



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



El Análisis de Ciclo de Vida. Metodología de decisión y evaluación ambiental en el sector de la edificación

Grado en Arquitectura Técnica

Alumno: Enrique Ruiz López

Tutores académicos: María Josefa González Redondo

José Luis Ponz Tienda

Angélica María Ospina Alvarado

Curso académico 2015 - 2016



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
CIVIL Y AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA





Resumen

Nos centraremos en el estudio de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como una herramienta íntegra de evaluación ambiental orientada al diseño arquitectónico, concretamente utilizada como un sistema que permite adoptar la solución más sostenible por medio del análisis de todas las fases vitales edilicias (a diferencia del resto de métodos empleados hasta el momento, donde solamente se considera representativa la etapa de uso del edificio). Además, una vez fijado el diseño, es posible calcular el impacto que nuestro modelo va ejercer en el medio.

Con objeto de poder ampliar la difusión del documento a cualquier clase de público y que el lector posea unos conocimientos mínimos que le permitan juzgar el ACV, se realiza un repaso que abarca las principales actuaciones e iniciativas en materia de sostenibilidad realizadas en el sector de la edificación hasta el momento, junto con un análisis sobre su contribución al cambio climático. Esta previa, complementada con un caso de aplicación práctica basado en el estudio de materiales de construcción siguiendo el marco normativo de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), facilitará el entendimiento de las bases que fundamentan dicha metodología.

De forma resumida, el propósito final girará en torno a la mejora del protocolo de medición del daño ambiental que se ha venido llevando a cabo durante los últimos años, así como en el establecimiento de medidas y estrategias de corrección en etapas tempranas de diseño de productos (ya sea materiales de construcción o edificios) sin deteriorar el fin último para el que son fabricados. Por ello, se promueve la divulgación de esta herramienta tan completa en el campo de la arquitectura con idea de fomentar su empleo dado el desconocimiento generalizado que actualmente se tiene de la misma.

Palabras clave: Diseño sostenible, materiales de construcción, contribución ambiental, cambio climático, herramienta íntegra.



Abstract

We will focus on the study of the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) as an integral environmental assessment tool orientated towards architectural design, specifically used as a system to adopt the most sustainable solution through the analysis of all life product stages (unlike other methods used nowadays where is considered representative only the use stage of the building). Furthermore, once set design, it is possible to calculate the impact that our model will have on the environment.

With a view to expand the dissemination of the document to any kind of audience and that the reader had some basic knowledge that allow him to judge the ACV, a review which covers the main activities and initiatives related to sustainable topics and carried out in the building sector so far, together with a analysis on its contribution to climate change. This preliminary, supplemented with a case of practical application based on the study of building materials and following the regulatory framework for Environmental Product Declarations (EPD) will facilitate the understanding of the bases that support the methodology.

Briefly, the ultimate goal will focus on improving the measurement protocol of the environmental damage that has been taking place in recent years, as well as the establishment of measures and corrective strategies in early stages of product design (either building materials or buildings) without spoiling the ultimate end for which they are manufactured. Therefore the disclosure of this comprehensive tool is promoted in the field of architecture with the idea of encouraging its use because of the widespread ignorance that currently exists.

Keywords: sustainable design, building materials, environmental contribution climate change, complete tool.



Lista de acrónimos

AABE: Active Ageing and the Built Environment.

ACCV: Análisis del Coste de Ciclo de Vida.

ACS: Agua Caliente Sanitaria.

ACV: Análisis de Ciclo de Vida.

ADF: Factor de Agotamiento de Recursos / Abiotic Depletion Factor.

AP: Potencial de Acidificación / Acidification Potential.

ASHRAE: American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers.

ASTM: American Society for Testing Materials.

BBDD: Base de Datos.

BRE: Building Research Establishment.

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology.

CALCAS: Coordination Action for innovation in Life Cycle Analysis for Sustainability.

CASBEE: Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency.

CE: Comunidad Europea.

CEN: Comité Europeo de Normalización.

CFCs: Compuestos clorofluorocarbonados.

CIRCE: Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos.

CML: Institute of Environmental Sciences / Centrum voor Milieuwetenschappen.

CNPC: Corporación Nacional de Petróleo de China.

CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.



CTE: Código Técnico de la Edificación.

DALY: Disability Adjusted Life Year.

DAP: Declaración Ambiental de Producto.

DGNB: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen / German Sustainable Building Council.

E2B EI: Energy Efficient Building European Initiative.

ECTP: Plataforma Europea de la Construcción / European Construction Technology Platform Tecnológica.

EE: Embodied Energy.

EEOs: Obligaciones de Eficiencia Energética / Energy Efficient Obligations.

EEUU: Estados Unidos de América.

EICV: Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.

EIO-LCA: Economic Input-Output Life Cycle Assessment.

ELCD: European Life Cycle Database.

EMPA: Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research.

EP: Potencial de Eutrofización/ Eutrophication Potential.

EPA: U.S. Environmental Protection Agency.

EPLCA: Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida.

ETP: Potencial de Toxicidad Ecológica / Ecologic Toxicity Potential.

FNEE: Fondo Nacional de Eficiencia Energética.

GWP: Potencial de Calentamiento Global / Global Warming Potential.

HCFCs: Compuestos hidroclorofluorocarbonados.

HQE: Haute Qualité Environnementale.

HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning.

ICV: Inventario de Ciclo de Vida.



- IDAE:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- IEA:** International Energy Agency.
- IEA-ECBCS:** International Energy Agency - Energy Conservation in Buildings and Community Systems.
- iSBE:** International Initiative for a Sustainable Built Environment.
- ILCD:** International Reference Life Cycle Data System.
- IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IRAM:** Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- ISO:** International Organization for Standardization.
- JRC:** Joint Research Centre.
- LCA:** Life Cycle Assessment.
- LCC:** Life Cycle Costing.
- LCSA:** Life Cycle Sustainability Analysis.
- LEED:** Leadership in Energy and Environmental Design.
- MRI:** Midwest Research Institute.
- MJ:** MegaJulios.
- NAHB:** National Association of Home Builders.
- NatHERS:** Nationwide House Energy Rating Scheme.
- NRC:** Noise Reduction Coefficient.
- nZEB:** nearly Zero Energy Building.
- ODP:** Potencial de Agotamiento de Ozono / Ozone Depletion Potential.
- OE:** Operating Energy.
- OECD:** Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OMS:** Organización Mundial de la Salud.
- ONU:** Organización de las Naciones Unidas.



PNIR: Plan Nacional Integral de Residuos.

POCP: Potencial de Formación de Ozono Fotoquímico / Photochemical Ozone Creation Potential.

RCP: Regla de Categoría de Producto.

REEEP: Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership.

REPA: Resource and Environmental Profile Analysis.

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios.

SBG: Sustainable Building Challenge.

SETAC: Sociedad para la Química y Toxicología Ambiental / Society of Environmental Toxicology and Chemistry.

SGA: Sistema de Gestión Ambiental.

SLCA: Social Life Cycle Assessment.

TRACI: Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts.

UE: Unión Europea.

UNE: Una Norma Española.

UNEP: United Nations Environment Programme.

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

USA: United States of America.

USGBC: U.S Green Building Council.

VPO: Vivienda de Protección Oficial.

WGBC: World Green Building Council.

WWF: World Wildlife Fund.



Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	13
1.1	Presentación del trabajo.....	14
1.2	Objetivos a conseguir.....	15
1.3	Metodología de elaboración del documento.	16
2	ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	19
2.1	Sostenibilidad y cambio climático.....	19
2.2	El sector de la edificación y su contribución al cambio climático.	27
2.3	Impacto ambiental generado por los materiales que intervienen en el edificio.....	33
2.4	Actuaciones en favor del desarrollo sostenible y la eficiencia energética en el sector de la edificación.....	42
2.4.1	Modelos edificios energéticamente eficientes.	42
2.4.1.1	Edificios de baja energía.....	42
2.4.1.2	Edificios de consumo nulo o “nearly Zero Energy Buildings” (nZEB).	44
2.4.1.3	Edificios de energía plus.....	45
2.4.1.4	Metodología Passive house.....	46
2.4.1.5	Rehabilitación energética de edificios.....	47
2.4.1.6	Commissioning y sistemas de ahorro a través de dispositivos electrodomésticos.	48
2.4.2	Iniciativas legislativas y certificaciones.	50
2.4.2.1	Directrices de carácter internacional:.....	50
2.4.2.2	Directrices europeas:.....	53
2.4.2.3	Directrices de ámbito nacional:.....	56
2.4.3	Iniciativas económicas.	58
2.4.4	Instrumentos basados en campañas de educación y formación ciudadana.	60



3	EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV).	63
3.1	Origen y evolución.	64
3.2	Definición y principios del Análisis de Ciclo de Vida.	71
3.3	Metodología de un ACV.	72
3.3.1	Definición del objetivo y alcance.	74
3.3.2	Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).	81
3.3.3	Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV).	83
3.3.4	Interpretación de resultados.	92
3.4	Bases de datos existentes en el mercado.	94
3.5	Metodologías de evaluación de impacto.	97
3.6	Principales herramientas para la aplicación del ACV.	101
3.7	Implementación del ACV en el sector de la edificación.	105
3.8	Declaraciones Ambientales de Producto (DAP).	109
4	CONCLUSIONES GENERALES.	115
5	CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DEL ACV AL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.	119
5.1	Información general.	122
5.2	Descripción del producto.	123
5.2.1	Descripción del producto y de la utilización del mismo:	123
5.2.2	Datos técnicos y características físicas de los productos analizados: ...	124
5.2.3	Descripción de los principales componentes de cada uno de los productos para una unidad funcional:	126
5.3	Información de cálculo ACV.	129
5.4	Etapas del ciclo de vida.	130



5.4.1	Etapa del producto (A1 - A3).....	131
5.4.2	Etapa del proceso de construcción (A4 - A5).....	133
5.4.3	Etapa de utilización - excluyendo los posibles ahorros (B1- B7).....	135
5.4.4	Etapa de finalización de vida útil (C1- C4).	135
5.4.5	Potencial de reutilización/ recuperación/ reciclaje (Módulo D).	138
5.5	Información adicional.	138
5.6	Resultados ACV.	138
5.7	Interpretación del ACV.....	139
5.7.1	Indicador de calentamiento global (kg CO ₂ equivalentes):.....	139
5.7.2	Consumo de recursos no renovables (MJ):	140
5.7.3	Consumo de energía primaria (MJ).....	140
5.7.4	Consumo neto de agua (m ³).	141
5.7.5	Producción total de desechos (Kg).	142
5.8	Estudio simplificado de las fases de producción.	144
5.9	Conclusiones finales sobre el caso práctico.....	151
6	BIBLIOGRAFÍA.	153
7	LISTA DE FIGURAS.....	163
8	LISTA DE TABLAS.	167
9	ANEXO I. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LOS PRODUCTOS AISLANTES COMERCIALIZADOS POR FIBERGLASS COLOMBIA S.A.....	171
9.1	Atac 1m*2.97m*0.03m.	173
9.2	Ductoglass Neto 96’’*48’’*1’’	177
9.3	Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m.	181
9.4	Frescasa Eco con foil 600’’*48’’*3.5’’	185



9.5 Frescasa Eco con papel 600''*48''*3.5''	189
9.6 Frescasa Eco MBI 600''*48''*3.5''	193
9.7 Frescasa Eco sin papel 600''*48''*2.5''	197
9.8 Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m.	201
9.9 Black Theater 96''*48''*1''	205



1 Introducción.

El físico teórico, astrofísico, cosmólogo y divulgador científico Stephen Hawking, afirmó en el periódico español *El País*: “*La raza humana tendrá que salir de La Tierra si quiere sobrevivir*” y aunque en la actualidad se están haciendo progresos en este sentido, aún no tenemos ningún otro planeta en el que instalarnos de forma segura. Esta conclusión desemboca en otra más evidente, debemos conservar este planeta dado que no tenemos otro lugar donde ir.

Tras estas reflexiones y desde los conocimientos adquiridos durante mi formación académica, decidí indagar en este tema y elaborar un documento que ayudara a responder a cuestiones como, ¿en qué estado se encuentra actualmente el planeta?, ¿qué se entiende por sostenibilidad?, ¿cómo contribuye la edificación a este problema global?, ¿qué soluciones hemos implantado en nuestro sector para corregirlo?, ¿son suficientes estos remedios?, ¿medimos y cuantificamos los impactos ambientales de forma correcta?, ¿existe alguna metodología que evalúe dichos impactos de forma más realista?, si la respuesta es afirmativa, ¿cómo funciona?, ¿se emplea actualmente?, ¿qué inconvenientes presenta?

Con mucho esfuerzo y afán se ha intentado responder a cada una de las preguntas anteriormente planteadas, descubriendo un planeta que se dirige desenfrenadamente al colapso, en el que gran parte de sus habitantes desconocen el verdadero significado del término “sostenible” a pesar de estar en boca de todos a diario y donde la edificación juega un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático dada la gran contribución que realiza a la causa. Indagando en este último aspecto es evidente que la industria de la construcción ha adoptado medidas correctoras desde que se conoce el problema del calentamiento global, pero éstas a día de hoy son insuficientes y se encuentran desfasadas, necesitamos seguir investigando y renovándonos continuamente. Es por ello que centramos la atención en el estudio del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siendo claramente una de las herramientas más completas de las que disponemos para medir la sostenibilidad y tomar medidas correctoras de acuerdo



a este término, consiguiendo así que los edificios y materiales de construcción empleados durante su ejecución sean productos ejemplares en esta materia.

El desarrollo de la metodología, ponerla en práctica y reponder tanto a las cuestiones formuladas anteriormente como a otras que han ido surgiendo durante la redacción del proyecto han sido los objetivos principales del trabajo, de manera que éste sirva para aportar un pequeño grano de arena en la conservación del medio ambiente y en la creación de un hábitat saludable, por lo menos hasta que descubramos otro lugar mejor donde asentarnos.

1.1 Presentación del trabajo.

Uno de los propósitos perseguidos ha sido adentrar al lector en el mundo de la edificación sostenible paulatinamente, de forma que se amenizara el proceso de aprendizaje y lectura del documento. Así, comenzaremos introduciendo el concepto de “desarrollo sostenible” y el estado actual del medio, ampliado con previsiones a largo plazo que nos concienciarán de la problemática existente. Posteriormente se ha focalizado esta preocupación ambiental en la industria de la construcción, estudiando la aportación de los edificios al cambio climático y detallando qué etapas del ciclo del ciclo de vida son las más exigentes energéticamente teniendo en cuenta la evolución constructiva a lo largo de los años.

A raíz de las deducciones realizadas en apartados previos, podremos constatar la aparición de nuevas incógnitas a tener en cuenta en el balance final, tal es el caso de la energía incorporada. Examinaremos su composición y las conclusiones que autores expertos en la temática han publicado al respecto.

Tras este primer acercamiento, se realiza un análisis de las principales actuaciones e iniciativas propuestas hasta la fecha en favor de la sostenibilidad edilicia, de manera que nos encontremos actualizados y dotados del conocimiento suficiente para poder juzgar las propuestas futuras que surjan en torno a este tema. Es en este momento cuando se presenta la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta de gran proyección futura destinada a la toma de decisiones, mejora del proceso y evaluación ambiental



de todas las etapas del ciclo de vida que se consideren oportunas. Explicaremos sus orígenes, su sistemática de aplicación y todo lo referente a bases de datos, software y métodos de evaluación de impactos predeterminados.

Se finaliza la parte teórica enfocando el ACV a la industria de la construcción, definiendo los niveles más favorables para su implantación y las ventajas e inconvenientes que presenta su adaptación a este sector tan peculiar. Prestaremos especial atención en el análisis de productos, comentando cómo por medio del estudio de ciclo de vida la empresas pueden obtener un “ecoetiquetado” que les hará ser más competentes, siendo el mayor beneficiario el usuario final ya que este extra de información ambiental le permite poder decantarse por un producto u otro, exigencia muy demandada en el mercado actual.

El proyecto se culmina con el empleo de esta metodología en un caso práctico realizado en colaboración con la empresa Fiberglass Colombia S.A, analizando varios de sus productos comerciales, concretamente 9 materiales destinados al aislamiento de distintos sistemas constructivos (techos, fachadas, particiones interiores, etc). El informe y análisis planteado se pretende elaborar según lo estipulado por la normativa UNE-EN 15804 y la correspondiente Regla de Categoría de Producto (RCP) para materiales aislantes de forma que la entidad pueda obtener la Declaración Ambiental de Producto (DAP) de los mismos.

En resumidas cuentas, se trata de un documento muy completo que narra los avances hasta la fecha de la industria de la edificación en materia de sostenibilidad y en el que se expone detalladamente una metodología completa y novedosa como es el ACV, aplicándola además a un caso verídico.

1.2 Objetivos a conseguir.

Distinguiremos de forma clara y escueta entre objetivos primarios y secundarios. En el primer grupo y como principales metas a conseguir, se encuentran:

- Averiguar cuál es la participación de los edificios en el cambio climático, así como actuaciones e iniciativas aplicadas en los mismos para su mitigación.



- Entender la metodología del ACV como herramienta de decisión, mejora del proceso y evaluación del impacto medioambiental.
- Orientar todos los avances obtenidos hacia el sector de la edificación, concretamente al proceso de fabricación de materiales de construcción.
- Establecer medidas y estrategias, con aplicación en cualquiera de las fases del ciclo de producción de materiales, que impliquen una reducción del impacto ambiental sin deteriorar el fin último del producto.
- Aplicar el análisis de ciclo de vida a un caso real, de manera que la empresa colaboradora pueda utilizar el informe elaborado para la consecución de una DAP.

Con carácter secundario, se establecen los siguientes enunciados:

- Dar a conocer la problemática ambiental existente.
- Conocer la participación energética de los materiales dentro del ciclo de vida completo de un edificio y compararla con el resto de etapas, así como con el modelo actual de construcción.
- Indagar en el procedimiento a seguir para un correcto análisis de vida.
- Estudiar si los métodos de análisis presentes cuantifican y evalúan los impactos acorde a la realidad.
- Generar un alto impacto que pueda resultar útil para la divulgación y aplicación práctica de esta herramienta.

1.3 Metodología de elaboración del documento.

Se basará en la recopilación de artículos técnicos y publicaciones de autores expertos en la materia e investigación de páginas web de organismos notorios. Esa información quedará retocada de manera que se plasme la experiencia de los tutores de proyecto, tanto en lo relativo a la temática principal como en el establecimiento de bases didácticas. Destacar que este documento es el resultado de un intercambio académico de carácter internacional entre la Universidad Politécnica de Valencia (Valencia, España) y la Universidad de Los Andes (Bogotá, Colombia) siendo el profesorado encargado de la asesoría perteneciente a ambas universidades. Otros profesores expertos en la materia, como es el caso del Dr. D. Ignacio Zabalda Bribián, docente en la Universidad



de Zaragoza (Zaragoza, España) han prestado su colaboración desinteresada en la causa, aclarando ciertas dudas que surgieron durante la trayectoria de trabajo.

Tras la redacción y comprensión de los fundamentos teóricos, éstos se aplicarán a un caso práctico relacionado con la implementación de la herramienta en una serie de productos comerciales de la empresa Fiberglass Colombia S.A, cuya colaboración ha resultado crucial, sobre todo en materia de recopilación de datos necesarios para el análisis. Esta información proporcionada ha recibido un trato confidencial de forma que se preserven los derechos y patentes de fabricación que la entidad posee sobre los materiales analizados, siendo éste el principal motivo por el que no se muestran en este texto y cumpliendo así el contrato firmado por ambas partes.

En definitiva, se trata de un documento que plasma el trabajo duro y continuo que supuso el entender el análisis de ciclo de vida dada la escasez de información que hay al respecto, principalmente en lo referente a su enfoque en la edificación. Además, las herramientas informáticas que existen para su aplicación son un tanto complicadas si no se cuenta con una guía inicial del ACV como puede ser este documento. Por ello, animo al lector al estudio detallado del trabajo de forma que le ayude a adquirir unos conocimientos generalizados sobre la metodología que le faciliten su inclusión en la misma. Se espera que la motivación y el esfuerzo impuesto logren un resultado final que cumpla con las expectativas originadas.





2 Estado de la cuestión.

2.1 Sostenibilidad y cambio climático.

Desde la antigüedad, la relación entre el ser humano y la naturaleza ha sido uno de los parámetros a tener en cuenta a la hora de proyectar en el ámbito de la arquitectura. Por lo que aunque parezca una idea actual y reciente, la interacción entre el hombre y la naturaleza siempre ha estado presente, generalmente con el intento de dominación del primero con respecto al segundo. Los seres humanos tenemos necesidades materiales que cubrimos por medio de la extracción de bienes de la naturaleza, siguiendo posteriormente el ciclo consumista “compra – consumo – desecho”, en el que el planeta Tierra cumple la función de mero contenedor.

Tal como dice (Burgess, 2003) la cuestión no es porqué la sostenibilidad y la relación entre la naturaleza y el ser humano se ha convertido en un tema tan actual, sino en qué momento de nuestra historia se perdió esta conciencia ambiental. Porqué nos sorprende tanto esta conexión a día de hoy. Es muy difícil establecer el momento histórico en el que se extravió esa responsabilidad, pero quizás etapas como la Revolución Industrial del siglo XIX en la cual todo se cuantificaba según criterios puramente económicos, no facilitaran que dicha conciencia ambiental se transfiriera de generación en generación.

En la segunda mitad del siglo XIX, se empezaron a establecer otros criterios surgidos de movilizaciones sindicales y de la preocupación desde los países más desarrollados sobre la escasez de recursos y su intensivo uso por aquella época. Es entonces cuando al principio económico se le sumaron los conceptos de social y medioambiental.

A partir de este momento, surgieron toda una serie de acontecimientos que han fortalecido la conexión entre estos elementos. A continuación destacaremos los más relevantes (Naciones Unidas, 2015), (Ayuntamiento de Arona, 2015), (Ecointeligencia, 2015):

En 1968, se creó el Club de Roma, al cual pertenecían numerosas personalidades de gran importancia en sus respectivos países (economistas,



premios nobel, etc.). El fin de este club era promover un crecimiento estable y sostenido de la humanidad. Cuatro años más tarde y a petición del Instituto Técnico de Massachusetts, elaboraron un informe titulado “Los límites del crecimiento” en el cual se muestran las simulaciones sobre el estado del planeta en una visión hasta el año 2100. Este informe predijo el colapso del planeta para esa fecha, causando un gran impacto en la sociedad.

Ese mismo año, 1972, se produce la primera Cumbre de la Tierra en Estocolmo (Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Humano). En ella, se establecen por primera vez las principales preocupaciones en materia ambiental y se pretende que los participantes adquieran una visión ecológica del mundo.

A partir de ese año, surgieron otros movimientos en favor del medio ambiente, pero no es hasta 1983 cuando la ONU fundó la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, y concretamente cuatro años más tarde, con la publicación por parte de esta entidad del informe “Nuestro Futuro Común” (conocido mundialmente como el Informe Brundtland en honor a la doctora Gro Harlem Brundtland¹) que supuso la adopción de la definición más compartida hasta la fecha sobre desarrollo sostenible, según la cual el desarrollo es sostenible si satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las propias necesidades de las generaciones futuras.

En Junio de 1992, se celebró en Rio de Janeiro la Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo, la cual fue denominada como la segunda Cumbre de la Tierra. De ella se obtuvieron grandes resultados, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco sobre el Cambio Climático, sirviendo este documento como pretexto para la generación del Protocolo de Kioto. También surgen otras acciones en favor del desarrollo sostenible como es el Programa 21, a través del cual se pretende movilizar a las autoridades locales para que establezcan planes basados en este criterio (se reconoce la importancia de fomentar la sostenibilidad desde lo local hasta lo global).

¹ La Dra. Gro Harlem Brundtland asumió el cargo de Directora General de la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 21 de Julio de 1998, dada su participación activa en temas relacionados con la mejora de la salud de la población mundial. Su etapa en la OMS finalizó el 21 de Julio de 2003. En 2007, fue nombrada enviada especial de las Naciones Unidas para el cambio climático (Organización Mundial de la Salud, 2015).



Dos años más tarde, este compromiso de sostenibilidad local fue adquirido por más de 80 autoridades locales europeas a través de la firma de La Carta de Aalborg, nacida de la Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles en la ciudad de Aalborg (Dinamarca).

En 1997, se aprueba el Protocolo de Kyoto en la Cumbre de Kyoto sobre el Cambio Climático, donde los principales países industrializados se comprometen a reducir en al menos un 5% las emisiones de gases de efecto invernadero en el periodo 2008-2012, tomando como base los datos de 1990. Dicho protocolo no entró en vigor hasta el año 2005.

No es hasta el año 2002, cuando acontece la tercera Cumbre de la Tierra en la ciudad de Johannesburgo, conocida comúnmente como “Río+10”. En esta cumbre se ratifican los planes adoptados en la anterior y se convoca para dar respuesta a los nuevos dilemas ambientales surgidos hasta la fecha. Destacan en ella novedades importantes como la firma del Protocolo de Kyoto de grandes países como Rusia y Canadá.



Figura 1. Posición de los diversos países en 2011 respecto del Protocolo de Kyoto (EL UNIVERSAL, 2012).



En 2007, se celebró la Conferencia sobre el Cambio Climático en Bali. Sirvió para fortalecer posturas a favor de las energías renovables y las tecnologías de origen limpio, por el contrario, no se logró que parte de los países emergentes² y Estados Unidos ratificaran el protocolo.

La XV Conferencia sobre el Cambio Climático fue desarrollada en 2009 en Copenhague. Esta conferencia destacó por la preparación de futuros compromisos con idea de poder ir actualizando los asumidos en el Protocolo de Kyoto. Se consiguió además, que países emergentes y Estados Unidos firmaran el acuerdo establecido en esa reunión. Sin embargo, este recibió críticas severas por ser un texto no vinculante, sin objetivos cuantitativos ni plazos.

El resto de conferencias anuales han sido una acumulación de continuos fracasos, caracterizados por una gran falta de consenso, en los que se ha intentado llegar a un acuerdo mundial que sustituya al Protocolo de Kyoto y que éste sea ratificado por los principales países generadores de emisiones, sobre todo China y EEUU. Finalmente dicho acuerdo no se alcanzó, optando por prorrogar el Protocolo de Kyoto hasta el año 2015.

Ambos países asumen los daños climáticos y llegan a un compromiso conjunto para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la Cumbre de Lima 2014, lo que acercó posturas para un posible acuerdo global de mínimos en la cumbre de Paris 2015 la cual se prevé para el mes de diciembre.

De esta manera y siguiendo la evolución relatada, al término sostenibilidad se le dotó de innumerables definiciones a lo largo del tiempo. Por ejemplo, (Cáceres Teran, 1996) lo definió como la capacidad del entorno de asumir la presión humana de manera que sus recursos naturales no se degraden irreversiblemente.

Actualmente, las grandes organizaciones internacionales (World Bank, OMS, UNESCO, etc.), describen el desarrollo sostenible a través de la interacción de

² Los países emergentes considerados son: Argentina, Bahrain, Bangladesh, Brasil, Bulgaria, Chile, China, Colombia, República Checa, Egipto, Estonia, Hungría, India, Indonesia, Irán, Jordania, Corea del Sur, Kuwait, Latvia, Lituania, Malasia, Mauricio, México, Marruecos, Nigeria, Omán, Pakistán, Perú, Filipinas, Polonia, Qatar, Rumania, Rusia, Eslovaquia, Sudáfrica, Sri Lanka, Sudán, Taiwán, Tailandia, Túnez, Turquía, Ucrania, Venezuela, Vietnam. (García-Herrero, Navia , & Nigrinis Ospina, 2011).



tres pilares básicos que representan las dimensiones abarcadas por el concepto de sostenibilidad: el aspecto medioambiental, el social y el económico. Según (World Bank, 2015) esta satisfacción de las necesidades del futuro que comentaba el Informe Brundtland depende de cuánto EQUILIBRIO se logre entre estos aspectos a la hora de tomar decisiones, aun a pesar de que a corto plazo pueda parecer que entran en conflicto. Esta metodología es recomendada por (McDonough & Braungart, Michael, 2002) como herramienta para proyectar y diseñar cualquier tipo de objeto o proceso.

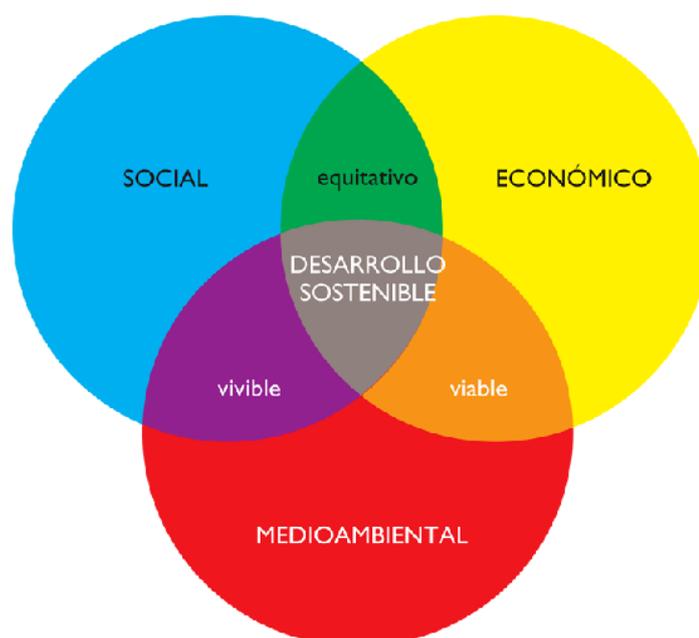


Figura 2. Los pilares del desarrollo sostenible y su interacción entre ellos. (Ecointeligencia, 2015).

A pesar de la variabilidad de definiciones que encontramos sobre desarrollo sostenible, todas ellas tienen un propósito común, la preocupación por el medio ambiente. El clima nos muestra día a día alteraciones insólitas que reflejan que algo estamos haciendo mal. Prueba de ello son los informes redactados por asociaciones tales como Amigos de la Tierra, World Wildlife Fund (WWF), Greenpeace, etc.

Para reflejar el estado del planeta de forma resumida y sin salirnos del guion planteado, nos basaremos en el último informe redactado por (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014), una asociación independiente y especialista en la materia. Según este último informe, hay varios indicadores que reflejan una clara tendencia hacia el colapso:



- Cambios en la temperatura: los últimos tres decenios han sido más calurosos que cualquiera anterior, siendo el decenio del 2000 el más cálido de todos. Este aumento de temperatura se ha producido tanto en la superficie de la Tierra, la del aire y la de los océanos. Consideran “prácticamente seguro” que también se ha calentado la troposfera (capa de la atmósfera más cercana a la superficie de la Tierra).

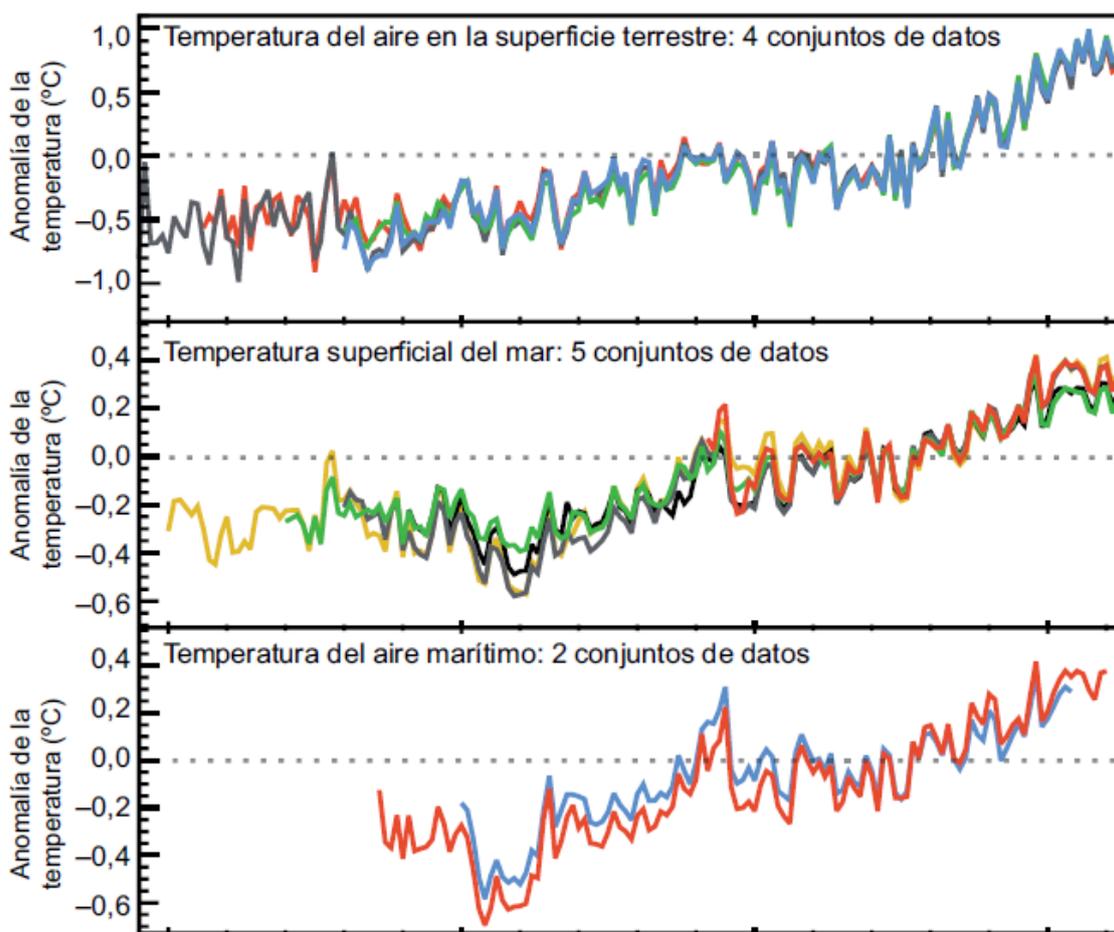


Figura 3. Anomalías de la temperatura debidas al cambio climático. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

- Cambios en el balance energético: dicho informe considera “prácticamente seguro” que la energía de la Tierra ha aumentado considerablemente entre 1971 y 2010 (se ha experimentado un desequilibrio dado que ha entrado más energía radioactiva en la parte superior de la atmósfera que la escapada desde 1970).
- Cambios en el ciclo del agua: Basados en un desajuste pluviométrico, donde las zonas de latitudes medias del hemisferio norte muestran un aumento de la precipitación a diferencia del resto del mundo, cuya



escasez se hace notar. También se ha experimentado un aumento de la humedad específica en el aire.

En cuanto a glaciares y mantos de hielo, así como hielo marino, hay un consenso claro que indica que tanto su masa, volumen y extensión han disminuido notablemente y siguen menguando a un ritmo alarmante.

- Cambios en la salinidad de las aguas: consideran muy probable el aumento de este indicador, sobre todo en las latitudes medias donde predomina la evaporación, mientras que en las aguas superficiales dulces de regiones tropicales, se ha producido una desalinización.
- Cambios en el nivel del mar: las mayores variaciones en este parámetro han sido debidas a la expansión de los océanos a medida que el agua se ha calentado, así como el aporte de agua producido por el deshielo de glaciares y hielo marino. Se estima que durante el período 1901-2010 el nivel del mar ha aumentado 19 cm, casi duplicándose el ritmo de crecida en el período 1993-2010 (pasó de ser 1.7mm/año a 3.2 mm/año).

