntuación única. Estudio solar térmica

Con la instalación de sistemas de energía solar térmica se produce una reducción total de más del 50% en el uso doméstico.

Categoría de impacto	Unidad	Con solar	Sin solar
Total	Pt	0,239	0,455
Carcinogens	Pt	0,008	0,008
Resp. organics	Pt	0,000	0,000
Resp. inorganics	Pt	0,049	0,067
Climate change	Pt	0,013	0,026
Radiation	Pt	0,000	0,000
Ozone layer	Pt	0,000	0,000
Ecotoxicity	Pt	0,012	0,010
Acidification/ Eutrophication	Pt	0,003	0,005
Land use	Pt	0,025	0,026
Minerals	Pt	0,011	0,007
Fossil fuels	Pt	0,118	0,306

Eco 99. Tabla puntuación única. Estudio solar térmica

La mayor parte proviene del consumo de combustible en la categoría Fossil fuels, ya que se reduce algo más de un 60%.

Por otro lado, se observa un incremento considerable de la categoría de impacto Minerals debido a la instalación de estos sistemas (colectores, depósitos, conducciones, etc...) y porque se han conservado las tecnologías de ACS originales, manteniéndolas como apoyo auxiliar a la solar. Aunque ese aumento es despreciable frente al consumo energético.

Categoría de impacto	Unidad	Sin solar	Con solar
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	4,88	2,32

IPCC 2007. Tabla. Estudio solar térmica

La huella de CO₂ se reduce casi un 50% con el uso de la energía solar.

Como conclusión de este estudio complementario se puede decir que la instalación de estos sistemas es muy recomendable, pero los resultados de este estudio deben ser tomados como orientativos.

Esto se debe a varios factores. En primer lugar, conseguir, a lo largo de todo el año, una contribución solar del 70% es prácticamente imposible, por lo que habría que utilizar los sistemas auxiliares, sobretodo en época invernal, y la reducción del impacto no sería tan notable.

Por otro lado se encuentra el factor económico. Hay que tener en cuenta los gastos derivados de los colectores, la estructura y el resto de dispositivos de la instalación (acumulador, tuberías, vaso de expansión...), además del mantenimiento. Por ello, la rentabilidad de estos sistemas depende en gran medida del coste de la energía de los sistemas auxiliares (gas natural, electricidad,...).

7. Conclusiones

Como se ha comentado anteriormente, el ámbito de estudio es muy heterogéneo por ello se ha analizado información de muy diversas fuentes (Ayuntamiento de Zaragoza, INE, profesionales del sector,...). Como consecuencia de esta cantidad de información se ha realizado una manipulación profunda de estos para conseguir datos contrastados y válidos.

Otro aspecto a destacar es el hecho de haber realizado comparaciones sucesivas, modificando la unidad funcional, en todas las fases y partes del estudio para asegurar la coherencia y validez de los resultados.

Como resultado de todo este trabajo se listan a continuación las conclusiones más importantes extraídas de este proyecto:

- El urbano es el uso que mayor impacto genera de entre todos los consumos de agua en Zaragoza (urbano, industrial y parques y jardines). Dentro del ciclo integral del agua, esta fase también es la más impactante, por encima de procesos de potabilización o depuración de aguas.
- De todos los estudios realizados se desprende que, aún en un ámbito con tal cantidad de materiales como es el de una ciudad de tamaño medio, la operación (consumos de combustible, eléctricos,...) son, con diferencia, los que crean la mayor huella medioambiental.
- De la comparativa de las distintas tecnologías de generación de ACS, se observa que las más respetuosas con el medioambiente son las que utilizan como combustible el gas natural, tanto las individuales como las comunitarias.
- Éstas últimas deberían ser la opción de futuro, ya que, observando los resultados del estudio individual/comunitario, al ser comunitarias el impacto es menor y al utilizar gas natural la quema es menos “sucia”.
- Sobre el termo eléctrico cabe decir que, gracias a la creciente participación de las energías renovables en la producción eléctrica española, esta tecnología también es una opción muy válida, aunque lo será aún más conforme el porcentaje de este tipo de energías limpias aumente.
- En referencia al gran impacto generado por el consumo eléctrico de restauración y hoteles, la única recomendación sería hacer un uso responsable de los electrodomésticos, siguiendo los consejos que distintas instituciones (IDAE,...) proponen.
- Otro aspecto a incentivar sería la instalación de sistemas de solar térmica para generación de ACS. Como se observa en el estudio realizado, el impacto, en el hipotético caso de que todas las viviendas de la ciudad tuvieran este tipo de sistemas, se reduce casi un 50%.

