



Universidad de Cantabria
Escuela Politécnica de Minas y Energía



Hacia un nuevo enfoque de certificación energética de edificios mediante Análisis de Ciclo de Vida

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS.

JUNIO 2017



Autora: Marta Rodrigo Sarabia

Directores: Rubén Aldaco García, Jara Laso

Codirector: Mario Mañana

Coordinador: Raúl Husillos Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mis padres, porque sin su ayuda no habría llegado donde estoy; a Sara por ser una hermana pequeña estupenda; a los abuelos, los que están y los que ya no, porque me habría encantado celebrar esta etapa completa con los cuatro; a mis tíos y tías por hacer siempre de guía cuando no quería escuchar la charla en casa y a mis primos por la charla que les espera.

A Rubén Aldaco, por acogerme y dejarme formar parte del estudio y a Jara Laso por vuestro tiempo y dedicación, y por estar siempre que he preguntado y he dudado, por ayudarme tanto y darme siempre el empujón que me hacía falta.

A la Universidad de Cantabria, en especial al Vicerrector Mario Mañana por facilitar los datos del inventario del trabajo y a la Escuela de Minas, a Marisa y Pilar, por la ayuda y el apoyo mostrados.

A mis compañeros y amigos de carrera y a los amigos de toda la vida, por compartir los buenos y los malos momentos y por crecer juntos durante todo este tiempo, tanto en los estudios como en la vida, han sido muchas horas de vuelo que han merecido y merecerán la pena.

Y a Ángel, por ser familia, amigo y compañero y por tener la paciencia infinita para saber calmar mis nervios y mis agobios durante este año, y por hacerme recuperar la alegría que había olvidado.

Gracias por todo lo que hacéis por mí y por estar ahí hasta cuando ni yo tengo ganas de estar conmigo.

INDICE

DIFUSIÓN DE RESULTADOS.....	vi
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ESTADO DEL ARTE	6
2.1 ¿QUÉ ES LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS?	6
2.1.1 MARCO LEGAL.....	6
2.1.2 PROCEDIMIENTO BÁSICO PARA LA CERTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS	8
2.1.3 PROGRAMAS ACTUALES DE CERTIFICACION ENERGÉTICA.	9
2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE EDIFICIOS.	10
2.2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV): QUÉ ES, PARA QUÉ SIRVE, FASES.	10
2.2.2 ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CICLO DE VIDA (AECV):.....	12
2.2.3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LAS EMISIONES DE CARBONO (ACVECO ₂):	14
Revisión bibliográfica.....	14
3. OBJETIVO Y ALCANCE.....	17
4. METODOLOGÍA.....	19
4.1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV	19
4.1.1 UNIDAD FUNCIONAL	19
4.1.2 LIMITES DEL SISTEMA.....	19
4.1.3 CONSIDERACIONES	20
4.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO.....	21
4.3 ANÁLISIS DE IMPACTOS DE CICLO DE VIDA	25
5. RESULTADOS	27
5.1 RESULTADOS GENERALES	27
5.2 RESULTADOS POR EDIFICIO	31
6. CONCLUSIONES	35
7. BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXO	42

ÍNDICE DE FIGURAS

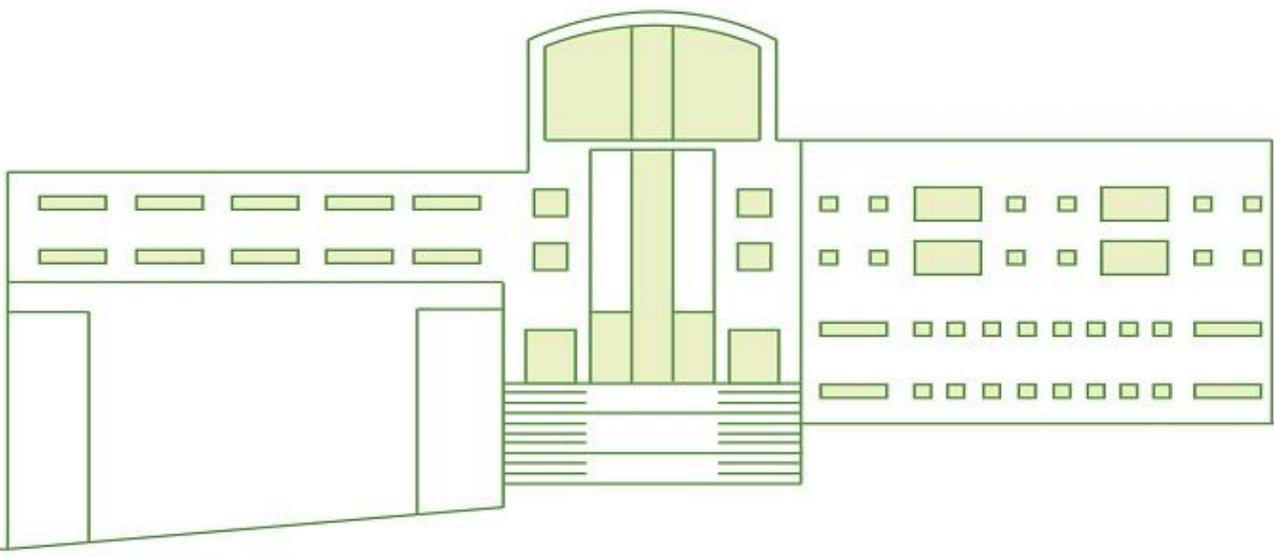
Figura 1: Aumento de la temperatura global y las emisiones de CO ₂ en la última década. en verde claro: aumento anual de temperatura superficial global; en verde oscuro: aumento de nivel atmosférico de CO ₂ (ppm) (Fuente: NASA, 2016).....	3
Figura 2: Porcentajes de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmosfera según actividades cotidianas en España. (fuente: MAPAMA, 2015).....	3
Figura 3: Modelo de etiqueta de eficiencia energética. (Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital, 2012)	7
Figura 4: Ámbito de aplicación del Procedimiento Básico (Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital, 2012)	8
Figura 5: Información incluida en los certificados de eficiencia energética (Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital, 2012)	9
Figura 6: Etapas del ACV según la norma ISO 14040 (2006).	11
Figura 7: Ciclo de vida de un edificio. (Fuente: UNAM, 2017)	13
Figura 8: Ciclo de vida de un edificio. fuente: Cuellar-Franca y Azapagic (2012)	19
Figura 9: Gráfico de flujos de entrada y salida considerados en esta metodología	20
Figura 10: Energía primaria (EP) (MJ) y calentamiento global (CG) (kg CO ₂ equivalente) total de los edificios estudiados en 2015.....	27
Figura 11: Energía primaria (EP) (MJ) consumida por los edificios estudiados durante el 2015.....	28
Figura 12: Calentamiento global (CG) (kg CO ₂ equivalente) producido por todos los edificios estudiados durante el 2015.....	28
Figura 13: Energía primaria (EP) (MJ) total consumida desglosada en los diferentes flujos considerados.	29
Figura 14: Energía primaria (EP) (MJ) empleada para el uso y tratamiento del agua [A] y papel [B] en todos los edificios estudiados.	29
Figura 15: Calentamiento global (CG) (kg CO ₂ equivalente) total producido desglosado en los diferentes flujos considerados.....	30
Figura 16: Calentamiento global (CG) (kg CO ₂ equivalente) producido en el uso y tratamiento de agua [A] y papel [B] en todos los edificios estudiados.	31
Figura 17: Energía primaria (EP)(MJ) total consumida en los diferentes edificios estudiados.	32
Figura 18: Calentamiento global (CG) (kg CO ₂ equivalente) total producido por todos los edificios estudiados	33
Figura 19: Energía primaria (EP) (MJ) y calentamiento global (CG) (kg CO ₂ equivalente) del edificio de Minas.	33
Figura 20: Energía primaria (EP) (MJ) empleada para el uso y tratamiento del agua [A] y papel [B] en el edificio de Minas.	34
Figura 21: Calentamiento global (CG) (kg CO ₂ equivalente) producido en el uso y tratamiento de agua [A] y papel [B] en el edificio de Minas.	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características generales de los edificios pertenecientes a la Universidad de Cantabria, 2015	20
Tabla 2: Inventario de ciclo de vida por unidad funcional del edificio de Caminos	22
Tabla 3: Inventario de ciclo de vida por unidad funcional del edificio de Ciencias	22
Tabla 4: Inventario de ciclo de vida por unidad funcional del edificio de Derecho	23
Tabla 5: Inventario de ciclo de vida por unidad funcional del edificio de Industriales	23
Tabla 6: Inventario de ciclo de vida por unidad funcional del edificio Interfacultativo	24
Tabla 7: Inventario de ciclo de vida por unidad funcional del edificio de Medicina	24
Tabla 8: Inventario de ciclo de vida por unidad funcional del edificio de Minas.....	24



Difusión



DIFUSIÓN DE RESULTADOS

El actual interés de la temática que se desarrolla en este Trabajo Fin de Grado ha hecho posible que este estudio se presentara en la “12th Biennial International Conference on EcoBalance”, que tuvo lugar del 3 al 6 de octubre de 2016 en Kioto, Japón.

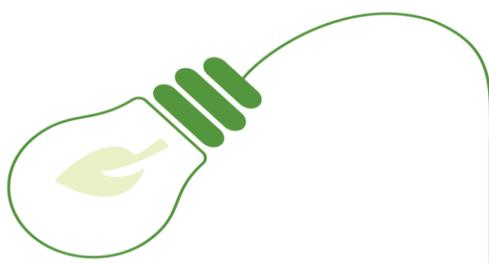
Esta conferencia se celebra en Japón desde 1994 cada dos años y es considerada como una de las conferencias más importantes del mundo para los profesionales académicos, de la industria y de la administración.

EcoBalance sirve como foro de debate sobre la evaluación del desempeño ambiental, la divulgación de información sobre los resultados de la evaluación, y el desarrollo e implementación de los distintos métodos discutidos en el contexto del pensamiento de ciclo de vida.

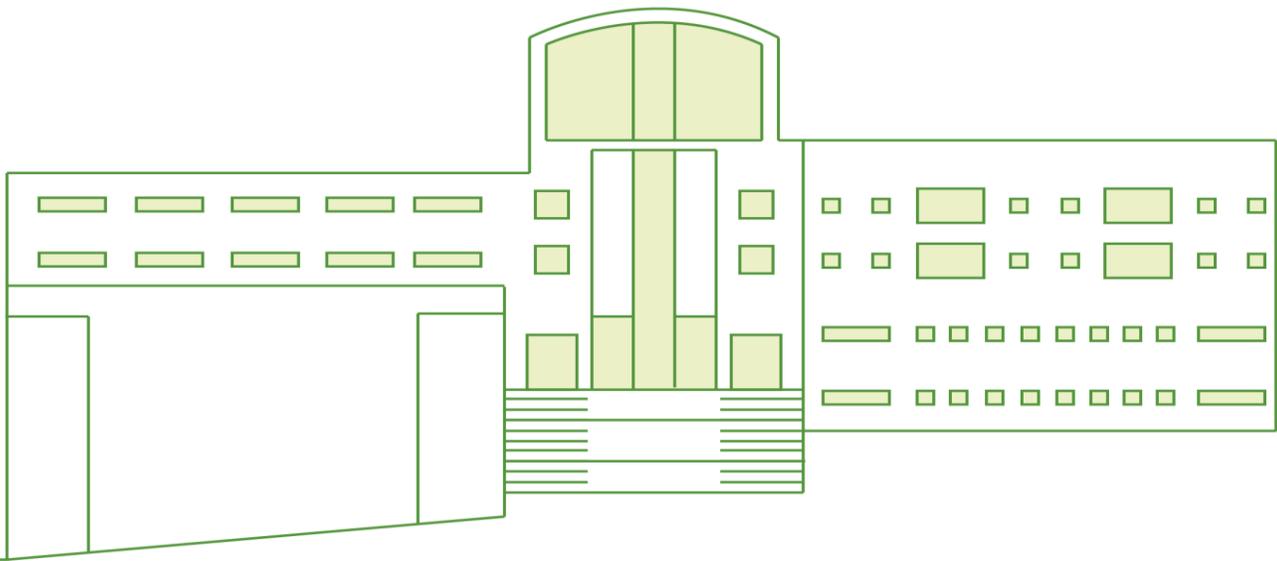
El tema principal de la conferencia EcoBalance 2016 fue “Cadenas de Valor Responsables para la Sostenibilidad”, y se presentaron estudios relacionados con inversiones comprometidas con la sostenibilidad, contabilidad ambiental y divulgación de la información sobre sostenibilidad o sostenibilidad de la energía a lo largo de la cadena de suministro.

Para la participación en la Conferencia se presentó un abstract de acuerdo a las bases reguladoras del mismo, que se adjunta en el anexo del presente trabajo.

1



Introducción



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo se enfrenta a grandes problemas ambientales, tales como el calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono o la acumulación de residuos, entre otros. El término “Calentamiento Global” (CG) se refiere a un aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra. La comunidad científica asegura que hay más de un 90% de certeza de que este aumento de temperatura se debe al incremento de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) causadas por la actividad humana (Houghton JT, 2001).

Este CG provocado por el factor humano ha provocado la aceleración del Cambio Climático (CC), que es un proceso continuo de cambio del clima a lo largo del tiempo. Los efectos del CC son: erupciones volcánicas, cambios en la circulación oceánica, actividades tectónicas, cambios en las precipitaciones, humedad, presión del aire y dirección del viento (que dan lugar a tormentas e inundaciones más intensas, huracanes más violentos, cambios en los ecosistemas y modificaciones o desaparición de especies animales). Además, temperaturas más cálidas (a consecuencia del CG), que provocan, olas de calor más fuertes, derretimiento de los glaciares, aumento del nivel del mar, propagación de enfermedades, y como consecuencia final, alimentos más caros, ya que, debido a todos los anteriores cambios, se pone en peligro la producción de alimentos básicos (MAPAMA, 2017).

En las últimas décadas, las investigaciones sobre el CC prevén que continuará evolucionando. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de establecer estrategias de gestión sostenibles para reducir estos problemas que son la consecuencia de nuestro actual estilo de vida basado en una economía lineal (Galindo et al., 2015).

Los diez años más cálidos dentro de un registro de 134 años, se han producido todos a partir del año 2000, a excepción de 1998. La Figura 1 muestra la evolución de la temperatura y la concentración de CO₂ entre los años 2005-2015. El año 2015 se sitúa como el más cálido registrado. Por un lado, en color verde claro, se muestra el aumento anual de la temperatura superficial global en relación con las temperaturas promedio de 1951-1980. Por otro lado, en color verde oscuro, se muestra que los niveles atmosféricos de CO₂ alcanzaron un valor de 404,93 ppm en octubre de 2015 (NASA, 2016). Los pronósticos también alertan de que en 2099 las concentraciones de CO₂ en la atmósfera podrían llegar a ser de 900 partes por millón (Gaiaciencia, 2015).

El CO₂ se libera a la atmósfera a través de actividades humanas que implican consumos de energía, como la movilidad, alimentación, el consumo de bienes que suponen la deforestación y la quema de combustibles fósiles, así como en los procesos naturales de respiración o las erupciones volcánicas (Cook et al., 2016).

En 1998, dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se firmó el Protocolo de Kioto. Dicho documento promovido por la ONU es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero (GEI) (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbono, perfluorocarbono y hexafluorocarbono) al menos un 5%, tomando como referencia los

niveles de 1990, y así intentar evitar que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1,4 y 5,8°C de aquí a 2100.