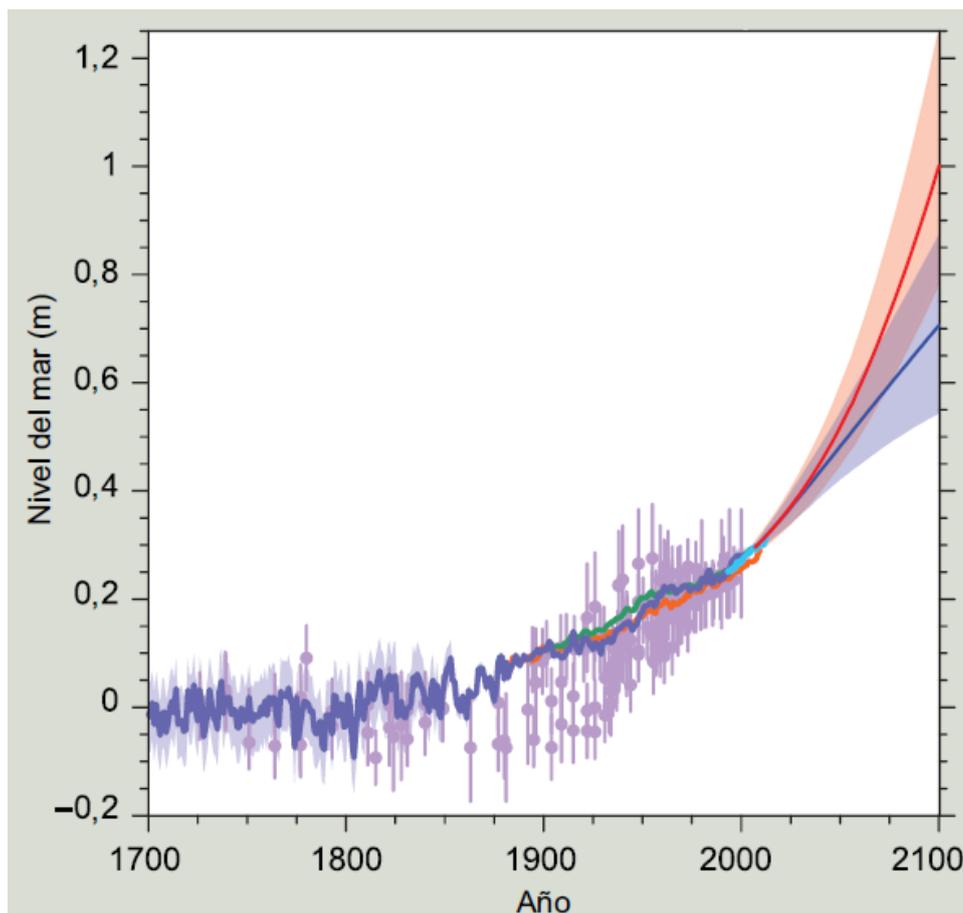


Figura 4. Aumento del nivel del mar y previsión hasta el año 2100. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).



- Cambios en el ciclo del carbono y otros químicos: el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), han batido todos los récords desde hace 800000 años. Este aumento se ha visto reflejado de una forma más exponencial conforme aumenta la latitud y sobre todo en el hemisferio norte, haciendo evidente que el problema surge por causas antropogénicas provocadas por los principales países desarrollados. Este incremento de concentración de gases, ha provocado una acidificación de los mares con la disminución de pH que este efecto conlleva.

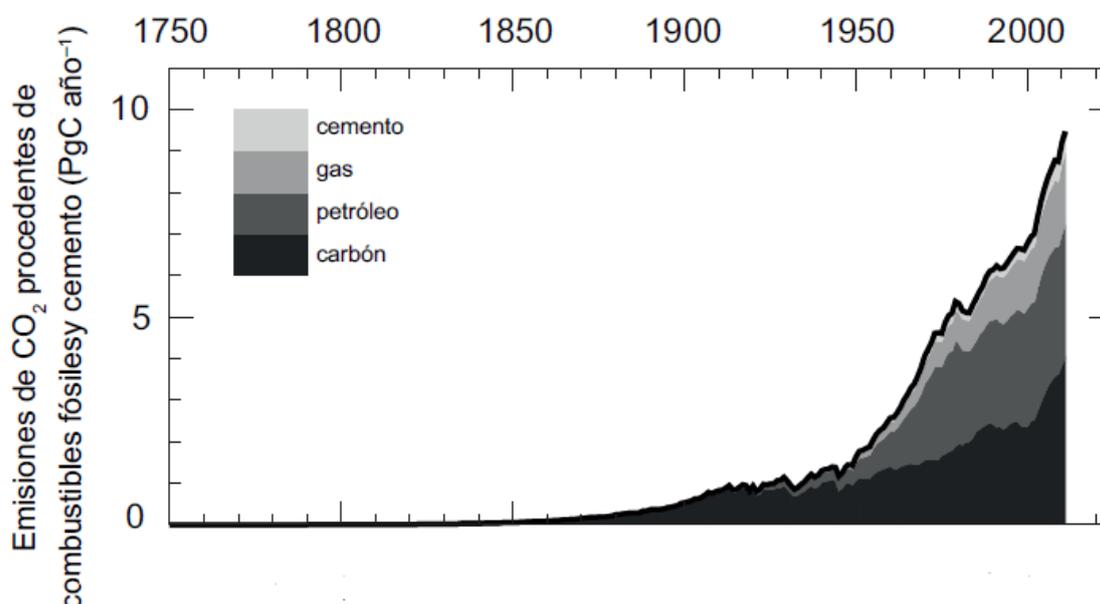


Figura 5. Incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero desde 1975. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

Destacar que las previsiones que realiza este informe a largo plazo son alarmantes, por lo que urge actuar de manera inmediata. Esta organización aconseja que se activen medidas tanto de mitigación, como de adaptación a estos cambios. El problema no parece tener una solución fácil y requiere la colaboración de todos, escenario realmente complicado sobre todo en los países donde actualmente ya se está luchando contra otras dificultades como el hambre y las desigualdades sociales.



2.2 El sector de la edificación y su contribución al cambio climático.

Maurice F. Strong (ex-vicesecretario de Naciones Unidas y defensor del término desarrollo sostenible) recalcó que la principal batalla para lograr la sostenibilidad se daría en las ciudades. Conscientemente, sabía que las ciudades son los núcleos de mayor concentración edilicia y que el sector de la construcción iba a jugar un papel importante en la lucha a favor del equilibrio sostenible.

Según (Alavedra, Domínguez, Engrácia, & Serra, 1997) la edificación implica grandes impactos al medio ambiente, ya que es necesario utilizar materiales que provienen de la extracción de recursos naturales, procesarlos y fabricarlos, con el contenido intensivo de energía que conlleva esta manipulación. Así pues, una vez construidos, éstos no dejan de contaminar, si no que siguen siendo causa directa por las emisiones generadas, además del impacto sobre el territorio edificado, el cual difícilmente volverá a tener las características originales. Durante la fase de derribo y fin de vida del edificio se generan costes ecológicos por la acumulación de grandes cantidades de residuos, provocando emisiones tóxicas así como contaminación de aguas subterráneas entre otras causas.

Si profundizamos en la literatura sobre el impacto de los edificios en el medio, nos encontraremos con ingentes cantidades de cifras que refuerzan lo ya expuesto.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) (International Energy Agency, 2013), estimó que los edificios consumían del orden del 30-40% de la energía mundial, lo que equivale a 2500 Mtoe³ cada año. Siguiendo indicadores similares, otras asociaciones como la OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development) culpan al sector residencial y comercial del consumo de aproximadamente el 30% de la energía primaria⁴ (cifra para países pertenecientes a esta organización), así como del 30% de las emisiones de

³ Mtoe: se trata de una unidad que representa la cantidad de energía liberada al quemar un millón de toneladas de petróleo crudo. Por tener una referencia numérica, 1 toe (tonne of oil equivalent) es igual a 10 gigacalorías (Gcal) o a 11.63 megavatios-hora (MWh).

⁴ Energía primaria: se entiende por esta forma de energía a toda aquella que se encuentra disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada (combustibles crudos, energía solar, eólica, biomasa, geotérmica, etc.)



efecto invernadero originadas por éstos. (OECD, 2003). Otros autores son incluso más pesimistas y elevan al 50% el uso de la energía y las emisiones generadas por los edificios (Alavedra, Domínguez, Engracia, & Serra, 1997). Por otra parte, (United Nations Environment Programme, 2009) considera que este sector consume el 12% del agua potable mundial y causa el 40% de los residuos.

En la Unión Europea, la construcción de edificios supone el 40% del consumo de materiales, genera el 40% de los residuos y utiliza el 40% de la energía primaria. Además es causante del 45% de las emisiones de CO₂ y de un consumo significativo de agua potable (United Nations Environment Programme, 2007).

En EEUU, las cifras son poco más alentadoras. Se utiliza un 35% de la energía primaria y se emite un 39% de emisiones de CO₂, lo que supone 2236 millones de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera. Sin embargo, lo realmente impactante es la alta dependencia que tiene este sector de la energía eléctrica, suponiendo un 70% del consumo de la misma (U.S. Green Building Council, 2015).

En España los resultados no varían mucho, siendo la industria de la construcción responsable del uso del 41% de los recursos naturales, la generación del 30-40% de los residuos sólidos, el empleo del 32% de energía primaria y de la generación del 30% de las emisiones de CO₂. Con referencia al año 1990, se considera que estas cifras han aumentado en un 50% (Mercader, Ramírez de Arellano, A., & Olivares, M., 2012). Según Green Building Council España, la edificación residencial y de servicios analizada teniendo en cuenta el ciclo completo de vida de los mismos, supone el consumo de 12000 KWh/año y unas emisiones de 1970 Kg de CO₂/ Año (Green Building Council España, 2015).

Dado que demasiados índices porcentuales pueden confundir al lector, tras lo expuesto se puede concluir que el sector de la edificación consume un tercio de la energía global y emite esa misma cantidad de dióxido de carbono (International Energy Agency, 2013). Dicha fracción se puede extrapolar también al uso de recursos naturales mundiales, lo que supone alrededor de tres billones de toneladas de materiales (United Nations Environment Programme, 2009);(Roodman and Lenssen, 1995).

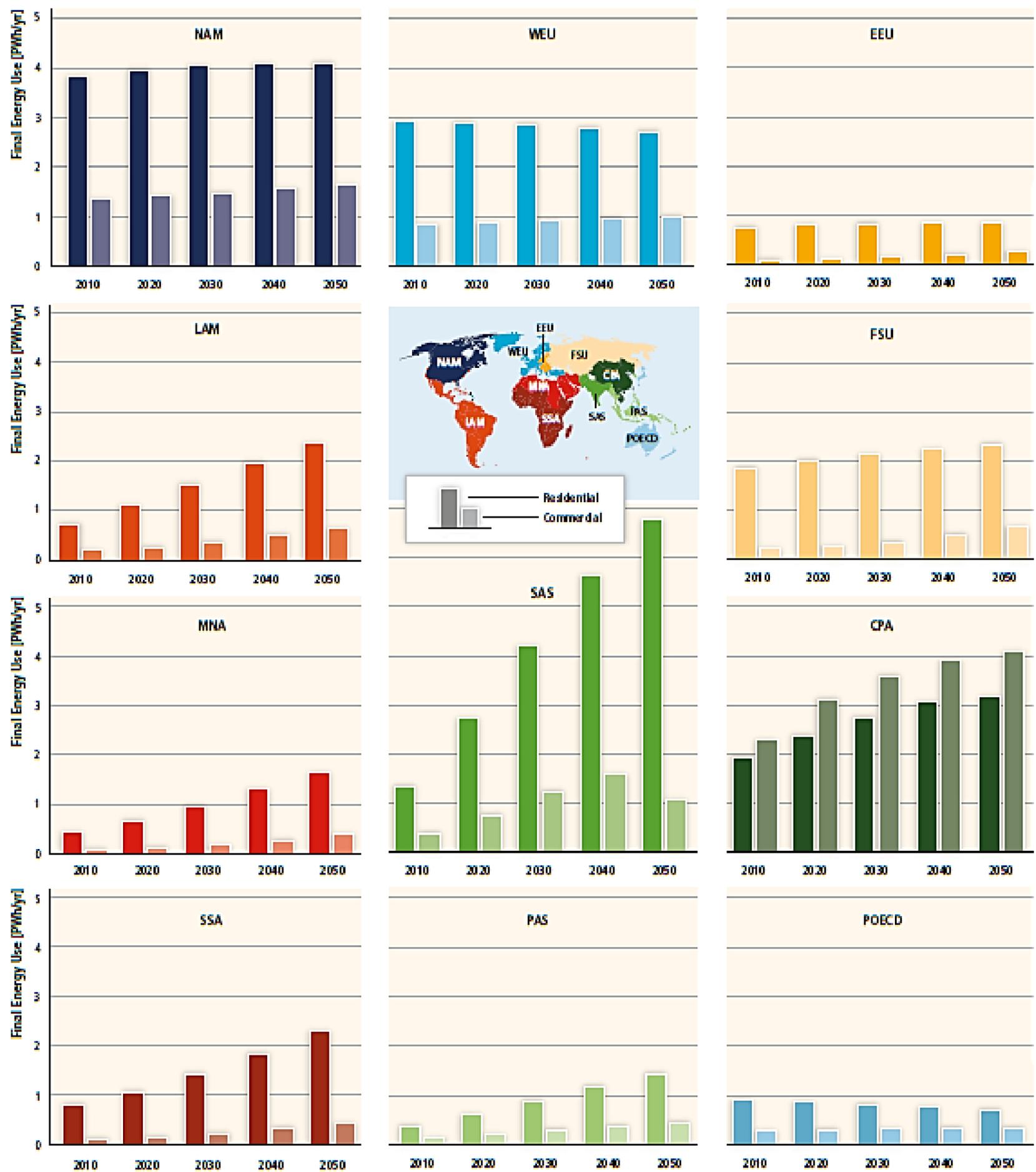


Figura 6. Consumo total de energía térmica por agrupaciones de países. (Agencia Internacional de la Energía, 2015).



Pero no todos los edificios consumen por igual. El patrón de uso de energía dependerá principalmente de la tipología edilicia y de la zona climática donde se encuentre. Otros aspectos, como puede ser el nivel de desarrollo económico del lugar donde esté situado, también pueden influir considerablemente.

Según (International Energy Agency, 2013), los edificios residenciales contabilizaban el 24% del total de energía global, siendo el 8% restante dedicado a uso energético en edificios comerciales. En Europa estos porcentajes no varían demasiado, del orden del 27.5% y 8.7% para cada una de las tipologías respectivamente (Earth Trends 2005; ATLAS 2006). Para otros países y continentes se mantiene casi la misma proporción, con alguna excepción, como Norte América y principales países desarrollados en los se media más el consumo entre residenciales y comerciales:

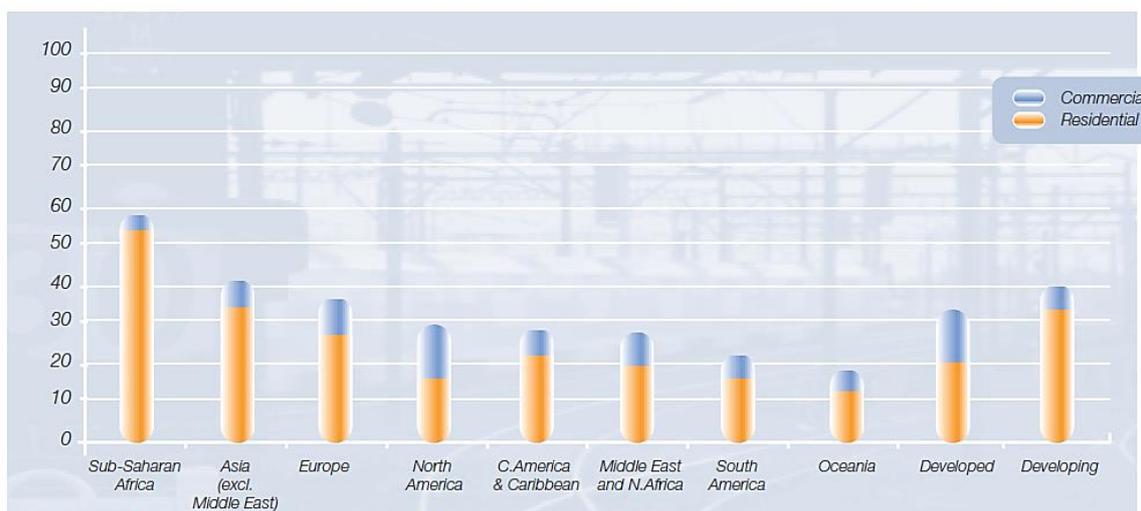


Figura 7. Consumo total de energía en diferentes continentes y distintas tipologías edilicias. (United Nations Environment Programme, 2007).

Centrándonos en los edificios residenciales, (United Nations Environment Programme, 2007) establece que el gasto de energía de los mismos, en términos de carácter internacional, se distribuye de manera que el 60% de la energía que consume el edificio se emplea en procesos de calefacción o refrigeración del mismo, 18% en sistemas de agua caliente sanitaria (ACS) y un 9% para el funcionamiento de aparatos eléctricos de diversa índole (dentro de este porcentaje se incluye un 3% para iluminación general), siendo el 13% restante repartido entre una minoría de gastos energéticos.



Resaltar que los datos mencionados son medias internacionales, fluctuando dichos porcentajes según los principales parámetros de uso de la energía (zona climática, tipología de edificio, tamaño de los edificios, nivel de desarrollo del país, sensibilidad ambiental de la población, etc). Un ejemplo de estas fluctuaciones lo podemos observar en la siguiente figura:

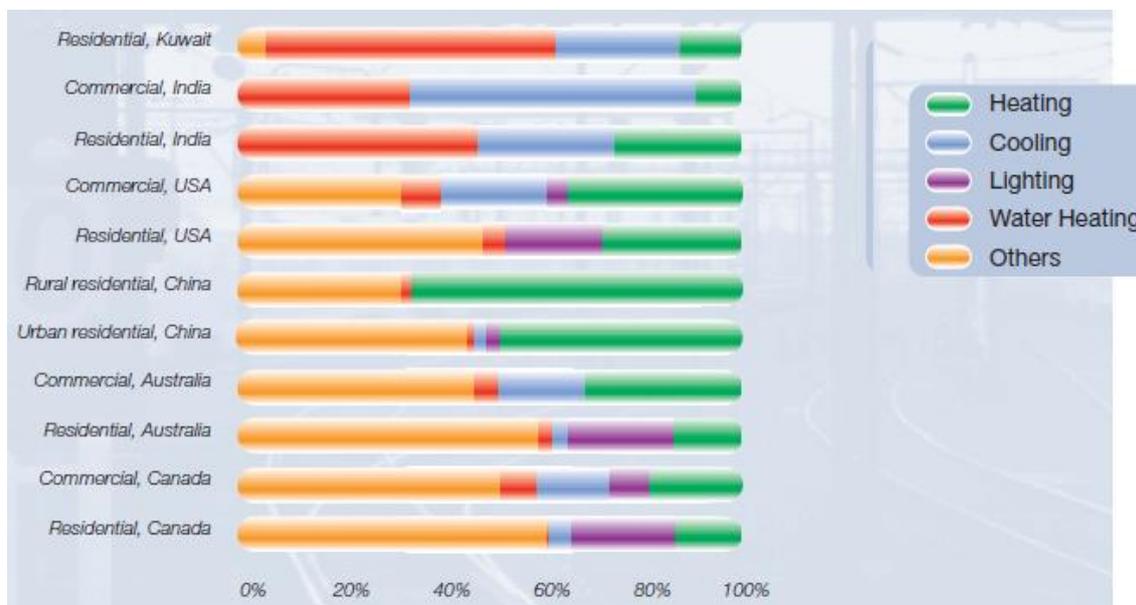


Figura 8. Diferentes usos finales de la energía en distintos continentes y tipologías de edificios. (United Nations Environment Programme, 2007).

Pero a pesar de ser uno de los sectores que mayores impactos medioambientales genera, todos los autores estudiados concuerdan que posee grandes capacidades de mejora energética. De hecho, dichas mejoras se vuelven imprescindibles dado el elevado ritmo de contaminación que la construcción ha alcanzado en las últimas cuatro décadas, sobre todo las emisiones de carácter indirecto⁵, en contraste con las de índole directa, que se han mantenido estables durante ese periodo. Además se prevé un aumento de la demanda de energía para el año 2050 del 50% si ninguna medida se implementara al respecto.

⁵ Las emisiones indirectas son aquellas generadas por la propia actividad de la empresa o en este caso por el uso del edificio, no encontrándose bajo el control de la organización o de los usuarios del edificio (generalmente asociadas a la producción de electricidad y calor). El resto de emisiones que provienen de fuentes propiedad de los usuarios del edificio y que se encuentran bajo el control de los mismos se consideran directas (PricewaterhouseCoopers, 2009).

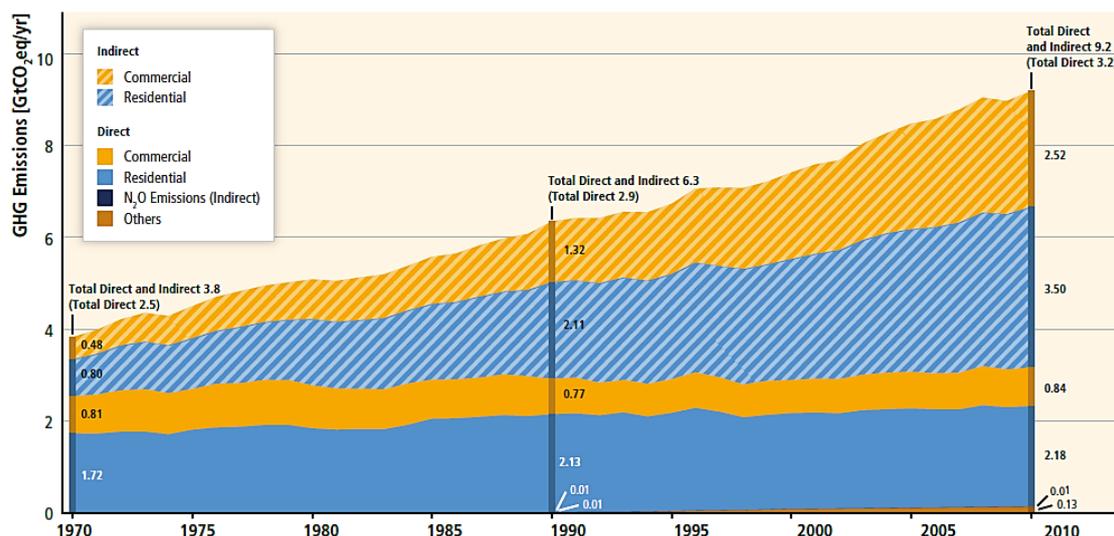


Figura 9. Evolución de las emisiones directas e indirectas en el período 1970-2010. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

Dada la preocupación generada por estas expectativas, el sector se ha puesto a trabajar rápidamente en mejoras enfocadas en el ahorro energético y la reducción de las emisiones a lo largo del ciclo de vida de la edificación. De esta manera han surgido varios nichos de mercado relacionados con la creación de edificios de consumo de energía nulo o casi nulo (edificios nZEB, ver 2.4.1.2), metodologías de sistemas pasivos de aprovechamiento energético (Passivhaus, ver 2.4.1.4) y otras derivadas de la combinación de la arquitectura bioclimática con edificaciones tecnológicamente avanzadas.

De acuerdo con las investigaciones realizadas por (McGraw-Hill Construction, 2008) (United Nations Environment Programme, 2012), los edificios “verdes”⁶ tienen el potencial de minorar su energía de uso hasta un 50%, su nivel de emisiones un 35%, una reducción en la cantidad de residuos del 70%, así como un 40% en el uso del agua. En la siguiente figura, se muestra cómo afectan algunas de las principales medidas establecidas actualmente en la reducción de las emisiones de CO₂:

⁶ En este contexto se entiende por edificio “verde” aquél que incorpora una o varias medidas relacionadas con la sostenibilidad y la eficiencia energética.

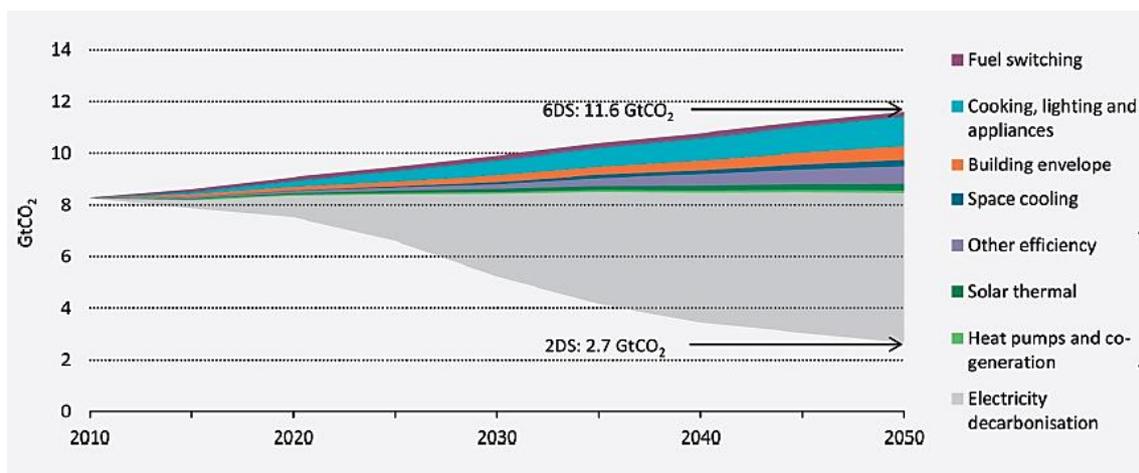


Figura 10. Diferentes soluciones y metodologías de reducción de emisiones de CO₂ y previsión de eficacia hasta el año 2050. (International Energy Agency, 2013).

Sin embargo, como menciona (Tabernero Duque, 2010), el edificio que menos energía consume en su construcción y menos emisiones genera es el que ya está construido, con lo que la rehabilitación juega un papel importantísimo en pos de la sustentabilidad. De hecho, (United Nations Environment Programme, 2007) califica como una prioridad la rehabilitación energética al estimar que el 60% del parque de viviendas actual de Europa, Rusia y Estados Unidos estará aún en servicio en el año 2050, con el consiguiente derroche de energía que supondría no actualizar las mismas.

Por ello, se hace imprescindible una actuación inmediata en este campo, apoyada en el uso de energías renovables y en políticas que ayuden a superar las actuales barreras del sistema, tales como el alto coste inicial, la falta de sensibilidad ciudadana en materia medioambiental y el hecho de que los costes que supone verter CO₂ a la atmósfera se reflejen en los precios actuales de mercado.

2.3 Impacto ambiental generado por los materiales que intervienen en el edificio.

La Revolución Industrial no solamente supuso un cambio en la forma de medir o valorar cualquier proceso (criterio económico), sino que alteró considerablemente el sistema y las técnicas empleadas de fabricación de los materiales, hasta entonces basadas en métodos naturales propios de la biosfera,



de extracción en entornos cercanos, con una metodología de elaboración simple y adaptada a la condición climática del lugar donde se iba a llevar a cabo la construcción. Todos estos aspectos se modificaron, con el consecuente aumento de la distancia de transporte de materiales hasta el lugar de construcción, la masiva extracción de recursos naturales causada por el crecimiento de la demanda⁷ e indudablemente el incremento de la contaminación y los residuos (Arenas Cabello, 2007).

Este sistema se ha estado llevando a cabo hasta la actualidad, donde únicamente hemos intervenido para mejorar las características físico-químicas de los productos sin actuar en sus aspectos medioambientales.

Siguiendo lo expuesto por (Moch, 1996), evaluar la dimensión medioambiental de un producto de construcción es intentar calificar y cuantificar el peso de los impactos que se le asocian a lo largo de su ciclo de vida, partiendo de la extracción de materias primas y finalizando con el proceso seguido en su etapa de fin de vida (reciclaje, incineración, disposición en vertedero, etc.). Analizar todo el ciclo de vida, supone tener en cuenta no solamente la materia empleada en cada fase, sino los costes energéticos, emisiones generadas, materiales auxiliares necesarios para su correcto montaje, mantenimiento (cuantificable de manera energética y material), transportes, etc. En apartados posteriores desarrollaremos mejor esta metodología de análisis.

Actualmente se evalúa la contribución de los materiales en los edificios mediante el estudio de la energía a lo largo del ciclo de vida. Durante muchos años, solamente teníamos en cuenta la energía que el edificio consumía en su etapa de uso, pero debido a las mejoras en eficiencia energética y de los materiales de aislamiento, otras fases vitales han pasado a jugar un papel clave dentro del cómputo global. De esta manera, la energía queda clasificada como (Kumar Dixit, Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp, 2010):

⁷ El incremento de la demanda fue originado en gran parte por el aumento exponencial demográfico que se vivió tras la Revolución Industrial, debido a la mejora de las condiciones higiénico – sanitarias y alimenticias, con la consecuente disminución de la mortalidad infantil. De esta manera, en aproximadamente 250 años se ha pasado de una población de 1260 millones hasta los 7300 millones de habitantes actuales (Càtedra DOW/URV de Desenvolupament Sostenible., 2015).



- Energía incorporada o Embodied Energy (EE): se trata de la energía “secuestrada” o absorbida por todos los materiales de construcción durante todos los procesos de su ciclo vital (fabricación, construcción y disposición final).
- Energía de uso u Operating Energy (OE): es la parte de la energía necesaria para mantener unas calidades ambientales interiores a través de procesos como calefacción, refrigeración, iluminación, gasto energético de electrodomésticos, etc.

En (Vázquez Espí, 2000) se establece una definición que no varía mucho de lo expuesto, habiendo un consenso amplio entre autores en cuanto a los límites del sistema en ambas tipologías energéticas. Sin embargo, no se ha desarrollado ninguna metodología estándar para el cálculo de la energía incorporada, siendo calificado este proceso como complejo por muchos de ellos (Kumar Dixit, Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp, 2010).

Fruto de la carencia de un método de cálculo estándar de este tipo de energía, las discrepancias en las conclusiones obtenidas por diversos autores pueden llegar a ser considerables, tal como se muestra en la siguiente figura:

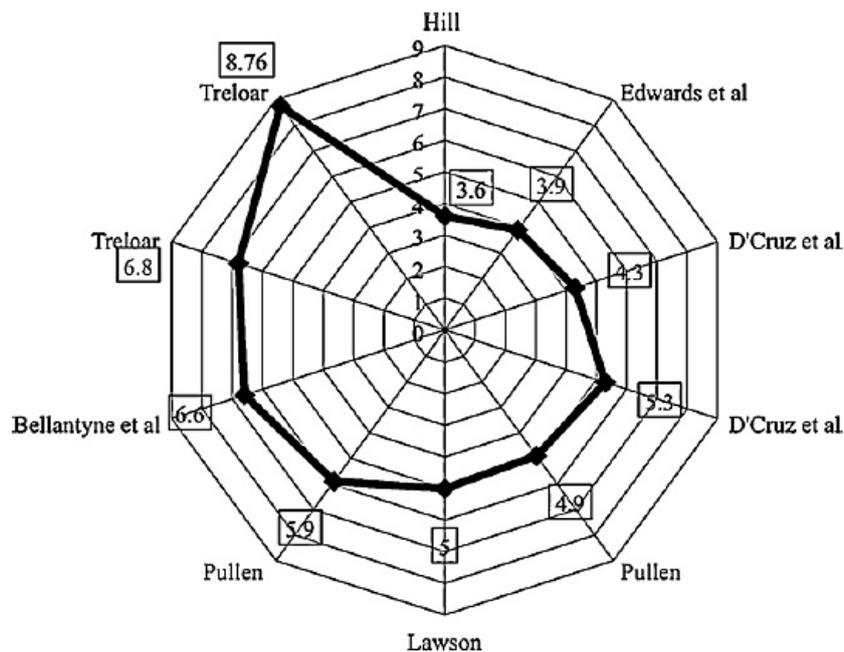


Figura 11. Diferentes conclusiones sobre el porcentaje de energía incorporada en edificios residenciales según diversos autores. (Kumar Dixit, Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp, 2010).

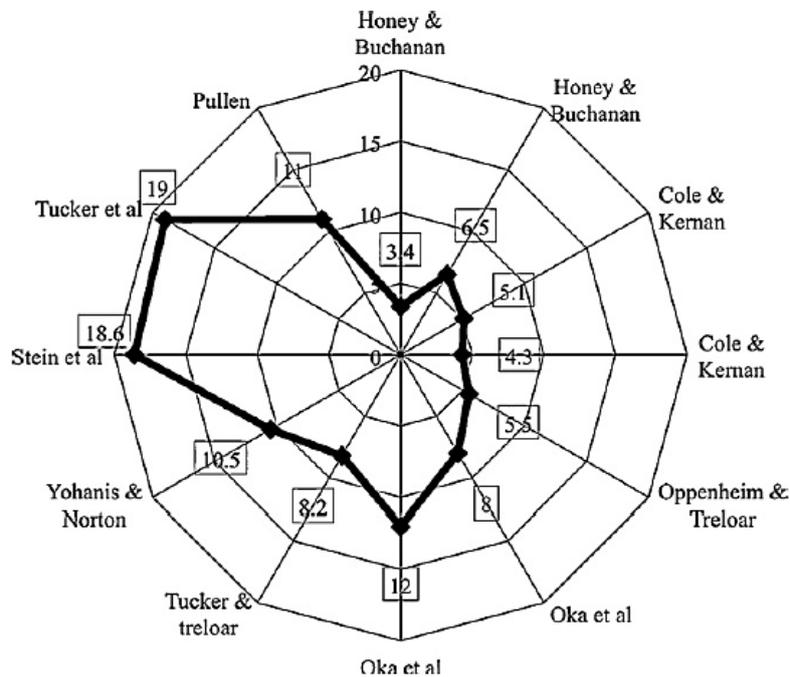


Figura 12. Diferentes conclusiones sobre el porcentaje de energía incorporada en edificios comerciales según diversos autores. (Kumar Dixit, Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp, 2010).

En (United Nations Environment Programme, 2007) se incluyen datos de carácter internacional (aunque especifica claramente que éstos pueden variar dependiendo del país a evaluar) para un edificio de 60 años de vida útil. Como podemos observar, dividen la energía incorporada en tres fases: incorporación de energía en los materiales, incorporación de energía en fase de construcción o “grey energy” y la energía de disposición final de materiales, siendo la energía incorporada total el cómputo de ambas tres.