- Como comentario final, el impacto de todo el uso urbano es elevado, pero hay que tener en cuenta que Zaragoza es una ciudad de tamaño considerable. Con este proyecto se han llegado a unas conclusiones que permitirían reducir esa huella medioambiental en el futuro.

Referencias

- [1] “Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). Con una bibliografía selecta”.
Autor: Jairo Raúl Chacón Vargas.
Publicado por: Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 72.
Fecha: Octubre - Diciembre de 2008.
- [2] “Life-Cycle Assessment (LCA). What it is, How to perform one”.
Autor: Thayer School of Engineering at Dartmouth.
- [3] “Life Cycle Assessment: Principles, practice and prospects”.
Autores: Ralph Horne, Tim Grant y Karli Verghese.
Publicado por: CSHIRO Publishing.
Fecha: 2009.
- [4] “SimaPro 7. Introduction into LCA”.
Autor: PRé Consultants.
Fecha: Noviembre de 2010.
- [5] “Life Cycle Assessment: Principles and practice”.
Autor: Scientific Applications International Corporation (SAIC).
Publicado por: National Risk Management Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency.
Fecha: Mayo de 2006.
- [6] “Note on Life Cycle Analysis”.
Autor: National Pollution Prevention Center for Higher Education. University of Michigan.
Fecha: Marzo de 1995.
- [7] “El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental”.
Autor: Blanca Iris Romero Rodríguez.
Publicado por: Boletín IIE.
Fecha: Julio - Septiembre de 2003
- [8] “Análisis del Ciclo de Vida (ACV)”.
Autor: Ecoil.
- [9] “Análisis del ciclo de vida”.
Autores: Natalia Rieznik Lamana y Agustín Hernández Aja.
<http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html>
Fecha: Julio de 2005.
- [10] ISO 14000 Information zone
<http://www.iso-14001.org.uk/>

- [11] Internacional Organization for Standardization. ISO.
<http://www.iso.org>
- [12] “Eco-reps. Water”.
Autor: Carnegie Mellon University.
http://www.cmu.edu/eco-reps/files/manual/03_water.pdf
- [13] “El ciclo del agua: The water cycle”.
Autor: U.S. Geological Survey.
<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclesspanish.html>
- [14] Aquagest.
<http://www.aquagest.es/ESP/home.asp>
- [15] “El ciclo integral del agua”.
Autor: Diario “La Razón”.
Fecha: 27 de Agosto de 2006.
- [16] “Database Manual. Methods library”.
Autor: PRÉ Consultants.
Fecha: Mayo de 2008.
- [17] “ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level”.
Autor: Mark Goedkoop, Reinout Heijungs, Mark Huijbregts, An De Schryver, Jaap Struijs, Rosalie van Zelm.
Fecha: 6 de Enero de 2009.
- [18] ReCiPe.
<http://www.lcia-recipe.net/>
- [19] “Eco-indicator 99 impact assessment method for LCA”.
Autor: Pré.
<http://www.pre-sustainability.com/content/eco-indicator-99>
- [20] “Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods”.
Autor: Ecoinvent Centre. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
Fecha: Diciembre de 2007.
- [21] “Life cycle analysis of water cycle in cities: an environmental analysis tool to take into account”.
Autores: J. Uche, A. Martínez, C. Castellano, V. Subiela.
Fecha:
- [22] Canal Imperial de Aragón
<http://www.canalimperial.com/>