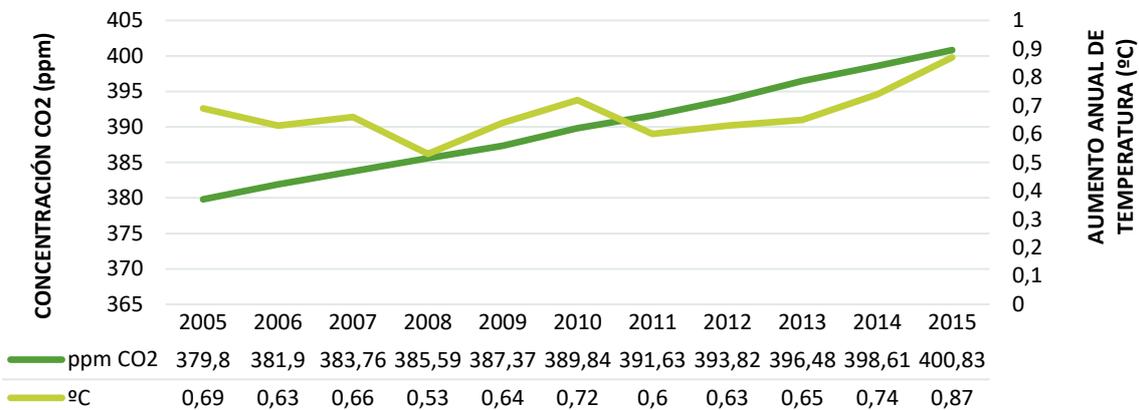


FIGURA 1: AUMENTO DE LA TEMPERATURA GLOBAL Y LAS EMISIONES DE CO₂ EN LA ÚLTIMA DÉCADA. EN VERDE CLARO: AUMENTO ANUAL DE TEMPERATURA SUPERFICIAL GLOBAL; EN VERDE OSCURO: AUMENTO DE NIVEL ATMOSFÉRICO DE CO₂ (PPM) (FUENTE: NASA, 2016).

Para conseguir la participación de la sociedad en el cuidado del medio ambiente, existe el concepto de Huella de Carbono, como medida para que las organizaciones sean socialmente responsables y es un elemento de concienciación para que los ciudadanos desarrollen prácticas más sostenibles. Es una iniciativa que pretende cuantificar las emisiones de GEI, medidas en emisiones de CO₂ equivalente, liberadas en actividades cotidianas o la comercialización de productos. Este análisis abarca todas las actividades de un ciclo de vida permitiendo a los consumidores evaluar los productos dependiendo de la contaminación que se genera en sus procesos de fabricación. (PAS 2050, 2011).

En 2015, más de tres cuartas partes de las emisiones de GEI globales se originaron en los procesos de generación de energía. Dentro de este grupo, la electricidad contribuyó con un 22% al total de las emisiones, seguido del transporte (25%), el sector residencial y de servicios (17%) y el de construcción, que contribuyó un 13% (Figura 2). Las emisiones derivadas del sector agrícola supusieron un 10%, mientras que los procesos industriales, y las actividades de gestión de residuos fueron las menos contribuyentes, con unos valores del 9% y el 4% respectivamente (MAPAMA, 2015).

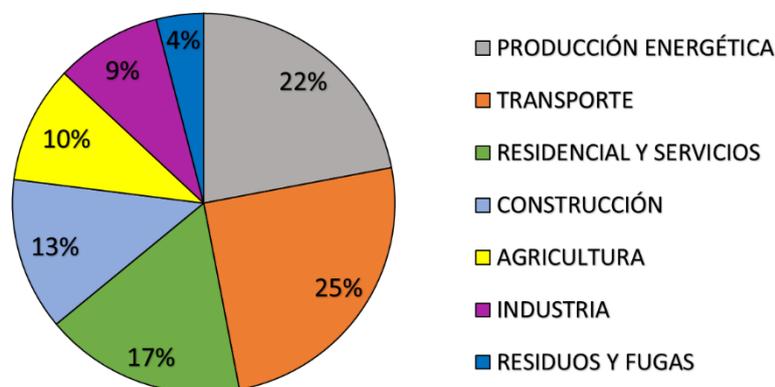


FIGURA 2: PORCENTAJES DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) A LA ATMOSFERA SEGÚN ACTIVIDADES COTIDIANAS EN ESPAÑA. (FUENTE: MAPAMA, 2015).

Desde la Revolución Industrial, el consumo energético mundial ha crecido de forma continuada. Empezó por el empleo del carbón, y en la actualidad sigue presente gracias al uso mayoritario de petróleo para los automóviles, aviones y el uso de la electricidad, producida en mayor escala a partir de fuentes fósiles y energía nuclear, y recientemente junto a fuentes renovables, como la eólica y la solar.

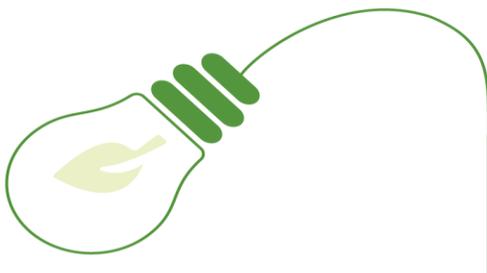
En particular, en el sector de la construcción, y de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los edificios (representados por el sector de la construcción y el residencial y de servicios) desempeñan un papel importante en el consumo de energía contribuyendo en más de un 40% al consumo global de energía, y representando más del 30% de las emisiones de GEI anuales. Además, también son los responsables de las emisiones de otros GEI como los halocarburos (CFCs y HCFCs) e hidrofluorocarbonos (HFCs).

Un edificio utiliza energía durante toda su vida útil, es decir, desde su construcción hasta su demolición. La demanda de dicha energía en el ciclo de vida de los edificios es tanto de forma directa como indirecta. La energía directa se utiliza para la construcción, operación, renovación y demolición; mientras que la energía indirecta es la consumida en la producción del material utilizado en su construcción y en las instalaciones técnicas. (Sartori y Hestnes, 2007). El periodo de vida útil de los edificios varía dependiendo de la utilidad que se les asigna. La amplia gama de períodos se debe a la variedad de edificios, materiales, vida considerada y condiciones geográficas y climáticas en las que se encuentran, y se establece un periodo medio de vida útil de 50 años (Zabalza y Valero, 2010).

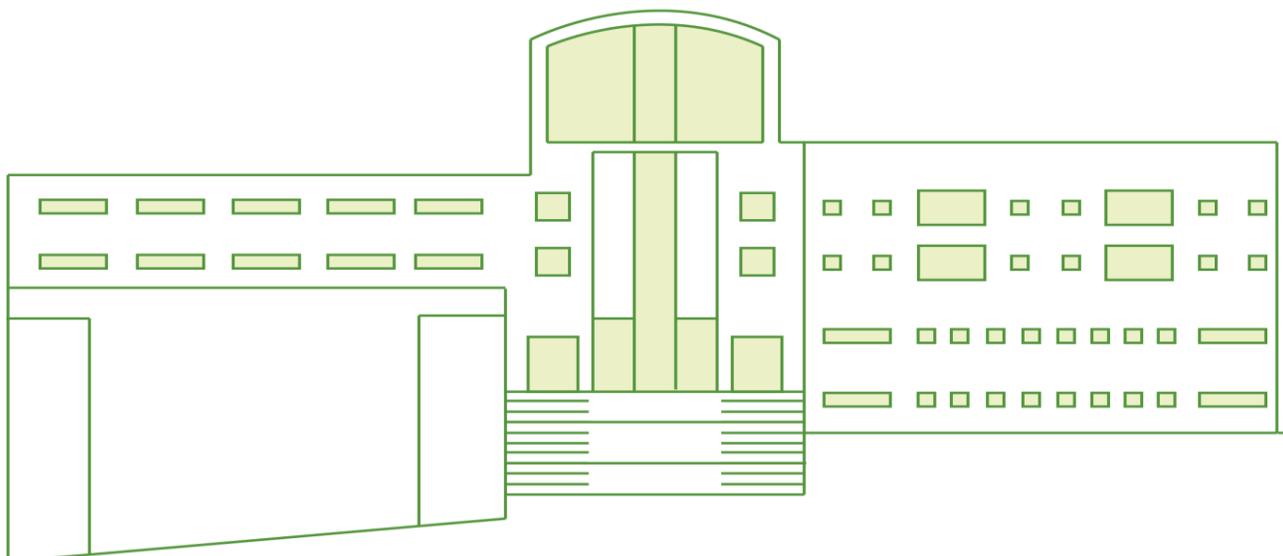
Desde junio de 2013, en España es obligatorio que todos los inmuebles que se vendan o alquilen dispongan de un certificado energético, donde se informa sobre el consumo energético y las emisiones de CO₂ que produce. Este certificado da lugar a una etiqueta energética, donde se resumen los datos del certificado, y se obtiene la calificación energética de dicho inmueble. Este certificado recoge el valor de energía primaria, medida en kWh/m²año, que se consume para alcanzar los niveles de confort, y el calentamiento global que produce, medido en kg CO₂/m²año.

En este contexto global, la motivación de este trabajo es el desarrollo de un modelo o metodología de certificación energética de edificios basado en la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV es un balance ambiental, una herramienta que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia (producción, uso y fin de vida). Esta metodología evalúa el impacto potencial sobre el ambiente mediante la cuantificación del uso de recursos (entradas y salidas) asociados con el sistema que se está estudiando. Los indicadores ambientales que se van a emplear en este estudio son la Energía Primaria (EP), medida en MJ y el CG, en kg CO₂ equivalente.

2



Estado del arte



2. ESTADO DEL ARTE

2.1 ¿QUÉ ES LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS?

El Real Decreto 235/2013 define la certificación energética como “una documentación suscrita por un técnico competente como resultado del proceso de certificación, que contiene información sobre las características energéticas y la calificación de eficiencia energética del proyecto, edificio terminado o parte del mismo o edificio existente o parte del mismo.”

2.1.1 MARCO LEGAL.

Los procesos de Certificación Energética de Edificios que se están aplicando como consecuencia de la Directiva 2002/91/CE, y las exigencias de Eficiencia Energética de la Directiva 2010/31/UE, se están incorporando en la legislación nacional española mediante el Real Decreto 235/2013 de 5 de abril.

Estas exigencias son un paso fundamental para mejorar la eficiencia energética, sin embargo, estos procesos de certificación no suelen tener en cuenta los aspectos relacionados con el ciclo de vida del edificio.

El Real Decreto 235/2013, establece la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado energético, que deberá incluir información objetiva sobre la eficiencia del edificio, y valores de referencia, como requisitos mínimos de funcionamiento con el fin de que los propietarios o arrendatarios del edificio o de una unidad de éste puedan comparar y evaluar su eficiencia energética.

Valorando y comparando la eficiencia energética de los edificios, se favorece la promoción de edificios sostenibles y las inversiones en ahorro de energía. Además, este Real Decreto contribuye a informar de las emisiones de CO₂ equivalente por el uso de la energía utilizada en el sector residencial, lo que facilita la adopción de medidas para reducir dichas emisiones y mejorar la calificación energética de los edificios. (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, 2012).

El Procedimiento Básico que debe cumplir la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética, considera aquellos factores que más importancia tienen en su consumo energético, así como las condiciones técnicas y administrativas. Además, a partir del 31 de diciembre de 2020, aquellos que se construyan deben ser de consumo de energía casi nulo, en los términos que se fijan en su momento a través del Código Técnico de la Edificación. Para el caso de edificios públicos, el plazo se adelanta dos años.

Por otro lado, en el Real Decreto 235/2013 también se regula la utilización del distintivo común en todo el territorio nacional, denominado Etiqueta de Eficiencia Energética. Esta etiqueta garantiza el cumplimiento de los requisitos indicados en las distintas comunidades autónomas. En el caso de los edificios que presten servicios públicos a un número

importante de personas y que sean frecuentados habitualmente, será obligatoria la exhibición de este distintivo de forma destacada.

Las etiquetas de eficiencia energética se distinguen entre las que llevan los edificios proyecto o los edificios terminados. Pero en ambas se refleja, como se observa en la Figura 3, los siguientes elementos: los datos del edificio (dirección, normativa en vigor en la construcción, tipo de edificio y uso y referencia catastral); la escala energética (en el lado de la izquierda) donde aparecen las letras de la A-G en diferentes colores siendo el rango de la A el más eficiente; los índices de calificación, donde se enfrentan la información del consumo de energía y las emisiones de CO₂; y el número de registro de la certificación.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EXISTENTE ETIQUETA

DATOS DEL EDIFICIO

Normativa vigente construcción / rehabilitación: Tipo de edificio:

Dirección:

Municipio:

Indicaciones catastrales: C/P:

C. Autónoma:

ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

	Consumo de energía kWh / m ² año	Emisiones kg CO ₂ / m ² año
A más eficiente		
B		
C		
D		
E		
F		
G menos eficiente		

REGISTRO:

Valida hasta:

BORRAR TODO

ESPAÑA
Directiva 2010/31 / UE

FIGURA 3: MODELO DE ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. (FUENTE: MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL, 2012)

Además, con la nueva Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana ya se determinan de forma clara las infracciones y sanciones en materia de certificación energética.



2.1.2 PROCEDIMIENTO BÁSICO PARA LA CERTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS

El objeto del Procedimiento básico es establecer las condiciones técnicas y administrativas para realizar las certificaciones de eficiencia energética de los edificios y la metodología de cálculo, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios, así como la aprobación de la etiqueta de eficiencia energética como distintivo común en todo el territorio nacional.

La finalidad de la aprobación de dicho Procedimiento básico es la promoción de la eficiencia energética, mediante la información objetiva que obligatoriamente se habrá de proporcionar a los compradores y usuarios en relación con las características energéticas de los edificios, materializada en forma de un certificado de eficiencia energética que permita valorar y comparar sus prestaciones.

Además de la definición expuesta al principio de este epígrafe, en el nombrado Procedimiento Básico se establecen también la definición de “Eficiencia Energética de un edificio”, que es el consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, que incluirá, entre otras cosas, la energía consumida en calefacción, la refrigeración, la ventilación, la producción de agua caliente sanitaria y la iluminación.

En la Figura 4 se muestran diferentes tipos de construcciones divididas en dos grupos: las que requieren la realización del Procedimiento básico y las que no tienen la obligación de hacerlo. El responsable de encargar la realización de la certificación de eficiencia energética del edificio y de conservar la correspondiente documentación es el promotor o propietario.

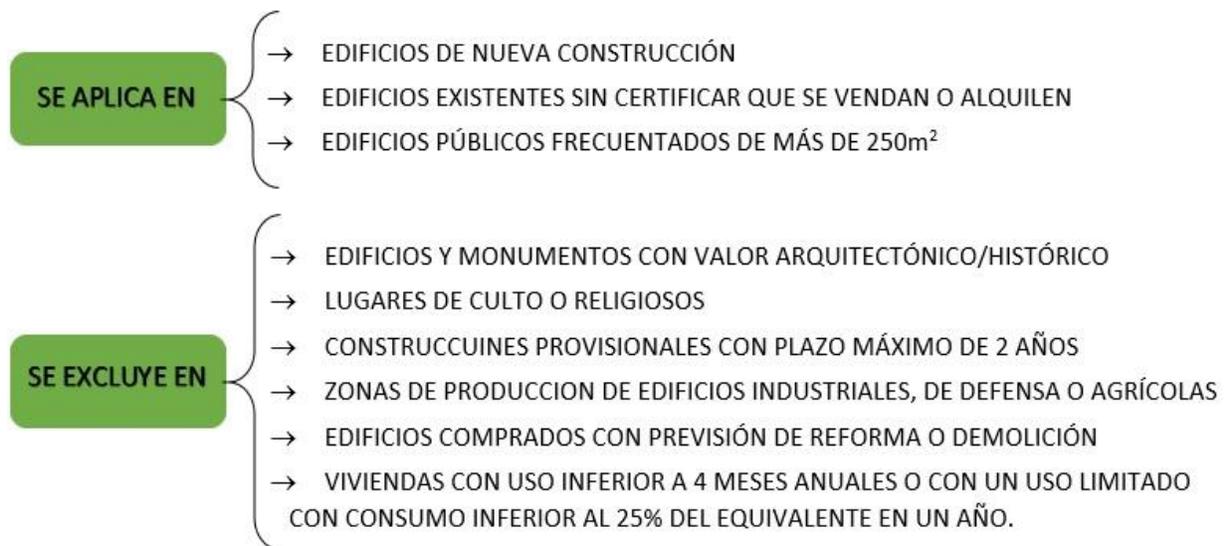


FIGURA 4: ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO BÁSICO (FUENTE: MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL, 2012)

En la Figura 5 se muestran los datos básicos que incluye un certificado de eficiencia energética.