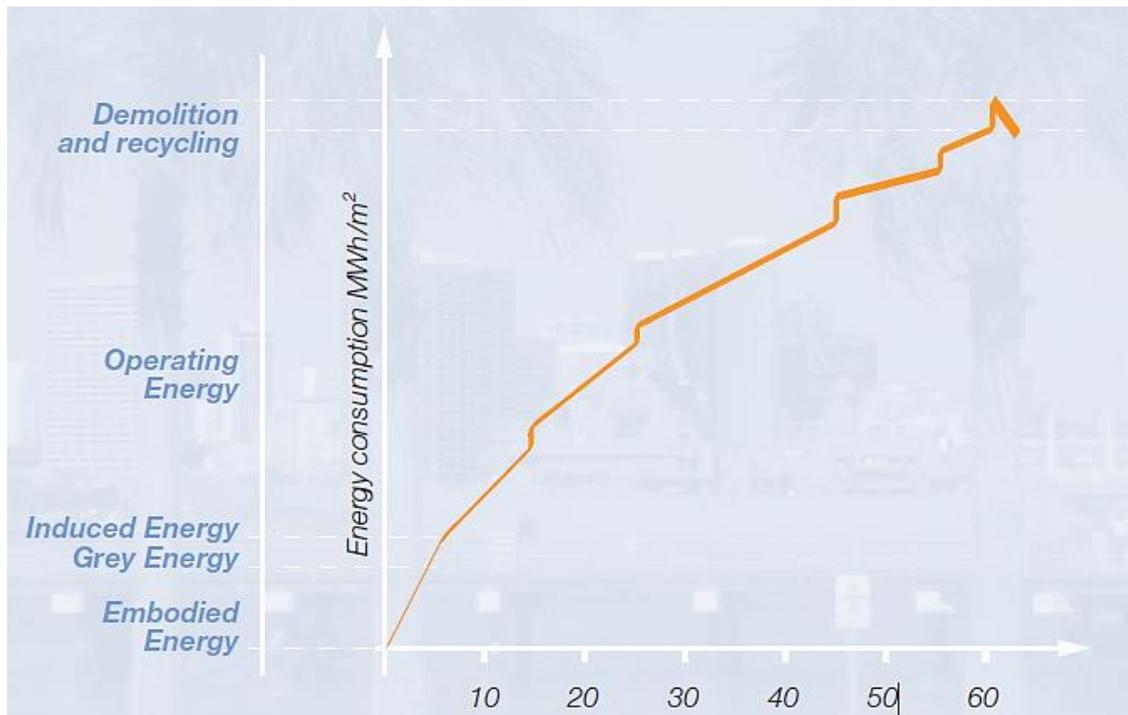


Figura 13. Cómputo acumulado de energía según las diferentes fases del ciclo de vida de un edificio de 60 años de vida útil. (United Nations Environment Programme, 2007).

Con objeto de poder precisar algunos datos sobre energía incorporada, vamos a resaltar las conclusiones de una serie de investigaciones, las cuales fueron desarrolladas con el objetivo de establecer unas reglas comunes de cálculo en esta materia. Destacamos las siguientes:

- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) (Commonwealth of Australia, 2005) realizó una investigación en la que demostró que el contenido medio de energía incorporada en una edificación unifamiliar en Australia era equivalente a 15 años de energía operacional o de uso. (Crawford & Treolar, 2003) establecieron esta cantidad de energía en 15-20 veces la energía de uso anual de un edificio.
- (Ortíz, Castells, Francesc, & Sonnemann, Guido, 2008) concluyeron que el 61% de la energía incorporada en un edificio era consecuencia del hormigón (Además lo consideran responsable del 99% de las emisiones de CO₂). La madera suponía un 14% y los productos cerámicos un 15%.
- (Argüello Méndez & Cuchí Burgos, Albert, 2008) investigan diez viviendas unifamiliares en México y obtienen la siguiente relación de materiales según su impacto ambiental y el coste energético de cada material.



Coste energético por kg de materia			Emisión de CO ₂ por kg de materia	
Material	MJ	KWh	Material	kg
Resinas	110.000	30.560	Resinas	16.280
Asfaltos	55.280	15.360	Asfaltos	8.140
Acero	35.000	9.720	Pintura	3.640
Pintura	24.700	6.860	Acero	2.800
Diesel	10.100	2.805	Cemento	0.410
Cemento	4.360	1.211	Cal	0.320
Cal	3.430	0.953	Cerámica	0.180
Cerámica	2.321	0.645	Madera	0.060
Madera	2.100	0.583	Áridos	0.007
Áridos	0.100	0.028	Diesel	0.003
Agua	0.050	0.014	Agua	0.000
Fibras naturales	Neutro	Neutro	Fibras naturales	Neutro

Figura 14. Coste energético y ambiental de los principales materiales que componen una vivienda unifamiliar. (Argüello Méndez & Cuchí Burgos, Albert, 2008).

- (Mercader, Ramírez de Arellano, A., & Olivares, M., 2012) realizan un estudio en Sevilla sobre viviendas unifamiliares adosadas de dos plantas y bloques residenciales de cuatro plantas de altura con viviendas VPO con objeto de sacar conclusiones sobre el porcentaje de materiales que mayor consumo energético suponen dentro de cada tipología de edificio. Sus resultados fueron:

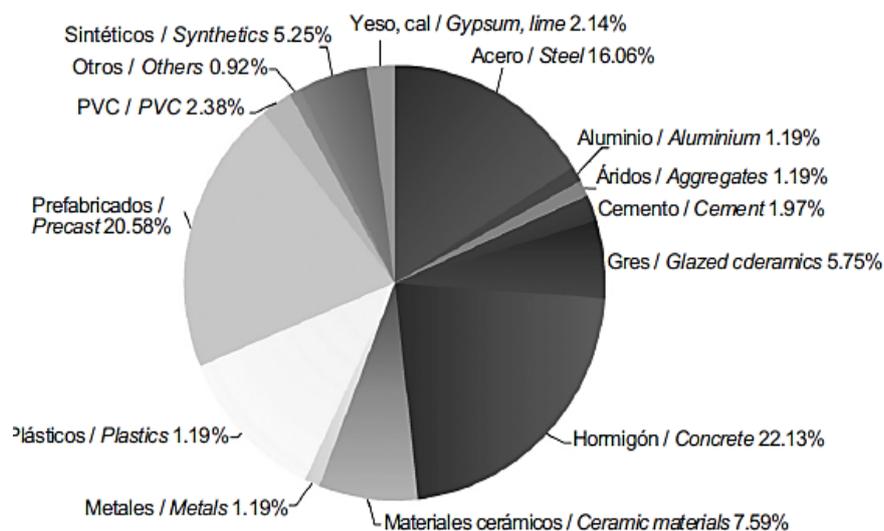


Figura 15. Representación de los materiales que suponen un mayor consumo energético en viviendas unifamiliares adosadas. (Mercader, Ramírez de Arellano, A., & Olivares, M., 2012).

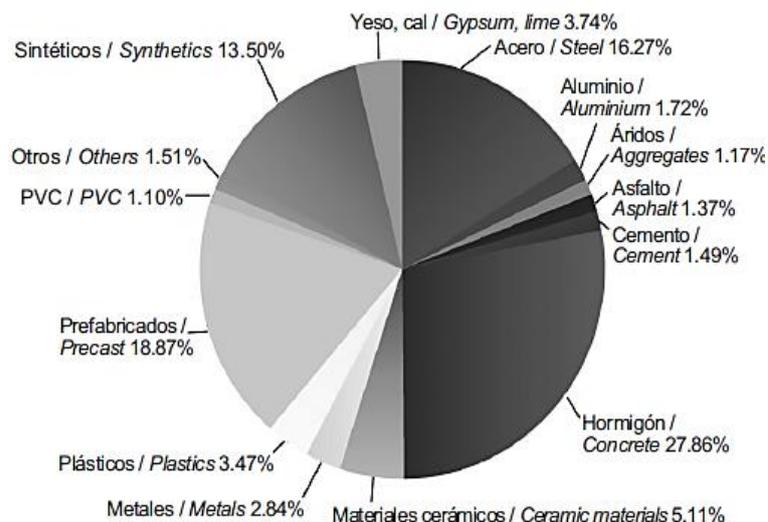


Figura 16. Representación de los materiales que suponen un mayor consumo energético en edificios plurifamiliares de viviendas VPO. (Mercader, Ramírez de Arellano, A., & Olivares, M., 2012).

Establecen conclusiones generales en países como España donde afirman que para construir un metro cuadrado, son necesarios 5754 MJ, catalogando al acero, cemento y la cerámica como los materiales que más contribuyen a elevar el índice de energía incorporada.

- (United Nations Environment Programme, 2007) también concreta algunos materiales con alto contenido de energía. Entre ellos destaca el hormigón, el acero y el aluminio (prácticamente concuerda con el resto de autores). Incluye en este grupo a derivados de plásticos, los cuales solamente contienen un 0.002% del material “crudo” necesario para su producción, índice que demuestra el alto grado de procesamiento al que son sometidos. Como ejemplo de la importancia de calcular la energía de los materiales, estima que en el Reino Unido, el 10% del total de la energía consumida, se utiliza para procesar los materiales.
- El informe sobre edificios realizado por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014), recoge igualmente indicadores al respecto de distintos autores. (Upton et al., 2008; Sathre and Gustavsson, 2009) afirman que emplear estructura de madera puede reducir un 20% la energía incorporada con respecto a estructuras tradicionales de hormigón, y éstas últimas suponen menor coste energético que las metálicas (Xing et al., 2008). También considera a los aislantes como materiales con alto grado de energía incorporada (Harvey, 2007).



- Como sabemos, las emisiones de CO₂ varían en proporción al consumo energético que se realice. Un estudio de (Cuéllar-Franca & Azapagic, 2012) está basado en clasificar los materiales en función de un índice que mide el calentamiento global (Kg CO₂ eq/casa) en tres tipologías de edificios en el Reino Unido: vivienda aislada, vivienda adosada y una “terrace house” que no deja de ser una variante de casa adosada con terraza. Los resultados son:

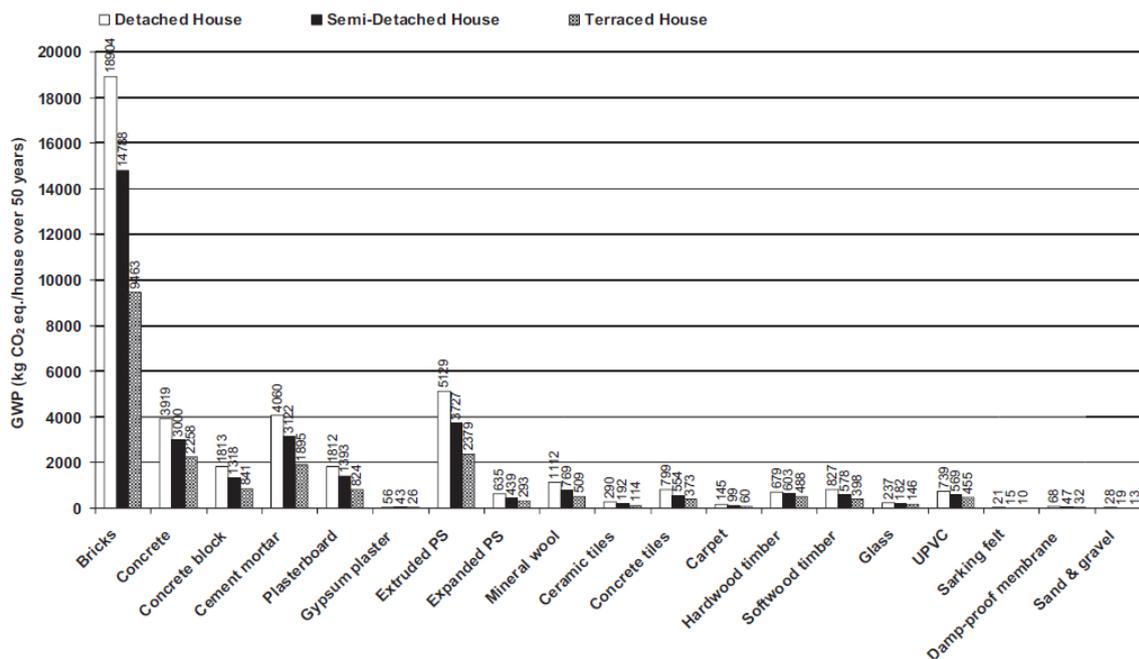


Figura 17. Aportación de los materiales que componen las viviendas aisladas, adosadas y adosadas con terraza al índice de calentamiento global. (Cuéllar-Franca & Azapagic, 2012).

Como conclusiones a lo expuesto, destacar que la cuantificación del indicador de energía incorporada puede variar ampliamente dependiendo de la metodología propuesta, llegando a ser poco esclarecedor en algunos casos (Kumar Dixit, Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp, 2010). Además de la falta de estándares metodológicos, este índice varía de manera sustancial según (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014):

- La localización del material objeto a estudio. Existen amplias variaciones entre los distintos continentes.
- La tipología de transporte del material y la distancia.
- Si en el proceso de fabricación se utilizan materiales reciclados o si todas las materias primas son vírgenes.



- El número de ciclos de reciclaje que el material puede soportar (por ejemplo, el acero inoxidable se puede reciclar muchas veces). Debemos tener en cuenta que no todos los materiales se pueden reciclar en su totalidad, ya que muchos de ellos como puede ser el ladrillo o el vidrio sufren importantes daños durante los procesos de tratamiento destinados a la recuperación del residuo y posterior reintroducción al mercado, siendo en algunos casos las pérdidas considerables y reutilizándose solamente un 20-30% del material.
- La tipología edilicia a estudiar, así como el empleo de sistemas de eficiencia energética en la misma. Está comprobado que se utilizan mayores cantidades de materiales en edificios eficientes energéticamente que en construcciones tradicionales (Citherlet & Defaux , 2007).

La estrategia óptima para limitar el impacto ambiental de los materiales pasa por buscar soluciones constructivas que reduzcan al mínimo, de manera equilibrada, el consumo de energía, la producción de residuos y la contaminación (Speare, 1995). Conseguiremos estos objetivos si utilizamos materiales de baja energía incorporada y disminuimos de manera optimizada su uso en obra basándonos en técnicas de reciclaje y la reutilización de los residuos de demolición (Alavedra, Domínguez, Engracia, & Serra, 1997). No podemos olvidar que el manejo que se haga de los residuos puede suponer grandes cambios en el balance de energía del material (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

Destacar que estos cambios necesarios en el sistema aún se encuentran en fase embrionaria y en un sector tan tradicional como es el de la construcción, cuesta mucho implantar esta ideología de carácter innovador. Favorecería el proceso de adaptación que desde el poder legislativo se implantaran medidas en favor de la reutilización de materiales y del análisis de los procesos de fabricación a través de metodologías tan completas como es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Arenas Cabello, 2007).

Se finaliza este apartado con una mención de (Vázquez Espí, 2000) que testifica que no existen, ni existirán materiales ecológicos. Incluso la madera puede causar fortísimos impactos ambientales si no se maneja adecuadamente. Esta afirmación refuerza la necesidad de rehabilitar el parque de viviendas existente



en vez de construir nuevos edificios, ya que se ahorrarían grandes cantidades de materiales en comparación con la obra nueva, suponiendo una gran reducción de las emisiones al medio.

2.4 Actuaciones en favor del desarrollo sostenible y la eficiencia energética en el sector de la edificación.

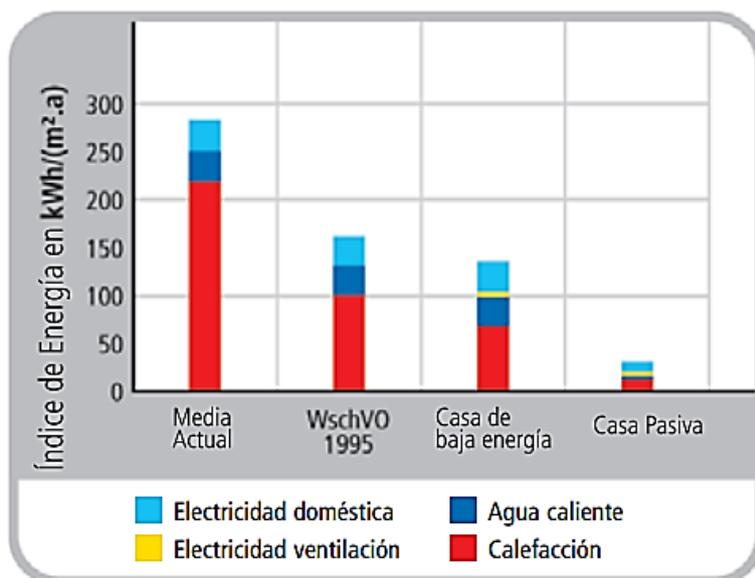
La preocupación ciudadana sobre el cambio climático y su afección al medio ambiente se ha visto materializada mediante el desarrollo de una serie de actuaciones en el sector de la edificación. Se pretende realizar un repaso general de las más destacadas categorizándolas de manera que faciliten su comprensión al lector.

2.4.1 Modelos edilicios energéticamente eficientes.

2.4.1.1 Edificios de baja energía.

Los modelos energéticos desarrollados en edificios son consecuencia de diversos programas de investigación, sobre todo en Europa y Norte América, basados generalmente en metodología de ensayo y error (United Nations Environment Programme, 2007).

Estos modelos se clasifican en función del porcentaje de ahorro energético obtenido a través de las soluciones implantadas en los mismos, en comparación con edificaciones construidas según el estándar tradicional fundamentado en la normativa específica de cada país. Según lo expuesto, se considera un edificio de baja energía si éste consume menos de la mitad de lo que consumiría un edificio tradicional, encontrándose su consumo de calefacción entre los 20-70 KWh/ (m²*a) (EUMEPS, 2009).



Comparación de los Índices energéticos de viviendas 1
WSchVO = Norma Alemana de Protección de la calefacción

Figura 18. Comparación de índices de energía correspondientes a distintas tipologías de viviendas. (EUMEPS, 2009).

Las soluciones empleadas en estos arquetipos mayoritariamente se basan en el incremento del nivel de aislamiento, el aumento de calidad de los sistemas que cubren huecos (ventanas, claraboyas, atrios, etc.), detalles constructivos que salven puentes térmicos y formen cerramientos herméticos, sistemas auxiliares de recuperación del calor de la ventilación, empleo de cerramientos con gran inercia térmica, instalación de sistemas fotovoltaicos tanto para iluminación como para ACS, automatización de los principales sistemas del hogar, así como la utilización de dispositivos y electrodomésticos eficientes (United Nations Environment Programme, 2007).

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) (Agencia Internacional de la Energía, 2015) ha experimentado modelos por medio de la construcción de casas de baja energía (empleando los principales sistemas de reducción ya descritos) en prácticamente todas las variantes climatológicas existentes, USA-Arizona, USA-Gran cañón, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Alemania, Italia, Japón, Holanda, Noruega, Suecia y Suiza, con la excepción de zonas como África o Sur América. Aun así, obtuvieron una reducción media del 60% de la energía en comparación con un típico edificio residencial, no variando este índice demasiado de continente en continente, ya que se encontraba muy



influenciado por condiciones internas de bienestar (de ahí que las diferentes variantes climatologías incluidas no afectaran demasiado al resultado).

Otro proyecto interesante es el denominado REEEP (Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership) (United Nations Environment Programme, 2007), desarrollado por China, mediante el cual se pretenden investigar soluciones en edificios de baja energía para establecer estrategias generalizadas que permitan reducir el consumo energético en esa área geográfica.

2.4.1.2 Edificios de consumo nulo o “nearly Zero Energy Buildings” (nZEB).

Son definidos como aquellos que generan tanta energía como la que consumen durante el transcurso de todo el año, refiriéndose al balance neto de energía primaria asociada a los combustibles utilizados por el edificio y evitada por medio de la inyección a la red general de suministro (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Este modelo de edificio es el más competitivo en términos medioambientales dado su equilibrado sistema.

Lograr este desafío, supone apoyarse en el empleo de energías renovables tales como células solares y pequeños aerogeneradores o turbinas para la obtención de electricidad, así como, biocombustibles, bombas de calor geotérmicas, colectores solares de ACS, electricidad solar y sistemas de cogeneración⁸ para las instalaciones de calefacción. Dado el desequilibrio energético-temporal que implica obtener la energía de la naturaleza, (según estaciones o incluso variaciones diarias), estos edificios se suelen conectar a la red de abastecimiento general para inyectar la energía sobrante con el fin de que se aproveche al máximo. Sin embargo, también se pueden encontrar variantes que funcionan de manera autónoma, acumulando estos excesos en sistemas preestablecidos (United Nations Environment Programme, 2007).

Los principales problemas achacados a esta tipología edilicia se fundamentan en la viabilidad de los mismos, ya que como comentamos, el empleo de muchas

⁸ Sistemas de cogeneración: se entiende el sistema de producción conjunta de electricidad o energía mecánica y energía térmica útil. Este sistema de generación conjunta de energía reduce notablemente la factura energética de las empresas y mejora el proceso productivo. Las plantas de cogeneración alcanzan niveles de rendimiento muy altos, generando electricidad y calor simultáneamente (Ambientum, 2015).



de las soluciones que limitan el uso de energía supone un incremento de los costos. A raíz del criterio económico, surgen otros debates como la ausencia de una metodología que optimice el ratio energía reducida – costo. También se cuestiona la sostenibilidad de los mismos, así como la carencia de estudios que hayan evaluado el ciclo de vida completo. El actual criterio que se emplea para su diseño, es instalar sistemas de energía renovable cuyo ahorro energético cuantificado en términos monetarios, sea igual o superior al coste de implementación de los mismos (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

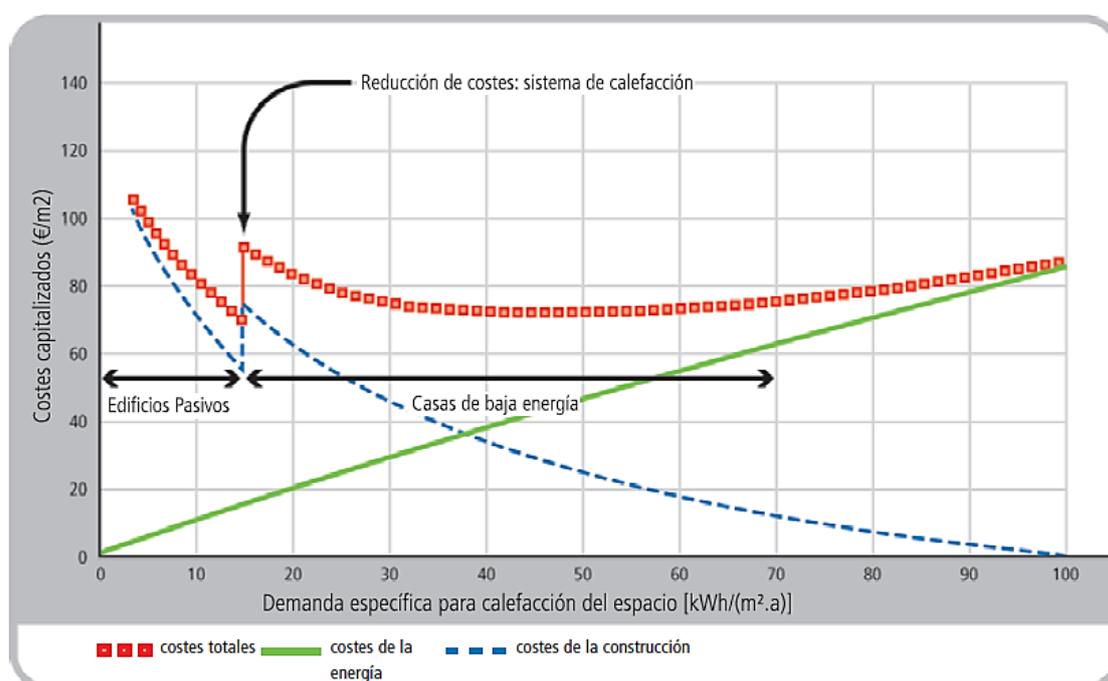


Figura 19. Variación de los costos en diferentes tipologías energéticas de viviendas. (EUMEPS, 2009).

A pesar de ello, estos modelos han sido ejecutados por medio de asociaciones como Worldwide Fund for Nature (WWF) (World Wildlife Fund International, 2015), en colaboración con otras organizaciones, construyendo 200 casas en 5 municipios holandeses. A las soluciones energéticas expuestas, le sumaron el uso de una estructura de madera producida de manera sostenible (proceso que se encuentra certificado actualmente).

2.4.1.3 Edificios de energía plus.

Se trata de aquellos que producen más energía que la consumida por ellos mismos. Están basados en los mismos principios que los edificios nZEB, siendo



generalmente electricidad de origen renovable la energía extra que generan. Este exceso (suponiendo un caso idealizado donde todos los edificios fueran nZEB) se podría utilizar para el funcionamiento de los sistemas públicos tales como alumbrados, viales, etc.

2.4.1.4 Metodología Passive house.

Un edificio que se rija a partir de esta metodología energética, supondrá que en el interior del mismo se satisfagan unas condiciones de bienestar (confort higrotérmico y calidad de aire) a través del empleo de sistemas pasivos de calefacción y enfriamiento. (Neila González, 2004) define los sistemas pasivos como aquellos que son parte constituyente del edificio, ya sea como elementos constructivos básicos (muros, ventanas, cubiertas ,etc.) o como elementos básicos modificados en su función (invernaderos, galerías, chimeneas, etc.) que de forma natural ayudan a la captación, control, regulación, acumulación y distribución de la energía, sin generar sobre costos en la construcción.

Dado el bajo consumo energético de esta tipología, limitado a 15 kWh/(m² * a) para demanda de calefacción, son también catalogados como edificios de consumo cero.

Bo Adamson, en 1992, fue el primero en definir esta metodología energética y clasificar los edificios según este prototipo de construcción, ya que no se trataba de un sistema constructivo novedoso porque mucha de la arquitectura tradicional local de climas extremos ya utilizaba los sistemas pasivos como medio de captación, acumulación y distribución de la energía. (Passivehouse International, 2015).

Actualmente, este modelo se encuentra totalmente reglamentado, siendo los requisitos esenciales destacados a continuación:



Compact form and good insulation :	U-factor $\leq 0.15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Orientation and shade considerations :	Passive use of solar energy
Energy-efficient window glazing and frames :	U-factor $\leq 0.80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (glazing and frames, combined) solar heat-gain coefficients around 50%
Building envelope air-tightness :	Air leakage $\leq 0.61/\text{hour}$
Passive preheating or fresh air :	Fresh air supply through underground ducts that exchange heat with the soil. This preheats fresh air to a temperature above 5°C (41°F), even on cold winter days
Highly efficient heat recovery from exhaust air :	Heat recovery rate over 80%
Hot water supply using regenerative energy sources :	Solar collectors or heat pumps
Energy-saving household appliances :	Low energy refrigerators, stoves, freezers, lamps, washers, dryers, etc. are indispensable in a passive house

Figura 20. Principales requerimientos de las edificaciones Passivehouse. (United Nations Environment Programme, 2007).

A día de hoy, este estándar está muy desarrollado en el norte de Europa con aproximadamente 57000 edificios, siendo el equivalente de 25,15 millones de metros cuadrados (Feist, 2012); (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

2.4.1.5 Rehabilitación energética de edificios.

Ya hemos comentado en el apartado 2.2 la importancia de rehabilitar el parque de viviendas actual, ya que más de un tercio de las mismas aún estarán en funcionamiento en el 2050 y su calidad constructiva, energéticamente hablando, deja mucho que desear.

Las soluciones a aplicar en este tipo de rehabilitaciones están basadas en los mismos principios empleados en vivienda nueva (buen nivel de aislamiento, cerramientos exteriores energéticamente eficientes, ventilación controlada y recuperación de calor en la misma, etc). Resulta imprescindible intervenir en todos los principales componentes del sistema, ya que una intervención desequilibrada en la vivienda puede suponer resultados insatisfactorios (IEA, Annex 36) (Agencia Internacional de la Energía, 2015).

Destacan entre la literatura existente los estudios realizados por (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014)) en los que se llegaba a una serie de interesantes conclusiones:

- En viviendas unifamiliares, la aplicación de medidas exhaustivas puede suponer ahorros entre el 50 – 75% del cómputo total energético.



- En el caso de edificios plurifamiliares, algunos de ellos enfocados al estándar Passive House, se han logrado ahorros del 80-90% de la energía necesaria para calefactar las viviendas.
- Cerramientos de fachada “relativamente modestos” han llegado a producir en países como China ahorros en sistemas de refrigeración del 30-50% y del 60-70% en el caso de calefacción.
- En el caso de edificios comerciales, simplemente con renovar los sistemas de control de equipamientos de HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), sin intervenciones en la envolvente, se han logrado ahorros energéticos en este campo del 25-50%. También destaca la importancia energética de los sistemas de iluminación en este tipo de edificios, suponiendo su renovación ahorros del orden del 30-60%.

Resaltan otras iniciativas importantes en esta materia tales como el SUREURO Project donde se promovió la rehabilitación sostenible energética de un gran número de viviendas durante los años 2000-2004 (Dekker, 2004).

2.4.1.6 Commissioning y sistemas de ahorro a través de dispositivos electrodomésticos.

Estos sistemas no suponen de por sí modelos energéticos de edificios, pero dada su alta eficacia en esta materia y su aplicabilidad en los mismos, no se deberían pasar por alto.

No solamente a través del mero diseño de un edificio eficiente energéticamente y sostenible, conseguimos que los resultados finales sean satisfactorios. Necesitamos en cierta forma garantizar que se van a ejecutar conforme lo proyectado. Según (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014) commissioning es el proceso sistemático que chequea todos los componentes de HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) de un edificio, así como el sistema de iluminación, de manera que éstos hayan sido instalados adecuadamente garantizando que operan de manera correcta. La (Agencia Internacional de la Energía, 2015), (Anexo 40, 2006) puntualiza que esta supervisión se debe realizar durante todo el ciclo de vida del edificio, completando un poco más su significado. Por cerrar esta definición, (United Nations Environment Programme, 2007) considera que otros indicadores



también deben ser evaluados en el proceso, tales como económicos, sociales y otros aspectos medioambientales, no solamente basarse en un mero sistema de chequeo.

Las metodologías desarrolladas pueden ser divididas según la fase a supervisar del proyecto:

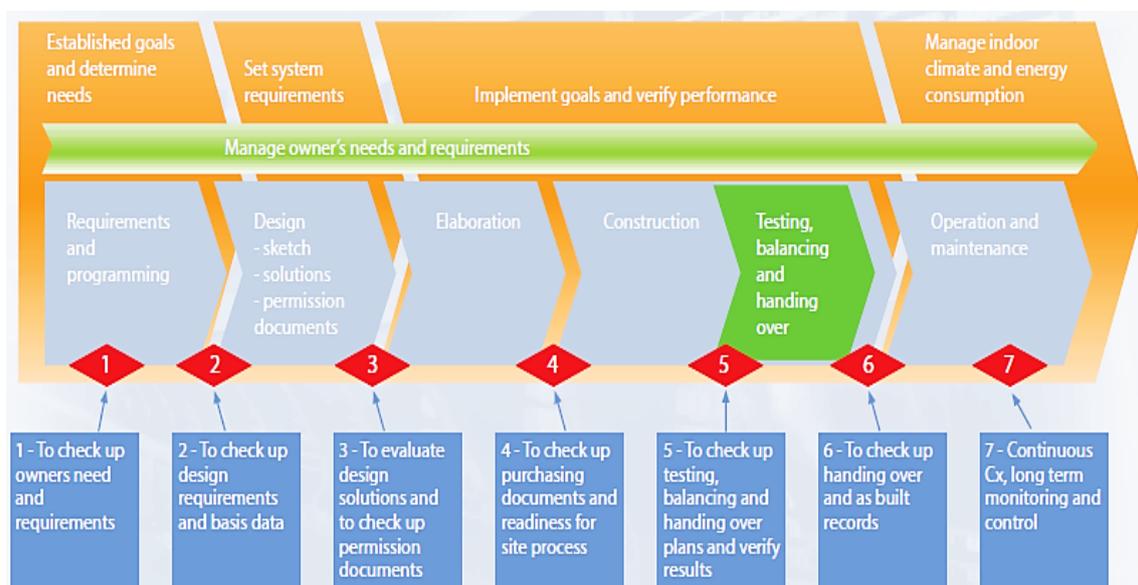


Figura 21. Actuaciones y metodologías de commissioning para cada fase del ciclo de vida del edificio. (United Nations Environment Programme, 2007).

De acuerdo a numerosos estudios realizados en USA, los procedimientos adecuados de commissioning han logrado ahorros de más del 30% del total de la energía consumida (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

Los ahorros producidos a través de los dispositivos electrodomésticos presentan también un amplio margen de reducción, siendo cifrado entre el 40-50% de la energía que éstos consumen (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Los más destacados e influyentes energéticamente son (United Nations Environment Programme, 2009):

- Sistemas Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC).
- Aparatos para la obtención de agua caliente sanitaria.
- Iluminación.
- Aparatos electrónicos (computadores, televisores, etc.).
- Vitrocerámicas y todo tipo de aparamenta de cocina.



- Los llamados “aparatos blancos” que son las neveras, congeladores, lavadoras, etc.

Dada la importante reducción que supone su renovación, se han llevado a cabo programas de carácter obligatorio para su regulación estatal como el Top Runner Programme en Japón o sistemas de certificación voluntarios como el FIDE o Energy Star, todos ellos con el objetivo de regular la energía que éstos consumen (Certificación FIDE, 2015) (United Nations Environment Programme, 2009).

2.4.2 Iniciativas legislativas y certificaciones.

Un papel crucial para limitar la demanda energética de los edificios y promover su sostenibilidad, es el que juegan las normativas impuestas por los gobiernos de cada nación. En este apartado, haremos un repaso sobre las principales directrices que actualmente se encuentran vigentes en el ámbito internacional, europeo como en la nación española.

2.4.2.1 Directrices de carácter internacional:

Aparte de los acuerdos que en materia de medio ambiente se “intentan” lograr en cada una de las Cumbres de la Tierra, existen otras muchas iniciativas que reman a favor de la sostenibilidad, las cuales es imposible nombrar en su totalidad, por lo que destacaremos algunas de ellas.

Se han desarrollado normas internacionales como la familia ISO 14000 que permite establecer un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) con el fin de que compañías y organizaciones de todo tipo sepan administrar sus responsabilidades ambientales acorde con la normativa actual. Otra familia, relacionada con el tema, es la ISO 50001 que permite gestionar la energía de una manera eficiente, segura y económica en todos los sectores, ayudando así a la conservación de los recursos y hacer frente al cambio climático. Además, existen otras normas como la ISO 23045:2008 de diseño ambiental de edificios (enfocada de forma generalizada en los mismos), la ISO 16813:20006 para el diseño ambiental de interiores o la ISO 13612-2:2014 referente a los sistemas de refrigeración y calefacción de edificaciones, entre otras, siendo consultables todas ellas en la web oficial de ISO (International Organisation for Standardization, 2015).



En lo relativo a planes estratégicos, destacar el llamado “UN-Habitat” llevado a cabo por las Naciones Unidas, que actualmente desarrolla una planificación de seguimiento para el sexenio 2014-2019, dando respuesta a las principales tendencias urbanas emergentes, enfocándose en aspectos económicos, medioambientales, territoriales y sociales. Su pretensión es conseguir viviendas dignas, acceso universal a trabajo y a recursos básicos como agua, energía y sanidad (United Nations, 2015).

Otras organizaciones como International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE) promueven y facilitan la adopción de políticas, métodos y herramientas que fomenten un rápido desarrollo de una construcción global sostenible. Organizan un concurso denominado Sustainable Building Challenge (SBG) mediante el cual seleccionan una serie de edificaciones ejemplares para que sirvan de guía al resto del sector (International Initiative Sustainable Built Environment, 2015).

Dado el gran número de estándares desarrollados y su gran acogida internacional, debemos distinguir a American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) como organización internacional especializada en sistemas de calefacción y refrigeración, cuyos patrones de diseño son utilizados para la elaboración de normativas relacionadas con la eficiencia energética, así como para la consecución de certificados Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers., 2015).