- [23] “Life cycle analysis of the integral water cycle in a city: a guide for a sustainable planning”
Autores: Uche, J. and Martínez, A.
Fecha: 7th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment System- SDEWES Conference, July 1 - 7, 2012, Ohrid, Republic of Macedonia.
- [24] “Planta potabilizadora de agua de Casablanca”.
Autor: Ayuntamiento de Zaragoza. Ciclo integral del agua.
- [25] “Estación depuradora de aguas residuales de La Almozara”.
Autor: Ayuntamiento de Zaragoza. Ciclo integral del agua.
- [26] “Depuradora de aguas residuales de La Cartuja”.
Autor: Ayuntamiento de Zaragoza. Área de infraestructuras.
- [27] “Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa: The Rosslyn industrial area as a case study”.
Autores: Landu Landu y Alan C Brent.
Año: 2006.
- [28] “Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems”.
Autores: Jennifer Stokes y Arpad Horvath.
Año: 2005.
- [29] “LCA of Drinking and Wastewater Treatment Systems of Bologna City: Final Results”.
Autores: Mario Tarantini y Federica Ferri.
Año: 2001.
- [30] “Comparative environmental LCA on water treatment plants”.
Autores: Christian Bouchard, Alexandre Bonton, Stéphane Jedrzejak Benoît Barbeau.
Año: 2009.
- [31] “Enviromental impact of using different energy sources for family house heating”.
Autores: Marcin Bukowski, Henryk Manteuffel Szoegge.
Año: 2010.
- [32] “Análisis de Ciclo de Vida del uso del agua en parques y jardines de Zaragoza”.
Autor: Ana Iris Escudero Oriol.
Fecha: Febrero de 2012.
- [33] “Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States”.
Autores: Viral P. Shah, David Col Debella, Robert J. Ries.
Fecha: Abril de 2007.

-
- [34] Home Appliance Recycling. Panasonic Eco Technology Center
<http://panasonic.net/eco/petec/material/>
 - [35] “Estudio preliminar del análisis de ciclo de vida del ciclo integral del agua urbana en Zaragoza”.
Autor: Félix Sáez-Benito Díaz.
Año: 2011.