Dentro de las características energéticas del edificio que aparecen en la Figura 5, podemos encontrar la envolvente térmica, la instalación de iluminación, las condiciones normales de ocupación y funcionamiento, las condiciones de confort térmico, lumínico y la calidad del aire interior.

El certificado de eficiencia energética tendrá una validez máxima de diez años, el órgano competente de la Comunidad Autónoma correspondiente establecerá las condiciones específicas para proceder a su renovación o actualización, y será responsable de dicha renovación el propietario del edificio.



FIGURA 5: INFORMACIÓN INCLUIDA EN LOS CERTIFICADOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (FUENTE: MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL, 2012)

2.1.3 PROGRAMAS ACTUALES DE CERTIFICACION ENERGÉTICA.

Existen una serie de procedimientos para la certificación de edificios en proyecto y terminados, promovidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), y por el Ministerio de Fomento.

Certificación Energética de edificios en proyecto, terminados y existentes: el programa informático de iniciativa pública “Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC)” sirve para edificios de viviendas unifamiliares, edificios de viviendas en bloque, viviendas individuales pertenecientes a un bloque y edificios terciarios.

La HULC incluye en una plataforma los anteriores programas utilizados para la evaluación del consumo y la demanda energéticos. También utiliza los Procedimientos Generales para la Certificación Energética de Edificios, y logra la compatibilidad entre la certificación con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Técnicas de los Edificios (RITE).

El RITE establece las condiciones de las instalaciones destinadas al confort, bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

Certificación Energética de edificios existentes: los programas informáticos CE3 y CE3X, son herramientas que permiten obtener la certificación de forma simplificada en edificios de viviendas unifamiliares, edificios de viviendas en bloque, viviendas individuales pertenecientes a edificios en bloque y edificios terciarios.

Calificación de Eficiencia Energética de edificios de viviendas: el programa “Calificación Energética Residencial Método Abreviado” (CERMA) permite obtener la calificación de forma simplificada en edificios de viviendas unifamiliares, edificios de viviendas en bloque y viviendas individuales pertenecientes a edificios en bloque.

2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE EDIFICIOS.

Desde hace años, se han abordado un gran número de estudios conducentes a la evaluación de los impactos ambientales de los edificios, sus materiales, componentes y sistemas. De esta manera, mediante el conocimiento de los mismos, se está en disposición de poder contribuir a la toma de decisión a fin de reducir sus potenciales impactos.

2.2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV): QUÉ ES, PARA QUÉ SIRVE, FASES.

En la década de los sesenta, la comunidad científica comenzó a preocuparse por los aspectos ambientales. Es precisamente a finales de esta década cuando el esquema oficial que dio lugar al ACV fue concebido por primera vez en Estados Unidos por Harry E. Teasley Jr, un trabajador de la compañía Coca-Cola, mientras controlaba la función del empaquetado. Durante muchos meses trabajó para intentar cuantificar las consecuencias energéticas, materiales y ambientales de todo el ciclo de vida de una lata, desde la extracción de las materias primas hasta su eliminación. Una de las ideas innovadoras en aquel momento fue la inclusión de la energía en la categoría de recursos naturales, ya que en aquella época la energía no suponía una cuestión ambiental. Teasley vió que los recursos energéticos estaban interrelacionados con el uso del material, y quería saber las implicaciones del uso de varias opciones de empaquetado en lo que respecta a conservación de recursos y ahorros de energía (Hunt y Franklin, 1996).

El termino histórico para el actual ACV fue el ‘Análisis de Perfiles Ambientales y de Recursos’ (REPA, siglas en inglés de ‘Resource and Environmental Profile Analysis), y fue usado desde 1970 a 1990. El concepto del ACV se ha ido desarrollado a lo largo de los años, centrándose en la cuantificación de la energía y los materiales utilizados y los desechos liberados en el medio ambiente durante todo el ciclo de vida (Hunt y Franklin, 1996).

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define el ACV como una herramienta que permite tratar los aspectos ambientales y determinar los impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, proceso y/servicio. Incluye la adquisición de la materia prima, la producción, uso, y fin de vida (lo que se denomina de la cuna a la tumba) (ISO 14040 e ISO 14044).

Según las normas ISO, el ACV consta de cuatro fases que se muestran en la Figura 6:

1. Definición del objetivo y el alcance: En esta primera etapa, el objetivo y el alcance deben estar claramente definidos y deben ser coherentes con la aplicación prevista. Para ello, se deben especificar sin ambigüedad: la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, el público previsto, el producto bajo estudio, la unidad funcional, los límites del sistema, los procedimientos de asignación, las suposiciones, las limitaciones, los requisitos de calidad de los datos y el nivel de detalle dependiendo del tema y del uso previsto del estudio.

2. Análisis del inventario (fase ICV): es un inventario de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio. Implica la recopilación y la cuantificación de los datos necesarios para cumplir los objetivos del estudio definido

3. Evaluación del impacto (fase EICV): El objetivo de la tercera fase es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de todo el ciclo de vida a fin de comprender mejor su importancia ambiental.

4. Interpretación de resultados: Por último, en la fase final se resumen y discuten los resultados del ICV y EICV como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y el alcance definidos.

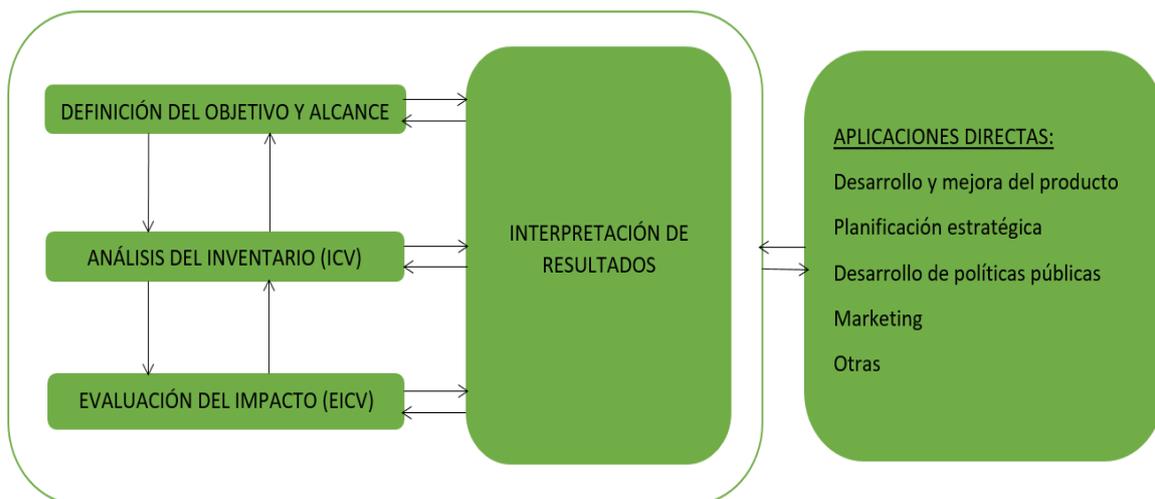


FIGURA 6: ETAPAS DEL ACV SEGÚN LA NORMA ISO 14040 (2006).

Los métodos del ACV han sido utilizados para la evaluación medioambiental de los procesos y/o productos en otras industrias durante mucho tiempo. Sin embargo, la aplicación al sector de la construcción lleva congelada desde los últimos 10 años (Buyle et al., 2013).

Como el ACV tiene un enfoque integral y sistemático para la evaluación ambiental, está aumentando el interés por incorporar los métodos del ACV en la toma de decisiones para la selección de materiales, productos y técnicas ambientalmente preferibles, así como para la evaluación y optimización de los procesos de construcción, y la minimización de los impactos ambientales de los edificios en su fase de diseño y renovación (Asdrubali et al., 2013). Además, se está desarrollando la idea de emplear

métodos de ACV en la evaluación del desempeño de los edificios, su diseño y construcción.

La idea básica del ACV es que todas las cargas ambientales relacionadas con un producto o servicio tienen que ser evaluadas, desde las materias primas hasta la gestión de residuos. El inventario implica el balance de todas las entradas y salidas (Klöppfer, 1997).

Dado que el ACV fue desarrollado principalmente para el diseño de productos de bajo impacto ambiental, como productos, los edificios son especiales ya que tienen una larga vida útil y experimentan cambios a menudo (sobre todo oficinas y otros locales) que a menudo tienen múltiples funciones. (Zabalza et al., 2009). Esto implica que hacer un ACV completo de edificios no es un proceso sencillo como para otros productos de consumo.

Según Ortiz et al, (2009) los aspectos a favor del uso del ACV en el sector de la construcción pueden ser: beneficio de marketing; adquisición de datos simplificado; etiquetado medioambiental de edificios; objetivos medioambientales para edificios, el sector de la construcción, las naciones y Europa; y los préstamos y subsidios para la reducción de impacto ambiental.

Los aspectos en contra a superar podrían ser: prejuicios sobre la complejidad del ACV, precisión y resultados arbitrarios; escaso conocimiento sobre el impacto y las posibilidades del medio ambiente y la forma de calcularlos; baja demanda de ACV; cálculos de aplicaciones excesivamente complicados y costosos; falta de interfaces estandarizadas en los programas utilizados en el sector de la construcción (CAD, licitación, física de la construcción); escasa cooperación entre los fabricantes de aplicaciones y clientes potenciales; demasiadas aplicaciones que muestran diferentes resultados; dificultades en la comprensión y aplicación de los resultados del ACV; La falta de requisitos legales e incentivos pobres; y bajo vínculo con las solicitudes de certificación energética.

Las herramientas actuales para la realización de los ACV son los siguientes programas: Boustead, Eco-it, Ecopro, Ecoscan, Eukild, KLC Eco, GaBi, LCAit, Miet, Pems, SimaPro, Team, Wisard y Umberto, siendo probablemente el más común SimaPro y GaBi. Éste último es el que se ha empleado para realizar este trabajo.

Además del concepto de ACV, hay otros enfoques para evaluar el impacto ambiental de los edificios, desarrollados por Chau et al. (2015), que se desarrollan en los apartados siguientes.

2.2.2 ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CICLO DE VIDA (AECV):

El Análisis Energético del Ciclo de Vida (AECV) (de sus siglas en inglés LCEA, "Life Cycle Energy Analysis") es un enfoque en el que todas las entradas de energía a un producto o proceso se contabilizan, no sólo los recursos energéticos directos durante la fabricación, sino también todos los consumos energéticos necesarios para producir los componentes, materiales y servicios necesarios para tal proceso de fabricación. Es un enfoque que tiene en cuenta todas las entradas de energía a un edificio en su ciclo de vida (Ramesh et al., 2010). Los límites del sistema de este análisis incluyen el uso de energía en las siguientes fases: fabricación, operación y demolición, de forma similar a

las etapas que se establecen en el artículo de Lewandoska et al. (2015), siendo estas: etapa del producto, etapa de uso y etapa de fin de vida.

- La primera fase, o etapa de construcción, incluye la fabricación y el transporte de los materiales de construcción y las instalaciones técnicas utilizados en la nueva construcción y renovación de los edificios.
- La fase de operación, o etapa de uso, abarca todas las actividades relacionadas con el uso de los edificios. Estas actividades incluyen el mantenimiento de condiciones de confort interior de los edificios, el uso del agua y la alimentación de los aparatos.

Por último, en la fase de demolición, o etapa de fin de vida, en inglés End of Life (EoL), se agrupan los procesos de demolición, transporte de residuos a vertederos y reciclaje de los residuos para la posible fabricación de nuevos materiales de construcción.

Todas estas etapas se engloban en un ciclo “de la cuna a la tumba”, con un periodo total aproximado de 50 años. La Figura 7 representa el ciclo de vida más general de los edificios, desde la primera etapa a la última.



FIGURA 7: CICLO DE VIDA DE UN EDIFICIO. (FUENTE: UNAM, 2017)

El AECV incluye:

- **Energía incorporada:** Contenido energético de todos los materiales utilizados en las instalaciones de edificios y técnicas y la energía originada durante la nueva construcción y renovación del edificio. Se corresponde a la fase de construcción.
- **Energía operativa:** Energía necesaria para mantener las condiciones de confort y el mantenimiento diario (calefacción, ventilación y aire acondicionado, agua caliente sanitaria, iluminación, y para el funcionamiento de los aparatos. Es la que corresponde a la fase de operación.



- Energía de demolición: Energía requerida al final de la vida útil de los edificios para demolerlos y transportar los residuos a vertederos y plantas de reciclaje. La energía correspondiente a la última fase de demolición.

Cabe destacar, que el AECV no tiene en cuenta la procedencia de la EP consumida. No es capaz de transmitir una imagen realista sobre los impactos ambientales finales, ya que la energía generada a partir de combustibles fósiles produce emisiones de carbono más altas que la generada a partir de energías renovables como la eólica y solar.

2.2.3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LAS EMISIONES DE CARBONO (ACVECO₂):

El Análisis del Ciclo de Vida de las Emisiones de Carbono (ACVECO₂) se centra en la evaluación de las emisiones de CO₂ a través de todo el ciclo de vida de un edificio. Esto se llevó a cabo en respuesta al problema del CG causado por las emisiones de GEI. El protocolo de Kyoto ha establecido objetivos vinculantes para 37 países industrializados y la Comunidad Europea para reducir las emisiones de GEI en un promedio del 5%, volviendo a los niveles de 1990 en los años 2008-2012. La puesta en marcha del Protocolo de Kyoto dio lugar a muchos estudios que tenían como objetivo evaluar las emisiones de CO₂ de los edificios. El ciclo de vida de las emisiones de carbono considera todas las emisiones de carbono equivalentes de un edificio en diferentes fases de su ciclo de vida.

Revisión bibliográfica.

El ACV se ha aplicado a multitud de casos de estudio en el ámbito de los edificios.

Cabeza et al, (2014) recogieron varios estudios que se han centrado en la evaluación ambiental de los materiales de construcción con el objetivo de seleccionar los materiales y productos que presenten el menor impacto ambiental (Singh et al., 2011). Zabalza et al. (2009) establecen la importancia de utilizar materiales de construcción naturales reciclados, debido a su bajo nivel de energía incorporada, siempre que los requisitos de calidad lo permitan. Asif et al. (2007) realizaron el ACV de los materiales utilizados en la construcción de viviendas en Escocia. Evaluaron el uso de energía y las emisiones producidas en la fase de producción con cinco materiales comúnmente utilizados (madera, aluminio, vidrio, hormigón, y cerámica) llegando a la conclusión de que los materiales empleados en la fase de construcción de un edificio representan más del 50% de la energía incorporada. Jönsson et al. (1997) compararon los impactos ambientales de la producción de tres materiales del suelo (linóleo, vinilo y madera maciza) en Suecia, utilizando ACV y datos de proveedores locales, y haciendo hincapié en la necesidad de evaluar la fase de uso y la fase final de su vida útil. Buchanan y Levine (1999) determinan que los edificios con estructuras de madera necesitan menos energía y emiten menos CO₂ durante su ciclo de vida que los edificios con otros tipos de estructuras. Koroneos y Dompros (2007) estudiaron el proceso de fabricación de ladrillos en Grecia, utilizando datos de una planta local para identificar posibles mejoras ambientales. Incluyeron el reciclaje de ladrillos en el análisis, pero excluyeron las fases de construcción, uso y demolición de los edificios. Wu et al. (2005) han examinado los impactos ambientales del ciclo de vida de diversos tipos de cemento y acero utilizados en la industria de la construcción en China. Además, se han estudiado las variaciones en los resultados del estudio del hormigón en función de la fase de análisis de inventario, fase de análisis de

impacto y fase de interpretación, llegando a la conclusión de que todas las decisiones tomadas durante el ACV influyen en gran medida, variando el valor ambiental del material (Van Den Heede y De Belie, 2012).