Otras soluciones emergentes son las actuaciones voluntarias, donde prevalecen los distintos sistemas de certificaciones, encargadas de evaluar el impacto ambiental producido por el edificio completo o por ciertos componentes del mismo. A partir de ellas, se pretende dotar al propietario de una evaluación ambiental entendible por medio de unos criterios comunes y verificables que aporten la mayor cantidad de información relativa a la sostenibilidad de manera estructurada (Universidad a Distancia de Madrid, 2015). Las de mayor calado son:

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology): es uno de los métodos de evaluación y certificación más



conocido y avanzado mundialmente. Se encuentra gestionado por el BRE (Building Research Establishment), una organización veterana en la investigación del sector de la edificación en el mundo. En Europa, prácticamente el 60% de las certificaciones son BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, 2015).

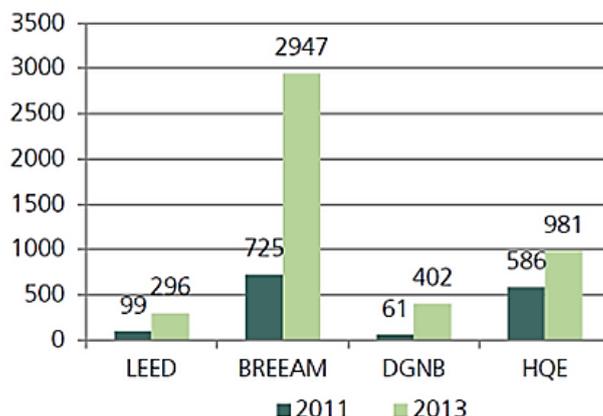


Figura 22. Certificaciones voluntarias de edificios en Europa, clasificadas según distintos sistemas existentes. (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, 2015).

Evalúa los impactos en 10 categorías (gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos, uso ecológico del suelo, contaminación e innovación) otorgando una puntuación final tras aplicar un factor de ponderación ambiental que tiene en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto, englobando las distintas fases de diseño, construcción y uso de los edificios (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, 2015).

- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design): es un programa de certificación ambiental de edificios que reconoce las mejores prácticas y estrategias medioambientales establecidas en los mismos. De esta manera, a medida que el edificio cumple con ciertos requisitos, se van asignando créditos que permiten alcanzar diferentes niveles de certificación. Este modelo se encuentra respaldado por el USGBC (U.S Green Building Council) y cuenta con más de 72000 proyectos a lo largo de 150 países, cubriendo 13.8 billones de metros cuadrados certificados. (Leadership in Energy and Environmental Design, 2015).



- CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency): es otra de las metodologías de certificación reconocidas internacionalmente, sobre todo en el área asiática por su enfoque más específico a los problemas peculiares de esa zona. En ella se intenta simplificar el proceso y ampliar el rango de tipologías de edificios que se pueden evaluar con esta herramienta. Se basan en criterios relacionados con el hábitat y la calidad ambiental de vida de los usuarios del edificio, así como su vínculo con el medio exterior. Está respaldada por el gobierno Japonés, siendo éste el principal promotor de la idea (Comprehensive Assessment System for Building Environment, 2015).
- Otros sistemas de certificación de importancia generalizada son: Haute Qualité Environnementale (HQE) en Francia, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) en Alemania, “Minergie” en Suiza, “Green Star” en Nueva Zelanda, Nationwide House Energy Rating Scheme (NatHERS) en Australia, “EnergyStar” en USA y “EnerGuide” en Canadá.

Para concluir, subrayamos los esfuerzos de organizaciones como la IEA (International Energy Agency), IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), UNEP (United Nations Environment Programme) o WGBC (World Green Building Council) que a través de la redacción de informes basados en el impacto de la edificación en el medio, establecen estándares y proporcionan herramientas de seguimiento con vistas hacia el futuro y con la intención de mermer los cambios producidos.

2.4.2.2 Directrices europeas:

Europa ha dado pasos en favor del desarrollo sostenible por medio de la implementación de estrategias comunes en los países aliados, la última de ellas Europa 2020, aprobada en marzo de 2010 y que sustituye al plan anterior (Agenda de Lisboa del año 2000) para establecer los nuevos objetivos de esta década con el horizonte temporal del año 2020.

“Europa 2020” pretende fortalecer la unión de países y su próspero crecimiento, sobre todo tras la difícil etapa que se vislumbró de crisis económica, tratando de lograr un crecimiento inteligente pasando por inversiones más eficaces en



educación, investigación e innovación; sostenible, gracias al impulso de una economía baja en carbono; e integrador, que ponga el acento en la creación de empleo y la reducción de la pobreza. En lo relativo al cambio climático y la sostenibilidad, se pretende (Unión Europea, 2015):

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% (con vistas a un 30% si se dieran las condiciones) basándose en los niveles de 1990.
- Aumento del 20% de la eficiencia energética.
- Generación del 20% de la energía a través de sistemas renovables.
- Fomentar un “crecimiento verde” mediante el desarrollo de políticas integradas que promuevan un marco medioambiental sostenible.
- Protección de la naturaleza, así como la salud y bienestar de los habitantes de la UE.

Fruto de este plan estratégico es la modificación de las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/CE, relativas a la eficiencia energética de los edificios y que debido a las nuevas exigencias establecidas por este plan tuvieron que ser reemplazadas parcialmente por la Directiva 2012/27/UE actualmente vigente. Además de los objetivos ya definidos, esta norma persigue eliminar barreras en el mercado de la energía para facilitar el abastecimiento entre países, promover la renovación de los edificios, así como las adquisiciones de productos, servicios y construcciones energéticamente eficientes, la realización de auditorías y la implantación de sistemas eficientes de medición de consumos e información a los clientes, entre otros objetivos (Ministerio de Fomento (Gobierno de España), 2014).

Un gran avance relativo a la regulación de productos en la unión fue la Directiva 89/106/CE, actualmente derogada y modificada por el Reglamento Europeo de Productos de Construcción N° 305/2011, en el que se dictan las disposiciones mínimas que debe cumplir un producto para su libre comercialización. Dichas disposiciones están basadas en requerimientos de seguridad, sanidad y protección del medio ambiente siendo homologables a través del Mercado CE. Destacar que no es en sí un sello de calidad, sino un marcado que garantiza que



el producto cumple con unos mínimos de acuerdo con la normativa vigente (Unión Europea, 2015).

Otra directiva de obligado cumplimiento es la 2008/98/CE sobre gestión de residuos, cuyo impacto en el sector de la construcción fue potente a raíz del gran volumen que se genera. El objetivo principal de esta norma es proteger el medio ambiente y la salud humana siguiendo una adecuada gestión, recuperación y reciclado de residuos con el fin de poder reducir la presión que la construcción ejerce en el medio (Unión Europea, 2015).

Existen también asociaciones como CEN (European Committee for Standardization) encargadas del desarrollo y definición de normas o estándares de aplicación voluntaria. Este organismo trabaja en varios sectores, entre ellos la construcción, el medio ambiente, los materiales, etc. Entre sus pautas destaca la EN 15643 que establece el marco general para la evaluación sostenible de edificios, enfocándose en la parte medioambiental del término la norma EN 15978, que detalla el proceso a seguir. En lo relativo a productos de construcción se encuentra la EN 15804, norma reguladora de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) en la que centraremos el caso práctico de este documento, ya que establece las directrices para el estudio del ciclo de vida de la fabricación de un producto (Environmental Assesment of Construction Works and Products., 2012).

Para finalizar con el ámbito europeo, existen otras iniciativas tales como Active Ageing and the Built Environment (AABE) que pretenden establecer criterios para la innovación en la construcción de manera que se aumente el nivel de vida de los usuarios a través de un diseño ambiental adecuado. The Energy Efficient Building European Initiative (E2B EI) es otro proyecto que también aboga por la implementación y optimización de conceptos que tienen el potencial técnico, económico y social para reducir drásticamente las emisiones de CO₂ en edificios existentes y de nueva construcción. Ambas propuestas están dirigidas por la Plataforma Europea Tecnológica de la Construcción (ECTP), una red formada por empresas o entidades interesadas en todo lo referente a los avances tecnológicos que se producen en el sector de la construcción (European Construction Technology Platform, 2015).



Otra de las plataformas que adquiere interés debido a la temática del trabajo, es la Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida (EPLCA) cuya principal misión es apoyar a las empresas o gobiernos por medio de la disponibilidad, interoperabilidad y calidad de datos en estudios de análisis de ciclo de vida. Dicha plataforma fue fundada por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea, concretamente por el Instituto de Medioambiente y Sostenibilidad (IES) (Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida, 2015).

2.4.2.3 Directrices de ámbito nacional:

En España, la mayoría de la normativa relativa a la eficiencia energética y sostenibilidad está basada en la transposición de las europeas explicadas anteriormente. De esta manera, para poder cumplir con los objetivos impuestos por la Directiva 2012/27/UE, ha sido necesario legislar los siguientes reglamentos (Fernández Salgado, 2011):

- Aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Modificación del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).
- Aprobación del Reglamento de Certificación Energética de Edificios.

El Código Técnico fue aprobado a través del RD 314/2006 de 17 marzo, sufriendo éste hasta la fecha actual numerosas actualizaciones (correcciones de erratas y errores) por medio de otros reglamentos. La parte del CTE enfocada al uso racional de la energía necesaria en edificios corresponde con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Este uso racional propuesto es conseguido a través de la reducción del consumo, así como el empleo de energías renovables. A continuación nombraremos las exigencias que componen el documento, sin intención de entrar a definir cada una de ellas ya que el propio título sugiere los principales temas abordados por la misma (Ministerio de Fomento (Gobierno de España), 2015):

- DB-HE1: Limitación de la demanda energética.
- DB-HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- DB-HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
- DB-HE4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- DB-HE5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.



En este caso, parte del desarrollo del DB-HE2 es remitido al Real Decreto 1027/2007, por el que se aprueba el nuevo RITE y se deroga el anterior que provenía de 1998. Este RITE se encarga de pormenorizar las técnicas de bienestar e higiene, seguridad y eficiencia energética de las instalaciones térmicas (generalmente aparatos de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria) (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2015).

Siguiendo con el guión, fruto de la obligación de evaluación energética de los edificios impuesta desde Europa, se elabora el RD 235/2013 por el que se aprueba un procedimiento de certificación de la eficiencia energética. Por medio de este sistema, se pretende que el usuario disponga de información ambiental y energética (emisiones anuales de CO₂, energía primaria anual consumida, etc.) entendible para poder conocer el estado actualizado de su vivienda y poder actuar consecuentemente. El proceso de certificación se realiza a través de una etiqueta, en la que se muestra una escala de siete letras, siendo la “A” la correspondiente a los edificios más eficientes y la “G” a los menos eficientes (Fernández Salgado, 2011).

En materia de gestión de residuos, todas las obligaciones pasan por el cumplimiento del RD 105/2008 que regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Además, se han elaborado estrategias (por imposición de la Directiva Marco de Residuos Europea) como el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020, el cual pretende evitar la generación de residuos, disminuir el contenido de sustancias nocivas de peligrosidad y minimizar las causas que éstas puedan generar sobre el medio ambiente y la salud humana, todo ello por medio de la actuación preventiva en las fases de concepción y diseño, producción, distribución y consumo. Otro plan desarrollado es el Plan Nacional Integral de Residuos de España 2007-2015 (PNIR), cuyo principal objetivo es reducir el crecimiento exponencial de subproductos que caracterizó a España en la pasada década, así como erradicar vertidos ilegales, modernizar las infraestructuras de tratamiento y promover la reutilización y reciclado de una fracción del residuo con técnicas de valorización del mismo (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Gobierno de España)., 2015).



Como recordará el lector, en apartados anteriores hemos incidido en la importancia de la rehabilitación energética y la obligación que Europa impone a sus países aliados a través del art.4 de la Directiva 2012/27/UE de centrarse en este aspecto. Este mandamiento de renovación es aplicado en España a través de la Ley 8/2013 de rehabilitación, regeneración y renovación, así como por medio del RD 233/2013 en el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas 2013-2016. Esta normativa es fruto de la “Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la edificación en España”, intentando estimular a la sociedad con ayudas económicas para reducir los costos que supone la rehabilitación (Ministerio de Fomento (Gobierno de España), 2015).

Esta estrategia se encuentra en coordinación junto con el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020, mediante el cual el gobierno español pretende informar de las actuaciones que se han realizado y de las que se van a realizar, a nivel de fomento de energías renovables, ahorro energético y reducción de las emisiones de CO₂, para cumplir con los objetivos de Europa 2020 (se espera reducir un total de 15979 Ktep durante todo el período) (Ministerio de Fomento (Gobierno de España), 2015); (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2015).

Para concluir resaltaremos la creación del Fondo Nacional de Eficiencia Energética (FNEE), que respaldará las medidas nacionales en materia económica, facilitando la implantación de las pautas propuestas por las auditorías energéticas en sectores como el de la edificación, transporte, industria, servicios y agrícola. Aparte del apoyo económico, también se llevan a cabo acciones de difusión y formación por medio del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), y otras actividades como el asesoramiento técnico, desarrollo de programas específicos y la colaboración internacional (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2015).

2.4.3 Iniciativas económicas.

Ya hemos comentado el marco normativo y los principales estándares vigentes, pero también hemos hecho referencia a algunas dotaciones económicas con el



fin de impulsar estas leyes, ya que el comportamiento del sector se ve muy influenciado por estos instrumentos.

Además de las subvenciones que se reciben por gestionar un proyecto y certificarlo voluntariamente según las diversas metodologías ya explicadas, algunos gobiernos como el holandés ofrecen “hipotecas verdes” con características especiales para el fomento de edificaciones sostenibles, así como otras ayudas o deducciones fiscales para la construcción de esta tipología edilicia con el objeto de colaborar en los posibles sobrecostos que hubiera (United Nations Environment Programme, 2007). Un buen ejemplo es el programa PROCEL en Brasil que llegó a ahorrar 5.3 TWh (169 ktCO₂) por año, siendo la relación beneficio-costos de 12:1 durante el período 1986-1998 (WEC, 2004); (United Nations Environment Programme, 2009).

Otras ideas están basadas en la implantación de tarifas dinámicas, fundamentadas bajo el famoso principio “quien consume, paga”, permitiendo regular la distribución y penalizar a los grandes consumidores. De esta manera, en el sector industrial además del cargo por consumo de energía, se establecen multas por disponibilidad máxima (Kw) consumida, cuya importancia es severa en la facturación final. También se establecen distintas tarifas a lo largo del tiempo (generalmente denominadas pico, valle, fin de semana, estacional, etc.) fomentando a través de precios más bajos el consumo en aquellas horas donde la demanda de energía total es menor y regulando en cierta manera la distribución. Uno de los países que más se ha movilizó a favor de una liberación del mercado de la energía y propuestas como la indicada ha sido Escandinavia (SIEMENS, 2015).

Asimismo, existen compañías que ofrecen servicios de mejora energética, como por ejemplo, la instalación de equipamientos eficientes, rehabilitaciones de edificios, etc. y que financian la inversión que han realizado, estando su remuneración ligada al ahorro energético producido por los sistemas instalados. Se ha demostrado que este sistema ha resultado exitoso en países como Alemania, Estados Unidos, Hungría, Brasil y China, siendo su rentabilidad e impacto social menor en otros como India (Unión Europea, 2015); (United Nations Environment Programme, 2009).



Pero no todas las medidas están basadas en el aporte económico. Algunos gobiernos como el Reino Unido, Francia o Dinamarca establecen sanciones a las empresas suministradoras de energía si éstas no cumplen con unos mínimos de eficiencia energética fijados por cada país en particular. Las penalizaciones, también denominadas Obligaciones de Eficiencia Energética (EEOs), varían en proporción al ahorro energético establecido por las distribuidoras, aunque en la mayoría de casos, éstas pueden comprar la diferencia entre el ahorro logrado y el impuesto por normativa a través de un sistema de Certificados Blancos (Whites Certificates), siendo el resultado algo más favorable que si la empresa resulta sancionada. Se espera que esta práctica sea implantada próximamente en el resto de países europeos (Joint Research Centre Europe Commission, 2015).

2.4.4 Instrumentos basados en campañas de educación y formación ciudadana.

No podemos hablar de desarrollo sostenible, sin tratar el aspecto social. La aportación ciudadana en materia de medioambiente es trascendental y para ello es necesario educar a la población en esa asignatura. El resultado de la educación ambiental es un cambio de actitudes y hábitos que repercuten directamente en la mejora del medio ambiente, sin detrimento del desarrollo económico y del bienestar social (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Gobierno de España)., 2015).

Con ese objeto se han desarrollado campañas de educación ciudadana que intentan llegar al mayor número de colectivos sociales. “You control the climate change” fue el título de una campaña de concienciación bastante exitosa en el año 2006, reivindicando a los ciudadanos el realizar pequeños cambios en su rutina diaria con el fin de lograr entre todos grandes reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero (United Nations Environment Programme, 2007).

En España por ejemplo, la redacción del Libro Blanco de la Educación Ambiental supuso un gran avance para fijar los principios básicos, objetivos, instrumentos y marcos de acción en este sentido. De esta manera, las Comunidades Autónomas han sido las encargadas de materializar el contenido de este libro.



Buen ejemplo de ello, es el programa “Kyoto Educa” de la Junta de Andalucía, “Educar hoy por un Madrid más sostenible” de la Comunidad de Madrid, etc. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Gobierno de España)., 2015).

Algunas de calado internacional son “Earth Hour” promovida por WWF (World Wildlife Fund for nature) apagándose las luces de todo el mundo el último sábado del mes de marzo de cada año, con el objetivo de luchar contra el cambio climático; “El Día Mundial del Medio Ambiente” el 5 de junio y “El Día Internacional de la Madre Tierra” el 22 de Abril, ambas últimas fomentadas por las Naciones Unidas (World Wildlife Fund International, 2015). Todas estas asociaciones ecologistas también realizan una magnífica labor tanto de sensibilización ambiental como de información al ciudadano en sus páginas web oficiales, dada la alta penetración que Internet y los ordenadores han logrado en la sociedad actual (United Nations Environment Programme, 2007).





3 El Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Actualmente, vivimos en una era de información que nos permite definir nuestras preferencias de manera fundamentada. Este exceso de información se manifiesta en una creciente preocupación e interés del cliente por el producto que desea adquirir. Uno de los objetivos de este documento es informar de la metodología del análisis de ciclo de vida como un medio para identificar oportunidades, sopesarlas según sus riesgos y tomar la decisión oportuna que nos permita decantarnos por un producto u otro teniendo en cuenta criterios medioambientales, sociales y económicos.

Tal como se menciona en (United Nations Environmental Protection, 2004), el enfoque de ciclo de vida es una forma de pensar que nos ayuda a reconocer la manera en que nuestras acciones forman parte de un gran conjunto de actos que influyen notablemente en la sostenibilidad. Además, esta perspectiva ayudará a visualizar la cadena que conforma el ciclo de vida del producto como un sistema lleno de oportunidades de mejora, donde cada elemento que lo compone tiene una responsabilidad específica y desempeña un papel tomando en cuenta toda una serie de factores externos.

Por introducir una primera definición acorde con lo explicado, (Díaz, 2013) expone que el ACV es una herramienta de decisión que puede proporcionar una evaluación tan exhaustiva como se quiera de los procesos que llevan a la consecución de un producto o servicio, a través de sus flujos de materiales. Del análisis se identifican la intensidad de uso de materiales y energía en cada etapa de producción, con lo cual se pueden optimizar procesos y disminuir los consumos de materiales. De igual forma se focaliza la ubicación de los impactos más significativos.

Esta herramienta se guiará a lo largo de la exposición siguiente hacia el sector de la construcción, un sector de por sí catalogado como complicado ya que a diferencia de la industria manufacturera, la edificación se compone de proyectos con diferentes localizaciones, variabilidad en propiedades y vida útil de materiales, distintos usos a lo largo del tiempo, etc. A ello, habría que sumar las



dudas referentes a la falta de estandarización de procedimientos, así como de calidad y disponibilidad de datos achacados actualmente al ACV (Antón & Díaz, 2014).

En definitiva, se trata de una metodología difícil de adaptar a la edificación, pero que una vez implantada proporciona un amplio abanico de información del proceso, con las oportunidades de mejora que esto supone, además de una evaluación a un nivel de detalle que pocos sistemas actuales logran.

3.1 Origen y evolución.

Debido a la fuerte crisis petrolera surgida en las décadas de los 60's y 70's, el sector industrial centró gran parte de sus esfuerzos en el ahorro de este insumo. Esta prioridad dada al consumo de energía desplazó otras preocupaciones como la generación de residuos y las emisiones al medio ambiente, no siendo tampoco motivadas por la demanda pública (Lamana & Hernández Aja, 2005).

A raíz de las inversiones en este concepto, en 1963 surgieron los primeros cálculos sobre requerimientos energéticos en productos relacionados con la industria química, de la mano de Harold Smith, considerándose éste el inicio del análisis de ciclo de vida (Díaz, 2013). Autores como (Guinée, y otros, 2011) afirman que la mayoría de los ACV realizados en la época se desarrollaban en un marco comparativo de productos, ejemplo de ello eran las evaluaciones de envases destinados a alimentos cotidianos donde se debatía su fabricación con diversos materiales.

Sobresalen otras investigaciones importantes como las realizadas por el Midwest Research Institute (MRI) en 1969 para la multinacional Coca Cola Company, basados en estudios de recipientes bajo premisas similares a las comentadas. La primera denominación que el MRI otorgó a este sistema de análisis fue Resource and Environmental Profile Analysis (REPA) (Díaz, 2013).

En 1974 este instituto comenzó a trabajar con el U.S. Environmental Protection Agency (EPA) en proyectos de semejante índole divulgando la herramienta por el continente americano. Otros investigadores como Basler y Hofman exportaron la metodología al mercado sueco y junto con los trabajos realizados por Lan



Boustead en el Reino Unido, consiguieron que finalmente se implantara en Europa bajo el término “ecobalance”. Tras la consolidación de sus investigaciones, Boustead publicó en 1979 el manual “Handbook of Industrial Energy Analysis” donde recopiló todo el conocimiento adquirido hasta la fecha (European Environment Agency, 1997). Los últimos análisis se caracterizaban por incluir cada vez más etapas del ciclo de vida, asemejándose mejor al concepto del ACV tal y como lo conocemos actualmente, dejando de lado las primeras evaluaciones parciales del producto (Guinée, y otros, 2011).

Tras un pequeño período de latencia durante los primeros años de la década de los 80`s, el crecimiento e interés público volvió a aflorar. Así, en 1984 la organización Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (EMPA) publicó un informe en el que se introducían las primeras metodologías de evaluación de impacto ambiental junto con algunas menciones aclaratorias sobre los datos a emplear en este tipo de análisis (Guinée, y otros, 2011).

Este primer período establecido entre 1963 – 1990 ha sido definido como la época de la concepción y la divergencia de enfoques, métodos y términos, dada la carencia de un marco teórico común internacional así como de informes que cuestionaran o discutieran los distintos resultados obtenidos por la comunidad científica (Guinée, y otros, 2011).

Esa escasez de estandarización empezó a solucionarse en 1990, gracias al aporte de la Sociedad para la Química y Toxicología Ambiental (SETAC), la cual dio un impulso en pos de la aplicación práctica y regulación del ACV, estableciendo criterios y bases científicas al sistema. A raíz de la intervención de la SETAC, se produjo un incremento considerable de artículos técnicos y guías facultativas publicados en prestigiosas revistas de carácter medioambiental (Díaz, 2013).

Surgieron asociaciones en el sector industrial interesadas en acelerar el desarrollo del ACV como SPOLD (sociedad compuesta por empresas como Ciba, Danfoss, Dow Corning, Electricite de France, Procter & Gamble, y Unilever) que participaron activamente a través de la publicación de varios manuales, entre ellos el “LCA Sourcebook” (1993) cuya principal pretensión era desligar el análisis de ciclo de vida del mundo científico en el que últimamente estaba



envuelto y acercarlo a la realidad industrial (European Environment Agency, 1997).

A la coordinación impuesta por SETAC se unió la International Organization for Standardization (ISO) en 1993, proporcionando entre ambas un marco metodológico internacional y una terminología específica fundamentada por las opiniones y debates surgidos en una plataforma de armonización que crearon para tal fin (Romero Rodriguez, 2003). Este decenio destaca por la creación de los cimientos normativos comunes a todos, aunque hay que resaltar que ISO nunca ha llegado a definir específicamente el procedimiento a seguir.

Ya entrados en el siglo XXI, concretamente en el año 2002, the United Nations Environment Programme (UNEP) y la SETAC unieron fuerzas mediante la creación de Life Cycle Partnership, una organización que a través de la iniciativa Life Cycle Initiative (LCI) pretendía poner en práctica el enfoque de análisis de ciclo de vida gracias a la mejora de herramientas, un mayor acceso a datos de calidad y la creación de indicadores de impacto (Díaz, 2013).

La Unión Europea, apoyándose en los principales pilares de LCI, creó en 2005 la plataforma European Platform on Life Cycle Assessment (EPLCA) con el objetivo de promover la disponibilidad, intercambio y uso de datos seguros, facilitando métodos y estudios que sirvan de base para el ejercicio práctico del ACV. Cumplir con estas metas supuso el desarrollo de International Reference Life Cycle Data System (ILCD) como un sistema de referencia para el almacenaje de datos y para la generación de una base de datos europea siguiendo los criterios de ILCD como es European Life Cycle Database (ELCD), además de un foro de debate que permitía a la opinión pública participar en el proceso de maduración de esta idea. Esta plataforma es una entre tantas que se crearon durante los primeros años de la década, tales como Australian LCA network, the American Center for LCA, etc. todas con objetivos comunes a los mercados anteriormente (Guinée, y otros, 2011) (Tritthart, y otros, 2010).

Ya en el año 2006, se produjeron las últimas actualizaciones a la normativa de carácter internacional actualmente vigente, cuyas principales referencias vienen de la colaboración que se inició en 1993 entre SETAC e ISO, quedando establecidas del siguiente modo (Díaz, 2013):



- ISO 14040:2006: en la que se rigen los principios y marco de referencia para la evaluación del ACV. Se definen los objetivos y ámbitos de aplicación, se trata el análisis de inventario de ciclo de vida, el procedimiento de evaluación del impacto del ciclo de vida y la fase de interpretación de resultados, entre otras cuestiones menos destacables.

- ISO 14044:2006: donde de manera específica se relatan los requisitos y directrices de todas las fases indicadas en la norma previa (ISO 14040:2006), realizando un análisis detallado de los requerimientos del ACV y ampliando información acerca del inventario de ciclo de vida.

Aun así, se sigue sin remarcar de manera clara el método a utilizar en la práctica (aunque se puntualizan otras fases que anteriormente se trataban con carácter generalizado), dejando a disposición del técnico muchas decisiones que han dado lugar a distintos enfoques y divergencias en los límites del sistema así como en los métodos de asignación de cargas ambientales en cada fase, provocando resultados con amplio margen de variación según las consideraciones establecidas. Esto ha llevado a que se desarrollen distintas modalidades de ACV, algunas de ellas basadas en criterios estáticos o dinámicos dependiendo de si se incluye o no la evolución temporal en el modelo; otras variantes como Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA) estudia los impactos en el medio, el uso de recursos y energía de ciertos sectores (comerciales, industriales, etc.) a partir de datos de índole económica; Life Cycle Costing (LCC) que relaciona el costo efectivo de cada etapa del ciclo de vida; Social Life Cycle Assessment (SLCA) donde se evalúan parámetros sociales, etc. (Guinée, y otros, 2011).

Este problema lo trató la Comisión Europea por medio del proyecto CALCAS (Coordination Action for innovation in Life Cycle Analysis for Sustainability), creado en el año 2006 cuyo objetivo principal fue organizar las distintas modalidades que estaban surgiendo y avanzar en el desarrollo de la futura norma ISO-LCA, en la que se debía prever el problema del análisis multicriterio. Los resultados del programa fueron anunciados en el año 2009, girando en torno a la constitución de un único método calificado como Life Cycle Sustainability Analysis (LCSA), en el que se une el concepto social, económico y ambiental (en



la dirección del término desarrollo sostenible) bajo la misma metodología de estudio. Con la instauración de LCSA se juzgaría al producto en todas sus dimensiones sostenibles evitando la aparición de estudios de carácter independiente en un futuro.

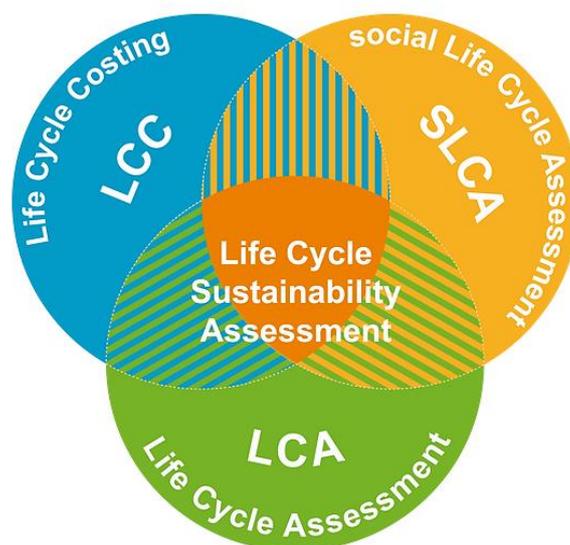


Figura 23. Composición del Life Cycle Sustainability Assessment. (Sustainable Manufacturing, 2015).

Cabe nombrar a modo de conclusión de este apartado algunos proyectos relacionados con el análisis de ciclo de vida en el sector de la edificación y que han destacado por su innovación y resultados obtenidos (Tritthart, y otros, 2010):

- Low Resource consumption buildings and construction by use of LCA in design and decision making (LoRe-LCA) ha sido uno de los más notorios dentro de la Unión Europea. Se inició en el año 2009 con una duración de 3 años, centrándose en la propaganda de la metodología como medio para reunir gran parte de la información relativa a un edificio en un único modelo. También se encargaría de analizar y comparar las técnicas que se estaban empleando y las posibles restricciones que la norma actual impone a la divulgación e implantación del ACV.
- The International Energy Agency - Energy Conservation in Buildings and Community Systems (IEA-ECBCS) es un programa vigente que desarrolla la IEA con el fin de establecer medidas basadas en la integración de tecnologías sostenibles y eficientes que supongan un ahorro energético y de emisiones nocivas en edificaciones. Su implicación con el enfoque de



- ciclo de vida se originó en el año 2005 por medio de la publicación del Annex 31: Energy related environmental impact of buildings, donde se fomentaba su empleo en el cálculo de impactos relacionados con el medio ambiente y la salud pública (The International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community., 2015).
- Otro proyecto distinguido por conseguir una aplicación común del ACV en edificios fue REGENER, impulsado por la Unión Europea a finales de los 90`s. Gran parte de su lucha se basó en los principales problemas ya comentados (datos de calidad, marco común de aplicación, creación de bases de datos, publicidad del sistema, etc.) pero resaltaron otras ideas como sus intentos de enlazar esta herramienta con softwares técnicos tipo CAD. (Peuportier, Kohler, & Boonstra, 1998). Actualmente otros autores como (Antón & Díaz , 2014) han desarrollado estudios siguiendo esta misma línea en los que se muestran las ventajas de conectar ACV con herramientas BIM para conseguir un único modelo mucho más completo que albergue toda la información del ciclo de vida de una edificación.
 - Un informe que adquirió importancia por sus críticas y sugerencias, fue el elaborado por un conjunto de expertos pertenecientes a National Association of Home Builders (NAHB) en 2001. El documento examinaba la idoneidad y aplicabilidad de esta metodología en la industria estadounidense residencial, concluyendo que el ACV no se encontraba suficientemente desarrollado para su aplicación en empresas constructoras.

Existe una larga lista de proyectos vinculados a este sector e imposibles de comentar en su totalidad (ENSLIC Building, PRESCO, IMPRO – Building, etc.), por lo que animo al lector a indagar en ellos y descubrir qué aportes ha realizado cada uno de ellos a la evolución de este sistema.

Se presenta a continuación un diagrama en espina de pez que resume la cronología expuesta hasta el momento:

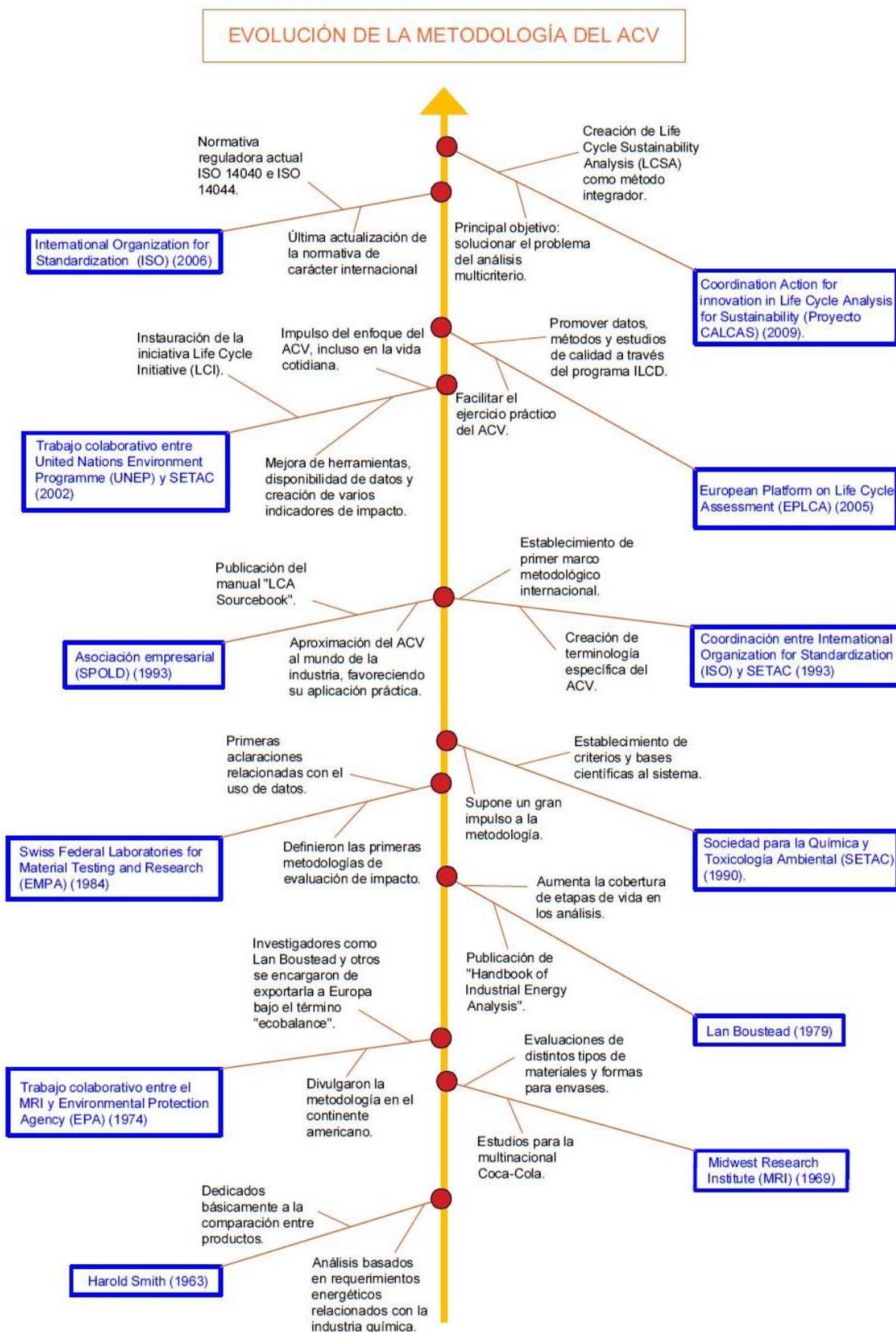


Figura 24. Diagrama de espina de pez, resumen de cronología. Elaboración propia.