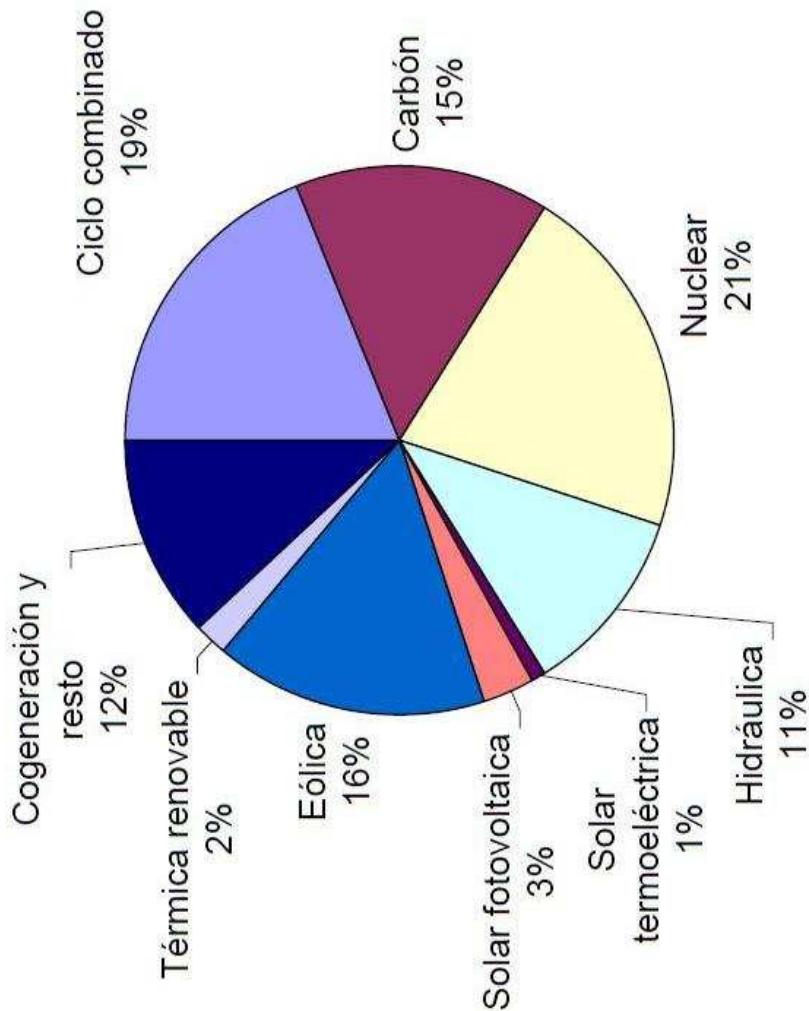
ANEXO 1

USO	COMPARATIVA INTERANUAL TOTAL CONSUMO ABASTECIMIENTO										TOTAL CONSUMO ABASTECIMIENTO					
	CONSUMO TRAMO 1			CONSUMO TRAMO 2			CONSUMO TRAMO 3			AÑO ANTERIOR	AÑO ANTO	DIFERENCIA	INCREMENTO S. ANO			
	AÑO AÑO ACTUAL	AÑO AÑO ANTERIOR	DIFERENCIA	AÑO AÑO ACTUAL	AÑO AÑO ANTERIOR	DIFERENCIA	AÑO AÑO ACTUAL	AÑO AÑO ANTERIOR	DIFERENCIA							
DOMESTICO	15.283.754	15.689.270	+615.516	5.944.072	6.331.604	+387.532	422.287	435.942	-13.655	-3.13%	21.650.113	22.666.816	-1.016.703	-4.49%		
COMERCIAL	988.432	1.051.803	-53.371	5.071	5.393	+322	5.017.200	5.275.543	-258.343	-4.90%	6.883.282	7.248.589	-365.307	-5.04%		
INDUSTRIAL	31.360	35.469	-4.099	-11.53%	33.268	-3.612	-9.79%	828.032	869.308	-41.276	-4.75%	892.680	941.667	-49.977	-5.20%	
OBRAIS	5.577	8.069	-2.492	-30.48%	6.825	-10.480	-3.635	34.75%	37.968	-55.217	-31.42%	50.270	73.746	-23.476	-31.83%	
RIEGOS	10.665	12.274	-1.609	-13.17%	16.130	18.753	-2.623	-13.99%	199.148	256.892	-57.544	-22.42%	225.943	287.719	-61.776	-21.47%
CLUB	1.666	1.790	-104	-5.47%	3.268	3.421	-133	-3.89%	365.153	314.183	40.970	-13.04%	360.127	319.394	40.733	-12.75%
REFRIGERACIO	117	145	-28	-19.31%	222	233	-11	-4.72%	921	1.233	312	-25.36%	1.260	1.611	-351.00	-21.79%
INCENCIOS	4.602	4.639	-37	-0.80%	3.192	3.562	-370	-10.39%	11.018	30.944	-19.926	-64.39%	18.812	39.145	-20.333	-51.94%
LIMPIEZA	0	0	0	0	35.750	37.009	-1.259	-3.46%	13.205	15.405	-2.544	-4.64%	50.299	50.299	-1.344.00	-2.67%
TOTALIZADOR	868.741	891.998	-3.257	-4.37%	846.943	890.757	-43.814	-4.92%	155.405	158.349	-2.944	-1.46%	1.891.089	1.941.104	-50.015.500	-2.58%
AG.CALIENTE	0	0	0	0	1.738.485	1.805.305	-66.820	-3.70%	84.924	51.768	33.056	63.85%	1.823.309	1.867.073	-33.764.00	-1.82%
GARAJE	0	0	0	0	4.910	6.407	-1.497	-23.37%	3.289	6.087	-2.708	-45.97%	8.199	12.484	-4.295.00	-34.38%
SERV./COMUNES	0	0	0	0	39.883	39.170	713	1.82%	163.436	140.269	23.167	16.52%	203.319	179.439	23.880	13.31%
REC.DURNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
CHALET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
CONTENEDOR	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	73.130	83.790	-10.660	-12.72%	73.819	84.477	-10.658.00	-12.62%
HOSPITAL	224	222	2	0.90%	465	465	0	0.00%	28.786	28.958	-72	-4.25%	44.579	45.313	-734.00	-1.62%
MERCADO	8.264	8.741	-477	-5.46%	7.529	7.714	-145	-2.46%	0	0	0	0	31.916	35.549	-3.633.00	-10.22%
CALLEJA AG.	31.867	35.302	-3.433	-9.13%	49	247	-198	-80.16%	0	0	0	0	0	0	0	0.00
CALLEJA CAL.	0	0	0	0	304	207	157	75.85%	11	0	0	0	375	207	168.00	81.16%
ESCORIAS	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
TOT.BASURAS	13.224	13.607	-383	-2.91%	21.640	24.447	-2.807	-11.48%	279.328	341.461	-62.133	-18.20%	314.192	379.515	-65.323.00	-17.21%
CONF.TOTAL.	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
ATA.ESP.	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
DOMEST.ESP	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	56.957	75.093	-18.136	-24.15%	58.928	77.988	-18.160.00	-23.28%
TOTAL.DIFER.	1.009	1.018	-9	-0.88%	1.862	1.877	-15	-0.80%	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
UNIVER.ZGOZA	2.281	2.210	71	3.21%	4.708	3.13	7.12%	187.362	206.432	-19.070	-9.02%	194.351	213.037	-18.686.00	-8.77%	
OTROS USOS	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00