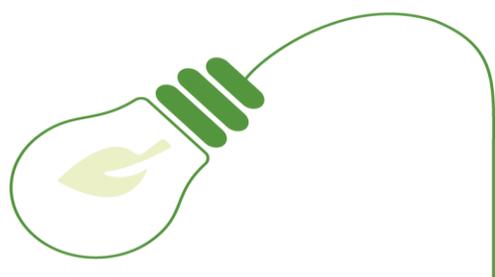
La utilización de materiales de cambio de fase (MCF) también se ha evaluado usando ACV. De Gracia et al. (2010) evaluaron el impacto ambiental producido por MCF en un edificio típico mediterráneo de ladrillo tradicional y cámara de aire, usando el ahorro de energía operacional. Los resultados mostraron que la utilización de MCF (parafina e hidrato de sal) en la envolvente del edificio, aunque disminuían el consumo de energía durante el funcionamiento, no reducían de forma significativa el impacto global en todo el ciclo de vida del edificio. Castell et al. (2012) verificaron que al incorporar MCF en las envolventes de los edificios se maximizaba el ahorro de energía para compensar su impacto de fabricación.

El ACV también se ha utilizado para evaluar el impacto medioambiental producido en las fases de fabricación y demolición de edificios resaltando y comparando el efecto del uso de diferentes materiales de construcción, materiales aislantes y MCF. (Menoufi et al., 2013). Aranda-Usón et al. (2013) han llevado a cabo un ACV teórico del uso de MCF en España, llegando a la conclusión de que el uso de MCF puede reducir el consumo de energía global y los impactos ambientales, pero esta reducción está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas y el tipo de MCF empleado.

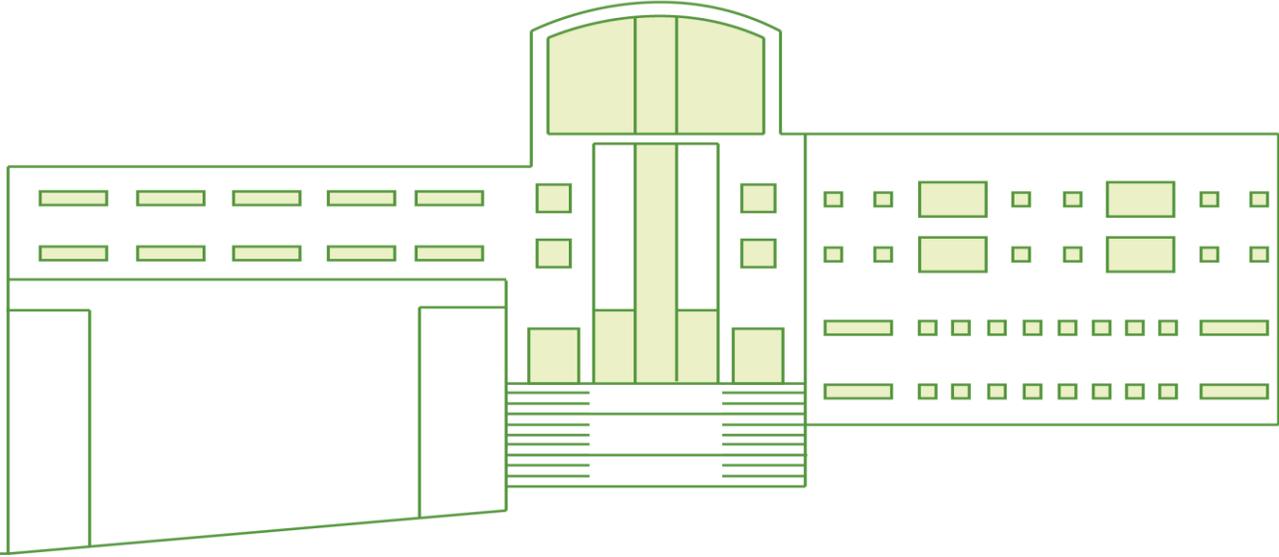
Asdrubali et al. (2012) han empleado el ACV en el estudio de las propiedades de aislamiento acústicas de materiales sostenibles, tanto naturales como reciclados, afirmando que la sustitución de materiales aislantes de ruido convencionales por otros sostenibles tiene efectos importantes sobre el impacto de las diversas fases de la vida de un edificio. Citherlet y Defaux (2007) presentaron un ACV basado en el proceso de tres diseños de casas en Suiza, clasificando los impactos ambientales en directos (producidos en la etapa de uso) e indirectos (de la extracción de material, construcción y demolición). Su resultado muestra que los impactos directos se pueden reducir significativamente mediante un aislamiento mejor y el uso de energías renovables.

Otros estudios como el de Osman y Ries (2004) se centraron en los subsistemas de construcción, como los procesos para evaluar los impactos ambientales de la construcción

Objetivo y alcance



3





3. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del trabajo es el desarrollo de un modelo o metodología para la certificación energética de edificios basada en el ACV, donde además de considerarse los impactos energéticos del consumo eléctrico y los sistemas de calefacción (gas natural), también se tienen en cuenta otras fuentes de consumo indirecto de energía indirecta, y que pueden suponer una contribución significativa al global de dichos consumos.

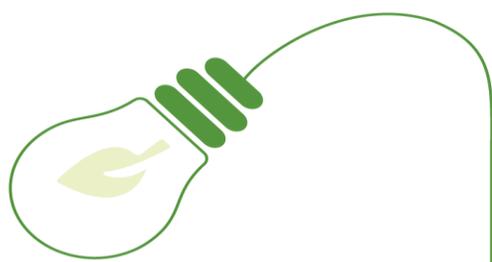
Para ello se propone incluir los impactos de energía asociados a los recursos hídricos y materiales utilizados en la fase de operación del edificio, así como calcular la contribución de estos impactos como nuevas variables para la certificación de eficiencia energética.

Se ha tenido en cuenta la metodología del ACV para obtener la Energía Primaria (EP) consumida y la Huella de Carbono en la fase de uso como nuevas variables con el fin de simplificar el proceso de toma de decisiones para la certificación energética de los edificios.

El caso práctico de este Trabajo de Fin de Grado, se basa en el cálculo del consumo de EP y el valor del CG generado en edificios de la Universidad de Cantabria en el año 2015.

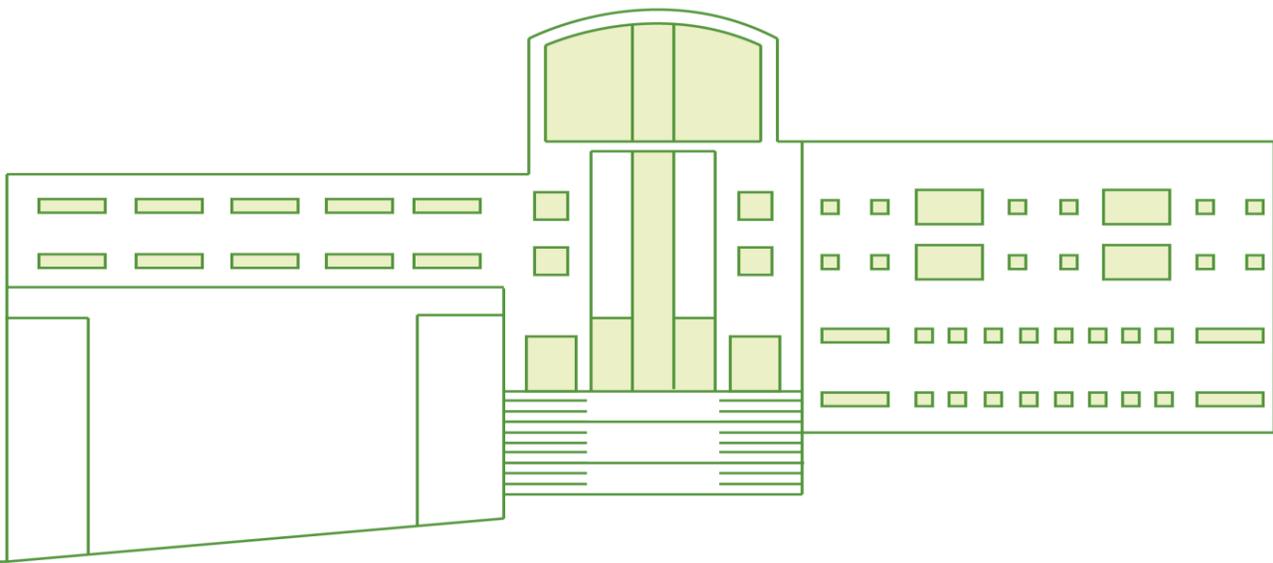
Para llevar a cabo este análisis, se ha desarrollado un inventario de ciclo de vida basado en los registros de consumo de energía reales obtenidos de ejercicios energéticos y materias de auditoría.

El alcance del estudio se centra en la fase de operación o uso, por tratarse, de acuerdo a la bibliografía consultada, de la fase con el mayor impacto ambiental, que representa entre el 70-90% del total de los impactos del ciclo de vida (Adalberth et al., 2001).



4

Metodología



4. METODOLOGÍA

4.1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo el ACV de la etapa de uso de varios edificios pertenecientes a la Universidad de Cantabria (UC). Para ello se han recopilado datos sobre los flujos de entrada y salida de siete edificios de la UC en el año 2015.

En esta primera fase también se definen los siguientes aspectos más específicos:

4.1.1 UNIDAD FUNCIONAL

Una unidad funcional (UF) frecuentemente empleada en este tipo de estudios es el metro cuadrado (m²), sin embargo, al tener diferentes lugares, con distinta superficie y cantidad de usuarios, los datos se han referido a m² por persona, para poder compararlos y llegar a un resultado equivalente en todos los edificios.

4.1.2 LIMITES DEL SISTEMA

Dentro del ciclo de vida de los edificios, existen tres fases, que se corresponden a la de construcción, uso y fin de vida, que se pueden identificar en la Figura 8 y se denominan: Etapa “Cuna-Puerta” (Cr-Ga), que abarca la extracción de materiales, la fabricación y la construcción; etapa “Puerta-Puerta” (Ga-Ga) que corresponde a la etapa de uso; y etapa “Puerta-Tumba” (Ga-Gr), donde se sitúan la demolición y la gestión de residuos. La norma UNE-EN 15978 (2012) establece, como se aprecia en la Figura 8, que la fase de uso se extiende desde el final de los trabajos de construcción hasta que el edificio está a punto de ser demolido. En este estudio solo se ha considerado la etapa de uso, o etapa “Puerta-Puerta”.

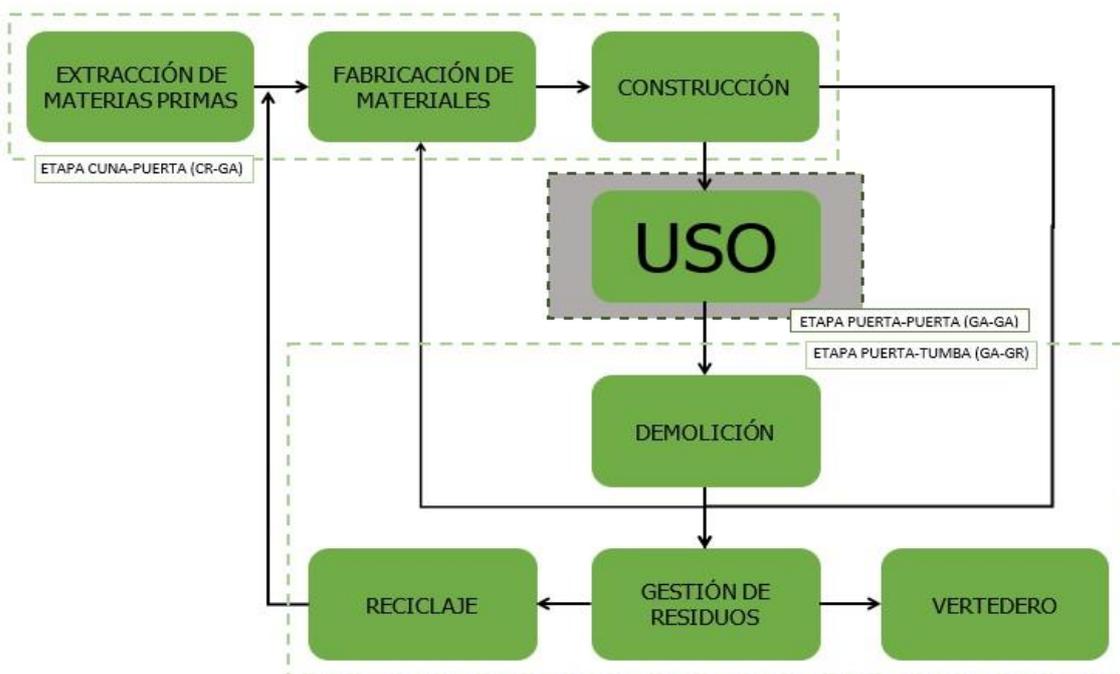


FIGURA 8: CICLO DE VIDA DE UN EDIFICIO. FUENTE: CUELLAR-FRANCA Y AZAPAGIC (2012)

Los flujos de entrada que se han tenido en cuenta (Figura 9) han sido los consumos hasta ahora utilizados en certificaciones energéticas, como son la electricidad (MJ) y el gas natural (kg), y los consumos que se incluyen en este estudio, que son el agua (kg) y consumibles (kg). Como “consumibles” se ha considerado el uso de papel, debido a que es un elemento de consumo elevado en las facultades.

Los flujos de salida que se han considerado son el de tratamiento de los residuos de agua (m³) y el tratamiento de los residuos de papel (kg). La gestión de los residuos del agua y el papel es importante porque favorece la sostenibilidad del medio ambiente. Por eso se ha considerado que los residuos de agua se tratan en las plantas depuradoras y los residuos de papel se llevan a una planta de reciclaje, ya que al tratarlos y reciclarlos se consigue de ahorrar agua y evitar una mayor contaminación y deforestación.

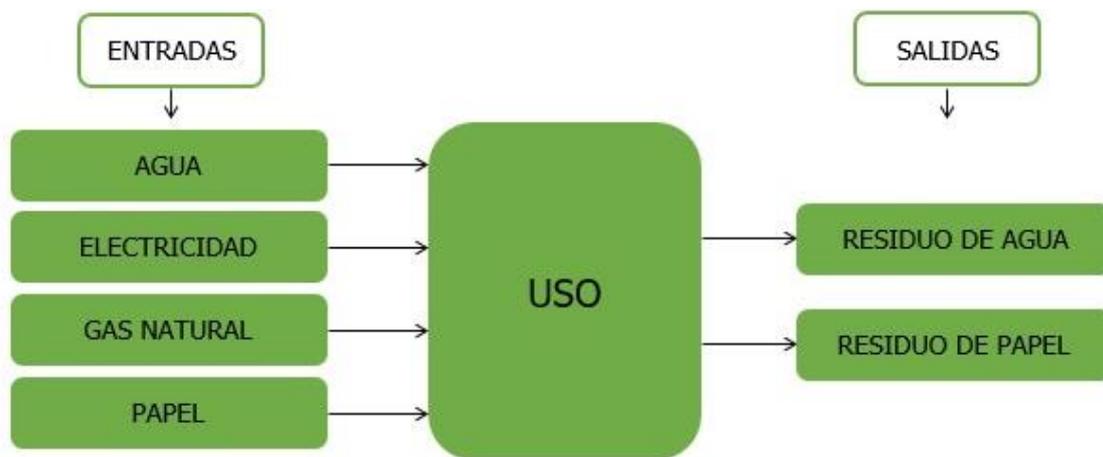


FIGURA 9: GRÁFICO DE FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA CONSIDERADOS EN ESTA METODOLOGÍA

4.1.3 CONSIDERACIONES

En la Tabla 1 se reflejan, para cada edificio estudiado, la superficie y el número de usuarios que corresponden respectivamente a cada una durante el año de estudio.