3.2 Definición y principios del Análisis de Ciclo de Vida.

Ya se ha mencionado una primera definición y lo que significa adoptar un enfoque de vida. A continuación se complementa lo elaborado con otras perspectivas destacables y principios generales del ACV.

Organismos notorios se han encargado de desarrollar su propio enunciado. Por su precisión, destacaremos el formulado por SETAC: *“El ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento; y reciclado y disposición del residuo”* (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 2015).

La minuciosidad con la que se elaboró, otorga cierto grado de complejidad al término que no facilita su entendimiento y fijación por parte del lector. Por ello, resaltaría otro concebido por (Antón Vallejo, 2004) más simple y que resume lo estipulado: *“El ACV es un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida”*.

Como toda metodología, se encuentra fundamentada sobre unos principios generales que son la base de cualquier análisis de vida y sirven como orientación en la toma de decisiones a lo largo del proceso. Éstos se encuentran enumerados en la norma ISO 14040:2006, mostrándose a continuación un resumen de los mismos:

1. **Apreciación general del ciclo de vida:** se debe considerar el estudio de vida completo del producto, diferenciándolo por etapas y evitando desplazamientos de cargas ambientales entre éstas.



2. Enfoque ambiental: el fin último de este análisis es identificar los aspectos e impactos ambientales del sistema, el resto de aplicaciones establecidas son de carácter secundario.
3. Enfoque basado en una unidad funcional: todo el estudio (datos, análisis, resultados, etc.) gira entorno a unidad funcional que define lo que se está evaluando.
4. Enfoque iterativo: se trata de una técnica iterativa donde la evaluación de cada fase en particular utiliza resultados logrados en el resto de fases, contribuyendo a una integridad y coherencia final de los resultados obtenidos.
5. Transparencia: dada la complejidad de la herramienta, la transparencia se convierte en un principio guía para una adecuada interpretación de resultados.
6. Integridad: se considera bajo una misma metodología de evaluación todos los atributos o aspectos del entorno natural, de la salud humana y de los recursos.
7. Prioridad del enfoque científico: las decisiones deben estar basadas en desarrollos científicos, preferentemente asentados en las ciencias naturales (siguiendo lo estipulado en el principio 2). En el caso de que no existan, se podrán utilizar otras disciplinas o hacer referencia a convenciones internacionales. En última instancia se plantea el uso de juicios de valor fundamentados.

3.3 Metodología de un ACV.

No podemos decir que explicar la metodología de un ACV sea sencillo, ya que supone no dejarse nada en el tintero y en un sistema tan completo como éste es una tarea ardua y difícil. Para la redacción de este apartado nos basaremos en las directrices impuestas por la normativa internacional ISO 14040 e ISO 14044 y en publicaciones de organizaciones y autores expertos en el tema.

Generalmente se distinguen dos tipologías de análisis en función de las fases que se traten y de los objetivos que se pretendan alcanzar. El estudio más



completo y detallado se denomina Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y se compone de cuatro fases que son:

- Definición del objetivo y el alcance.
- Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV).
- Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).
- Interpretación de resultados.

El otro tipo de estudio menos exhaustivo que se puede elaborar comprende tres etapas de las anteriores, ya que elimina la EICV. Este análisis se denomina Inventario de Ciclo de Vida (ICV) y se basa en recapitular los inputs y outputs del sistema sin examinar el carácter ambiental de los mismos. Hay que prestar especial atención en no confundir el estudio ICV con una de las fases que lo componen. El desarrollo de la metodología de ACV lleva implícito la correspondiente a ICV, ya que la composición de las etapas comunes en ambas es idéntica.

Como ya comentamos en el apartado anterior, este procedimiento se caracteriza por ser iterativo, donde cada etapa se retroalimenta del resto y la interpretación de resultados se realiza en cada una de ellas de manera que el proceso completo se encuentra intercomunicado tal y como se representa en la figura siguiente. Esta conexión recíproca de fases puede conllevar redefinir el alcance final varias veces a lo largo del análisis dada la variabilidad del sistema o a reunir más datos de los inicialmente previstos, pero a su vez asegura una coherencia e integridad de resultados.

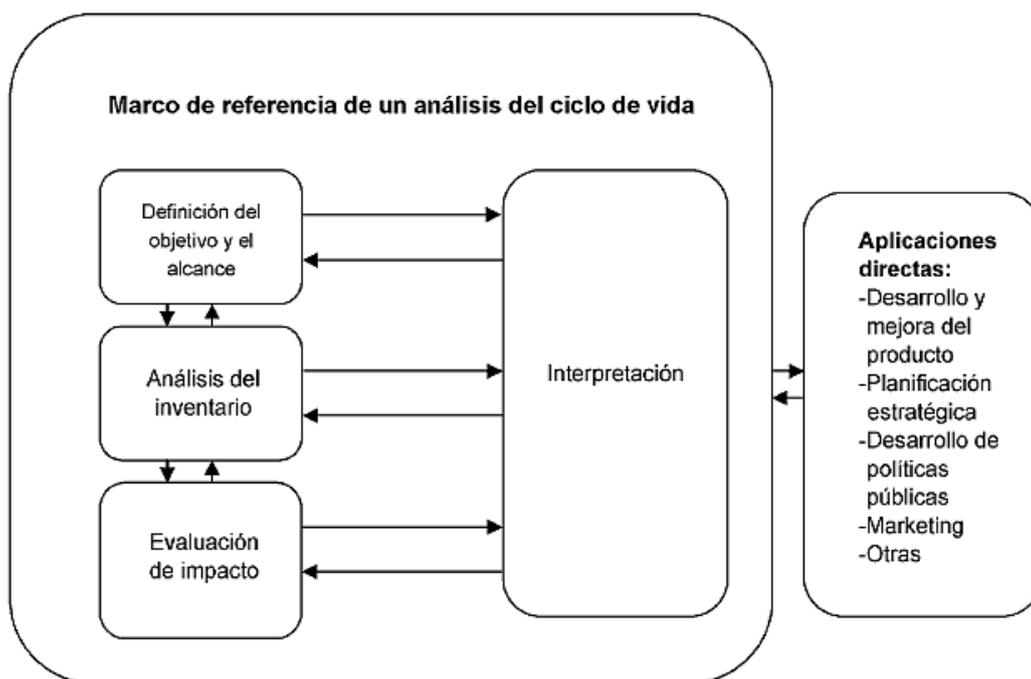


Figura 25. Fases para la realización de un ACV e interacción entre ellas. ISO 14040.

3.3.1 Definición del objetivo y alcance.

Es muy importante concretar cuál es el objetivo final y qué amplitud, profundidad y nivel de detalle tendrá el estudio para lograr esa meta impuesta. Aunque ambos parámetros están relacionados se deben tratar de manera independiente para evitar confusiones conceptuales entre ellos. Así, el objetivo de un ACV trata cuestiones como la aplicación o uso final que se quiere dar a la investigación, las razones por las que se realiza, el público al que está destinado y si se prevé utilizar los resultados como medio para comparar el producto con otros de similares características (posteriormente veremos los condicionantes que deben cumplirse para poder ser comparados). Autores como (Díaz, 2013) recomiendan un examen preliminar del sistema del producto con la finalidad de consolidar el motivo y determinar si el ACV es la herramienta correcta para la consecución del mismo.

Sin embargo, definir el alcance supone realizar un estudio cuyo nivel de detalle variará según la precisión marcada en los objetivos. Las evaluaciones se realizarán en los siguientes campos:



- a) El sistema del producto a estudiar: el ejecutor del informe deberá preguntarse si es necesario cubrir la totalidad del ciclo de vida del producto o si con el tratamiento de ciertas etapas es suficiente acorde con la finalidad planteada previamente. De la resolución de esta cuestión surge la aparición de las tres variantes más conocidas de ACV (Díaz, 2013):
- Análisis de la cuna a la tumba o “cradle to grave”: es aquél en el que se incluye el ciclo de vida completo sin obviar ninguna fase (extracción, transporte, fabricación, construcción, uso y disposición final).
 - Análisis de la cuna a la puerta o “cradle to gate”: comprende todo el ciclo hasta que el producto se encuentra listo para su uso o instalación.
 - Análisis de puerta a puerta o “gate to gate”: se inicia cuando las materias primas están en condiciones de ser transformadas (elimina la extracción de materias y su transporte a fábrica), finalizando en el mismo punto que la tipología anterior.

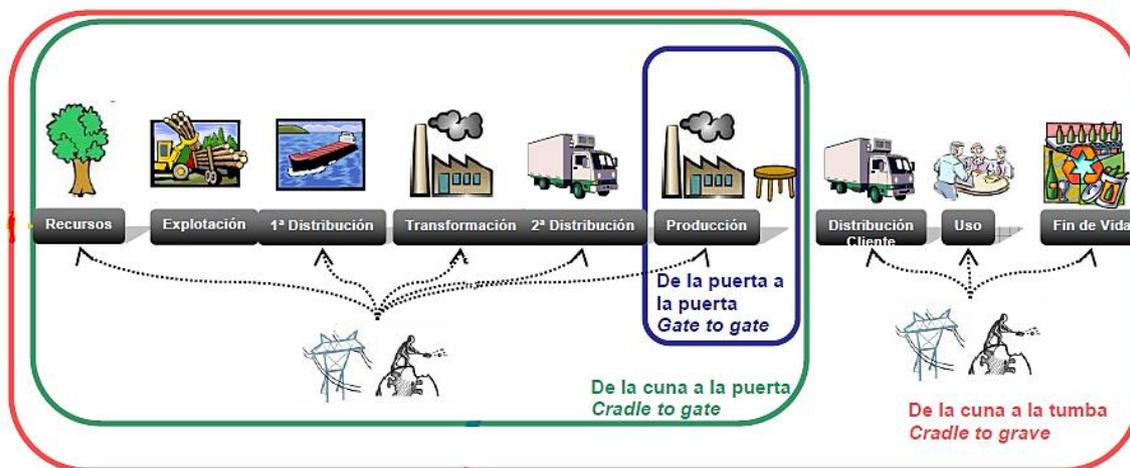


Figura 26. Variantes de ACV. (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009).

Además hay que esclarecer la condición de temporalidad que afecta a ACV, pudiendo ser (Zabalda Bribián , 2011):

- Dinámico: refiriéndose a aquél que tiene en cuenta la variación temporal y responde a las posibles alteraciones o actuaciones futuras que puedan realizarse en el modelo. Su utilidad en



construcción es muy reducida dada la complejidad que añade al método.

- b. Estático: elabora los resultados fijando el espacio temporal al momento en el que se realiza la evaluación, considerando invariante este parámetro a lo largo de la vida útil. Se elabora con valores medios de parámetros, a sabiendas que éstos puedan variar a lo largo del tiempo (por ejemplo, el rendimiento de máquinas acondicionadoras, materiales aislantes, etc.).

También se debe aclarar en qué medida el análisis se centra en las consecuencias que su estudio puede generar, es decir, existen actualmente ACV enfocados que valoran la repercusión futura que sus resultados pueden generar (imaginemos que a raíz del bajo impacto ambiental deducido en un análisis se fomenta la implantación indirecta en el mercado de otro producto que no estaba bajo el alcance del estudio, siendo el cómputo global más nocivo para el medio que lo inicialmente previsto). Aquellos ACV que no tienen en cuenta estos aspectos se llaman atributivos y solamente se basan en describir los impactos ambientales del sistema analizado, sin mirar más allá del mismo (Zabalda Bribián , 2011).

Para realizar análisis de este tipo debemos considerar un estándar de ciclo de vida. En este caso, nos centraremos en el proporcionado por el Comité Europeo de Normalización (CEN), en el que las etapas quedan normalizadas tal y como se indica:

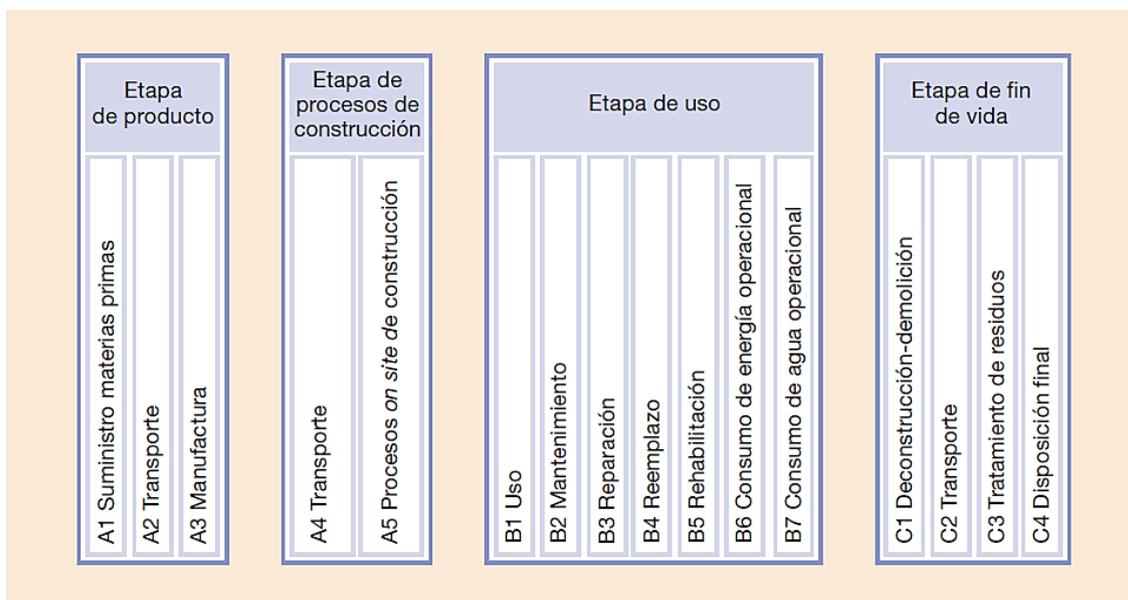


Figura 27. Etapas del ciclo de vida según el estándar EN 15643-2 del CEN/TC 350.

- b) Función y unidad funcional: es importante puntualizar la principal función del sistema, ya que el mismo producto puede cumplir con varias a la vez, quedando claramente identificada en el alcance.

La unidad funcional será aquella referencia (unidad de medida) que servirá para cuantificar la función indicada, siendo directamente relacionada con todas las entradas y salidas asociadas al sistema (flujos elementales o de producto). Por ejemplo, en análisis comparativos de edificios, dado el amplio margen de características, funciones, normativas, etc. que puede presentar cada caso en específico, se suele utilizar el concepto de equivalente funcional que se corresponde con una cantidad analizada (1m^2 , 1m^3 , 1 edificio completo...) que cumple la función de proporcionar un espacio o volumen de hábitat acorde con las normativas concretas de cada lugar, incluyendo además otros parámetros como la ubicación, sus condicionantes climatológicos y la vida útil del edificio (Zabalda Bribián, 2011).

- c) Calidad de los datos: será necesario determinar los requisitos cuantitativos y cualitativos que deben cumplir los datos para poder ser procesados en el modelo acorde con el objetivo planteado. Estos requisitos exigidos deben tratar los siguientes aspectos:

- a. Temporalidad: antigüedad y período de tiempo mínimo de recopilación.



- b. Geografía: área geográfica de donde deberían proceder los datos medidos.
 - c. Tecnología: tecnología específica de medición.
 - d. Precisión: medida de la variabilidad de los valores de los datos.
 - e. Integridad: porcentaje de flujo o proceso medido o estimado.
 - f. Representatividad: evaluación cualitativa del grado de representación de los datos.
 - g. Reproducibilidad: evaluación cualitativa que indique la posibilidad de que un profesional independiente pueda reproducir los mismos resultados finales del estudio a través de los datos y la metodología empleada.
 - h. Coherencia: evaluación cualitativa de si la metodología de estudio se aplica de manera uniforme a los distintos componentes del análisis.
 - i. Fuente de extracción: indicando la procedencia de los mismos.
 - j. Incertidumbre asociada: indica si los datos han sido elaborados a través de estimaciones, modelos, suposiciones, mediciones directas, etc.
- d) Límites del sistema: donde se delimitan aquellos procesos unitarios y flujos que deben ser incluidos en el modelo y el nivel de definición de los mismos, entendiéndose por proceso unitario el elemento más pequeño dentro del inventario de ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida. Aquellos que no produzcan cambios significativos en los resultados finales se pueden obviar (con la consecuente justificación de la ausencia), atendiendo a unas reglas comúnmente denominadas criterios de corte o “cut-off”, típicamente representados como un porcentaje de la masa o energía total acumulada. Dependiendo del propósito final planteado, estos criterios serán más o menos restrictivos ya que de ellos estriba gran parte de la incertidumbre asociada a los resultados, debiendo quedar claramente explicados y definidos para facilitar la comprensión del lector, incluyéndose en el informe final una valoración del efecto (análisis de sensibilidad) que ha causado la selección de los mismos.



Los procesos y flujos introducidos dentro del modelo pertenecen y son representativos de cada una de las etapas de vida que forman el sistema de estudio. Se recomienda confeccionar un diagrama de actividades detallado que muestre la relación entre los procesos y los límites de cada etapa de vida de tal forma que las entradas y salidas al sistema sean flujos elementales o de producto. De esta manera se pueden identificar qué procesos unitarios generan o reciben esos flujos y la etapa de vida a la que pertenecen.

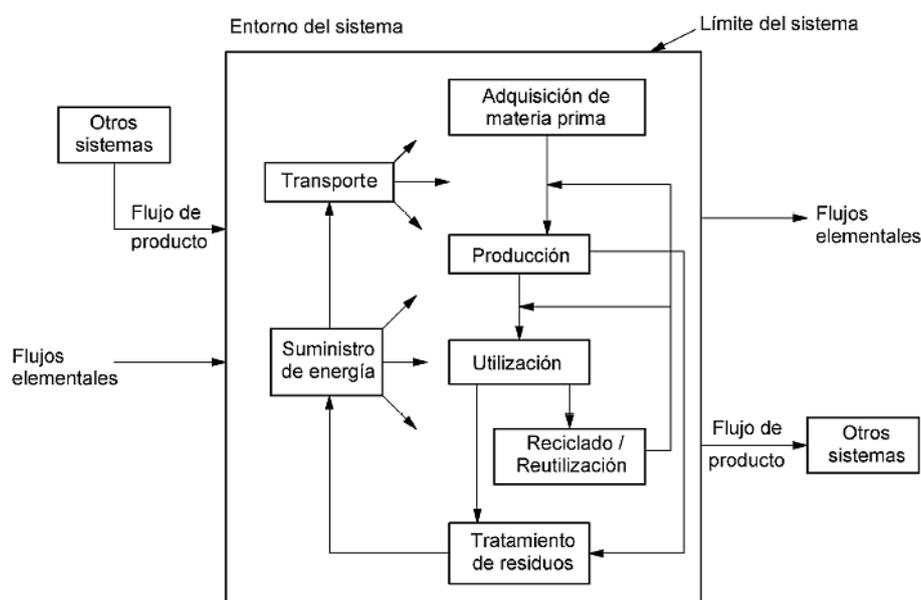


Figura 28. Ejemplo de sistema de producto para la realización de un ACV. ISO 14040.

- e) Metodología de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV) y tipos de impacto: imprescindible aclarar la metodología y los impactos que se van a analizar, así como los indicadores de cada categoría de impacto y la procedencia de los factores de caracterización empleados. Se debe reflejar la referencia de la información utilizada y las fuentes correspondientes. En los apartados 3.3.3 y 3.5 explicaremos qué se entiende por cada uno de estos conceptos.
- f) Asignaciones de carga: se refiere a aquellos procedimientos que rastrean datos de entradas y salidas que pudieran pertenecer a otros sistemas de producto y se precisa qué criterios (basados en la relación física entre procesos, aunque en última instancia se podrían valorar relaciones económicas) de asignación de cargas han sido implantados. Esta



hipótesis se da en casos donde existen etapas comunes de fabricación entre varios productos o simplemente sucede cuando se emplean recursos procedentes de sistemas exteriores que intrínsecamente llevan asociados emisiones u otras cargas que no corresponden proporcionalmente con el flujo principal a evaluar. Además suele ser un problema característico en la evaluación de residuos y de sistemas de reciclado donde hay que justificar la parte correspondiente a cada producto.

Si por cualquier motivo no se pudiera repartir adecuadamente la contribución ambiental, se pueden redefinir los límites del sistema fijados para relacionar estos flujos de coproductos⁹ con un modelo alternativo que los incluya y además cumpla la misma función (Díaz, 2013).

- g) Las suposiciones (juicios de valor) y las limitaciones establecidas al modelo.
- h) El tipo de revisión crítica o procedimiento de verificación establecido: especificar la necesidad de una revisión crítica y de ser así, habría que pormenorizar la tipología de la misma, cómo habría que realizarla, quién la debería de hacer y la experiencia que tendría que tener en revisiones de semejantes características. Se distinguen dos tipos de revisiones (European Environment Agency, 1997):
 - a. Internas: realizadas por personal relacionado con el promotor del análisis, habitualmente efectuadas en ACV de carácter privado.
 - b. Externas: donde un panel de expertos externos e independientes al personal organizador verifica que el método, datos y limitaciones impuestas son acorde a los fines planteados. Se utilizan en ACV abiertos al público (marketing, información al cliente, etc.) o en los destinados a la comparación de productos.
- i) El tipo y formato del informe final.

⁹ Coproductos: dos o más materiales, productos o combustibles comercializables procedentes del mismo proceso unitario, pero que no son el objeto principal de la evaluación (UNE-EN 15804).



Es imprescindible que en esta etapa se deje constancia de posibles aseveraciones comparativas que se puedan dar. En el caso de que esta sea una meta impuesta, habrá que analizar concienzudamente la equivalencia entre los modelos a comparar. Ello supone el empleo de consideraciones metodológicas semejantes en cada uno de los aspectos mencionados en el alcance. Condición necesaria e imprescindible será que ambos sistemas posean la misma función principal y se hayan calculado con la misma unidad funcional. Además se considerarán las funciones adicionales que cada producto pueda tener, y en el caso de que éstas no se describan, habrá que explicar y documentar los motivos de su omisión. Si se hallaran diferencias habrá que dejar declaración expresa de las mismas. En (Díaz, 2013) se recomienda identificar las variables que cuantitativamente contrasten mejor las comparaciones que se realicen, con el fin de facilitar la lectura de los resultados.

De forma resumida, se puede decir que esta fase relativa a la documentación del proyecto se ha realizado de forma clara y específica en el momento que cualquier profesional ajeno al estudio pudiera duplicar el análisis de inventario.

3.3.2 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

Abarca aquellas actividades correspondientes a la recopilación de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar todas las entradas y salidas durante las etapas consideradas. Una clasificación generalizada que alberga prácticamente todas las tipologías de datos que pueden aparecer en el ACV es:

- Información relativa a las entradas de energía, materias primas, entradas auxiliares y otras entradas físicas.
- La referente a flujos de productos, coproductos y residuos del sistema.
- Emisiones al aire, agua, suelo u otro tipo de medio.
- Referencias que afecten a otros aspectos ambientales.

Tras reunir la información, se procede a validarla para confirmar el cumplimiento de las reglas impuestas en el alcance, estudiando además la relación con los procesos unitarios que representan, así como con el flujo principal y la unidad funcional (recordar que todas las entradas y salidas están referenciadas a la misma). Se pueden utilizar balances de materia y energía basados en el principio



de conservación¹⁰ en los inputs y outputs de cada proceso para verificar que es correcta la toma. Una vez legitimados, se dejará constancia documental de todas las técnicas de recopilación y cuantificación empleadas que afecten a los parámetros de calidad exigidos y de las irregularidades o suposiciones que hayan sido realizadas.

Seguir minuciosamente el diagrama de actividades elaborado (donde se detallan los flujos pertenecientes a cada proceso) e ir marcando los ya calculados, ayudará a la organización del análisis evitando dobles contabilidades. Un esquema que muestra el proceso a seguir es el siguiente:

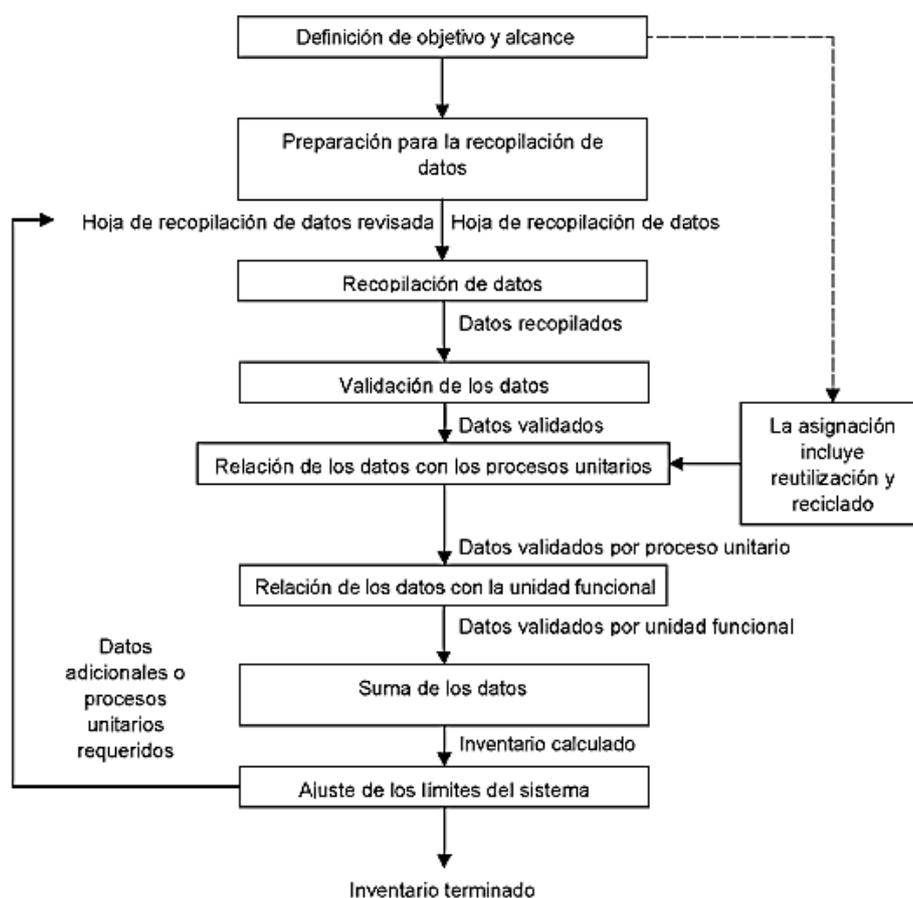


Figura 29. Procedimiento a seguir para la elaboración del inventario de ciclo de vida. ISO 14044.

¹⁰ El Principio de conservación de la masa establece que la masa de las sustancias reaccionantes es igual a la de los productos de la reacción. Esta ley física se puede extrapolar a la energía de forma que ésta ni se crea ni se destruye, solamente se transforma de unas formas en otras. En resumen, estos principios se pueden aplicar a un sistema de producto, concretamente a los inputs y outputs como si de una reacción química se tratara.



Destacar el ajuste del límite del sistema, que como mencionamos, se basa en la facultad iterativa del método pudiendo requerir datos adicionales o modificar algunos de los reunidos hasta que se consigue que el inventario cumpla con el objetivo predefinido. Se realiza siguiendo los criterios de corte establecidos y se completa con un análisis de sensibilidad¹¹ cuyo resultado puede establecer la inclusión u omisión de algunos procesos, etapas de vida o flujos que en un principio se creían importantes pero que tras la recolecta de información carecen de valor o viceversa. Dicho análisis deberá justificar cualquier cambio que se produzca.

En el inventario de ciclo de vida se podrán utilizar datos propios que son directamente medidos, calculados o estimados junto con otros procedentes de bases de datos que se encuentran actualmente en el mercado y que completan los vacíos existentes de información que puedan darse. Además se pueden utilizar otros estudios de ACV, siempre y cuando ambos modelos presenten similares metodologías, como por ejemplo el uso de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) anunciadas por otros fabricantes, ya que son elaboradas bajo las mismas Reglas de Categoría de Producto (RCP) (Zabalda Bribián , 2011).

3.3.3 Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV).

Se comentaron en el objetivo y alcance las metodologías de impacto a aplicar, las categorías que las componen e indicadores de las mismas, pero hasta ahora no habíamos tratado que se entiende por cada una de ellas. El principal propósito de esta fase es determinar cuán significativos serán los impactos ambientales que causen los componentes del ICV, por ello durante esta evaluación habrá que asociar la información del inventario con las categorías de análisis de impactos y sus correspondientes indicadores para poder obtener los resultados finales. Las relaciones se forjarán por medio de un mecanismo ambiental que debe quedar claramente descrito y acorde con las metas impuestas. Este procedimiento de asignación de sustancias es conocido como “clasificación”.

¹¹ El análisis de sensibilidad consiste en la aplicación de un método que nos ayude a determinar la robustez de una evaluación examinando en qué grado los resultados se influyen por cambios en la metodología o en el modelo utilizados en el estudio (Molina , 2013).



Actualmente existen numerosas metodologías como la promovida por el Institute of Environmental Sciences (CML), Ecoindicador 99, Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts (TRACI), etc. que integran distintas categorías de impacto en función de los resultados finales que se pretendan obtener (algunas enfocadas a daños al ecosistema, a la salud humana, al ambiente antropogénico, etc.). Así, al optar por un método determinado se están seleccionando indirectamente las categorías de estudio y el mecanismo ambiental que relaciona la información con éstas (Zabalda Bribián, 2011). También se pueden aplicar varios métodos a un mismo inventario con el fin de contrastar y obtener conclusiones que abarquen diferentes temas o simplemente no aplicar ninguna de las reglamentadas (suele pasar en pocos casos, ya que se encuentran muy estandarizadas) y analizar las categorías de impacto que se crean oportunas de forma independiente. En el apartado 3.5 “Metodologías de evaluación de impacto” extenderemos el contenido sobre las mismas.

En cualquier caso, la norma ISO 14040 no habla de aplicar ninguna metodología en concreto sino de seleccionar qué clases de impacto se van a utilizar y asociarles los datos correspondientes, ya sea por medio de la aplicación de un método en específico o no. Las categorías de impacto se pueden definir como aquellos aspectos o clases ambientales relevantes para ser incluidos en una evaluación acorde con el sistema y con los objetivos. Cada una de ellas presenta un modelo ambiental específico, basado normalmente en el conocimiento científico, que permite relacionar las entradas y salidas de los procesos con el indicador de categoría correspondiente. Su clasificación se basa en la amplitud espacial que abarcan, distinguiéndose entre globales, continentales, regionales y locales, aunque algunas pueden tener un ámbito que integren varias de ellas (European Environment Agency, 1997). Además se deberá concretar el aspecto temporal (duración, tiempo de residencia, persistencia, etc.) de todas las empleadas en el análisis.

Durante la asociación pueden surgir casos especiales normalmente relacionados con las salidas (outputs), ya que suelen contribuir en diferentes categorías de impacto, lo que puede conllevar a dobles contabilidades de cargas. La doble contabilidad resultante se aceptará si los efectos que causan son



independientes, porque si pertenecen a la misma cadena de análisis y sus consecuencias son adicionales es lógico que no esté permitido. Por ejemplo, si un flujo contribuye a la categoría de “agotamiento del ozono estratosférico” siendo a su vez registrado en “efectos toxicológicos con humanos” y la pretensión final del informe es el análisis del cáncer de piel, está claro que los resultados serán erróneos (European Environment Agency, 1997).

Se entiende por indicador de categoría a la unidad de medida que permite cuantificar de forma numérica cada categoría de impacto a través de unos coeficientes de conversión denominados por la jerga como “factores de caracterización” (de ahí que este proceso sea conocido como “caracterización”), que representan la contribución relativa de una sustancia a un impacto en concreto (Zabalda Bribián , 2011). Se trata de unidades universalmente establecidas pero cuyos factores varían según la metodología impuesta o incluso entre resultados publicados por organismos internacionales, generando cierta confusión en el autor del ACV. Un ejemplo lo podemos ver en la siguiente tabla donde se muestran los valores que adoptan estos coeficientes para distintas sustancias, según dos métodos (Ecoindicador 95 e IPCC 2007) en el estudio de la categoría calentamiento global (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009):

Factores de Caracterización para la categoría de Calentamiento Global			
Sustancia		Factor de Caracterización - Kg eq. CO ₂	
		IPCC 2007	Ecoindicador 95
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1
Metano	CH ₄	21	11
Óxidos nitroso	N ₂ O	298	270
Hidrofluorocarbonos	CFCs	124 – 14.800	100-13.000
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	22.800	-

Figura 30. Cálculo del indicador de calentamiento global según dos metodologías de EICV distintas. (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009).

A continuación se muestra una lista de las principales categorías (se han destacado las más empleadas pero existen muchas más), su ámbito espacial y su indicador de medida establecido, así como una breve explicación de lo que



representan cada uno de ellos (European Environment Agency, 1997) (Díaz, 2013) (Rivela, 2010):

Categoría de impacto	Escala geográfica	Unidades
Entradas		
Agotamiento de recursos abióticos	Global	Kg Sb equivalentes
Agotamiento de recursos bióticos	Global	MJ ; Kg
Uso del suelo	Local	m ² ; m ² * año
Salidas		
Calentamiento global	Global	Kg CO ₂ equivalentes
Agotamiento del ozono estratosférico	Global	Kg CFC -11 equivalentes
Impactos toxicológicos en humanos	Continental/regional / local/ Global	DALYs ; Kg benceno equiv.; Kg 2,4 DCB equiv.
Impactos ecotoxicológicos	Continental/regional / local/ Global	Kg 2,4 DCB equivalentes
Formación de foto-oxidantes	Continental/regional / local	Kg de etileno equivalentes
Acidificación	Continental/regional / local/ Global	Kg SO ₂ equivalentes
Eutrofización	Continental/regional / local	Kg PO ₄ equivalentes

Tabla 1. Principales categorías de impactos. Elaboración propia.

- a) Agotamiento de recursos abióticos¹²: refleja la limitación cada vez mayor de recursos naturales. Lo componen las subcategorías de depósitos (combustibles fósiles, minerales, acuíferos, arcilla, etc.), recursos de flujos naturales (aire, agua, radiación solar, corrientes oceánicas, etc.) y fondos (aguas subterráneas, suelos, etc.), todos ellos caracterizados por no ser renovables en un largo período de tiempo. Se representa por medio del Factor de Agotamiento de Recursos (ADF) cuyas unidades varían dependiendo de la metodología tratada, pero que suele estimarse según el equivalente de reservas disponibles de antimonio (Kg de Sb equivalentes). En otros casos también emplean unidades de masa (Kg) y energía (MJ) para su medición.
- b) Agotamiento de recursos bióticos: muestra la ausencia cada vez mayor de fauna y flora, cuya explotación puede ser de manera sostenible o no. Buen ejemplo de ello es el manejo de los bosques. Se cuantifica

¹² Abiótico: designa aquello que no es biótico, es decir, que no forma parte o no es producto de los seres vivos (Hogan, 2010).