Cortesía de D. Joaquín García Lucea, Jefe de la Unidad de Tasas y Precios Públicos del Área de Hacienda y Economía del Ayuntamiento de Zaragoza.

ANEXO 2

Distribución de la cobertura (%) de la demanda eléctrica en España, año 2.011



ANEXO 3

Estos factores de ponderación se utilizan en el software SimaPro para contabilizar la amortización de los materiales y su vida útil, en este caso de estudio, en relación al consumo de agua respectivo.

Montaje	Tecnologías	Indiv./Com.	Dom./Comercial	Urbano
Caldera individual < 2001	8,79793E-08	4,61891E-08	3,94252E-08	3,10099E-08
Termo eléctrico < 2001	2,63938E-07	4,61891E-08	3,94252E-08	3,10099E-08
Caldera individual > 2001	2,05285E-07	4,61891E-08	3,94252E-08	3,10099E-08
Termo eléctrico > 2001	6,15855E-07	4,61891E-08	3,94252E-08	3,10099E-08
Caldera com. gas < 2001	5,12805E-07	2,69223E-07	3,94252E-08	3,10099E-08
Caldera com. gasoil < 2001	1,53842E-06	2,69223E-07	3,94252E-08	3,10099E-08
Caldera com. gas > 2001	1,19655E-06	2,69223E-07	3,94252E-08	3,10099E-08
Caldera com. gasoil > 2001	3,58964E-06	2,69223E-07	3,94252E-08	3,10099E-08
Rest. / Hoteles	-	-	2,0462E-07	3,10099E-08
Comercios / Centro com.	-	-	1,68869E-06	3,10099E-08
Oficinas	-	-	7,12251E-07	3,10099E-08

Para la operación, los siguientes factores se utilizan para poder realizar las diferentes comparaciones de manera correcta. Al igual que en el montaje, también están relacionados con sus consumos de agua correspondientes.

Operación	Tecnologías	Indiv./Com.	Dom./Comercial	Urbano
Caldera individual < 2001	1	0,75	0,6375	0,5017
Termo eléctrico < 2001	1	0,25	0,2125	0,1672
Caldera individual > 2001	1	0,75	0,6375	0,5017
Termo eléctrico > 2001	1	0,25	0,2125	0,1672
Caldera com. gas < 2001	1	0,75	0,1125	0,0885
Caldera com. gasoil < 2001	1	0,25	0,0375	0,0295
Caldera com. gas > 2001	1	0,75	0,1125	0,0885
Caldera com. gasoil > 2001	1	0,25	0,0375	0,0295
Rest. / Hoteles	-	-	1	0,152
Comercios / Centro com.	-	-	1	0,0184
Oficinas	-	-	1	0,044