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS EDIFICIOS PERTENECIENTES A LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015

EDIFICIO	SUPERFICIE (m ²)	USUARIOS
CAMINOS	20.461	770
CIENCIAS	14.717	700
DERECHO	43.236	2.968
INDUSTRIALES	21.000	1.751
INTERFACULTATIVO	19.883	2.204
MEDICINA	25.141	954
MINAS	10.200	316



- El número de usuarios de cada edificio que aparecen en la Tabla 1 corresponde a los alumnos matriculados en el curso 2014-2015 y se ha considerado un 10% más en cada una para hacer una estimación de personal docente, de administración y servicios. (Universidad de Cantabria, 2015).
- Los datos, tanto de consumos como de tratamiento de residuos son limitados, debido a que la Universidad de Cantabria es una entidad muy amplia y variada, y es complejo reunir datos de todos los diferentes Departamentos, por lo tanto, se ha considerado que:
 - En el caso de los datos del inventario del agua, corresponden al agua consumida en cada edificio. Al no estar establecidos los porcentajes de agua consumida que se envía a la depuradora y de pérdidas de agua correspondiente a dicho consumo, se ha considerado que el total de agua consumida se lleva a tratamiento.
 - De forma similar, los datos del inventario de papel, corresponden con las cantidades de papel reciclado recogido por el servicio responsable en la UC (Reciclados ANICO Cantabria S.L.). Ya que las cantidades de papel consumido en cada edificio son imposibles de establecer con certeza, se ha considerado que todo el papel que se consume es el que posteriormente se recicla.
 - Los consumos de papel se han repartido en los edificios según su superficie y ocupación, ya que los datos de inventario son para el total de la UC, de forma que son valores representativos.

4.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO

Los datos necesarios para realizar el inventario de este estudio se agrupan en dos tipos: los datos primarios han sido obtenidos directamente mediante el Vicerrector de la UC (Mario Mañana). Estos datos son el consumo de electricidad, gas natural, agua y reciclado de papel para cada uno de los edificios analizados en el año 2015.

Los datos secundarios, como la producción y reciclaje de papel, el tratamiento del agua residual en una depuradora, la producción de gas natural y el mix eléctrico español (2014) se han obtenido de las bases de datos de Ecoinvent® y PE (Ecoinvent, 2016; PE International, 2014).

Las Tablas 2-8 muestran las entradas y salidas de los 7 edificios estudiados. Como ya se ha mencionado anteriormente, los consumos mensuales que se han tenido en cuenta pertenecen al año 2015.

TABLA 2: INVENTARIO DE CICLO DE VIDA POR UNIDAD FUNCIONAL DEL EDIFICIO DE CAMINOS

ud.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Entradas													
Electricidad	MJ	2,00E-02	3,68E-02	3,78E-02	2,22E-02	1,98E-02	1,98E-02	2,10E-02	1,80E-02	2,04E-02	2,27E-02	2,55E-02	2,15E-02
Gas Natural	Kg	9,79E-04	9,52E-04	1,17E-03	1,94E-04	1,16E-05	1,17E-05	1,10E-05	1,08E-05	8,94E-06	4,05E-05	3,04E-04	5,27E-04
Papel	Kg	6,52E-06	1,07E-05	8,19E-06	1,09E-05	1,28E-05	6,58E-06	6,93E-06	5,31E-06	8,85E-06	9,21E-06	9,31E-06	7,38E-06
Agua	Kg	4,34E-02	3,93E-02	3,40E-02	1,40E-02	2,96E-02	3,10E-02	2,41E-02	1,57E-02	1,97E-02	1,95E-02	2,18E-02	4,06E-02
Salidas													
Papel	Kg	6,52E-06	1,07E-05	8,19E-06	1,09E-05	1,28E-05	6,58E-06	6,93E-06	5,31E-06	8,85E-06	9,21E-06	9,31E-06	7,38E-06
Agua	Kg	4,34E-02	3,93E-02	3,40E-02	1,40E-02	2,96E-02	3,10E-02	2,41E-02	1,57E-02	1,97E-02	1,95E-02	2,18E-02	4,06E-02

TABLA 3: INVENTARIO DE CICLO DE VIDA POR UNIDAD FUNCIONAL DEL EDIFICIO DE CIENCIAS

ud.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Entradas													
Electricidad	MJ	3,93E-02	3,72E-02	3,96E-02	3,46E-02	3,66E-02	3,53E-02	3,40E-02	3,17E-02	3,36E-02	3,80E-02	3,67E-02	3,58E-02
Gas Natural	Kg	1,08E-03	1,05E-03	1,29E-03	2,13E-04	1,27E-05	1,29E-05	1,21E-05	1,19E-05	9,84E-06	4,45E-05	3,35E-04	5,79E-04
Papel	Kg	9,07E-06	1,49E-05	1,14E-05	1,51E-05	1,79E-05	9,14E-06	9,63E-06	7,38E-06	1,23E-05	1,28E-05	1,29E-05	1,03E-05
Agua	Kg	9,61E-03	1,98E-02	1,42E-02	1,29E-02	1,85E-02	1,94E-02	1,67E-02	1,24E-02	2,30E-02	1,75E-02	1,58E-02	1,82E-02
Salidas													
Papel	Kg	9,07E-06	1,49E-05	1,14E-05	1,51E-05	1,79E-05	9,14E-06	9,63E-06	7,38E-06	1,23E-05	1,28E-05	1,29E-05	1,03E-05
Agua	Kg	9,61E-03	1,98E-02	1,42E-02	1,29E-02	1,85E-02	1,94E-02	1,67E-02	1,24E-02	2,30E-02	1,75E-02	1,58E-02	1,82E-02

TABLA 4: INVENTARIO DE CICLO DE VIDA POR UNIDAD FUNCIONAL DEL EDIFICIO DE DERECHO

ud.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Entradas													
Electricidad	MJ	2,98E-03	3,14E-03	3,38E-03	2,44E-03	2,71E-03	2,81E-03	2,24E-03	2,07E-03	2,35E-03	3,22E-03	3,20E-03	2,84E-03
Gas Natural	Kg	2,54E-04	2,47E-04	3,03E-04	5,03E-05	3,00E-06	3,05E-06	2,85E-06	2,81E-06	2,32E-06	1,05E-05	7,90E-05	1,37E-04
Papel	Kg	3,09E-06	5,07E-06	3,88E-06	5,15E-06	6,08E-06	3,11E-06	3,28E-06	2,51E-06	4,19E-06	4,36E-06	4,40E-06	3,49E-06
Agua	Kg	2,53E-03	6,13E-03	4,36E-03	4,50E-03	6,38E-03	4,52E-03	2,12E-03	1,21E-03	2,49E-03	2,83E-03	2,68E-03	3,14E-03
Salidas													
Papel	Kg	3,09E-06	5,07E-06	3,88E-06	5,15E-06	6,08E-06	3,11E-06	3,28E-06	2,51E-06	4,19E-06	4,36E-06	4,40E-06	3,49E-06
Agua	Kg	2,53E-03	6,13E-03	4,36E-03	4,50E-03	6,38E-03	4,52E-03	2,12E-03	1,21E-03	2,49E-03	2,83E-03	2,68E-03	3,14E-03

TABLA 5: INVENTARIO DE CICLO DE VIDA POR UNIDAD FUNCIONAL DEL EDIFICIO DE INDUSTRIALES

ud.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Entradas													
Electricidad	MJ	7,41E-03	7,89E-03	8,58E-03	7,41E-03	7,89E-03	7,41E-03	6,56E-03	5,00E-03	7,19E-03	8,28E-03	8,51E-03	7,87E-03
Gas Natural	Kg	4,30E-04	4,19E-04	5,14E-04	8,52E-05	5,08E-06	5,16E-06	4,84E-06	4,77E-06	3,93E-06	1,78E-05	1,34E-04	2,32E-04
Papel	Kg	6,36E-06	1,04E-05	7,98E-06	1,06E-05	1,25E-05	6,41E-06	6,75E-06	5,17E-06	8,62E-06	8,97E-06	9,07E-06	7,19E-06
Agua	Kg	4,92E-03	8,00E-03	1,32E-02	1,02E-02	1,34E-02	1,00E-02	7,45E-03	3,70E-03	4,38E-03	6,74E-03	9,52E-03	1,26E-02
Salidas													
Papel	Kg	6,36E-06	1,04E-05	7,98E-06	1,06E-05	1,25E-05	6,41E-06	6,75E-06	5,17E-06	8,62E-06	8,97E-06	9,07E-06	7,19E-06
Agua	Kg	4,92E-03	8,00E-03	1,32E-02	1,02E-02	1,34E-02	1,00E-02	7,45E-03	3,70E-03	4,38E-03	6,74E-03	9,52E-03	1,26E-02

TABLA 6: INVENTARIO DE CICLO DE VIDA POR UNIDAD FUNCIONAL DEL EDIFICIO INTERFACULTATIVO

ud.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Entradas													
Electricidad	MJ	6,89E-03	6,55E-03	7,17E-03	5,93E-03	6,53E-03	6,13E-03	5,20E-03	5,32E-03	5,83E-03	6,62E-03	6,37E-03	6,07E-03
Gas Natural	Kg	3,42E-04	3,32E-04	4,08E-04	6,77E-05	4,04E-06	4,10E-06	3,84E-06	3,79E-06	3,12E-06	1,41E-05	1,06E-04	1,84E-04
Papel	Kg	6,71E-06	1,10E-05	8,43E-06	1,12E-05	1,32E-05	6,77E-06	7,13E-06	5,47E-06	9,11E-06	9,47E-06	9,58E-06	7,60E-06
Agua	Kg	6,98E-03	1,07E-02	8,33E-03	1,31E-02	9,74E-03	1,18E-02	8,08E-03	7,01E-03	1,06E-02	1,14E-02	4,18E-03	8,37E-03
Salidas													
Papel	Kg	6,71E-06	1,10E-05	8,43E-06	1,12E-05	1,32E-05	6,77E-06	7,13E-06	5,47E-06	9,11E-06	9,47E-06	9,58E-06	7,60E-06
Agua	Kg	6,98E-03	1,07E-02	8,33E-03	1,31E-02	9,74E-03	1,18E-02	8,08E-03	7,01E-03	1,06E-02	1,14E-02	4,18E-03	8,37E-03

TABLA 7: INVENTARIO DE CICLO DE VIDA POR UNIDAD FUNCIONAL DEL EDIFICIO DE MEDICINA

ud.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Entradas													
Electricidad	MJ	1,44E-02	1,36E-02	1,43E-02	1,20E-02	1,28E-02	1,34E-02	1,30E-02	1,29E-02	1,28E-02	1,42E-02	1,41E-02	1,36E-02
Gas Natural	Kg	9,55E-04	9,53E-04	6,80E-04	2,77E-04	8,67E-05	7,61E-05	3,62E-05	6,49E-05	7,21E-05	8,42E-05	1,55E-04	4,30E-04
Papel	Kg	5,31E-06	8,73E-06	6,67E-06	8,85E-06	1,05E-05	5,35E-06	5,64E-06	4,32E-06	7,20E-06	7,49E-06	7,57E-06	6,01E-06
Agua	Kg	1,67E-02	1,66E-02	2,01E-02	1,87E-02	2,11E-02	1,67E-02	1,31E-02	1,16E-02	1,60E-02	2,62E-02	2,39E-02	2,32E-02
Salidas													
Papel	Kg	5,31E-06	8,73E-06	6,67E-06	8,85E-06	1,05E-05	5,35E-06	5,64E-06	4,32E-06	7,20E-06	7,49E-06	7,57E-06	6,01E-06
Agua	Kg	1,67E-02	1,66E-02	2,01E-02	1,87E-02	2,11E-02	1,67E-02	1,31E-02	1,16E-02	1,60E-02	2,62E-02	2,39E-02	2,32E-02

TABLA 8: INVENTARIO DE CICLO DE VIDA POR UNIDAD FUNCIONAL DEL EDIFICIO DE MINAS

ud.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Entradas													
Electricidad	MJ	3,19E-02	2,83E-02	3,15E-02	2,52E-02	2,71E-02	2,68E-02	2,34E-02	2,10E-02	2,37E-02	2,78E-02	2,90E-02	2,86E-02
Gas Natural	Kg	1,69E-03	2,26E-03	1,62E-03	8,09E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,81E-04	1,10E-04	8,54E-04
Papel	Kg	1,31E-05	2,15E-05	1,64E-05	2,18E-05	2,58E-05	1,32E-05	1,39E-05	1,07E-05	1,78E-05	1,85E-05	1,87E-05	1,48E-05
Agua	Kg	2,26E-02	2,30E-02	2,26E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,05E-02	1,09E-02	1,09E-02	1,92E-02	1,95E-02	1,92E-02
Salidas													
Papel	Kg	1,31E-05	2,15E-05	1,64E-05	2,18E-05	2,58E-05	1,32E-05	1,39E-05	1,07E-05	1,78E-05	1,85E-05	1,87E-05	1,48E-05
Agua	Kg	2,26E-02	2,30E-02	2,26E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,05E-02	1,09E-02	1,09E-02	1,92E-02	1,95E-02	1,92E-02

4.3 ANÁLISIS DE IMPACTOS DE CICLO DE VIDA

El software ambiental utilizado para llevar a cabo el ACV es el Gabi 6.0 (Pe International, 2014).

GaBi 6.0 tiene un potente motor de ACV para complementar el desarrollo de productos que cumplan con las regulaciones ambientales, reducción de materiales, energía y uso de recursos de forma más eficiente, desarrollo de productos con huellas ambientales menores (GEI, consumo de agua y residuos), reducción de costes y desarrollo de procesos de fabricación que se ocupen de responsabilidades sociales. Este software proporciona una gran base de datos de fácil acceso y en constante actualización que detalla los costes de energía y de impacto ambiental de la materia prima, desde su extracción hasta su procesado, analiza el impacto sobre el medio ambiente y presenta alternativas para la fabricación, distribución, reciclabilidad, contaminación y sostenibilidad de los productos.

Actualmente el software GaBi se emplea para hacer evaluaciones de ciclo de vida, ACV de edificios, certificaciones de edificios, diseños medioambientales y ecológicos, calcular la huella de agua y huella de carbono, y estudiar la eficiencia energética. Con el empleo de este tipo de software, se pretende llegar al concepto de edificio sostenible, es decir, aquel que se construye y administra de forma económica y que cuida el medioambiente y preserva los recursos, contribuyendo por tanto a la protección de la salud humana y los valores sociales y culturales.

Los resultados se han expresado utilizando dos indicadores ambientales. Por un lado, el consumo de energía primaria (EP) (MJ), y, por otro lado, el potencial de calentamiento global (CG) (kg CO₂ equivalente).

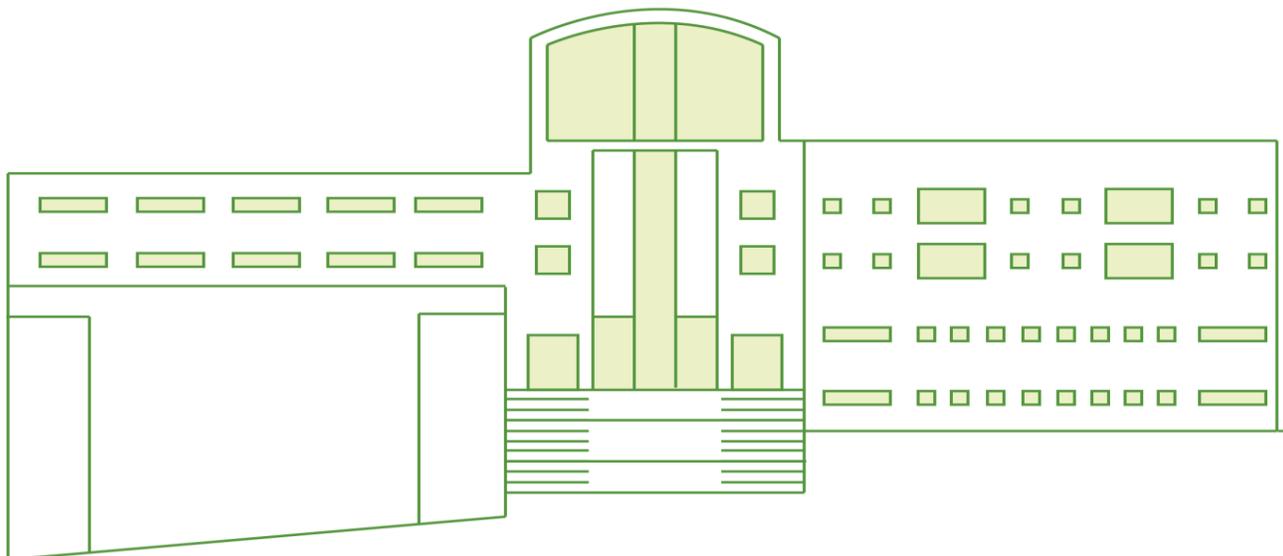
La EP utilizada proviene de fuentes renovables y no renovables. Todos los recursos energéticos renovables (biomasa, biofuel, solar fotovoltaica o solar térmica) se consideran tecnologías de emisión cero, por lo que se considera que el consumo de energía suministrada por estas tecnologías tiene cero emisiones de CO₂, sin embargo, los recursos no renovables, que proceden de recursos fósiles, si producen emisiones a la atmósfera.