- normalmente en Kg o MJ, utilizándose otras unidades dependiendo del método implantado.
- c) Uso del suelo: y su correspondiente transformación, incluye la ocupación y agotamiento por parte del ser humano (agricultura, edificación, etc.) y todo lo referente a degradación del paisaje, desecación, alteraciones del hábitat, etc. Se trata de una categoría con efecto reversible aun a pesar del largo periodo de tiempo que implica su recuperación total. Su medición puede darse en m^2 , con la alternativa de incluir el componente temporal multiplicando por la superficie ocupada ($m^2 \cdot a$).
 - d) Calentamiento global: es el efecto de incremento de temperatura de la atmósfera, debido a que gran parte de la radiación solar incidente y reflejada por la superficie terrestre no se deja escapar de nuevo al exterior dado el alto grado de concentración de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero (clorofluorocarbonos, metano, dióxido de nitrógeno, etc.). Se cuantifica por medio del Potencial¹³ de Calentamiento Global (GWP), que representan índices semejantes de reflexión al del CO_2 para otras sustancias, generalmente interpretados en Kg de CO_2 equivalente. Organismos como el IPCC han publicado GWP de diversas sustancias.
 - e) Agotamiento del ozono estratosférico: la descomposición de este compuesto origina un aumento de la incidencia de radiación ultravioleta con el correspondiente impacto en la salud humana. Esta degradación se produce por la emisión a la estratosfera de compuestos clorofluorocarbonados (CFCs), hidroclofluorocarbonados (HCFCs), halones, etc. Al igual que el GWP, existe un indicador para el Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP) cuya magnitud es en Kg de CFC-11 equivalentes.
 - f) Impactos ecotoxicológicos¹⁴ y toxicológicos con humanos: dependen de la exposición y el efecto de sustancias de origen químico o biológico,

¹³ Impactos potenciales: todos los impactos que puedan ocurrir dado cierto cambio climático proyectado, sin tomar en cuenta la adaptación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT); Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)., 2010).

¹⁴ Ecotoxicológico: se trata de aquel impacto o efecto tóxico que se genera sobre los ecosistemas. La ecotoxicología se encarga de estudiar y evaluar la toxicidad de ciertas sustancias, así como su destino y efecto contaminante en los ecosistemas (Puig, 1989).



cuyas consecuencias surgen de la emisión y destino de las vertidas actualmente al medioambiente. Existen numerosas formas de calcular el efecto de este factor según la metodología empleada (dada la falta de consenso internacional en este aspecto) siendo el Potencial de Toxicidad Ecológica (ETP) uno de los más usados. Por simplificar su definición, se trata de una medida cuantitativa que expresa el daño potencial ecológico producido por una cantidad unitaria de sustancias químicas liberadas en un entorno vigilado. Algunas metodologías como CML 2000 lo representan por medio de Kg de 1,4 diclorobenceno equivalentes.

En el caso de impactos toxicológicos con humanos su causa potencial y descripción es la misma pero enfocándolos a nuestra raza. Los indicadores pueden ser presentados en Kg de benceno-equivalentes o también en DALYs (Disability Adjusted Life Year), una unidad que refleja los años de vida perdidos por motivos de discapacidad o muerte prematura según diversas causas. La metodología de impacto CML 2000 la estima siguiendo la misma unidad que en ecotoxicológicos.

- g) Formación de oxidantes fotoquímicos: provocada por la degradación de compuestos orgánicos¹⁵ (procedentes de la emisión de gases contaminantes) en presencia de luz y óxidos de nitrógeno. Este tipo de reacciones genera la aparición de una alta variedad de compuestos oxidantes también llamados contaminantes secundarios, siendo origen de fenómenos como las lluvias ácidas o las nieblas fotoquímicas que vemos en las ciudades. Una gran parte de estos gases es ozono (O₃), de ahí que el factor de caracterización se denomine Potencial de Formación de Ozono Fotoquímico (POCP), cuya unidad de referencia es Kg de etileno equivalente.
- h) Acidificación: su causa es debida a la liberación de protones (H⁺) en ecosistemas terrestres o acuáticos. En los primeros provoca un débil

¹⁵ Compuestos orgánicos: El compuesto orgánico o también denominado molécula orgánica es una sustancia química que está compuesta por el elemento químico carbono y que conforma enlaces carbono – carbono o carbono – hidrógeno (Definiciónabc, 2015).



crecimiento y muerte regresiva de los bosques y en los segundos acidifica el agua, con la ausencia de cualquier tipo de vida salvaje que conlleva esta bajada de pH. Además efectos como la lluvia ácida también generan daños considerables en los materiales de edificios, esculturas, etc. Se representa a través del Potencial de Acidificación (AP), pudiéndose estimar como Kg de SO₂ equivalentes.

- i) Eutrofización: o enriquecimiento de nutrientes en medios acuáticos o terrestres, causados por un exceso de nitrógeno, fósforo y otras sustancias orgánicas. En el agua fomenta la aparición de plantas acuáticas como las algas que deterioran el ambiente, así como una ausencia de oxígeno en el ambiente por la descomposición de compuestos. En ecosistemas terrestres genera cambios en las funciones y diversidades de especies, gran parte de ellos motivados por la deposición de componentes nitrogenados. El indicador Potencial de Eutrofización (EP) se suele representar como Kg de PO₄ equivalentes, siendo también representativo la demanda de oxígeno asociada con la descomposición de materia orgánica citada.

Por ir adentrando gradualmente el tema de manera que no genere confusión al lector, se ha reservado otra clasificación de los impactos que no podemos pasar por alto. Según (Antón Vallejo, 2004), una diferencia importante entre las categorías de impacto reside en la opción de analizar el efecto último ambiental (endpoint) o considerar las causas intermedias (midpoint). Todas las tratadas hasta el momento se consideran “midpoint” y son las más utilizadas ya que se hallan más cercanas a la intervención ambiental, permitiendo que el modelo de cálculo se ajuste mejor a las medidas a adoptar. Las “endpoint” son variables que se encuentran más cerca del daño final generado por la sustancia que de su origen, afectando directamente a la sociedad.

La norma ISO definió tres Áreas de Protección (AoP), como categorías de impacto finales (salud humana, entorno natural y recursos renovables) a las que autores como (Udo de Haes, y otros, 1999) añadieron una cuarta denominada “entorno modificado por el hombre” y segregaron otras, concluyendo con un esquema complejo de la clasificación. En la siguiente figura se muestra uno más simplificado, obtenido de (United Nations Environment Programme, 2011):

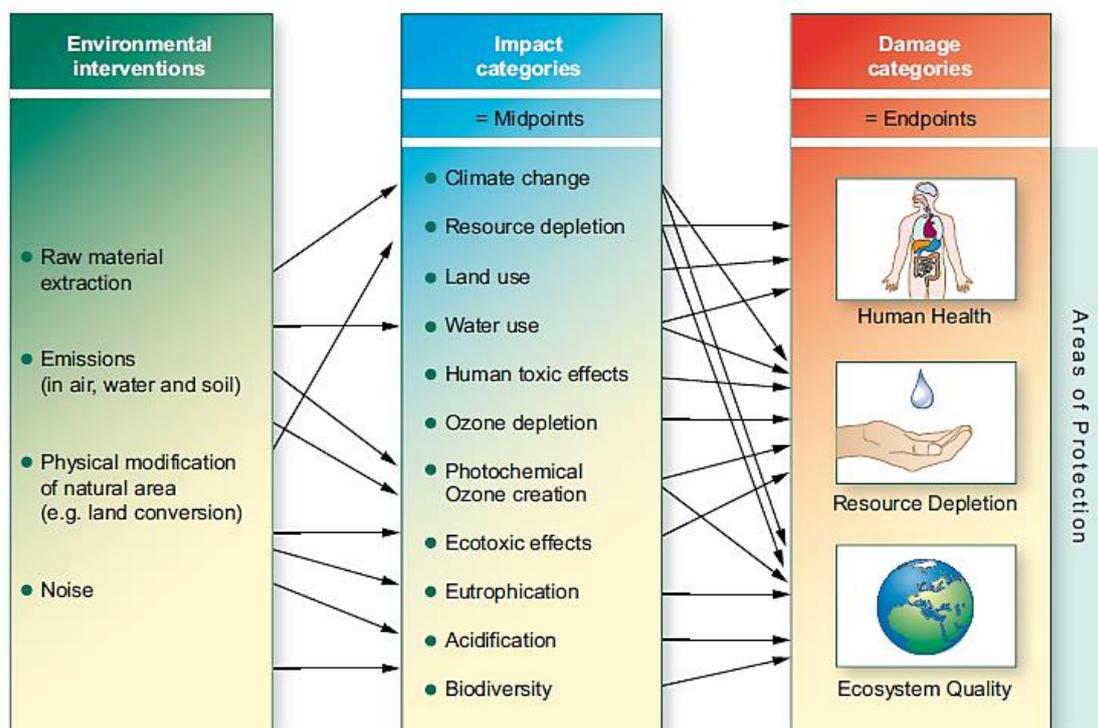


Figura 31. Categorías de impactos “midpoints” y “endpoints”. (United Nations Environment Programme, 2011).

Como hemos comentado, cuanto más nos alejamos del origen de la sustancia mayor incertidumbre introducimos ya que generamos juicios de valor sobre los efectos finales que estos compuestos pueden causar. Por ello, los informes se suelen realizar con impactos “midpoints” que son los más comunes en la práctica y cuyos resultados son más veraces.

Todo el mecanismo ambiental visto hasta ahora se resume muy bien en el siguiente esquema (ejemplo del impacto “acidificación”) que proporciona la ISO 14044, donde se marca la opcionalidad de especificar una categoría final por medio de una línea discontinua:

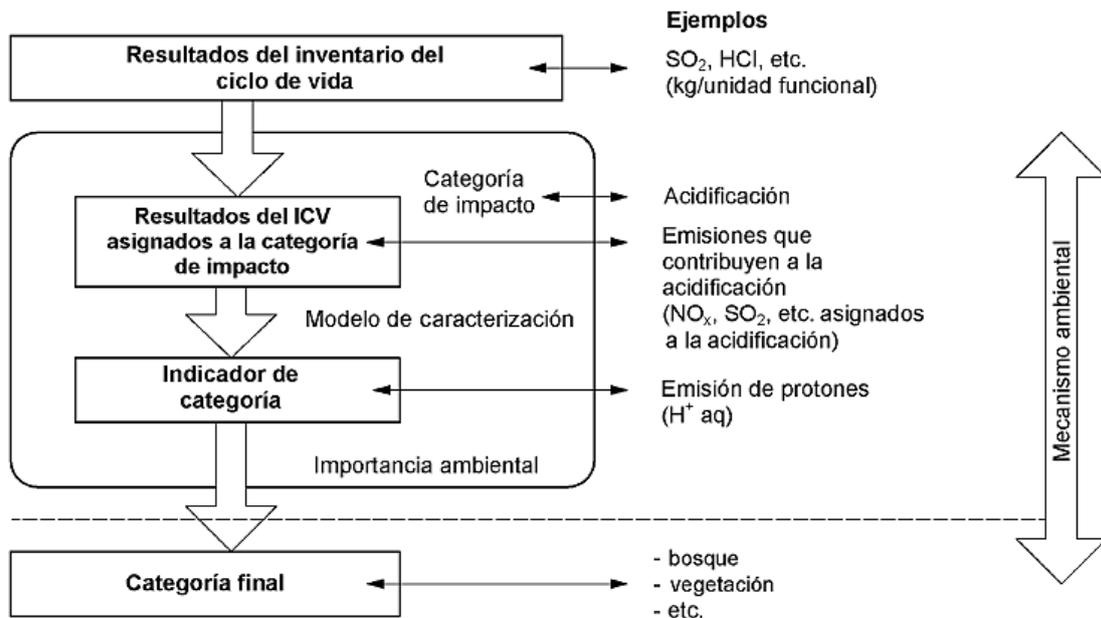


Figura 32. Sistemática para la realización de la evaluación de impactos. ISO 14044.

Lo expuesto hasta este momento de fase, comprende los procedimientos que la normativa dicta como obligatorios en un ACV. A continuación explicaremos siguiendo el orden lógico y de manera más superficial otros procesos opcionales que se pueden adicionar y que se utilizan en función de los objetivos planteados:

- Normalización: donde se trata de calcular la importancia de los resultados ofrecidos por cada indicador de categoría comparándolos con valores de referencia, con el fin de obtener una magnitud relativa para cada uno de ellos. Los valores usados como referentes se deben documentar y explicar para ofrecer transparencia al método. Tras la aplicación de los indicadores de normalización se considera al EICV como “normalizado”.
- Agrupación: es la congregación de los impactos evaluados en uno o más conjuntos, con la pretensión de organizar la información. Se suelen asignar según escalas espaciales, por su categoría final, en entradas y salidas, por unidades de indicador comunes, etc. Ello conlleva el empleo de suposiciones en algunas unificaciones realizadas, siendo éstas las de menor uso práctico.
- Ponderación: puede suceder un proceso de conversión de los indicadores normalizados por medio de coeficientes numéricos basados en suposiciones (factores de ponderación) de manera que se represente mediante un valor adimensional la gravedad del mismo. En este



procedimiento suele incorporar la agrupación de todas las ponderaciones con el fin de mostrar el resultado en un único valor general. Los multiplicadores empleados son subjetivos ya que la importancia otorgada a cada indicador puede variar geográficamente, o simplemente por criterios socioeconómicos. Al igual que en la causa anterior todas la cifras empleadas se justificarán adecuadamente.

- d) Análisis de calidad de datos: por el que se otorgará al EICV de información adicional que refuerza y ayuda a comprender mejor las conclusiones. Se compone de:
 - a. Un análisis de gravedad: para identificar aquellos datos que contribuyen mayoritariamente al indicador.
 - b. Un análisis de incertidumbre: para determinar el efecto en la confiabilidad de los resultados que provocan las suposiciones o juicios de valor impuestos.
 - c. Un análisis de sensibilidad: con el propósito de examinar las variaciones en los resultados que puedan surgir al realizar cambios en los datos o en la metodología.

3.3.4 Interpretación de resultados.

Es la fase de cierre, en la que se tratan conjuntamente los hallazgos producidos en el inventario y en la evaluación de impacto, excepto si se elaboró un análisis tipo ICV, que conllevará el examen único de las soluciones generadas por el primero. La normativa destaca tres acciones principales a realizar:

- a) Identificación de asuntos significativos: estructurando los resultados del ICV y EICV para ayudar a conocer aquellos que contribuyen en mayor proporción. Si anteriormente y de manera opcional se elaboró el análisis de gravedad, gran parte del trabajo estará resuelto.
- b) Evaluación: se pretende generar confianza en las conclusiones finales adoptadas. Emplea técnicas como el análisis de integridad, para verificar que toda la información y datos necesarios en la interpretación estén disponibles y completos, un análisis de sensibilidad con la intención de investigar la certeza de las soluciones (será más fácil de elaborar si ya preparamos este examen en fases anteriores) y un análisis de coherencia



para determinar que las suposiciones realizadas son consistentes con la finalidad del informe.

- c) Conclusiones, limitaciones y recomendaciones: se justifican las conclusiones obtenidas junto con la exposición de sugerencias y explicación de restricciones del sistema.

A parte de las barreras que supone el establecer límites al sistema se deben considerar otras intrínsecas de la metodología, ya que los enfoques analizados son relativos, cuya determinación indica un efecto potencial ambiental que en ningún caso predice el impacto último real que supondrá (aun considerando categorías finales en la EICV, no existen bases científicas actuales que pronostiquen la realidad final). La interpretación realizada debe considerar este aspecto.

A modo de resumen, se espera llegar a resultados coherentes con las metas planteadas, que generen conclusiones y recomendaciones explicando las limitaciones impuestas al modelo.

A partir de aquí, se elabora el informe con el formato predefinido y se somete a revisión, siendo ésta interna o externa como mencionamos. En (Díaz, 2013) se confecciona un pequeño diagrama aclaratorio que compila todo el método:

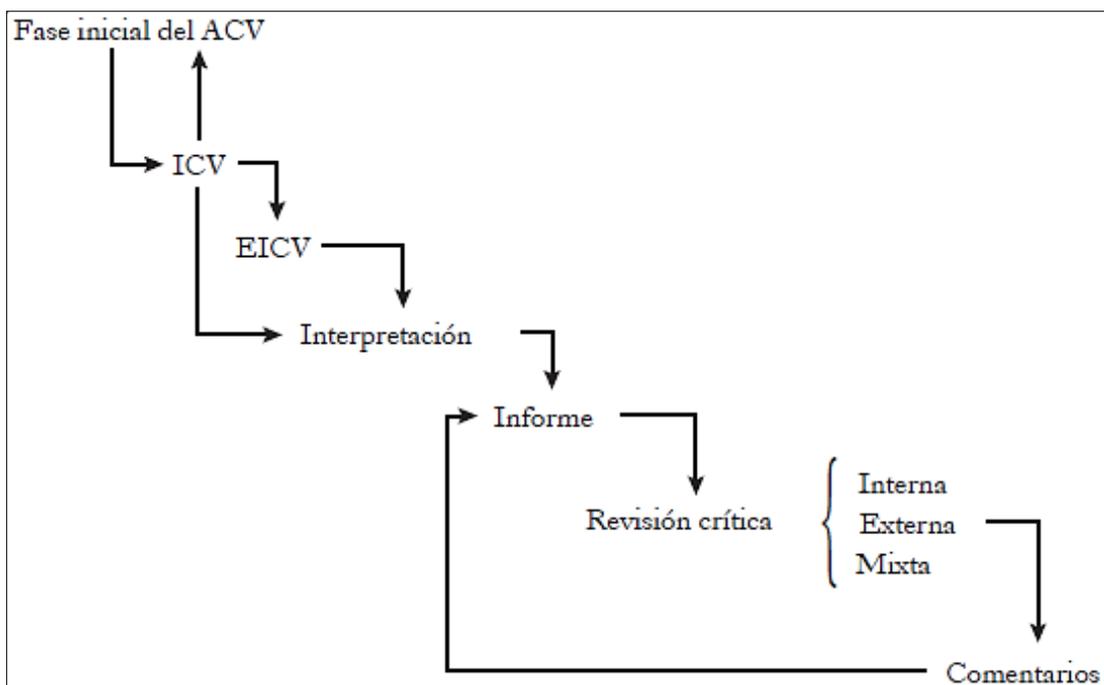


Figura 33. Esquema del proceso general a seguir en un ACV. (Díaz, 2013).



Concisamente, podemos decir que la “definición del objetivo y alcance” junto con la “interpretación de resultados” suponen la constitución de un marco de referencia en el que el ICV y la EICV aportan la información relativa al sistema del producto.

3.4 Bases de datos existentes en el mercado.

Existe la posibilidad de completar aquella información del inventario que por cualquier causa no pudo ser recopilada de manera específica y personalizada para el sistema de producto a evaluar. Aunque no es lo más apropiado, se pueden utilizar bases de datos que actualmente existen en el mercado siempre bajo las directrices de calidad exigidas. Esta técnica es comúnmente utilizada ya que desarrollar ACVs tan complejos como puede ser el de un edificio o el proceso de fabricación de un producto supone recopilar tal cantidad de información que es prácticamente imposible que toda ella sea medible de forma directa (Construcción 21, 2015).

Estas bases de datos, en adelante tratadas como BBDD, contienen información relativa a materiales y procesos de diversa índole de manera que es relativamente fácil asociarla con las entradas/salidas que componen el ICV. Se suelen agrupar los datos según la etapa de vida en la que intervienen, por la tipología de proceso que más se asemeje (industrial, comercial o servicios) o clasificarlos dependiendo de la metodología EICV a la que pertenezcan, siendo calificadas estas últimas como BBDD de metodologías (recordemos que cada una de ellas aplica sus propios factores y trata los datos de diferente forma) (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009).

La guía que dirige la confección de las BBDD está desarrollada en la norma ISO/TS 14048:2002. Resaltar también el Informe Técnico CEN/TR 15941:2010 en el que se proporcionan recomendaciones para el uso de datos genéricos así como un método de selección de los mismos. Esta legislación no es lo suficientemente precisa, lo que ha provocado que a día de hoy existan numerosas BBDD y formatos que las componen, encontrándonos muy lejos aún



del consenso internacional que se exige a esta herramienta (Pré sustainability, 2015).

Destacar que existen tres tipos de formatos (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009):

- SPOLD: recoge el nombre de Society for Promotion of Life-cycle assessment Development que fue la entidad que lo creó. La última versión fue realizada en 1999, dada a conocer como SPOLD99, con el objetivo de permitir la transferencia de información entre BBDDs y distintos softwares por medio de la compatibilidad de los mismos. Clasifica la información según la actividad específica que corresponda al producto.
- EcoSPOLD: cuya creación fue siguiendo el prototipo SPOLD99 pero sufriendo las modificaciones oportunas incentivadas por la norma ISO en 2002. Emplea la extensión XML siendo compatible con otras bases de datos, programas tipo Excel, editores de texto, etc. Se trata del formato más extendido en la actualidad.
- SPINE: es el acrónimo de Sustainable Product Information Network for the Environment. Utiliza el lenguaje estándar ANSI/ISO para bases de datos, conocido como SQL. Se elaboró para comunicar el flujo de datos entre un software específico llamado LCAiT y el sistema de evaluación EPS del Instituto de Investigación Ambiental de Suecia (IVL). A raíz de su implantación se decidió extrapolarlo a otras herramientas digitales. Su uso actual es reducido.

Seguidamente se muestra una tabla que resume las BBDD de manejo habitual y sus características básicas. También se ha incluido en la misma las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) cuyos resultados ofrecen una gran fuente de información del ciclo ambiental de los materiales (Greenhouse Gas Protocol, 2015) (EnerBuiLCA, 2015) (EeBGuide Project, 2015):



Nombre comercial	Contenido Principal	Nº de procesos incluidos	Etapas de ciclo de vida	Geografía	Formato	Acceso
Ecoinvent v3.1	Genérico	4000	Cradle to grave.	Global	Ecospold	Ecoinvent Centre www.ecoinvent.org
Boustead model 6.0	Genérico	13000	Gate to gate.	Global	Modelo propio	Boustead Consulting www.boustead-consulting.co.uk/
IVAM LCA DATA 4	Genérico	1350	Cradle to grave.	Global; Europa; Holanda.	Ecospold	Universiteit van Amsterdam http://www.ivam.uva.nl/
GaBi database	Genérico	2300	Cradle to grave.	Global; Europa	Ecospold	GaBi Software http://www.gabi-software.com/
ESU data v2.3	Genérico	4000	Varias	Globa; Europa; Suiza	Ecospold	ESU-Services http://www.esu-services.ch/
DEAM	Genérico	1200	Cradle to grave.	Europa; Francia	Ecospold	Ecobilane (PwC) www.ecobilan.com/uk_deam01_02.php
Carnegie Mellon	Genérico	3500	Cradle to gate.	USA; Alemania; España; Canadá; China.	Ecospold	Carnegie Mellon University. Green Design Team www.eiolca.net/
Ilca2010 +	Genérico	1800	Desconocido	Global	Varios	Gruner-Team Sustainability http://grauner.blogspot.com/
CLCD (Chinese Life Cycle Database)	Genérico	600	Cradle to gate.	China	Ecospold	Sichuan University, China; IKE Environmental Technology CO., Ltd, China http://www.itke.com.cn
FRANKLIN US LCI	Genérico	30	Cradle to grave	USA	Ecospold	Franklin Associates FranklinAssociates@erg.com
BUWAL	Genérico	300	Cradle to grave	Suiza	Ecospold	Swiss Packaging Institute http://svi-verpackung.ch/de/Services/1&Publikationen/
U.S. Life-Cycle Inventory Database V1.6.0	Genérico	100	Varias	USA; Global	Ecospold	National Renewable Energy Laboratory (NREL) www.nrel.gov/lci/database/default.asp
European Reference Life Cycle Database 2.0	Genérico	300	Cradle to grave.	Europa	Ecospold	European Commission – Joint Research Centre http://lca.jrc.ec.europa.eu/
Athena	Construcción	50	Cradle to gate.	USA; Canadá	Ecospold	Athena Institute www.athenasmi.org/
IEA GHG CO ₂ Emissions Database	Genérico	1400	Cradle to grave.	Global	Ecospold	International Energy Agency (IEA) www.ieaghg.org/
IPCC Emissions Factor Database	Genérico	Desconocido	Cradle to grave.	Global	Ecospold	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php
ProBas	Genérico	8000	Varias	Global; Alemania.	Ecospold	Federal Environment Agency- Germany www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php
OPEN IO	Genérico	3000	Cradle to grave	USA	Ecospold	Sustainability Consortium. University of Arkansas http://www.open-io.org
IDEA	Genérico	3000	Gate to gate; Cradle to gate	Global	Modelo propio	AIST/JEMAI http://www.milca-milca.net/
GEMIS	Genérico	5000	Varias	Global; Alemania.	Ecospold	Öko Institut www.oeko.de/service/gemis/en/
Environmental Product Declarations	Genérico	Desconocido	Varias	Global	PDF	Environdec http://www.environdec.com/en/EPD-Search/
Green Book Live	Construcción	780	Cradle to grave.	Reino Unido	Ecospold	Building Research Establishment (BRE) www.greenbooklive.com

Tabla 2. Principales características de las bases de datos más destacadas. Fuente: Elaboración propia.



En el presente se está luchando por establecer una nomenclatura estándar basada en un único formato y BBDD de carácter global que elimine las discrepancias existentes entre ACV. Organizaciones como Pré Sustainability, UNEP/SETAC, Lenovo, the Chinese Institute of Electronics, la Corporación Nacional de Petróleo de China (CNPC) y otros, apoyados por la Unión Europea (UE), creen que estos avances deben de girar en torno a la economía China dado que es la mayor productora y emisora de gases de efecto invernadero, esperando que sus resultados sean publicados próximamente. Aun así, recordar que la UE también se movilizó en este sentido con la creación del “International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Initiative” como marco para la confección de una BBDD internacional (Pré sustainability, 2015).

3.5 Metodologías de evaluación de impacto.

Este apartado es de vital importancia, ya que no se puede realizar una adecuada EICV sin conocer las metodologías existentes que se pueden aplicar en esta etapa. Numerosos métodos pueden ser utilizados para convertir el ICV en impactos, utilizando cada uno de ellos sus propios indicadores ambientales y coeficientes de caracterización, normalización y ponderación (en el caso de que traten todas estas subetapas) por lo que se aconseja estudiar bien la elección del mismo. Se pueden utilizar varios en un mismo análisis, con el fin de contrastar distintos enfoques, pero tampoco es conveniente calcular cada impacto con un método distinto porque no se dota al análisis de coherencia en cuanto a los criterios establecidos. La selección no solamente se sustenta en la disponibilidad de los impactos deseados, si no que habrá que analizar aspectos adicionales como el ámbito territorial y temporal que se aplique en concreto a cada categoría (Institute for Environment and Sustainability; European Commission; Joint Research Centre, 2010) (Bayer, Gamble , Centry , & Joshi, 2010) (Universidad de Vigo; ENERGYLAB, 2013).

En relación con la coherencia mencionada, desde que surgieron las primeras metodologías en los años 90s, ISO y otros organismos como UNEP-SETAC han tratado de evitar el nacimiento de varios métodos que puedan dar lugar a resultados finales incongruentes tras su aplicación, pero dada la falta de detalle



en los estándares propuestos esto no ha sido posible. Otras iniciativas más recientes como ILCD en Europa han intentado establecer un convenio internacional en busca de ese consenso, pero a día de hoy sigue siendo uno de los principales problemas que caracterizan al ACV (Bayer, Gamble , Centry , & Joshi, 2010).

Para la elaboración de la siguiente tabla resumen nos hemos apoyado en uno de los manuales del ILCD, así como en publicaciones de autores expertos en la temática, intentando recopilar las propiedades de los principales métodos usados en la práctica actual de forma que se facilite su elección (Institute for Environment and Sustainability; European Commission; Joint Research Centre, 2010) (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009) (Hernández Sanchez, 2013) (Aranda, Scapellini, S., & Zabalda, I., 2009):



9	Entidad fundadora	Descripción	Enfoque	Categorías de impacto Endpoint	Categorías de impacto Midpoint	Ámbito geográfico	Horizonte temporal	Numero de sustancias cubiertas	Subfases de EICV cubiertas
CML2002	CML.	Basado en el anterior CML 1992, se trata de un método de impacto intermedio muy utilizado, con una caracterización relativamente simple y diversas opciones de normalización.	Midpoint.	Se establecen algunas relaciones entre midpoints y endpoints, pero no se encuentran cuantificadas/modeladas.	Agotamiento de recursos abióticos; Uso del suelo; Cambio climático; Agotamiento del ozono estratosférico; Toxicidad humana; Ecotoxicidad; Formación de oxidantes fotoquímicos; Acidificación; Eutrofización.	Global, excepto para los impactos de acidificación y formación de oxidantes fotoquímicos (sólo Europa).	Infinito, excepto para el potencial de cambio climático que se analiza en 100 años.	800	Clasificación, caracterización y normalización.
Eco-indicador 99	PRÉ.	Sucesor del Eco-indicador 95. Se orienta a daños por medio de la utilización de indicadores de categoría de impacto final, incluyendo 3 versiones que consideran distintas hipótesis.	Endpoint.	Daños a la salud humana; Daños a la calidad del ecosistema; Daños a los recursos.	Cambio climático; Agotamiento de la capa de ozono; Acidificación y eutrofización (combinada); Carcinogénicos; Respiratorios orgánicos; Respiratorios inorgánicos; Radiación ionizante; Ecotoxicidad; Uso del suelo; Agotamiento de recursos minerales y fósiles.	Uso del suelo: modelo suizo; Acidificación/eutrofización: Holanda; Cambio climático, agotamiento de capa de ozono y recursos: Global; Resto de categorías: Europa.	100 años para la perspectiva individualista e indefinido para el resto de perspectivas.	391	Clasificación, caracterización, normalización, agrupación y ponderación.
EDIP2003	DTU.	Método de caracterización y normalización cuya última versión corresponde al año 2003. Los factores de normalización están basados en equivalentes-persona en el año 1990. Para la categoría de uso de recursos, la normalización y ponderación están incluidas dentro de la caracterización, ya que esta categoría se evalúa de manera distinta en este método.	Midpoint.	Ninguna.	Cambio climático; Agotamiento de la capa de ozono; Acidificación; Eutrofización; Formación de oxidantes fotoquímicos; Toxicidad humana; Ecotoxicidad; Ruido.	Categorías globales: global; Resto de categorías: Europa (con distintos factores para 44 regiones o países europeos).	Infinito.	500	Clasificación, caracterización y normalización.
EPS 2000	IVL.	Método orientado a daños en el que se considera la monetarización (disposición a pagar) como ponderación para restaurar los cambios causados. Por ello, la unidad final es el ELU (Environmental Load Unit). En este método no se aplica el paso de normalización.	Endpoint.	Daños a la salud humana; Capacidad de producción de ecosistema; Biodiversidad; Stock de recursos abióticos.	Salud humana; Ambiente natural; Recursos naturales; Agotamiento de reservas fósiles y minerales.	Impactos en la biodiversidad: Suiza; Resto de categorías: Global.	Infinito.	200	Clasificación; caracterización y ponderación.
Impact 2002+	EPFL.	Método orientado a los daños, con muchas semejanzas al Ecoindicador 99 y CML 2002, pero con los factores de toxicidad completamente recalculados.	Midpoint y endpoint.	Daños a la salud humana; Daños a la calidad del ecosistema; Cambio climático (como medio de soporte de vida); Recursos.	Toxicidad humana; Efectos respiratorios; Radiación ionizante; Agotamiento de la capa de ozono; Formación de oxidantes fotoquímicos; Ecotoxicidad; Eutrofización terrestre y acidificación; Uso de suelo; Cambio climático; Energías no renovables; Uso de recursos	Europa.	Infinito.	1500	Clasificación, caracterización, normalización, agrupación y ponderación.
LIME	AIST.	Metodología japonesa que desarrolla impactos midpoints (caracterización) y endpoint (evaluación del daño), utilizando coeficientes que se ajustan a las características medioambientales de Japón.	Modelo combinado midpoint y endpoint.	Estrés térmico; Malaria; Enfermedades infecciosas y desastres naturales; Cataratas; Cáncer de piel; Resto de tipologías cancerígenas; Defectos respiratorios; Biodiversidad acuática y terrestre; Cultivos; Recursos energéticos; Recursos minerales; Plantas; Pesca; Materiales.	Contaminación del aire urbano; Cambio climático; Agotamiento de la capa de ozono; Toxicidad humana; Ecotoxicidad; Acidificación; Eutrofización; Formación de oxidantes fotoquímicos; Uso del suelo; Consumo de minerales, energía y recursos bióticos; Contaminación del aire interior; Ruido; Residuos.	Impactos globales: Global; Resto de impactos: Japón.	Depende de cada categoría de impacto.	1000	Clasificación, caracterización y ponderación (con monetarización).

Tabla 3. Principales características de las metodologías EICV más destacadas. Elaboración propia.



9	Entidad fundadora	Descripción	Enfoque	Categorías de impacto Endpoint	Categorías de impacto Midpoint	Ámbito geográfico	Horizonte temporal	Numero de sustancias cubiertas	Subfases de EICV cubiertas
LUCAS	CIRAIG.	Metodología adaptada al contexto canadiense, que emplea factores de caracterización basados en otros métodos como TRACI e Impact 2002+ siendo estos reparametrizados para una mejor evaluación de las condiciones canadienses.	Midpoint.	Se encuentra en desarrollo la extrapolación de midpoint a endpoint (aún no ha sido publicada).	Cambio climático; Agotamiento de capa de ozono; Acidificación; Formación de oxidantes fotoquímicos; Efectos respiratorios; Eutrofización; Ecotoxicidad; Toxicidad humana; Uso del suelo; Agotamiento de recursos abióticos.	Impactos globales: Global; Resto de impactos: Canadá.	Infinito.	800	Clasificación, caracterización y normalización.
ReCiPe	RUN; PRé; CML; RIVM.	Combina las ventajas de los métodos CML2002 y Ecoindicador-99. Del primero aprovecha la solidez científica, del segundo su facilidad de interpretación de datos. Con ello se han mejorado los modelos de impactos globales y se han actualizado factores de caracterización y normalización de otros impactos. Se incluyen categorías de impacto midpoint y endpoint.	Midpoint y endpoint.	Daños a la salud humana; Daños a la calidad de los ecosistemas; Recursos.	Cambio climático; Agotamiento de la capa de ozono; Acidificación terrestre; Eutrofización acuática; Toxicidad humana; Formación de oxidantes fotoquímicos; Formación de otras partículas; Ecotoxicidad y radiación ionizante; Uso del suelo por sectores agrícolas y urbanos; Transformación de suelos naturales; Agotamiento de recursos naturales, minerales y de agua potable.	Global: cambio climático, agotamiento de la capa de ozono y recursos; Resto de impactos: Europa.	20 años, 100 años o indefinido, dependiendo de la perspectiva cultural utilizada.	3000	Clasificación, caracterización, normalización, agrupación y ponderación
Swiss Ecoscarcity 07	E2; ESU-services.	Método de distancia al objetivo final (similar a endpoint) basado en objetivos de la política suiza. Se le conoce también como Ecopuntos 97 y 2006, siendo ésta última su más reciente actualización. Fue uno de los primeros métodos en desarrollar un modelo de ponderación final. No dispone de paso de agrupación ya que evalúa los impactos de manera individual. Para la normalización dispone de dos opciones.	Endpoint.	Método orientado a daños basado en distancias al objetivo.	Cambio climático; Agotamiento de la capa de ozono; Formación de oxidantes fotoquímicos; Efectos respiratorios; Emisiones de gases al aire; Emisiones en aguas superficiales; Cáncer causado por emisiones al mar; Emisiones a aguas subterráneas; Emisiones al suelo; Residuos; Consumición de agua; Consumición de grava; Recursos energéticos primarios; Disruptores endocrinos; Biodiversidad perdida por uso del suelo.	Suiza, aunque se han desarrollado modelos de este método para otros países como Japón.	Flujos actuales y críticos son definidos por año. Otros impactos se definen a muy largo plazo.	400	Clasificación, caracterización, normalización y ponderación.
TRACI	US- EPA.	Desarrollado en 1995, supone una herramienta informática para la evaluación de 12 categorías de impacto que constituyen el método. Muchos de los mecanismos ambientales que soportan las categorías de impacto están importados de Ecoindicador-99 y CML2002. Aunque tienen definidos los pasos de normalización y ponderación, aún no disponen de suficiente información histórica que aporte fiabilidad a los mismos. Representa las condiciones ambientales de USA como método midpoint.	Midpoint.	Daños a la salud humana; Daños a ecosistemas; Recursos.	Agotamiento de capa de ozono; Cambio climático; Formación de oxidantes fotoquímicos; Acidificación; Eutrofización; Salud humana; Ecotoxicidad; Agotamiento de carburantes fósiles.	Global: Cambio climático y agotamiento de la capa de ozono; Resto de categorías: USA.	Infinito, excepto para el potencial de cambio climático que se analiza en 100 años.	3000	Clasificación, caracterización, normalización, agrupación y ponderación .
MEEuP	VhK.	Metodología de impacto intermedio enfocada al diseño ecológico de productos. Fue desarrollado por la Comisión Europea para evaluar las condiciones del etiquetado "Eco-design" de productos.	Midpoint.	Ninguna.	Requerimientos energéticos; Consumo de agua; Residuos; Emisiones al aire; Cambio climático; Agotamiento de la capa de ozono; Acidificación; Contaminantes orgánicos persistentes; Componentes orgánicos volátiles; Metales pesados; Salud humana; Emisión de otras partículas de importancia; Emisiones al agua; Eutrofización potencial.	Europa.	No especificado.	50	Clasificación y caracterización.