El CG se expresa en kg CO₂ equivalente ya que representa todos los productos nocivos que se emiten a la atmósfera, que son los GEI dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbono, perfluorcarbono y hexafluorcarbono.

5



Resultados



5. RESULTADOS

5.1 RESULTADOS GENERALES

Todos los valores del inventario y de los resultados están expresados, como se señalaba en la metodología, en base a la UF establecida (m^2 por persona). En la Figura 10 se ha representado el consumo de EP total utilizada y el CG total producido por el conjunto de todos los edificios de la UC estudiados durante el año 2015. La EP total consumida en el uso de los edificios de la UC es de 5,6 MJ y generan 1,3 kg de CO_2 equivalente.

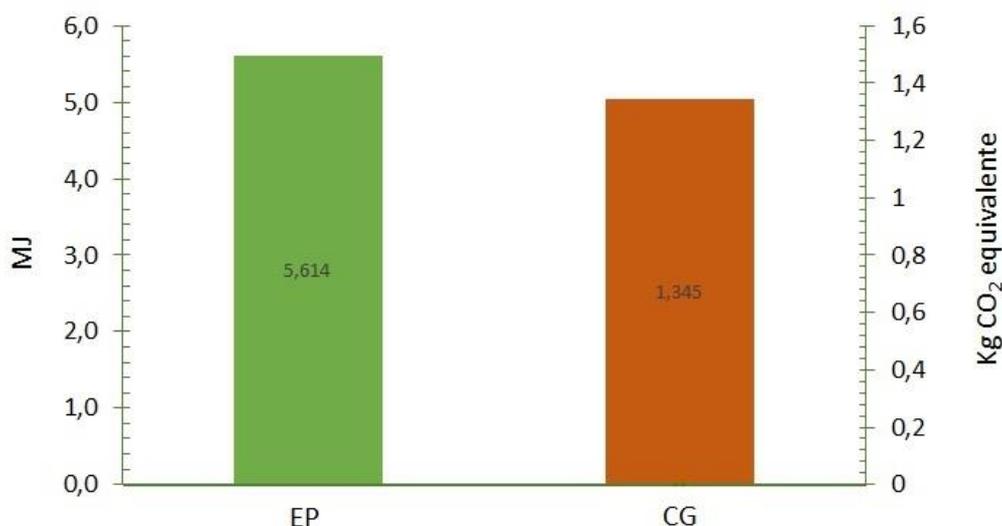


FIGURA 10: ENERGÍA PRIMARIA (EP) (MJ) Y CALENTAMIENTO GLOBAL (CG) (KG CO_2 EQUIVALENTE) TOTAL DE LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS EN 2015.

Los consumos mensuales totales más altos de EP a lo largo del año se corresponden, como se observa en la Figura 11, a los meses de invierno variando entre 0,53-0,74 MJ. En estos meses se emplean más recursos, tanto para calentar los edificios, como para iluminarlos, debido a que los días son más cortos y hay pocas horas de luz natural. Durante los meses de verano se consume menos energía, reduciéndose hasta el 60,8%, debido a que no se imparte docencia, pero existe consumo por la ocupación, tanto de las bibliotecas, el personal de gestión y mantenimiento, los conserjes, e investigadores, como de las zonas comunes y ciertas aulas, por lo que se mantiene el uso de electricidad, tanto en los equipos de aire acondicionado, como la iluminación de los espacios utilizados.

El consumo de agua se mantiene regular en cada edificio a lo largo del año y el papel se utiliza más en los inicios de los cuatrimestres y en la época de exámenes. Los meses en los que el consumo de EP es menor se corresponde con los meses de verano, oscilando entre 0,29-0,36 MJ.

De forma equivalente al consumo de EP, la Figura 12 muestra el CG producido por los edificios en cada mes del 2015. El CG presenta una tendencia similar a los resultados obtenidos para a EP. Las mayores cantidades de CO_2 equivalente se emiten en los meses correspondientes de invierno con valores que oscilan entre 0,012-0,015 kg CO_2

equivalente, mientras que en verano los valores varían entre 0,008-0,010 kg CO₂ equivalente.



FIGURA 11: ENERGÍA PRIMARIA (EP) (MJ) CONSUMIDA POR LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS DURANTE EL 2015.

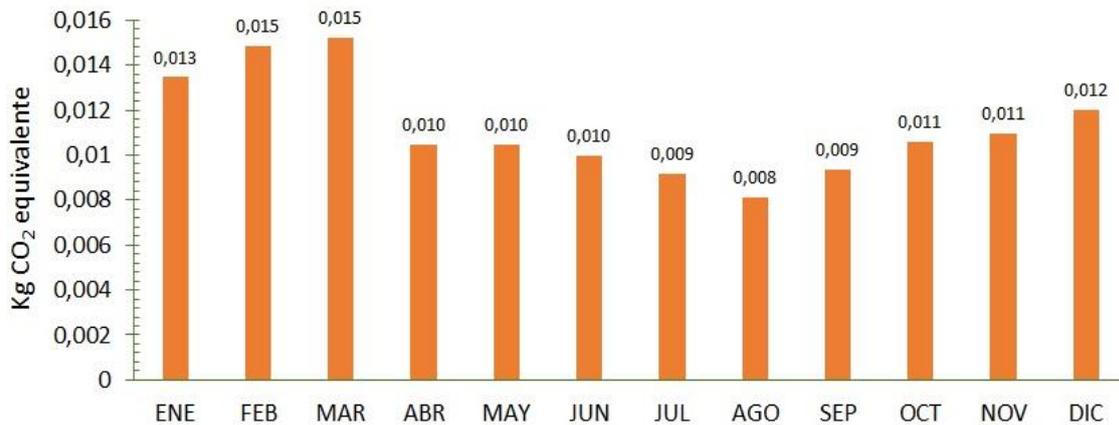


FIGURA 12: CALENTAMIENTO GLOBAL (CG) (KG CO₂ EQUIVALENTE) PRODUCIDO POR TODOS LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS DURANTE EL 2015.

Para determinar qué procesos son los que consumen mayor cantidad de EP, se han representado en la Figura 13 los valores de la EP total consumida desglosados en la producción de la electricidad, gas natural, en la producción y gestión del agua y papel utilizado.

Se puede observar que el mayor valor de EP se debe al consumo de electricidad, que representa el valor de 3,7 MJ debido a que, en España, su producción se lleva a cabo, en un 66%, en centrales termoeléctricas que consumen combustibles fósiles como carbón, petróleo o gas natural, con los que calientan agua para generar vapor, y así mover las turbinas que producen la electricidad; un 20% procede de centrales nucleares y tan solo el 16% de la electricidad se obtiene de las energías renovables, como la eólica y la fotovoltaica, que se consideran de impacto 0 (Ministerio de Fomento, 2017).

Estos resultados destacan la importancia de tener en cuenta los consumos de agua y papel, ya que contribuyen en un 11,8% el agua (0,67 MJ) y en un 22,8% (1,29 MJ) el papel. La contribución de gas natural es mínima, representando el 0,18%.

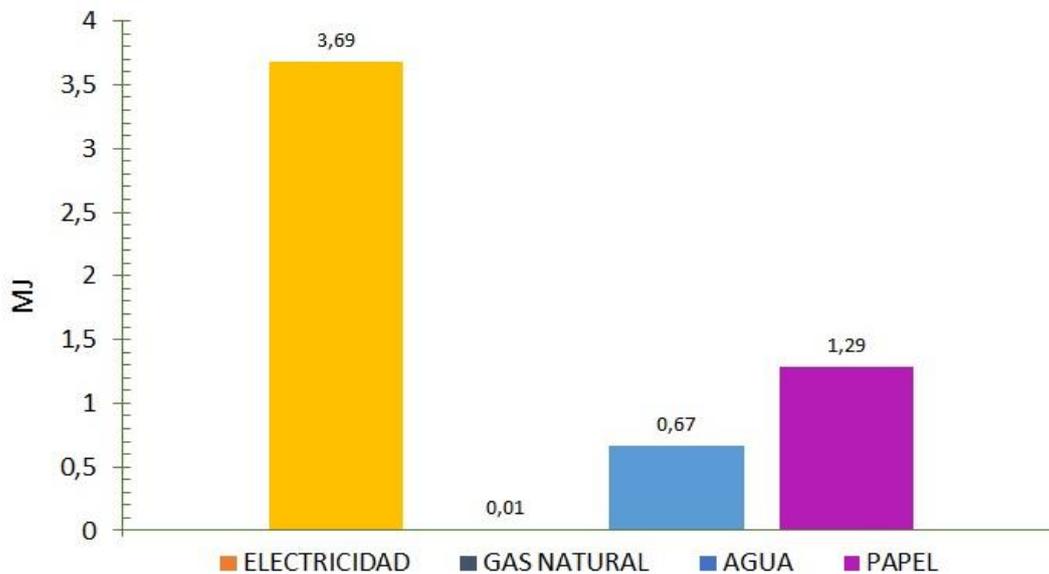


FIGURA 13: ENERGÍA PRIMARIA (EP) (MJ) TOTAL CONSUMIDA DESGLOSADA EN LOS DIFERENTES FLUJOS CONSIDERADOS.

Dado que los procesos de agua y papel engloban tanto los valores de producción como la gestión del residuo, en la Figura 14 se han desglosado los valores de EP correspondientes a la producción y al tratamiento del agua y el papel, respectivamente, utilizados en el total de los edificios, destacando una gran diferencia entre ellos.

El Gráfico 14-A, muestra que el consumo de EP necesaria para abastecer el agua a los edificios es mínimo, y que la fase de tratamiento es la que más EP necesita, ya que las aguas residuales tienen que ser tratadas en una planta depuradora, donde se llevan a cabo muchos procesos mecánicos y químicos.

En el caso del Gráfico 14-B, la producción de papel es más significativa, dado que se necesita la madera como materia prima. Se tienen que separar las fibras para quitar impurezas, se cortan, se lavan, se blanquean con sustancias químicas, se macera, se prensa y se seca, que requiere un gran despliegue de maquinaria y de consumo de energía, y mucho más bajo en el tratamiento de reciclaje.

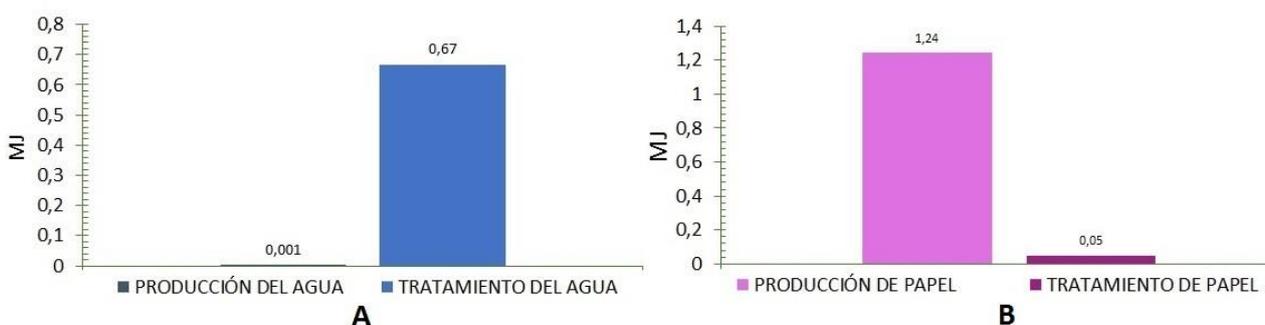


FIGURA 14: ENERGÍA PRIMARIA (EP) (MJ) EMPLEADA PARA EL USO Y TRATAMIENTO DEL AGUA [A] Y PAPEL [B] EN TODOS LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS.

El CG producido por el conjunto de los edificios estudiados en 2015 se muestra en la Figura 15. Se puede observar que la producción de electricidad contribuye un 76,68% en el CG. Esto se debe a que la electricidad que proviene de las fuentes fósiles, genera muchas emisiones de GEI en su combustión en las centrales termoeléctricas, y también se puede observar el bajo impacto que supone el consumo de gas natural (0,3%), ya que, a pesar de ser un recurso no renovable, es el combustible fósil con menor impacto medioambiental. De igual manera que en el consumo de EP, tener en cuenta los flujos de agua y papel representan un 23% del CG producido (15,33% el agua y 7,67 el papel).

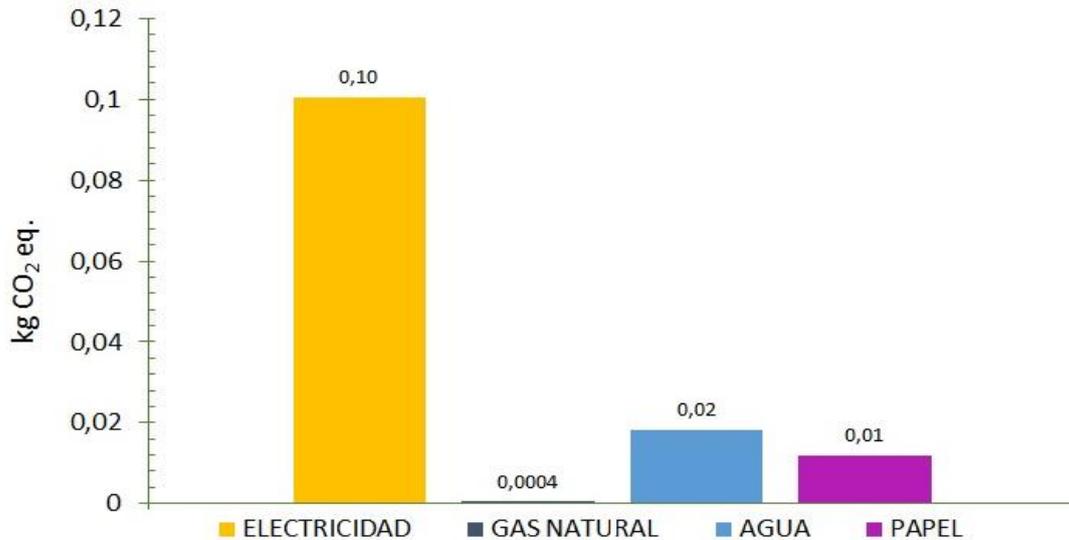


FIGURA 15: CALENTAMIENTO GLOBAL (CG) (KG CO₂ EQUIVALENTE) TOTAL PRODUCIDO DESGLOSADO EN LOS DIFERENTES FLUJOS CONSIDERADOS.

Los valores del CG producido por el consumo y tratamiento del agua y del papel se han agrupado en la Figura 16. De la misma manera que con la EP consumida, los procesos del agua y del papel que emiten mayores valores de emisiones de CO₂ equivalente se producen en las fases opuestas. En los procesos de producción y tratamiento del agua (Gráfico 16-A) la mayor parte del CG se produce en la fase de tratamiento a consecuencia de los procesos de gestión del residuo en las plantas depuradoras. La mayor parte del CG que se produce en el uso y tratamiento del papel (Gráfico 16-B) ocurre en la producción, ya que se necesita mucha maquinaria para llevar a cabo las fases de la creación del papel.