Tabla 4. Principales características de las metodologías EICV más destacadas. Elaboración propia.



3.6 Principales herramientas para la aplicación del ACV.

Existe una amplia variedad de software ACV que facilitan la inserción de BBDDs y metodologías EICV con las que poder confeccionar un análisis detallado y obtener resultados de impactos del sistema de producto a evaluar. La facilidad de inclusión de componentes externos y la manejabilidad del programa serán las principales cualidades en las que nos basaremos para decantarnos por una u otra herramienta. Además habrá que valorar otros criterios de elección como el coste y el enfoque que se realice sobre el modelo, ya que no todas integran el ciclo de vida completo sino que se centran en el estudio de ciertas etapas en específico (ACV parciales) (Lehtinen, Saarentaus, Anna., Pitts, Michael, Azapagic, Adisa, & Rouhiainen, 2011).

Asimismo, encontramos softwares de ámbito general con los que podemos calcular cualquier sistema independientemente de la rama a la que pertenezca (Simapro, GaBi, OpenLCA, etc.) y otros que han sido desarrollados por cada industria en específico para la investigación de productos en concreto (EQUER, BEES, etc.). Por regla general, los generalistas requieren de un mayor conocimiento de la metodología del ACV y un elevado tiempo de modelado por la complejidad que presentan. Sin embargo los elaborados de forma particular, muestran una mayor facilidad de manejo sin requerir un alto grado de conocimiento, simplificando y agilizando la entrada de datos por medio de una interfaz adaptada (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012).

Fijaremos la atención en la base de datos que la herramienta lleve incorporada (si es el caso) y en aquellas que se le pueden adicionar, con la importancia que conlleva que utilicemos la versión más actualizada principalmente por la vejez prematura que presenta la información a día de hoy. De igual manera, debemos comprobar las tipologías de métodos de EICV que podemos implantar, de forma que nos permita comparar los resultados obtenidos por varias de ellas o aplicar aquella en concreto que se necesite (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009).

Seguidamente se destacan los programas de mayor calado en la actualidad (Peuportier & Putzeys, Katrien, 2005) (Lehtinen, Saarentaus, Anna., Pitts,



Michael, Azapagic, Adisa, & Rouhiainen, 2011) (Building Ecology, 2015)
(European Environment Agency, 1997):



Nombre	Creador	Características principales	Lenguaje	Principal BBDD	Sector de aplicación	Costo	País de origen	Tipo de herramienta.	Web de acceso
SIMAPRO 7.3	PRé Consultants B.V.	Se trata de uno de los más empleados profesionalmente. Permite analizar complejos productos y servicios de forma fácil siguiendo los principios ISO. Integra también análisis de costos en el ciclo de vida (LCC). Permite exportar la información en formato Ecospold y Excel. Contempla la posibilidad de poder realizar análisis de escenarios de fin de vida, sensibilidad, etc.	Español, francés, italiano, alemán, inglés, etc.	SimaPro Database.	General	No gratuito.	Holanda	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	https://www.pre-sustainability.com/simapro
GABI 4	PE International GmbH University of Stuttgart, LBP-GaBi.	Se pueden obtener distintas versiones del programa (educacional, profesional, etc), permitiendo realizar análisis de ciclo de vida medioambientales (LCA), sociales (SLCA) y de costos (LCC). Redacta los informes de acuerdo a normativa ISO y puede exportar la información en formato Ecospold y Excel. Contempla la posibilidad de poder realizar análisis de escenarios de fin de vida, sensibilidad, etc.	Inglés.	GaBi Database.	General	No gratuito.	Alemania	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	www.gabi-software.com
UMBERTO 5.5	ifu Hamburg GmbH.	Se caracteriza por su gran calidad de datos y transparencia de resultados. Posee una interfaz muy intuitiva para elaborar LCA y LCC. Permite exportar la información en formato Ecospold y Excel. Contempla la posibilidad de poder realizar análisis de escenarios de fin de vida, sensibilidad, etc.	Inglés.	Umberto library	General	No gratuito.	Alemania	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.umberto.de/en/
TEAM 4.5	Ecobilan- PricewaterhouseCoopers.	Es uno de los programas de uso profesional más potentes y flexibles. Permite el análisis de LCA Y LCC de productos y otras tecnologías. Posee una interfaz muy intuitiva. Genera informes según normativa ISO. Permite exportar la información en formato Ecospold y Excel. Contempla la posibilidad de poder realizar análisis de escenarios de fin de vida, sensibilidad, etc.	Inglés.	Utiliza otras bases de datos, no posee una propia a la que de prioridad.	General.	Gratuita.	Europa/USA	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://ecobilan.pwc.fr/en/boite-a-outils/team.html
EVERDEE v2.0	ENEA-Italian National Agency for New Technology, Energy and Environment.	Permite importar datos de varios formatos preestablecidos. Se encuentra disponible en versión online y en castellano. Basado en la normativa ISO de ACV.	Italiano e inglés.	ENEA Database.	General.	Gratuita.	Italia	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.ecosmes.net/cm/index-EP
LEGEP 1.2	LEGEP Software GmbH.	Es una de las herramientas más completas enfocadas al sector de la construcción sostenible.	Inglés y alemán.	LEGEP Database.	Construcción en general.	No gratuito.	Alemania	Análisis de edificios completos; Software LCA para usuarios de nivel medio.	www.legep.de
BEES 4.0	National Institute of Standards and Technology (NIST).	Dirigida a diseñadores, constructores y fabricantes de productos, para la generación de LCA Y LCC de gran calidad de productos. Sigue las reglas impuestas por la normativa ISO. Además dispone de la metodología TRACI. Permite exportar a Excel. Es uno de los más descargados.	Inglés.	Bees Database.	Materiales de construcción.	Gratuita.	USA	Análisis de productos de construcción; Software LCA para usuarios de nivel intermedio.	http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm

Tabla 5. Principales características de las herramientas ACV más utilizadas en la práctica actual. Elaboración propia.



Nombre	Creador	Características principales	Lenguaje	Principal BBDD	Sector de aplicación	Costo	País de origen	Tipo de herramienta.	Web de acceso
CMLCA	Centre of Environmental Science (CML)- Leiden University.	Es un software destinado en gran parte a apoyar el procedimiento técnico del ACV. Permite exportar la información en formato Excel. Contempla la posibilidad de poder realizar análisis de escenarios de fin de vida, sensibilidad, etc.	Inglés.	CML-IA Database.	General.	No gratuito.	Holanda	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/cmlca/
EIME v3.0	CODDE.	Puede utilizar una amplia variedad de bases de datos. Utiliza un método propio de EICV basado en 11 categorías de impacto fijadas por Ecobilan.	Inglés.	EIME Database	Electrónica.	No gratuito.	Francia	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.codde.fr/page.php?rubrique=20
GEMIS v4.4	Oeko-Institut.	Es uno de los más descargados. Además de las categorías de impacto habituales de estudio puede evaluar otras menos comunes como por ejemplo la Demanda de Energía Acumulada (CER).	Español y checo.	Utiliza otras bases de datos, no posee una propia a la que de prioridad.	General	Gratuito.	Alemania	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.gemis.de/
ENVEST2	Building Research Establishment (BRE).	Es una herramienta muy enfocada al diseño de edificios, simplificando el proceso del mismo. Puede realizar LCA y LCC. Además posee interfaces gráficas que facilitan la interpretación de resultados.	Inglés.	Utiliza otras bases de datos, no posee una propia a la que de prioridad.	Construcción en general.	No gratuito.	Reino Unido	Análisis de edificios completos; Software LCA para usuarios de nivel medio.	http://envest2.bre.co.uk/acou
OPENLCA	GreenDeltaTC GmbH.	Posee varias opciones de importación y exportación de archivos. Posee dos plugings específicos, uno que permite convertir datos de LCA en otros formatos y el otro dirigido al análisis de sensibilidad de resultados. Su interfaz facilita el uso de esta herramienta.	Inglés.	Utiliza otras bases de datos, no posee una propia a la que de prioridad.	General.	Gratuita.	Alemania	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.openlca.org/
LCAiT 4	Chalmers Industriteknik	Es de los más antiguos existentes en el mercado (1992), permitiendo analizar LCA de productos y procesos. Posee su propia base de datos y metodología EICV.	Sueco e inglés.	Base de datos propia.	General.	No gratuito.	Suecia	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.einet.net/reviaw/962195-588110/LCAiT.htm
ATHENA IMPACT ESTIMATOR FOR BUILDING v3.0.2	Athena Sustainable Materials Institute.	Dedicado a la construcción sostenible, sobre todo a su implementación en etapas tempranas de diseño. Además han desarrollado otras herramientas similares y de uso fácil como la Ecocalculadora, utilizada en ACVs de materiales de construcción. Posee base de datos y método EICV propio.	Inglés.	Base de datos propia.	Construcción en general.	Gratuita.	Canadá	Análisis de edificios completos; Software LCA para usuarios de nivel medio.	http://www.athenasmi.org/tools/impactEstimator/
THE BOUSTEAD	Boustead Consulting.	Contiene su propia base de datos y metodología de cálculo, con opción a una amplia variedad de formatos en la presentación de datos, facilitando así su interpretación.	Inglés.	Base de datos propia.	General.	No gratuito.	Reino Unido	Análisis de productos; Software LCA para profesionales.	http://www.boustead-consulting.co.uk/products.htm
ECO-QUANTUM	Scott McAlister - Eco Quantum	Utiliza su propia metodología de cálculo basada en la normativa ISO, con uso en procesos o servicios de cualquier tipo.	Inglés.	Base de datos propia.	General.	No gratuito.	Australia	Análisis de edificios completos; Software LCA para usuarios de nivel medio.	http://www.ivam.uva.nl/index.php?id=373&L=1

Tabla 6. Principales características de las herramientas ACV más utilizadas en la práctica actual. Elaboración propia.



3.7 Implementación del ACV en el sector de la edificación.

Iniciaremos este capítulo remarcando la cita textual de (Diego, 1996) en la que se insta a la aplicación del ACV en la arquitectura:

“Para descubrir la incidencia de la construcción y el alojamiento en los problemas medioambientales hoy, se debe analizar por entero el proceso que engloba la edificación. Habitualmente al hablar de alojamiento, se valora la adecuación o la conciencia energética de los edificios en función solamente del gasto o ahorro energético en la climatización e iluminación durante su uso, así como la contaminación que produce en su entorno inmediato. Sin embargo, las relaciones entre la edificación y el medio ambiente son mucho más extensas y complejas.”

Ya hemos documentado en los apartados 2.2 y 2.3 como los edificios impactan en el medio ambiente y el reparto de esta carga en cada una de las etapas de vida. A raíz de las exigencias impuestas por las políticas de ahorro energético en la fase de uso, se ha producido un aumento de la contribución del resto de fases con respecto al cómputo final, adoptando un mayor protagonismo. Es por ello la defensa que esta autora realiza en pos de un estudio completo del sistema y no uno parcial como pueden ser las certificaciones energéticas usadas en la actualidad.

Según la Comisión Europea, no existe mejor metodología que el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para evaluar los impactos de cualquier producto, servicio o actividad, pero también se debe hacer hincapié en la inmadurez de esta herramienta y en las complicaciones que surgen al adaptarla en sectores como la edificación, dada la variabilidad de entornos y productos que lo componen (comentamos la utilidad cambiante que puede tener un edificio a lo largo de su vida, distintas tipologías de materiales empleadas en su fabricación, necesidad de adoptar suposiciones para justificar el fin de vida, etc.). A pesar de ello, su aplicación permite resolver dudas de gran calado como qué tipología de estructura respeta más el medio ambiente, cuál es la mejor combinación de materiales para fachadas, cuál es el espesor óptimo del aislamiento, qué fuentes energéticas son las más adecuadas y un sinfín de cuestiones que a día de hoy generan cierto grado de confusión por la asociación que se realiza al empleo de



soluciones “verdes” y energías renovables con un bajo impacto medioambiental, y esta afirmación no siempre se cumple. (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012).

Si atendemos a lo dispuesto en el informe (European Environment Agency, 1997), las relaciones entre el ACV y la construcción se pueden desarrollar siguiendo un diagrama en el que se establecen cuatro niveles: material, producto, edificio e industria, donde cada uno de ellos se construye a partir de su categoría inferior, partiendo todos ellos del núcleo conformado por el inventariado de materiales.

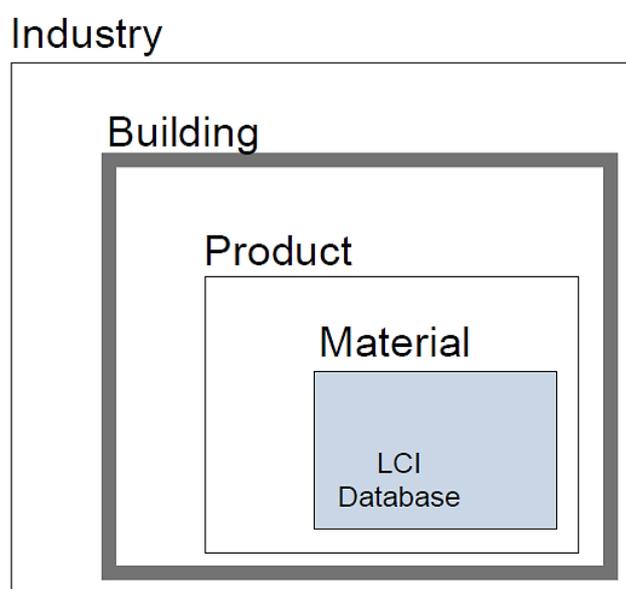


Figura 34. Niveles del sector de la edificación en los que interviene el ACV. (European Environment Agency, 1997).

Partiendo de los **materiales**, raras son las ocasiones en las que un arquitecto o técnico de construcción interviene en este grado (normalmente catalogados como meros consumidores de información de este tipo), quedando reservado a profesionales relacionados con la industria química y demás especialistas asociados encargados de elaborar las bases de datos de inventarios de materiales, siendo el eslabón principal a partir del cual se pueden construir el resto de análisis.

A **nivel de producto**, aumenta sustancialmente la participación de profesionales de la construcción, calculando ACVs que utilizan datos procedentes del inventariado de materiales, permitiendo que muchos de ellos puedan ser



comparados si se realizan conforme al estándar propuesto y existe una similitud en cuanto a funciones y unidad evaluada. Además este análisis permite el ecoetiquetado, un programa que ayuda a las empresas a adquirir una ventaja competitiva usando el sello sostenible e informa al usuario final de las características ambientales del producto.

A **nivel de edificio** la implicación de profesionales cualificados en esta materia es máxima, resultando imprescindible un amplio conocimiento del proyecto para la elaboración de un modelo de análisis que represente correctamente el sistema a partir de las BBDDs de productos. La participación que el ACV aporta a este grado no se basa en la mera función de evaluación de impactos, sino que se debe visualizar como una herramienta que fomenta la creación y promoción de edificios de cero emisiones (nZEB), siempre que se emplee en la toma de decisiones durante el proceso de diseño del edificio. Si ésta se usa de manera iterativa y se le adhiere un módulo de evaluación de costes (ACCV)¹⁶, nos ayudará a decantarnos por una opción que suponga la mayor rentabilidad económica y el menor impacto posible (como por ejemplo, en la selección de soluciones constructivas alternativas, la tipología estructural, la elección de proveedores y equipos energéticos, etc.).

Estas ventajas se manifiestan cuando se aplica en fases de diseño tempranas donde el proyecto aún es flexible y se pueden implantar medidas de mitigación de impactos, mientras que si su ejecución es tras la redacción del mismo o al finalizar la construcción, una vez el proyecto no admite cambios y se vuelve más rígido, solamente seremos capaces de evaluar las cargas ambientales sin poder poner remedio a las mismas. La falta de información en etapas tempranas unido a la exigencia de datos que este análisis requiere, es quizás la principal causa por la que éste se pospone aunque también se le achacan problemas relacionados con la introducción de elevadas cantidades de datos manualmente (con los errores que conlleva) y el tiempo que supone esta operación, de ahí que actualmente se esté pensando en fusionar el ACV con otras metodologías como

¹⁶ ACCV son las siglas de Análisis del Coste de Ciclo de Vida o Life Cycle Costing (LCC). Se trata de una herramienta que evalúa a lo largo del ciclo de vida la evolución de ingresos y gastos de un producto pudiendo determinar qué etapas son más o menos rentables con el fin de establecer estrategias correctoras y poder adoptar decisiones al respecto.



BIM que contienen en un único modelo gran cantidad de información, complementándose ambas perfectamente (Antón & Díaz , 2014). Se resumen en (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012) algunas de las ventajas que conlleva su aplicación en etapas preliminares y los agentes que se encuentran involucrados en cada una de ellas:

Tipo de usuario	Fase del proceso de construcción	Propósito del ACV
Planificadores urbanísticos y asesores municipales	Fases preliminares	Establecimiento de objetivos a nivel municipal, regional o estatal. Información de políticas de edificación/rehabilitación. Contratación y compra pública verde. Establecimiento de objetivos para las zonas a desarrollar
Promotores inmobiliarios y clientes		Elección del emplazamiento del edificio. Dimensionamiento del proyecto. Establecimiento de objetivos medioambientales para el edificio dentro de un Programa determinado
Fabricantes de productos de la construcción	Primeros diseños y diseños detallados	Evaluación del impacto de los productos de la construcción (Ecoetiquetas y Declaraciones Ambientales de Producto)
Arquitectos	Primeros diseños y diseños detallados de nuevos edificios, en colaboración con ingenieros. Diseño de proyectos de rehabilitación	Comparación de opciones de diseño (geometría/orientación, opciones técnicas)
Ingenieros / Consultores	Primeros diseños y diseños detallados de nuevos edificios, en colaboración con arquitectos. Diseño de proyectos de rehabilitación	

Figura 35. Ventajas obtenidas por la aplicación del ACV en fases tempranas de proyecto y agentes implicados. (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012).

Recordar que también existen sistemas de certificación de edificios que emplean este método, tal es el caso de LEED, en el que por medio del análisis de ciclo de vida se obtienen créditos acumulativos para el alcance de una determinada categoría.

A **nivel industrial**, un análisis de ciclo de vida que examine la producción unido a un estudio que considere las entradas y salidas económicas del sistema (EIO), probablemente sea una de las mejores herramientas para evaluar el sector. A ese procedimiento en conjunto se le denomina EIO-LCA, cuya meta puede ser en un supuesto caso, el examen de impactos ambientales generados por la



construcción residencial en su conjunto a partir de la utilización de inputs/outputs como el empleo en el sector, impuestos y tasas, número de licencias de obra nueva otorgadas, producción de madera u otros materiales destinados a viviendas de este tipo, etc. En esta categoría, la participación de técnicos especializados es mínima.

En conclusión, se puede afirmar que la práctica del ACV no es muy común en la arquitectura actual, pero que dado el amplio margen de mejora que ofrece en todos los niveles, seguramente su auge aumentará de forma exponencial en un futuro cercano. Los profesionales de la edificación verán reflejada esta prosperidad en un aumento de la demanda de análisis de productos y edificios, por ser éstos los grados donde presentan una mayor intervención.

3.8 Declaraciones Ambientales de Producto (DAP).

Dado que el caso práctico lo vamos a enfocar a la aplicación del ACV en un producto de construcción, debemos conocer antes de iniciar el estudio lo esencial sobre este tipo de análisis y cómo se encuentra legislado en la actualidad.

En el apartado anterior comentamos la existencia de “eco-etiquetas”, las ventajas que obtienen las empresas con este tipo de sellado y la información que se le proporciona al usuario final por medio de ellas. Su regulación se establece en el grupo de normas de la serie ISO 14020, donde se rigen los principios básicos que conforman el marco básico de etiquetado y de declaración ambiental. Según esta norma existen tres posibilidades o tipologías al respecto (Zubiaga, Pradera, Sánchez, & Bonilla, 2002):

- Tipo I (ecoetiquetas): su implantación es voluntaria, basada en un programa multicriterio y desarrollado por agentes externos que otorgan una licencia para justificar que dicho producto o servicio tiene un menor impacto sobre el medio.
- Tipo II (autodeclaración): como su nombre indica, el propio fabricante puede autocertificarse este sello sin ningún tipo de revisión o verificación



por terceras partes. Se encuentran poco valoradas externamente por su baja credibilidad.

- Tipo III (Declaración ambiental): proporcionan datos de impactos ambientales cuantificados y calculados siguiendo la metodología de análisis de ciclo de vida y su marco legislativo correspondiente. De esta forma se obtiene una certificación verificada por terceras partes, externas al proceso y que suministra una información estructurada de acuerdo a un sistema preestablecido. Se caracterizan por no imponer unos requisitos mínimos de cumplimiento ni definir criterios de preferencia ambiental, simplemente están creadas para informar.

Como es de suponer, la parte práctica la centraremos en este último tipo de certificación por su mayor empleo y utilidad en los productos de construcción. Además, las DAP se pueden aplicar a edificios bajo los dictámenes de la norma ISO 21930. A continuación se muestra un diagrama que resume muy bien toda la estructura legislativa que gira alrededor de este tema (ISOVER, 2015):

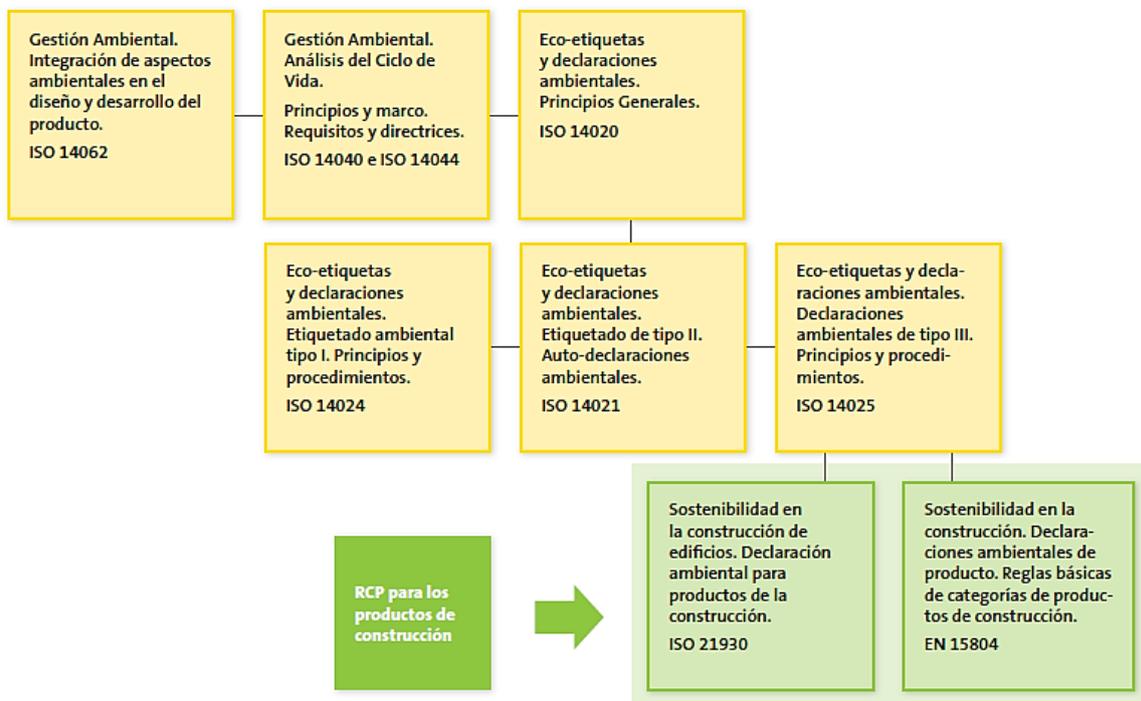


Figura 36. Estructura legislativa de las “ecoetiquetas”. (ISOVER, 2015).

Las DAP de producto se regulan a través de la Norma Europea EN 15804, que prescribe las reglas básicas (en consonancia con la directiva ISO 14040 y 14044



que regula el ACV) para todas las declaraciones a realizar independientemente de la tipología de producto. En ella se definen concretamente aspectos como:

- Los parámetros a declarar y la forma en que se recopilan y consignan en el informe.
- Las etapas del ciclo de vida que se deben considerar en una DAP y los procesos a incluir en cada una de ellas.
- Las reglas para el desarrollo de escenarios o suposiciones en aquellas fases que se desconozcan.
- Directrices para el cálculo del ICV y de la EICV, incluyendo especificaciones de calidad de datos.
- Las condiciones en las que los productos se pueden comparar.
- Anotaciones sobre el proceso de verificación.
- Contenido y formato del informe final.

A estas pautas habrá que adicionar las especificaciones impuestas por Reglas de Categoría de Producto (RCP) que de manera detallada y en particular definen los principios metodológicos para cada producto, de forma que todos los comerciantes partan de las mismas bases. En la actualidad son las propias empresas las encargadas de definir la RCP específica (acorde con la EN 15804) si ésta no se encuentra aún desarrollada. (EPD International, 2015).

A raíz del surgimiento de este tipo de declaraciones, diversos países (la mayoría europeos) crearon e implementaron sus propios sistemas de certificación ambiental basados en el análisis de ciclo de vida y con un enfoque semejante, ya que la propia normativa les obliga a ello, pero con diferencias significativas en la aplicación específica de cada uno. Esto origina que los resultados de estudios realizados en distintos países no se puedan comparar por no poseer las mismas condiciones. Una vez más, nos encontramos con el problema de consenso internacional (Zubiaga, Pradera, Sánchez, & Bonilla, 2002). En la siguiente tabla se indican los sistemas implementados para el cálculo de DAP más destacados (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012):



Sistema/Programa DAP	Administrador	País	Logotipo y página web
Déclaration sur les caractéristiques écologiques de produits utilisés dans la construction	SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein)	Suiza	 http://www.sia.ch
BRE	BRE Environmental Profiles Certification	Reino Unido	 http://www.bre.co.uk
MRPI® (Milieu Relevante Product Informatie)	NVTB (Nederlands Verbond Toelevering Bouw)	Holanda	 http://www.mrpi.nl
Umwelt-Deklarationen (EPD)	IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.)	Alemania	 http://bau-umwelt.de
Programme de Déclaration Environnementale et Sanitaire pour les produits de construction (FDE&S)	AFNOR Groupe	Francia	 http://www.inies.fr
RT Environmental Declaration	The Building Information Foundation RTS	Finlandia	 http://www.rts.fi
EPD- Norge	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner	Noruega	 http://www.epd-norge.no
EPD® system	International EPD Consortium	Internacional	 http://www.environdec.com
The Green Standard EPD System	The Green Standard	Estados Unidos	 http://www.thegreenstandard.org
DAPc – Declaración Ambiental de Productos en el sector de la Construcción	CAATEEB (Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona)	España	 http://es.csostenible.net/dapc/

Figura 37. Diferentes sistemas implantados para la consecución de las DAP. (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012).

En cuanto a tipologías DAP, la norma EN15804 distingue tres en función de las etapas que se cubran en el estudio:



- De “cuna a puerta”: son aquellas que cubren el suministro de materias primas, transporte a fábrica y los procesos de manufactura. Están basadas en los módulos de información A1 – A3.
- De “cuna a puerta” con opciones: trata los mismos módulos que el tipo anterior, pero además se le pueden añadir otros seleccionados de manera opcional, como por ejemplo pueden ser los referentes a la información de fin de vida (C1-C4).
- De “cuna a tumba”: en el que se analizan todas las etapas que componen el ciclo de vida completo del producto, es decir, de A1 a C4.

Una vez se redacte el informe, se someterá a un proceso de verificación por una entidad acreditada y si todo está conforme lo estipulado, la empresa podrá disfrutar del etiquetado durante 5 años con el compromiso de actualizarlo en el caso de que se produzcan cambios en la tecnología o cualquier otra circunstancia surgida en el proceso de fabricación. Por cambio razonable se entiende aquél que supone una variación de +/- 10% en cualquiera de los parámetros declarados (ISOVER, 2015).

Otra aplicación que surge de la elaboración de las DAP, es su utilidad para el examen de sistemas más complejos como son los edificios. Este tipo de informes supone un banco de información precisa de materiales constructivos, quizás más fiables que los proporcionados por BBDDs dado que éstas se confeccionan con valores promediados. Sin embargo, por el reducido número de declaraciones presentes en el mercado (quizás por el hecho de ser voluntarias) estas bases de datos son muy limitadas, aunque se espera que crezcan en contenido en un futuro cercano (Aranda, Scapellini, S., & Zabalda, I., 2009).

A modo de conclusión, se puede afirmar que el cliente actual demanda una justificación veraz del comportamiento ambiental de los productos que consume y ésta solamente se puede conseguir empleando la metodología ACV. Los fabricantes de materiales de construcción no van a ser una excepción, por lo que tendrán que asumir esta responsabilidad por medio de sistemas como las declaraciones ambientales tipo III. De hecho los países más avanzados de la Unión Europea llevan ya varios años siguiendo esta vía y esperamos que España y Colombia se reincorporen rápidamente y recuperen el terreno perdido.





4 Conclusiones generales.

Seguidamente se enumeran las principales conclusiones que se pueden extraer del estado de la cuestión:

1. A pesar de que en algún momento de la historia perdimos la conciencia ambiental y nuestros cálculos los basamos solamente en el criterio económico, hoy en día se está recuperando esa sensibilidad debido en gran parte a las preocupantes previsiones del estado del planeta que se realizan y que avocinan una catástrofe mundial. Desde organizaciones especializadas en la materia como IPCC se imponen medidas de adaptación y mitigación, refiriéndose con el término “adaptar” a que gran parte del daño realizado es irrecuperable. Aun así, los gobiernos de los países más influyentes y contaminantes, aquellos que deberían dar ejemplo, no están adoptando medidas de colaboración, ni abriéndose al diálogo, actitud que podemos observar en cada uno de los encuentros mundiales relaciones con la causa.
2. La sostenibilidad no implica solamente la reducción de la carga ambiental, sino que se trata de un equilibrio entre lo social, lo económico y lo medioambiental. Se trata de añadir al criterio único que hasta ahora seguíamos, la preocupación por una sociedad más justa y equitativa que no comprometa las necesidades de generaciones futuras por medio de un respeto a la natura.
3. El sector de la edificación es uno de los más contribuyentes al cambio climático, con un consumo aproximado de un tercio de la energía mundial y una emisión en dióxido de carbono de proporción similar. Dicha fracción se puede extrapolar al uso de recursos naturales. Aun así, esta industria tiene la capacidad de reducir drásticamente estos índices implantando soluciones sostenibles tanto en obra nueva como por medio de la rehabilitación, siendo este último un sector transcendental en el que se espera que más de un tercio de viviendas actuales sigan en funcionamiento para el año 2050. Dicha reducción no se llevará a cabo sin medidas de carácter político que impulsen estas soluciones unidas a



un mayor uso de las energías renovables, ya que las actuales barreras del sistema (alto coste inicial, sensibilidad ciudadana, etc.) impiden su propagación.

4. Hasta ahora, nos hemos centrado en optimizar energéticamente la fase de uso del edificio, lo que ha originado que el resto de etapas adquieran una importancia mayor de la que inicialmente tenían en el cómputo global. Este incremento en la participación ha sido ocasionado por el empleo de más cantidad de material en las construcciones eficientes. De esta manera, expertos en la materia han comenzado a evaluar la energía incorporada en los materiales logrando resultados muy variados dada la falta de un método consensuado, pero todos ellos coincidentes en que esta tipología de energía influye considerablemente en los resultados finales. Si nuestro objetivo es limitar el impacto ambiental en este sentido, necesitaremos seleccionar aquellas soluciones constructivas más óptimas que reduzcan de manera equilibrada el consumo energético, la producción de residuos y la contaminación, estando estos criterios fuertemente ligados a técnicas de reciclaje y reutilización de residuos de demolición.
5. A día de hoy, no se puede aprobar una evaluación de impactos que solamente haya analizado una etapa del ciclo de vida (tal es el caso de las certificaciones de eficiencia energética), ya que se está omitiendo gran parte de la carga ambiental del sistema. Si lo que queremos son resultados verídicos, necesitaremos estudiar todo el ciclo de vida y para ello el ACV constituye una herramienta idónea.
6. La preocupación ciudadana sobre el cambio climático y su repercusión en el medio ambiente ha originado un aumento de la demanda de productos y servicios respetuosos con la natura. Esta presión social se ha visto traducida en la aparición de modelos edilicios energéticamente eficientes y en una mayor actividad política basada en iniciativas legislativas y económicas apoyadas por campañas de concienciación ciudadana. Aun así, los pasos dados son insuficientes para cumplir con los objetivos planteados en Kyoto y se necesita de un esfuerzo mayor para remediar parte del daño hecho.



Del estudio del Análisis de Ciclo de Vida, podemos obtener las siguientes deducciones:

1. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de DECISIÓN que puede proporcionar una evaluación tan exhaustiva como se quiera de los procesos que constituyen el ciclo de vida de un producto o servicio, con resultados finales que cuantifican los impactos generados en el medio. De esta manera, seremos capaces de identificar oportunidades de mejora que nos ayuden a seleccionar la mejor solución ambiental posible. Si a esta metodología le adherimos un módulo de estudio de costes (ACCV) y de evaluación social (ACV-S¹⁷), podremos analizar la sostenibilidad de forma íntegra y responder acorde a su significado. Este enfoque de ciclo de vida se debería extrapolar a la vida cotidiana de manera que podamos reconocer como nuestras acciones, por minúsculas que sean, forman parte de un gran sistema de actos que influyen notablemente en la sostenibilidad.
2. Existen en la actualidad gran cantidad de softwares en el mercado que facilitan la aplicación del ACV, numerosas BBDDs para completar la escasez de información en el modelo y distintas metodologías de EICV con categorías de impacto y mecanismos ambientales ya preestablecidos, pero la elección de cada uno de ellos deberá fundamentarse en los objetivos finales planteados y en el sistema a analizar, de manera que los resultados, conclusiones y recomendaciones generadas sean coherentes y eficaces.
3. La implantación del ACV en la edificación requiere de un esfuerzo adicional, ya que no disponemos siempre del mismo sistema de producto localizado en un entorno controlado, todo lo contrario, cada edificio es distinto, situado en un lugar específico bajo unas condiciones especiales (normativa reguladora, climatología, etc.) y construido con una gran cantidad de materiales variados de diferente vida útil cada uno de ellos.