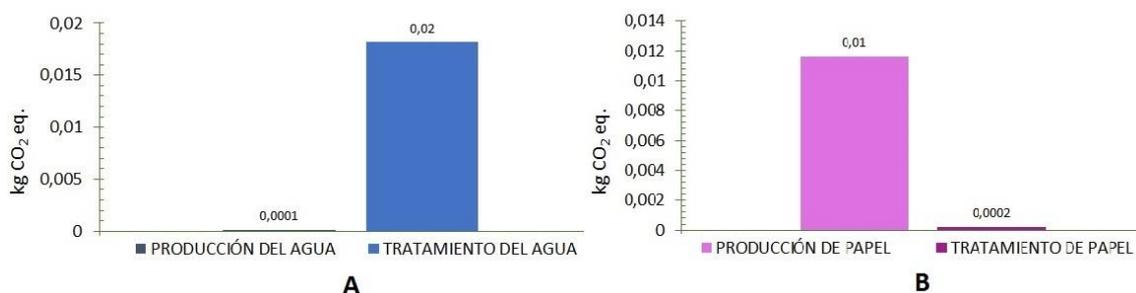


FIGURA 16: CALENTAMIENTO GLOBAL (CG) (KG CO₂ EQUIVALENTE) PRODUCIDO EN EL USO Y TRATAMIENTO DE AGUA [A] Y PAPEL [B] EN TODOS LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS.

5.2 RESULTADOS POR EDIFICIO

Se han recogido los resultados de la EP consumida y el CG producido según los diferentes edificios, de modo que se puede hacer una comparación final entre ellas. Los valores de EP varían entre 0,17 hasta 1,49 MJ.

Los dos edificios con el valor de EP más alta pertenecen a Ciencias (1,49 MJ) y Minas (1,35 MJ) (Figura 17). En ambos edificios hay un número de usuarios inferior a las otras, y, siendo también los edificios más pequeños, tienen mucha superficie en relación a cada usuario, elevando así la EP consumida por m² y persona. El edificio que consume menos EP es el de Derecho (0,17 MJ), debido a que, además de ser un edificio muy grande en superficie, y tener muchos alumnos, no tiene laboratorios de investigación, y, por lo tanto, la EP utilizada es mucho menor que en los demás edificios en relación a la unidad funcional, donde, independientemente de la superficie y los usuarios, si existen laboratorios.

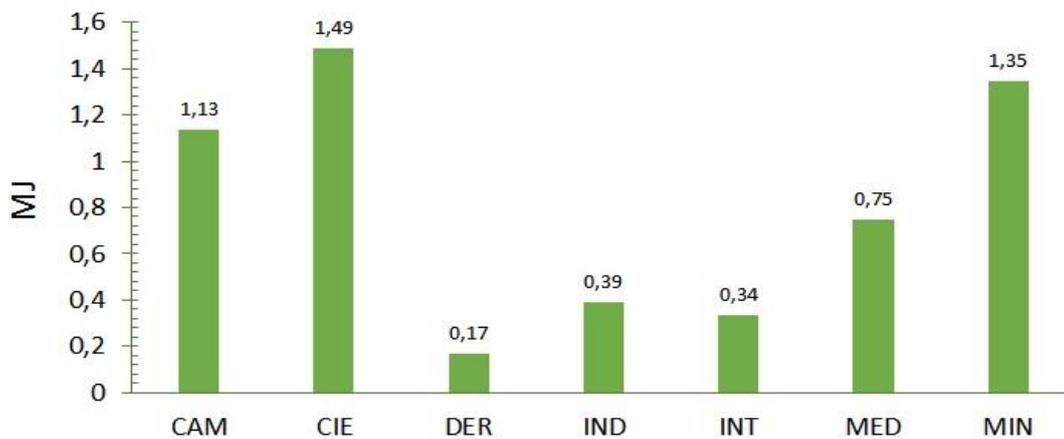


FIGURA 17: ENERGÍA PRIMARIA (EP)(MJ) TOTAL CONSUMIDA EN LOS DIFERENTES EDIFICIOS ESTUDIADOS.

De forma homóloga, en la Figura 18, representa el CG que se produce en los diferentes edificios. Los valores de CG oscilan entre 0,004 y 0,037 kg CO₂ equivalente.

Los edificios que presentan mayor CG son Ciencias (0,037 kg CO₂ equivalente) y Minas (0,031 kg CO₂ equivalente).

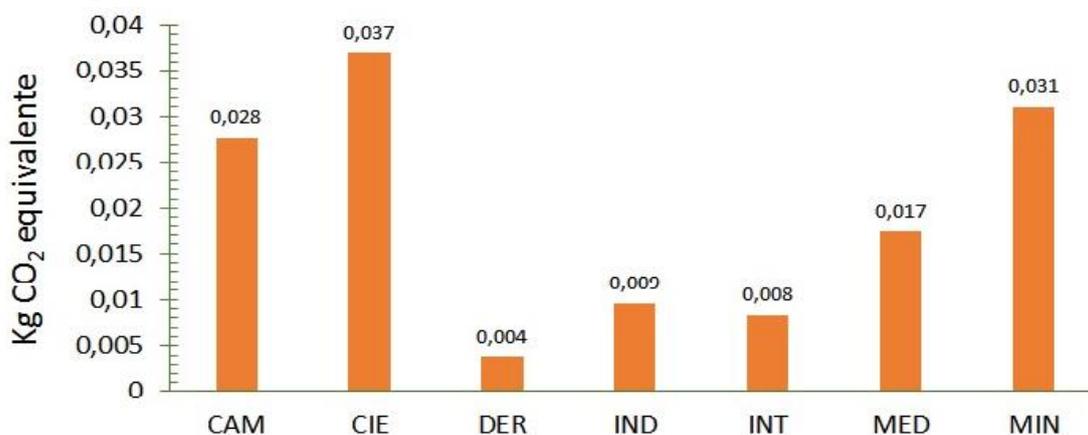


FIGURA 18: CALENTAMIENTO GLOBAL (CG) (KG CO₂ EQUIVALENTE) TOTAL PRODUCIDO POR TODOS LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS

Dado que el estudio se ha desarrollado en la facultad de Minas, los resultados individuales que se han incluido en estos resultados son los de dicho edificio.

La Figura 19 muestra los porcentajes de electricidad, gas, agua y papel respecto de la EP total utilizada y CG total producido en el edificio de Minas, durante el año 2015.

La electricidad sigue siendo el porcentaje que más contribuye, tanto en el consumo de EP (62,89%) como en la producción de CG (77,55%), y el gas natural el que menos, con valores de 0,09% y 0,24% respectivamente. Las otras dos variables, que son las que se han incluido en esta metodología (agua y papel), suponen, en conjunto el 37% del consumo de EP y el 22,2% del CG producido, por lo que se demuestra que tienen un gran valor a la hora de considerarlos dentro del inventario.

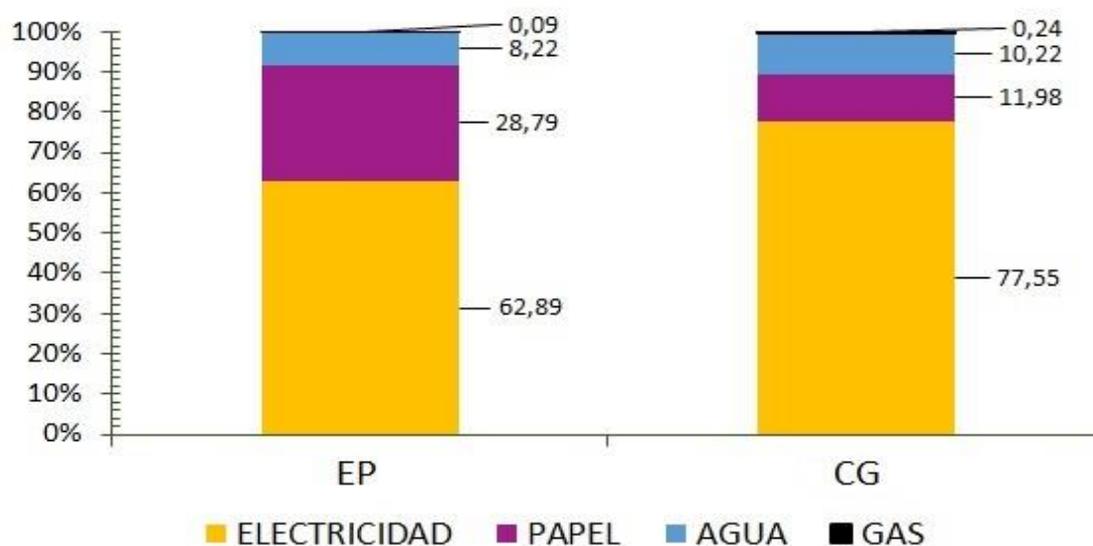


FIGURA 19: ENERGÍA PRIMARIA (EP) (MJ) Y CALENTAMIENTO GLOBAL (CG) (KG CO₂ EQUIVALENTE) DEL EDIFICIO DE MINAS.

La Figura 20 muestra nuevamente los valores de EP correspondientes a la producción y el tratamiento del agua (Gráfico 20-A) y el papel (Gráfico 20-B) utilizados esta vez, en el edificio de Minas, destacando, al igual que para el total de la UC, una gran diferencia entre las fases de producción y de tratamiento de los residuos.

La EP utilizada por el agua en Minas durante el 2015 (0,1102 MJ) corresponde al 14% de la total consumida por el agua, mientras la consumida por el papel (0,392 MJ) representa el 30% del total consumido por el papel.

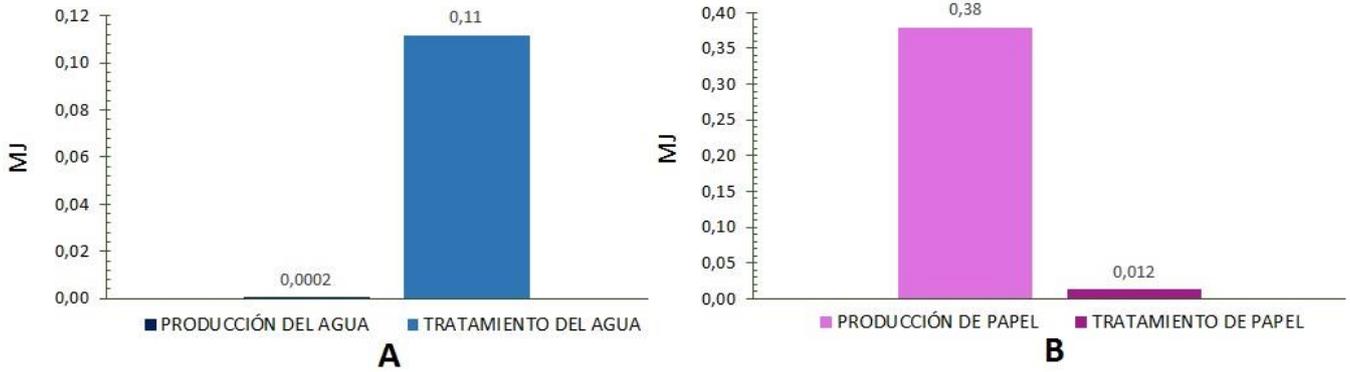


FIGURA 20: ENERGÍA PRIMARIA (EP) (MJ) EMPLEADA PARA EL USO Y TRATAMIENTO DEL AGUA [A] Y PAPEL [B] EN EL EDIFICIO DE MINAS.

En la Figura 21 se representa el CG producido por el consumo y tratamiento del agua (Gráfico 21-A) y del papel (Gráfico 21-B) en el edificio de Minas.

También se comprueba que, tanto en el tratamiento del agua como en la producción del papel, es donde se producen mayores emisiones de CO₂ equivalente, en relación a sus fases de producción en el caso del agua y tratamiento del papel correspondientes.

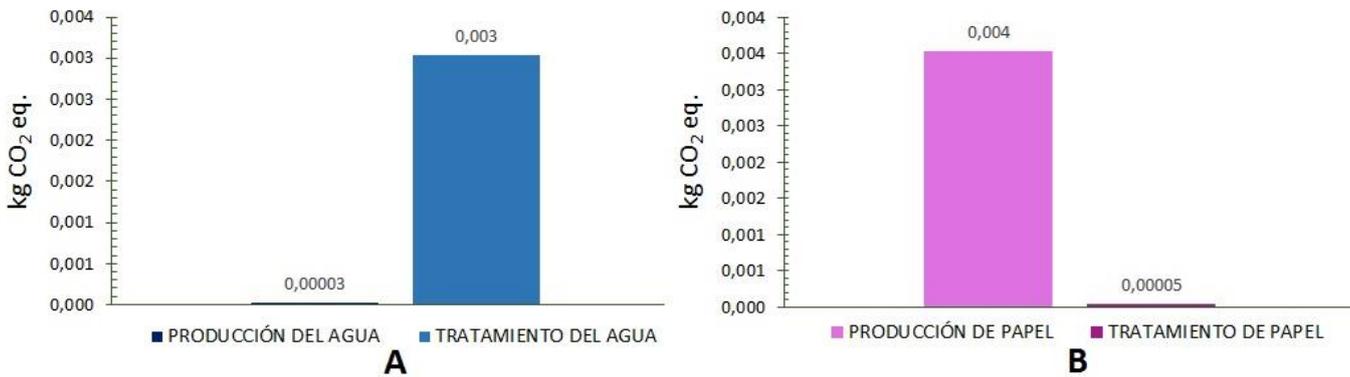
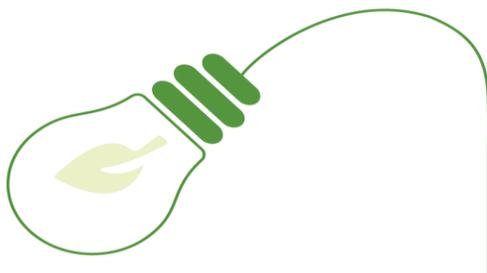
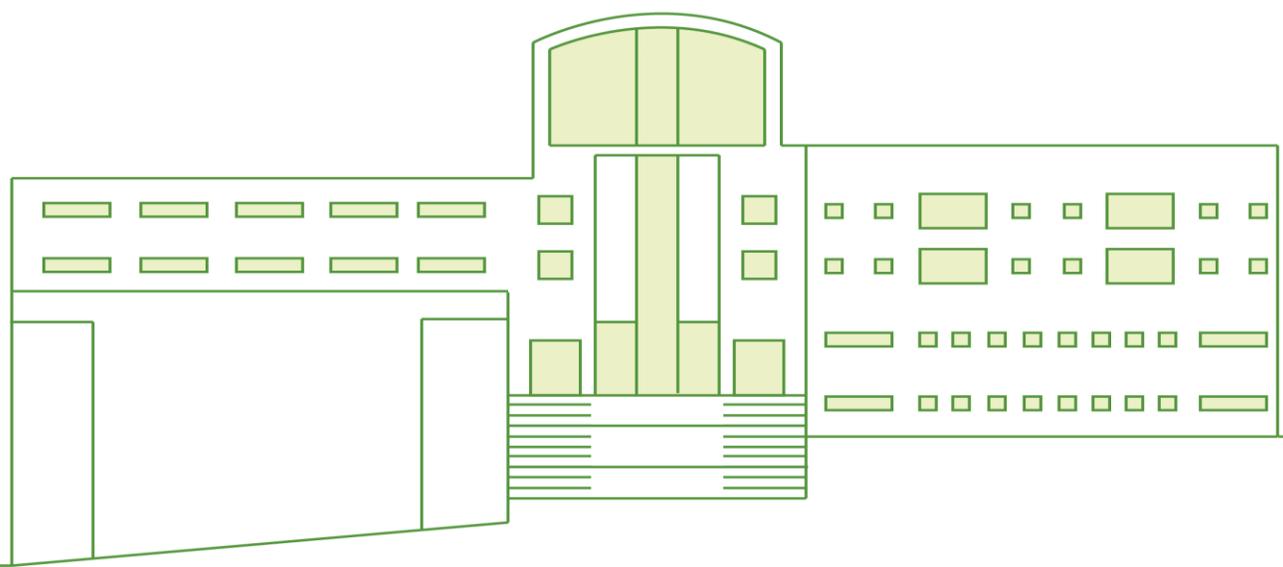


FIGURA 21: CALENTAMIENTO GLOBAL (CG) (KG CO₂ EQUIVALENTE) PRODUCIDO EN EL USO Y TRATAMIENTO DE AGUA [A] Y PAPEL [B] EN EL EDIFICIO DE MINAS.

6



Conclusiones



6. CONCLUSIONES

Este estudio ha supuesto la presentación de una metodología innovadora que facilita la toma de decisiones a fin de alcanzar una mejora en la eficiencia de los edificios a través de una nueva forma de certificación basada en el ACV. El enfoque tiene en cuenta la energía operativa correspondiente a la fase de uso y mantenimiento, que además, se corresponde con las exigencias mínimas para el confort de los usuarios.

El desarrollo y empleo de esta metodología supone un enfoque más amplio de los problemas medioambientales que producen los edificios. Por otro lado, es resaltable su capacidad de coordinar su desarrollo e implementación con otras herramientas de gestión ambiental.

El cálculo de los impactos ambientales en forma de parámetros de EP y CG permite identificar oportunidades de mejora, fallos y deficiencias del sistema edificio, así como facilitar la definición de prioridades y una jerarquía de actuación para la inversión en el control ambiental.

De los resultados obtenidos se puede concluir que el consumo de agua y los elementos consumibles (papel) son importantes desde el punto de vista energético y ambiental, y que, por tanto, deberían considerarse para una certificación energética más precisa que la mostrada por los esquemas prácticos y normativos actuales.

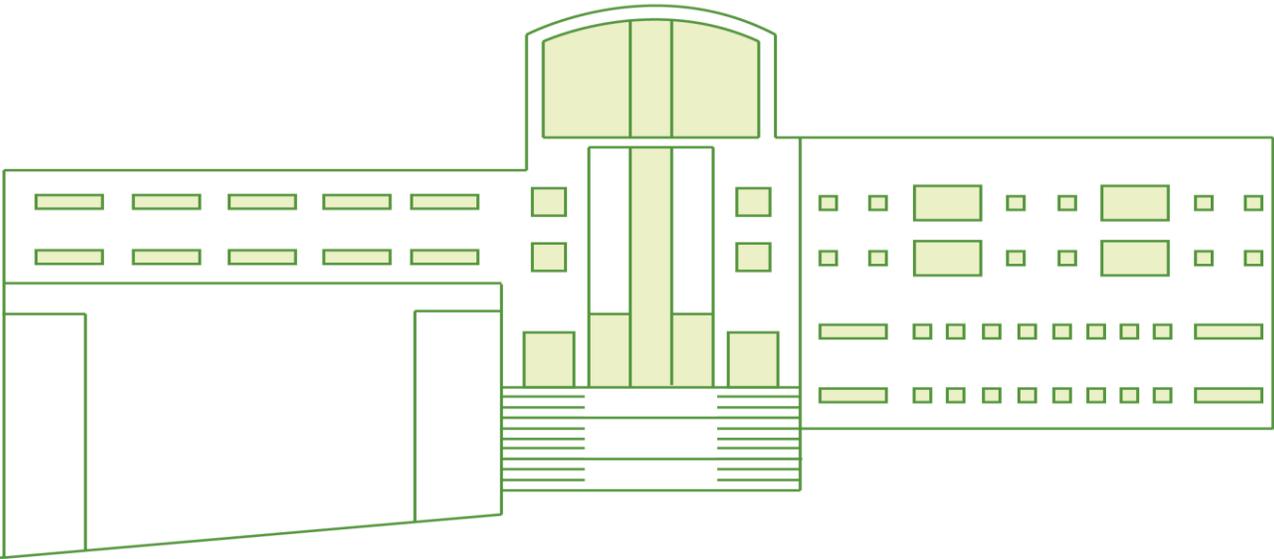
De los resultados obtenidos se desprende la necesidad de abordar una ampliación del estudio que incluya mecanismos de ponderación y peso de los distintos indicadores que tengan en cuenta las condiciones regionales, habida cuenta que los impactos asociados al consumo de agua pueden interferir significativamente en los resultados de las certificaciones.

Finalmente, la metodología propuesta puede aplicarse a edificios con usos diferentes, incluyendo viviendas, oficinas o edificios públicos comerciales.

7



Bibliografía





7. BIBLIOGRAFÍA

Adalberth K, Almgren A, Petersen EH, 2001. Life cycle assessment of four multi-family buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, Vol. 2, pp. 1-21.

Aranda-Usón A, Ferreira G, López-Sabirón AM, Mainar-Toledo MD, Zabalza Bribián I, 2013. Phase change material application in buildings: an environmental assessment for some Spanish climate severities. *Science of the Total Environment*, Vol. 444, pp. 16–25.

Asdrubali F, Baldassarri C, Fthenakis V, 2013. Life cycle analysis in the construction sector: guiding the optimization of conventional Italian buildings. *Energy and buildings*, Vol.64, pp. 73-89.

Asdrubali F, Schiavoni S, Horoshenkov KC, 2012. A review of sustainable materials for acoustic applications. *Build Acoustic*, Vol. 19 (4), pp. 283–312.

Asif M, Muneer T, Kelley R, 2007. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. *Building and environment*, Vol. 42 (3), pp. 1391-1394.

Bilec M, Ries R, Matthews HS, Sharrard AL, 2006. Example of a hybrid life-cycle assessment of construction processes. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 4, pp. 207–215.

Buchanan A, Levine B, 1999. Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science and Policy*, Vol. 2, pp. 427-437.

Buyle M, Braet J, Audenaert A, 2013. Life cycle assessment in the construction sector: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.26, pp.379-388.

Cabeza L, Rincón L, Vilariño V, Pérez G, Castell A, 2014. Life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review. *Renewable and Sustainable energy reviews*, Vol. 29, pp. 394-416.

Castell A, Menoufi K, De Gracia A, Rincón L, Boer D, Cabeza LF, 2012. Life cycle assessment of alveolar brick construction system incorporating phase change materials (PCMs). *Applied Energy*, Vol. 101, pp. 600–608.

Chau C, Leung T, Ng W, 2015. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. *Applied Energy*, Vol.143, pp. 395-413.

Citherlet S, Defaux T, 2007. Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span. *Building and Environment*, Vol. 2, pp. 591–598.

Cook J, Oreskes N, Doran P, Anderegg W, Verheggen B, Maibach E, Carlton JS, Lewandowsky S, Skuce AG, Green S, 2016. Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming," *Environmental Research Letters*, Vol. 11 (4)



Cuellar-Franca RM, Azapagic A, 2012. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. *Building and environment*, Vol 54, pp. 86-99.

De Gracia A, Rincón L, Castell A, Jiménez M, Boer D, Medrano M, Cabeza LF, 2010. Life cycle assessment of the inclusion of phase change materials (PCM) in experimental buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 9, pp. 1517–1523.

Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Disponible en: http://icaen.gencat.cat/web/.content/20_Energia/25_empreses_servei_energetic/arxiu/directiva_2002_91_ce_eficiencia_energetica_edificios.pdf

Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Directiva_2010-31_UE_EE_en_edificios_Refundicion_d3ee0458.pdf

Ecoinvent (2016). Disponible online en: <http://www.ecoinvent.org/>

Gaiaciencia, 2015. Las temperaturas globales están rompiendo records. Disponible online en: <http://www.gaiaciencia.com/2015/06/las-temperaturas-globales-estan-rompiendo-records/>

Galindo LM, Samaniego JL, Alatorre JE, Ferrer J, Reyes O, Sánchez L, 2015. Ocho tesis sobre el cambio climático y el desarrollo sostenible en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Glick S, 2007. Life-cycle assessment and life-cycle costs: a framework with case study implementation focusing on residential heating systems, Ed. ProQuest.

Houghton JT, 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press.

Hunt R, Franklin W.E, 1996. LCA –How it came about- Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA. *Int LCA* 1/1, pp.4-7.

ISO 14040:2006. Environmental management –life cycle assessment- principles and framework. CEN (European Committee for Standardisation). Brussels.

ISO 14044:2006. Environmental management –life cycle assessment- requirements and guidelines. CEN (European Committee for Standardisation). Brussels.

Jönsson A, Tillman AM, Svensson T, 1997. Life cycle assessment of flooring materials: case study. *Building and Environment*, Vol. 3, pp. 245–255.

Keoleian GA, Blanchard S, Reppe P, 2000. Life-cycle energy, costs, and strategies for improving a single-family house. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 2, pp. 135–156.



Klöpffer W, 1997. Life Cycle Assessment. From the beginning to the Current State. ESPR, Vol. 4, pp. 223-228.

Koroneos C, Dompros A, 2007. Environmental assessment of brick production in Greece. Building and Environment, Vol. 5, pp. 2114-2123.

Lewandowska A, Noskowiak A, Pajchrowski G, Zarebska J, 2015. Between full LCA and energy certification methodology –a comparison of six methodological variants of buildings environmental assessment. Int J Life Cycle Assess, Vol. 20, pp. 9-22.

Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Jefatura del Estado «BOE» núm. 153, de 27 de junio de 2013 Referencia: BOE-A-2013-6938. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-6938-consolidado.pdf>

Menoufi K, Castell A, Farid MM, Boer D, Cabeza LF, 2013. Life cycle assessment of experimental cubicles including PCM manufactured from natural resources (esters): a theoretical study. Renewable Energy, Vol. 51, pp. 398-403.

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), 2015. Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Disponible online en: http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/documentoresumen-geiespana-serie1990-2015_tcm7-453238.pdf

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), 2017. Qué es el cambio climático y como nos afecta. Disponible online en: <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>

Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital: Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, 2012. Disponible en:

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/directiva2012/Paginas/normativa.aspx>

Ministerio de Fomento, 2017. Generación de energía eléctrica según fuentes. Disponible online en: https://www.ign.es/espmmap/graficos_ocupacion_eso/OcupaESO_Graf_11.htm

Naciones Unidas. Protocolo de Kioto, 1998. Disponible online en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

NASA/GISS: Global Climate Change. Vital Signs of the Planet, 2016. Global Temperature. Available online at: <http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

NASA: Global Climate Change. Vital Signs of the Planet. Carbón Dioxide. Available online at: <http://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>



Ortiz O, Castells F, Sonnemann G, 2009. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp. 28-39.

Osman A, Ries R, 2004. Life-cycle impact analysis of energy systems for buildings. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 3, pp. 87–97.

PAS 2050. Huella de Carbono. Cálculo de emisiones. BSI, 2011. Disponible online en: <http://www.ecotech.cat/pas2050.pdf>

PE International, 2014. Gabi 6 Software and Database on Life Cycle Assessment. Leinfelden-Echterdingen, Germany. Disponible online en: <http://www.gabi-software.com/international/overview/product-sustainability-performance/>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA): disponible online en: <http://www.pnuma.org/>

Ramesh T, Prakash R, Shukula KK, 2010. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *Energy and buildings*, Vol. 10, pp.1592-1600.

Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Ministerio de la Presidencia «BOE» núm. 89, de 13 de abril de 2013 Referencia: BOE-A-2013-3904. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-3904>

Sartori I, Hestnes AG, 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: a review article. *Energy and buildings*, Vol. 3, pp.249-257.

Singh A, Berghorn G, Joshi S, Syal M, 2011. Review of life cycle assessment applications in building construction. *Journal of Architectural Engineering*, Vol.1, pp. 15-23.

UNE-EN 15978, 2012. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.

Universidad de Cantabria, 2015. Cifras del curso 2014-2015. Disponible online en: <http://web.unican.es/conoce-la-uc/la-uc-en-cifras/cifras-del-curso-2014-15>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2017. Proyecto PAPIME. Disponible online en: <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/oikos-historico/numeros-anteriores/53-edificios-verdes>

Van Den Heede P, De Belie N, 2012. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’ concretes: literature review and theoretical calculations. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 4, pp. 431–442.



Wu X, Zhang Z, Chen Y, 2005. Study of the environmental impacts based on the green tax— applied to several types of building materials. *Building and Environment*, Vol. 2, pp. 227–237.

Zabalza I, Valero A, Aranda A, 2011. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement. *Building and environment*, Vol. 46, pp. 1133-1140.

Zabalza I, Aranda A, Scarpellini S, 2009. Life cycle assessment in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement of building certification. *Building and environment*, Vol. 44, pp. 2510-2520.

ANEXO



Towards a global energy performance certification of buildings: a new approach based on Life Cycle Energy Assessment.

R. Aldaco; M. Margallo; J. Laso; M. Rodrigo; M. Mañana; A. Irabien

Department of Chemical and Biomolecular Engineering

Department of Electrical and Energy Engineering

University of Cantabria, Bulevar Ronda Rufino Peón, 254, 39316 Tanos, Cantabria.

Email: aldacor@unican.es

Recent studies identified that buildings all over the world responsible for 30-40% of energy use and 40-50% of world greenhouse gas emission [1]. The relationship between the building industry and environmental pollution is constantly discussed in close association. Building industry consists of many phases starting from mining, manufacturing, construction, use and demolition. Within each phase, a large amount of energy is consumed and at the same time a considerable emission is released.

Life Cycle Energy Assessment (LCEA) is a simplified version of Life Cycle Assessment (LCA) which focuses only on the evaluation of energy inputs for different phases of the life cycle. Mathematically, the energy inputs can be as shown in the following:

$$E = E_{\text{Extraction}} + E_{\text{Manufacture}} + E_{\text{Onsite}} + E_{\text{Operation}} + E_{\text{Demolition}} + E_{\text{Recycling}} + E_{\text{Disposal}}$$

where E represents the total energy consumed during the whole life cycle of a building, and E_j represents the energy consumed during j^{th} building phase.

Operational energy is the energy required for day-to-day operation processes of buildings such as heating, cooling and ventilation systems, lighting as well as appliances. Use phase accounts for the largest portion of energy consumption of life cycle of conventional buildings [2], and the operational energy use for heating and electricity accounted for 80-90% of climate change and acidification impacts from conventional buildings [3]. According to this, it is possible to find a close relationship between energy consumption and the environmental and economic impacts.

On the other hand, energy performance certification of buildings is a requirement under the Directive 2002/91/EC [4] on the energy performance of buildings and the Directive



2006/32/EC [5] on energy end use of energy and energy services. From Directives, it is mandatory take the necessary measures to ensure that the energy performance of building is upgraded in order to meet minimum requirements in so far as this is technically, functionally and economically feasible.

For this purpose, it is considered the energy impacts of the consumption of electric and heating systems. In this work, we propose include the energy impacts associated to and material resources used in the operation phase of the building in order to calculate the contribution of this energy impacts as new variables for the energy performance certification. We have selected impacts associated with the consumption of primary energy in a university building as case study.

From a methodological point of view, the approach relies on the actual energy consumption records obtained from energy and materials audit exercises with aid of LCA databases.

Taking into account LCA methodology, it is possible to obtain primary energy impact and carbon footprint in order to simplify the decision making process for the energy certification of buildings.

[1] I. Zabalza Bribián, A. Aranda Usón, S. Scarpellini; Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification, *Build Environ*, 44(12) (2009), pp. 2510-2520.

[2] Adalberth K, Almgren A, Petersen EH. Life cycle assessment of four multifamily buildings; 2001.

[3] Cole RJ, Kernan PC. Life-cycle energy use in office buildings. *Build Environ* 1996; 31: 307-17.

[4] Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. OJ L1, 4.1.2003, p. 65-71.

[5] Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services. OJ L114, 27.4.2006, p. 64-85.