¹⁷ ACV-S se corresponde con las siglas Análisis de Ciclo de Vida Social o Social life cycle assessment (SLCA). Es una herramienta de evaluación de impactos sociales, cuyo objetivo es analizar los aspectos sociales y socio-económicos de los productos y sus efectos potenciales (positivos y negativos) durante el ciclo de vida (Pontificia Universidad Católica del Perú., 2010).



Si a este contexto unimos la propia inmadurez de la metodología, la cual se ve reflejada por una carencia de detalle en la normativa internacional, la falta de consenso en los distintos métodos de evaluación de impactos y la ausencia de datos de calidad exclusivos para cada sector, hace que sea complicado su adaptación a esta industria y refuerza la necesidad de seguir trabajando para permitir un uso generalizado por parte de todos los agentes implicados.

4. A pesar de los inconvenientes tratados en el punto anterior, si se emplea en etapas tempranas dedicadas al diseño del proyecto, flexibles a la hora de realizar cambios, ayudará a resolver cuestiones de gran calado relacionadas con la toma de decisiones (selección de componentes de fachada, tipología de estructura, etc.) y a valorar el empleo de soluciones “verdes” y energías renovables que de forma errónea son siempre asociadas a un bajo impacto ambiental. Cabe recordar que algunas desventajas que supone la aplicación del ACV se están subsanando por medio de la adhesión con otras metodologías como BIM.
5. Aunque en la práctica actual de la arquitectura no se contemple al ACV como un elemento cotidiano, la exigencia ambiental pública y la propia competencia entre las empresas desembocarán en un aumento de este tipo de análisis, sobre todo a nivel de producto y edificios como medio para justificar su comportamiento ambiental. De hecho esta afirmación ya se ha materializado a través de las “ecoetiquetas” tipo III o Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) y en el interés que los fabricantes están poniendo en conseguir este sello.



5 Caso práctico: aplicación del ACV al proceso de fabricación de materiales de construcción.

El caso práctico lo enfocaremos al desarrollo del informe para la obtención de la Declaración Ambiental de Producto (DAP) de 9 productos comerciales de la empresa FiberGlass Colombia S.A, destinados principalmente al aislamiento de distintos sistemas constructivos (fachadas, cubiertas, particiones interiores, etc.) que componen las edificaciones.

Para ello, FiberGlass Colombia S.A realizó una ardua tarea de recopilación de datos en su planta de fabricación situada en la localidad de Mosquera (departamento de Cundinamarca) siendo éstos posteriormente modelados en el software *OpenLCA* (ver apartado 3.6). Aquella información que se desconocía o que quedaba lejos del alcance de la empresa ha sido obtenida de la base de datos Ecoinvent 3.1 (ver apartado 3.4), cerrando de esta manera el sistema de producto a evaluar. Posteriormente se aplica el método de impacto CML (ver apartado 3.5) al inventario de ciclo de vida conseguido, tal y como indican las normas UNE-EN 15804 e ISO 14025, referentes primarios seguidos en todo momento que se han complementado con las especificaciones impuestas por la correspondiente Regla de Categoría de Producto (RCP) para materiales aislantes, encontrándose una versión actualizada de la misma en la web (the International EPD System, 2015).

De esta manera, y siguiendo el formato específico de informe que proporcionó FiberGlass Colombia se han obtenido los resultados para cada uno de los productos referentes a impactos ambientales, tales como el indicador de cambio climático (kg CO₂ equiv.), la acidificación del suelo y del agua (kg SO₂ equiv.), el indicador de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (kg C₂H₂ equiv.), entre otros de gran importancia que reflejan el potencial de daño sobre el medio ambiente que el producto ejerce a lo largo de su ciclo de vida. Se aportan adicionalmente datos sobre el uso de recursos renovables y no renovables en el sistema, cantidades de residuos peligrosos, no peligrosos y radioactivos emitidos, así como la energía exportada que conlleva la incineración de éstos.



Dada la unidad funcional de estudio de los materiales evaluados (1 m^2 de producto que posee una resistencia térmica de $1 \text{ (K}\cdot\text{m}^2) / \text{W}$), nos permitirá comparar los impactos ambientales generados por cada uno de ellos a igualdad de condiciones, pudiendo determinar cuál de ellos presenta una mayor carga ambiental en cuanto a daños al medio generados. Por último, se incorpora un gráfico de comparación de las etapas de producción A1-A3 (ver Figura 27) de cada uno de los aislantes comercializados, se identifican qué procesos del sistema analizado contribuyen en mayor medida a un indicador determinado (en este caso se realiza para el potencial de cambio climático y la acidificación del suelo y del agua) y los componentes químicos y cantidades de los mismos que principalmente generan esos impactos. Esta parte, aunque quede fuera de lo regulado por las DAP, se incluye de forma que ayude a la comprensión de lo estudiado y demuestre parte del potencial de la herramienta.

Todo lo que se muestra a continuación refleja parte de la capacidad que tiene esta metodología para la evaluación sostenible, intentando en última instancia fomentar la curiosidad en el lector del empleo del análisis de ciclo de vida como herramienta necesaria en el sector de la edificación, con el fin de poder “medir” la sostenibilidad de forma completa y no como actualmente se está procediendo a través del cómputo único de la etapa de uso de un producto, omitiendo la participación del resto de fases de su ciclo vital.

La redacción de este caso real ha supuesto un gran esfuerzo, ya que la metodología de cálculo de DAP que presentaba el software elegido no se encontraba adaptada a la base de datos Ecoinvent, por lo que se tuvo que investigar y estudiar otros métodos de impacto para que al aplicarlos al sistema pudiéramos obtener los resultados que la normativa exige de cada producto evaluado en lo referido al uso de recursos o la producción de residuos. Para salvar estas dificultades se contó con la colaboración del Dr. D. Ignacio Zabalda Bribián, profesor de la Universidad de Zaragoza y director del Grupo de Edificación Sostenible (CIRCE), al que agradecemos el conocimiento y la experiencia en ACV que nos ha transmitido, así como la ayuda y atención puesta en este proyecto a pesar de la gran distancia que nos separaba.

A continuación se muestra la DAP según el formato estipulado por FiberGlass:



DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO.

De acuerdo con la norma UNE-EN 15804 e ISO 14025.

Productos de aislamiento comercializados por FiberGlass Colombia S.A.

Realización en Noviembre de 2015.



**NÚMERO DE REGISTRO:
X-X-XXXXX**

ISOVER
SAINT-GOBAIN



5.1 Información general.

Fabricante: FiberGlass Colombia S.A.

Programa utilizado: El Sistema Internacional EPD. Para más información, visitar www.environdec.com.

Número de registro EPD: X-X-XXXXX.

Identificación PCR: PCR Múltiple código CPC de materiales aislantes versión 1.0 (2014:13).

Nombre del producto y fabricante representado:

Productos: Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”; Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”; Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”; Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”; Ductoglass Neto 96”*48”*1”; Black Theater 96”*48”*1”; Atac 1m*2.97m*0.03m; Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m; Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m.

Fabricante: FiberGlass Colombia S.A en la planta de producción situada en el municipio de Mosquera perteneciente al departamento de Cundinamarca (Colombia).

Propietario de la declaración: FiberGlass Colombia S.A.

EPD diseñado por: Enrique Ruiz López, estudiante de la Universidad Politécnica de Valencia (Valencia, España) y de la Universidad de Los Andes (Bogotá, Colombia).

Contacto: contacto@fiberglasscolombia.com.

Declaración emitida: XXXXXXXX, **válido hasta:** XXXXXXXX (3 años después de su emisión).

Operador del programa EPD	El Sistema Internacional EPD® System. Operado por EPD International AB. www.environdec.com
Revisión PCR hecha por	El Comité Técnico del Sistema Internacional EPD®
ACV y EPD desarrollado por FiberGlass Colombia S.A	
Verificación independiente de la declaración medioambiental y datos de acuerdo con la norma EN ISO 14025:2010	
<input type="checkbox"/> Interno <input checked="" type="checkbox"/> Externo	
Verificador: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	

Tabla 7. Demostración de la verificación según la norma UNE-EN 15804.



5.2 Descripción del producto.

5.2.1 Descripción del producto y de la utilización del mismo:

Esta Declaración Ambiental de Producto (DAP) describe los impactos ambientales ocasionados por una gama de productos de aislamiento, todos ellos fabricados a partir de 1 m² de lana de vidrio con una resistencia térmica igual a 1,0 K*m²*W⁻¹ y rematados con distintos acabados superficiales dependiendo del producto que se trate (papel kraft, foil de aluminio, sin acabado, acabado "complex" compuesto por aluminio, papel kraft y polietileno, tejido de fibra de vidrio reforzado con resinas, etc.).

El centro de producción de FiberGlass Colombia S.A utiliza materias primas naturales y abundantes (arena), junto con técnicas de fusión y obtención de fibras para producir lana de vidrio. Los productos obtenidos se presentan en forma de "panel de lana de vidrio" que consiste en una estructura liviana y aireada.

En La Tierra, naturalmente, el mejor aislante es el aire inmóvil seco expuesto a una temperatura de 20°C ya que su factor de conductividad térmica, expresada en λ , es de 0,025 W/ (m*K) (vatios por metro grado Kelvin). La conductividad térmica de la lana de vidrio es próxima a la del aire inmóvil dado que su lambda varía de 0,032 W/ (m*K) en su nivel más eficiente a 0,043 W/ (m*K) en su nivel menos eficiente.

Con su estructura enredada, la lana de vidrio es un material poroso que atrapa el aire, convirtiéndolo en uno de los mejores materiales aislantes. La porosidad y elasticidad de la lana también absorbe el ruido del aire y ofrece corrección acústica, además de contener materiales incombustibles que no alimentan el fuego y no propagan las llamas.

El aislamiento de lana de vidrio se utiliza tanto en edificios como en instalaciones industriales. Garantiza un alto nivel de confort, reduce los costos de energía, minimiza el dióxido de carbono (CO²), evita la pérdida de calor a través de techos, paredes, pisos, tuberías y calderas, reduce la contaminación acústica y protege los hogares y las instalaciones industriales del riesgo de incendio.

Los productos de lana de vidrio tienen una duración equivalente a la vida del edificio (que se fija a menudo en 50 años por defecto), o en tanto que el componente de aislamiento de la construcción sea parte del edificio.



5.2.2 Datos técnicos y características físicas de los productos analizados:

Los datos que se muestran a continuación han sido recopilados de las fichas técnicas de los productos de aislamiento de FiberGlass Colombia S.A, pudiéndose consultar éstas en la página web de esta empresa (FiberGlass Colombia S.A, 2015).

- Producto Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”:
 - Resistencia térmica del producto ($m^2 \cdot K / W$): 1.408.
 - Reacción al fuego: Clase A – FS/SD 25/50 – ASTM E-84 / UL 723.
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (NRC): 0.85.
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 11.52 Kg/m³.

- Producto Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”:
 - Resistencia térmica del producto ($m^2 \cdot K / W$): 1.937.
 - Reacción al fuego: Dato desconocido.
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (NRC): 0.80.
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 9.92 Kg/m³.

- Producto Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”:
 - Resistencia térmica del producto ($m^2 \cdot K / W$): 1.937.
 - Reacción al fuego: Clase A – FS/SD 25/50 – ASTM E-84 / UL 723.
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (NRC): 0.80.
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 9.92 Kg/m³.

- Producto Frescasa Eco M.B.I 600”*48”*3.5”:
 - Resistencia térmica del producto ($m^2 \cdot K / W$): 1.937.
 - Reacción al fuego: Clase A – FS/SD 25/50 – ASTM E-84 / UL 723.
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (NRC): 0.80.
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 9.92 Kg/m³.



- Producto Ductoglass Neto 96”*48”*1”:
 - Conductividad térmica del producto (W / (m*K)): 0.033.
 - Reacción al fuego: B-s1, d0 (Euroclase).
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Coeficiente de absorción acústica (a): 0.85.
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 71.2 Kg/m³.

- Producto Black Theater 96”*48”*1”:
 - Conductividad térmica del producto (W / (m*°C)): 0.033.
 - Reacción al fuego: Clase A – FS/SD 25/50 – ASTM E-84 / UL 723.
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (NRC): 0.70.
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 48 Kg/m³.

- Producto Atac 1m*2.97m*0.03m:
 - Conductividad térmica del producto (W / (m*°C)): 0.034.
 - Reacción al fuego: Clase A – FS/SD 25/50 – ASTM E-84 / UL 723.
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (NRC): 0.75.
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 64 Kg/m³.

- Producto Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m:
 - Resistencia térmica del producto (m²*K/ W): 1.720.
 - Reacción al fuego: A2-s1; d0 (Euroclase).
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (AW): 0.80 (CTE).
 - Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 24 Kg/m³.

- Producto Isover Arena 10.16m* 1.22m* 0.07m:
 - Resistencia térmica del producto (m²*K/ W): 1.708.
 - Reacción al fuego: A1 (Euroclase).
 - Densidad óptica de humo: Nivel 1 - Norma IRAM 11912.
 - Propiedades acústicas (AW): 0.80 (CTE).



- o Densidad del producto (sin incluir su acabado superficial): 11.4 Kg/m³.

5.2.3 Descripción de los principales componentes de cada uno de los productos para una unidad funcional:

Los componentes de los productos que se van a evaluar han sido calculados a partir de datos referentes como la proporción lana / aglutinante y la densidad del producto (ambos datos calculados directamente por FiberGlass en su planta de fabricación) para una superficie de 1 m² con una resistencia térmica 1 m²*K/ W.

- Producto Frescasa Eco sin papel 600**48**2.5:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	493.46 g.
Espesor de la lana	45.09 mm.
Revestimiento	0 g.
Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 9.5 g; papel: 2g.
Producto utilizado para la instalación	Ninguno.
Cantidad de aglutinante	25.97 g.

Tabla 8. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco sin papel 600**48**2.5". Elaboración propia.

- Producto Frescasa Eco con papel 600**48**3.5:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	432.46 g.
Espesor de la lana	45.89 mm.
Revestimiento	Papel Kraft: 101.8g; Cola vinílica: 24.38g.
Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 7.86g; papel: 1.8g.
Producto utilizado para la instalación	Ninguno.
Cantidad de aglutinante	22.76 g.

Tabla 9. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco con papel 600**48**3.5". Elaboración propia.

- Producto Frescasa Eco con foil 600**48**3.5:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	432.46 g.
Espesor de la lana	45.89 mm.
Revestimiento	Foil de aluminio: 146g; Cola vinílica: 24.38g.



Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 7.86g; papel: 1.8g.
Producto utilizado para la instalación	Ninguno.
Cantidad de aglutinante	22.76 g.

Tabla 10. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.

- Producto Frescasa Eco M.B.I 600”*48”*3.5”:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	432.46 g.
Espesor de la lana	45.89 mm.
Revestimiento	Complex (aluminio, papel kraft y polietileno): 146g; Cola vinílica: 24.38g.
Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 7.86g; papel: 1.8g.
Producto utilizado para la instalación	Ninguno.
Cantidad de aglutinante	22.76 g.

Tabla 11. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco M.B.I 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.

- Producto Ductoglass Neto 96”*48”*1”:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	2067.64.
Espesor de la lana	33 mm.
Revestimiento	Foil de aluminio: 146g; Cola vinílica: 24.38g.
Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 10.83g; papel: 1.8g; cartón: 154g.
Producto utilizado para la instalación	Cinta de aluminio de 60 mm ancho y 50 micras espesor: 4.48 m.
Cantidad de aglutinante	281.95 g.

Tabla 12. Componentes principales en la fabricación de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.

- Producto Black Theater 96”*48”*1”:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	1393.92 g.
Espesor de la lana	33 mm.
Revestimiento	Tejido fibra de vidrio reforzado con resinas: 135g.



Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 12.03g; papel: 1.8g; cartón: 0.14g.
Producto utilizado para la instalación	Perfilería metálica de aluminio de ensamble automático, más parte proporcional de piezas especiales (10%): 1138 g.
Cantidad de aglutinante	190.08 g.

Tabla 13. Componentes principales en la fabricación de Black Theater 96”*48”*1”.
Elaboración propia.

- Producto Atac 1m*2.97m*0.03m:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	1980.16 g.
Espesor de la lana	34 mm.
Revestimiento	0 g.
Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 12.03g; papel: 1.8g; cartón: 0.14g.
Producto utilizado para la instalación	Ninguno.
Cantidad de aglutinante	195.84 g.

Tabla 14. Componentes principales en la fabricación de Atac 1m*2.97m*0.03m.
Elaboración propia.

- Producto Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	786.89 g.
Espesor de la lana	34.88 mm.
Revestimiento	Tejido fibra de vidrio reforzado con resinas: 27g.
Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 12.03g; papel: 1.8g.
Producto utilizado para la instalación	Ninguno.
Cantidad de aglutinante	50.22 g.

Tabla 15. Componentes principales en la fabricación de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.



- Producto Isover Arena 10.16m* 1.22m* 0.07m:

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de lana	439.14 g.
Espesor de la lana	40.98 mm.
Revestimiento	0 g.
Embalaje para transporte y distribución	Polietileno: 12.6g; papel: 1.8g.
Producto utilizado para la instalación	Ninguno.
Cantidad de aglutinante	28.03 g.

Tabla 16. Componentes principales en la fabricación de Isover Arena 10.16m* 1.22m* 0.07m. Elaboración propia.

5.3 Información de cálculo ACV.

A continuación se muestra una tabla con las principales características del análisis realizado:

UNIDAD FUNCIONAL	Se considera un aislamiento térmico de 1 m ² con una resistencia térmica de 1,0 K*m ² *W ⁻¹ .
LÍMITES DEL SISTEMA	Ciclo de vida completo (cradle to grave): Etapas obligatorias = A1-3, A4-5, B1-7, C1-4 (ver Figura 27). El módulo D no se incluye en este análisis.
REFERENCIA DE VIDA ÚTIL	50 años.
REGLAS DE CORTE	El criterio de corte definido para los insumos de masa y de energía primaria a nivel de unidad de proceso es del 1% y a nivel de módulo de información del 5%. Se excluyen los flujos relacionados con las actividades humanas como el transporte de los empleados. La construcción de las plantas, la producción de máquinas y sistemas de transporte están excluidos dado que los flujos relacionados se suponen insignificantes en comparación con la fabricación del producto de construcción al cotejarlos en comparación a este nivel de vida de sistemas.
ASIGNACIÓN	Los criterios de asignación se basan en criterios físicos (masa).



COBERTURA GEOGRÁFICA Y PERIODO DE TIEMPO	<p>Los principales datos han sido obtenidos de la fábrica que FIBERGLASS COLOMBIA posee en MOSQUERA, recopilados durante el año 2013.</p> <p>Para el modelado del sistema de producto, se utilizará el mix de producción eléctrica de Colombia basado en datos de la Agencia Internacional de la Energía para el año 2012.</p>
OBTENCIÓN DE DATOS GENERALES	<p>Aquellos datos que no han sido medidos de forma directa se obtendrán de la base de datos Ecoinvent 3.1.</p>

Tabla 17. Principales características del análisis ACV realizado. Elaboración propia.

Cabe destacar las siguientes menciones obtenidas de UNE-EN 15804:

- “Las DAP de los productos de construcción pueden no ser comparables, si no se cumplen las condiciones específicas que dicta la norma EN 15804 para estos casos”.
- “Las declaraciones de productos medioambientales dentro de la misma categoría de productos de diferentes programas pueden no ser comparables”.

5.4 Etapas del ciclo de vida.

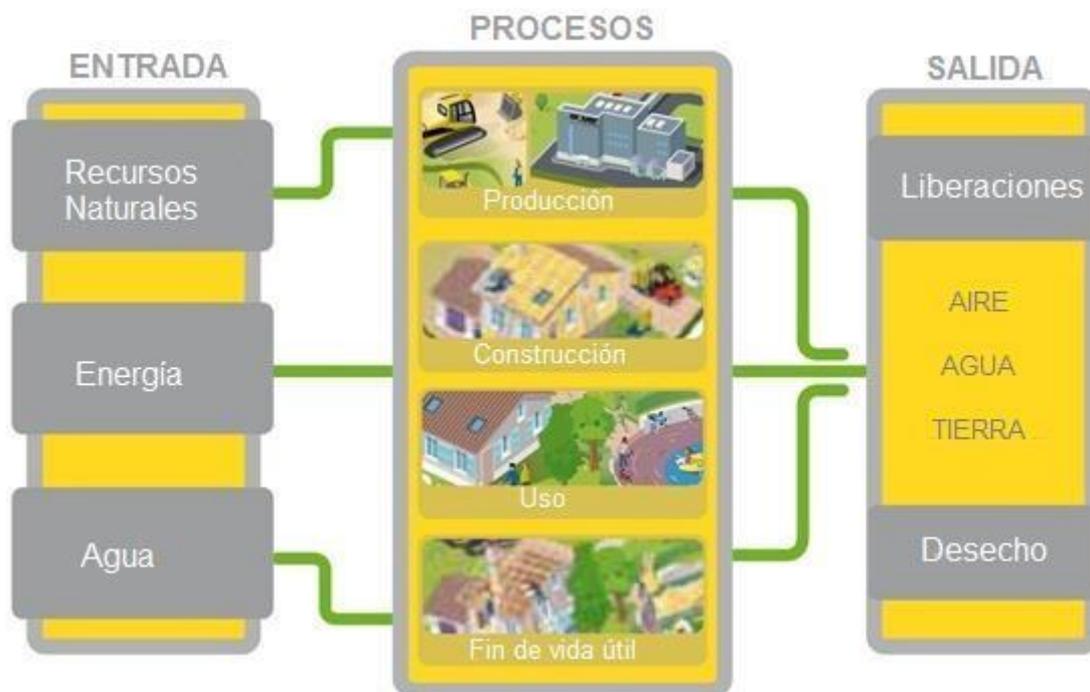


Figura 38. Diagrama de flujo del ciclo de vida. Información proporcionada por FiberGlass Colombia S.A.



5.4.1 Etapa del producto (A1 - A3).

Descripción de la etapa:

La etapa de fabricación de los productos de lana de vidrio se subdivide en 3 módulos A1, A2 y A3, respectivamente, "suministro de materia prima", "transporte" y "fabricación".

La agregación de los módulos A1, A2 y A3 es una posibilidad considerada por la norma UNE- EN 15804. Esta regla se aplica en esta DAP.

A1, Suministro de materias primas.

Este módulo tiene en cuenta la extracción y el procesamiento de todas las materias primas y energía que se producen aguas arriba al proceso de fabricación estudiado.

En concreto, el suministro de materia prima cubre la producción de componentes aglutinantes y de abastecimiento (cantera) de materias primas para la producción de fibra, por ejemplo, arena y bórax para lana de vidrio. Además de estas materias primas, también se utilizan materiales reciclados (desperdicios de vidrio) como entrada.

A2, transporte hasta el fabricante.

Las materias primas se transportan al lugar de fabricación. En nuestro caso, el modelo incluye los valores medios para cada materia prima de las distancias recorridas por un camión en carretera y a través del transporte por barco.

A3, fabricación.

Este módulo abarca la fabricación de lana de vidrio, incluida la fusión y formación de fibras (véase diagrama de flujo del proceso). Además, la producción de material de embalaje se considera dentro de esta etapa.



Figura 39. Diagrama de flujo del proceso de fabricación. Información proporcionada por FiberGlass Colombia S.A.

El proceso de fabricación de lana de vidrio utilizada como material aislante en construcciones, puede dividirse en 7 fases, todas ellas idénticas para cada uno de los materiales producidos en la planta (las diferencias entre éstos radican en la cantidad de material empleado y el acabado de remate superficial según lo descrito en el apartado 5.2.3). El ciclo principal es el siguiente:

1. Recepción de materias primas: los materiales necesarios para la fabricación de lana de vidrio son recibidos en grandes cantidades y almacenados en silos. Posteriormente se mezclarán y pesarán las cantidades precisas (las proporciones de materia prima varían dependiendo del producto final que se quiera obtener) necesarias para la elaboración, introduciéndose finalmente en el horno de fusión.
2. Fundición: los materiales son introducidos en un horno de grandes dimensiones donde se funden a temperaturas que rondan los 1400°C y se transforman en una masa homogénea por medio de una secuencia concreta de reacciones químicas.



3. Etapa de fibrado: la fundición homogénea viaja a través de un conducto cuya salida está conectada con una máquina que por medio de un sistema rotativo se encarga de fibrar el vidrio, realizándose adicionalmente en esta fase el rociado de material aglutinante a la masa fundida. Esta mezcla fibrada adopta la forma de “estera” al depositarse en un molde.
4. Curado: se hace circular la “estera” por un horno a una temperatura específica que permite activar el componente aglutinante para que se “cure” el producto, obteniendo éste el espesor y porosidad deseada.
5. Proceso de corte: una vez el producto se encuentra curado, se corta con máquinas industriales que le proporcionan las dimensiones específicas y se almacena en rollos o bloques compactos. Todos aquellos desechos de material que se obtengan en esta etapa, se reintroducirán al ciclo de producción minimizando los residuos generados. En esta fase también se dota al producto del acabado superficial que éste requiera de manera específica.
6. Embalaje: el bloque generado se comprime con el objeto de reducir el volumen de transporte de material, seguidamente se etiqueta y se envuelve con un “film” el conjunto, quedando listo para su paletizado.
7. Paletización: se finaliza el ciclo con el etiquetado del palet y su carga al camión para el iniciar su entrega al cliente.

5.4.2 Etapa del proceso de construcción (A4 - A5).

Descripción de la etapa:

El proceso de construcción se divide en 2 módulos: A4, transporte a obra y A5, instalación en el edificio.

A4, transporte a obra:

Este módulo incluye el transporte desde la puerta de fábrica al lugar de construcción, así como el transporte de los residuos generados durante la instalación hasta el vertedero. Se calcula sobre la base de un escenario con los parámetros descritos en la tabla siguiente:



PARÁMETRO	VALOR
Tipo de combustible y consumo del vehículo o tipo de vehículo utilizados para el transporte por ejemplo, camiones de larga distancia, barco, etc.	Remolque de camión promedio con una carga útil de 24t, consumo de combustible diésel (38 litros por cada 100 kilómetros).
Distancia	310 km (fábrica – obra). 25 km (obra – vertedero).
Utilización de la capacidad (incluidas declaraciones vacías)	Uso del 100% de la capacidad en volumen. 30% de los retornos de vacío.
Densidad aparente de los productos transportados	Varía según el producto tal y como ya se ha indicado.
Factor de utilización de capacidad de volumen	1

Tabla 18. Resumen del escenario planteado para la etapa A4. Elaboración propia.

A5, instalación en el edificio:

Este módulo incluye el desperdicio de productos durante la ejecución, los procesos de producción adicionales para compensar la pérdida y el tratamiento de residuos que se producen en esta etapa. Además se incluyen aquellos materiales auxiliares necesarios para la instalación del aislante (cuya participación ya se definió en la descripción del producto), siempre y cuando su contribución sea significativa, siguiendo los criterios de corte mencionados y deducidos de la Regla de Categoría de Producto (RCP).

El escenario utilizado para la cantidad de desperdicio de producto y el tratamiento de residuos es:

PARÁMETRO	VALOR
Desperdicio de materiales en la obra generados durante la instalación del producto.	5 % de la masa del material a instalar (sin contar pérdidas en los materiales auxiliares).
Residuos generados y escenarios previsibles futuros de los mismos.	Los residuos de embalaje son 100% recogidos y se modelan como destinados a un vertedero para un posterior tratamiento de incineración. A esta cantidad habrá que adicionar el porcentaje de pérdidas de lana de vidrio que se produce. Se tratarán conjuntamente como residuos de construcción mixtos.



Materiales auxiliares para la instalación	<ul style="list-style-type: none"> - Black Theater: 1.138 Kg de perfilería metálica de aluminio de ensamble automático, mayorada un 10% por el uso de piezas especiales en la instalación. - Ductoglass Neto: 4.48 m. de cinta de aluminio de 60 mm de ancho y 50 micras de espesor.
Uso de agua	0 m ³
Uso de otros recursos	0 Kg.
Descripción cuantitativa del tipo de energía empleada y consumo durante el proceso	0 KWh.
Emisiones directas al aire ambiente, al suelo y al agua.	0 Kg.

Tabla 19. Resumen del escenario planteado para la etapa A5. Elaboración propia.

5.4.3 Etapa de utilización - excluyendo los posibles ahorros (B1- B7).

Descripción de la etapa:

La fase de uso se divide en los siguientes módulos:

- B1: Utilización.
- B2: Mantenimiento.
- B3: Reparación.
- B4: Reemplazo.
- B5: Rehabilitación.
- B6: Uso de energía operacional.
- B7: Uso de agua operacional.

Comentarios y escenarios planteados:

Una vez completada la instalación, no se requieren acciones u operaciones técnicas durante las etapas de uso hasta el final de la etapa de vida. Por lo tanto, los productos de aislamiento de lana de vidrio no tienen ningún impacto (excluyéndose los ahorros potenciales de energía) en esta etapa.

5.4.4 Etapa de finalización de vida útil (C1- C4).

Descripción de la etapa:



La etapa incluye los diferentes módulos de finalización de vida útil: C1, deconstrucción, demolición; C2, transporte de residuos de procesamiento; C3, tratamiento de residuos para su reutilización, recuperación y/o reciclaje; C4, eliminación.

C1, Deconstrucción, demolición.

La deconstrucción y/o desmantelamiento de productos de aislamiento toman parte en la demolición de todo el edificio. En nuestro caso, el impacto ambiental por unidad funcional se considera muy pequeño y puede despreciarse.

C2, transporte de residuos.

Se aplica el mismo modelo de transporte que el empleado en la etapa A4 (transporte a obra) con la consideración de que la distancia de transporte hasta vertederos o plantas de tratamiento es de 25 km. En este desplazamiento se incluirá también el transporte hasta la planta de tratamiento del material auxiliar necesario para la instalación del producto.

C3, tratamiento de residuos para su reutilización, recuperación y/o reciclaje.

Cuando en el modelo intervengan materiales auxiliares (caso de la cinta de sellado de aluminio y de la estructura metálica de ensamblado automático) necesarios para la instalación de ciertos productos, el residuo que estos generan se tratará de forma específica para su posterior recuperación y reutilización, quedando las cargas ambientales de los tratamientos realizados asociadas a esta etapa.

C4, eliminación.

La lana de vidrio mezclada con el resto de residuos de demolición del edificio se asume vertida en su totalidad en un vertedero para su posterior tratamiento de incineración.

En resumen:



PARÁMETRO	VALOR / Descripción
Residuos generados y tipología de éstos.	<p>Lana de vidrio y materiales auxiliares (mezclados con residuos de construcción mixta). Las cantidades recogidas por tipología de producto son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frescasa Eco sin papel: 0.519 Kg. - Frescasa Eco con foil: 0.625 Kg. - Frescasa Eco con papel: 0.581 Kg. - Frescasa Eco MBI: 0.623 Kg. - Isover Arena: 0.467 Kg. - Ecovent VN38: 0.864 Kg. - Atac: 2.175 Kg. - Black Theater: 2.735 Kg (de los que 1.138 Kg serán sometidos a tratamiento específico para su posterior reciclado, el resto incinerados). - Ductoglass Neto: 2.516 Kg. En este modelo se destinan 4.48 m de cinta de sellado de aluminio a tratamiento específico para su reciclado siguiente.
Sistema de recuperación especificada por tipo	Solamente se tratan los materiales auxiliares de instalación del producto para que estos alcancen el estado de fin de residuo ¹⁸
Eliminación especificada por tipo	Disposición en vertedero para tratamiento de incineración en todos los casos, excepto para los residuos propios de materiales auxiliares.
Supuestos para el desarrollo de escenarios (por ejemplo, transporte)	<p>Remolque de camión promedio con una carga útil de 24t, consumo de diésel de 38 litros por cada 100 kilómetros.</p> <p>25 km de distancia de obra a vertedero o planta de tratamiento para reutilización posterior.</p>

Tabla 20. Resumen del escenario planteado para la etapa C2, C3 y C4. Elaboración propia.

¹⁸ Se alcanza el estado de fin de residuo (o fin de la condición de residuo) cuando se cumplen todos los criterios que se nombran a continuación (UNE-EN 15804):

- El material, producto o elemento de construcción recuperado se utiliza habitualmente para finalidades específicas.
- Existe un mercado o una demanda con valor económico positivo del producto o elemento recuperado.
- Este producto o elemento recuperado cumple con los requisitos y finalidades específicas impuestas por normativa vigente para la función que se le espera.
- El uso del material o producto recuperado no generará un impacto ambiental adverso o nocivo para la salud humana.



5.4.5 Potencial de reutilización/ recuperación/ reciclaje (Módulo D).

El módulo D no ha sido tomado en consideración dado que éste no es de obligado cálculo según la RCP que estamos utilizando en este análisis (ver apartado 5.1).

5.5 Información adicional.

El modelo de producción de energía eléctrica considerado para el modelado de sistemas de procesos de la planta de FiberGlass S.A Colombia, situada en la localidad de Mosquera (Colombia), ha sido extraído de los datos aportados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) para el país de Colombia. Esta información es correspondiente al año 2012 y se compone de:

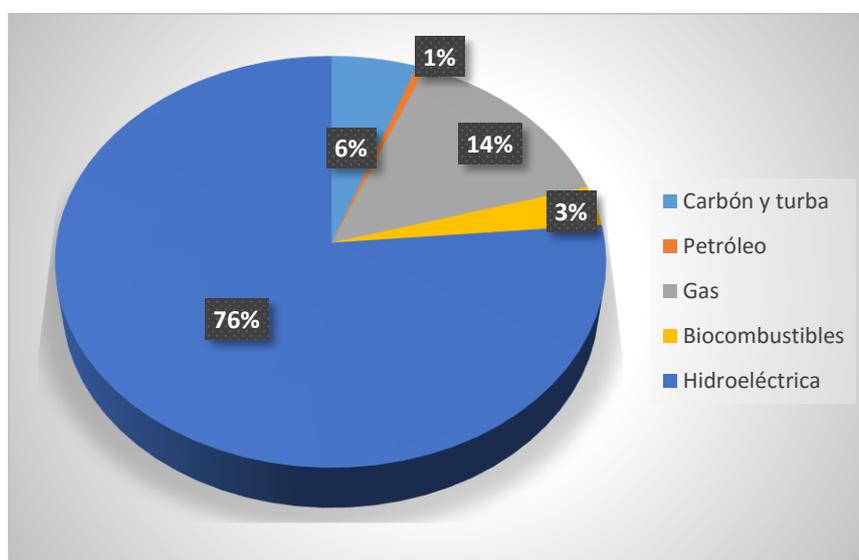


Figura 40. Mix eléctrico para Colombia referente al año 2012. (Agencia Internacional de la Energía, 2015).

Como se puede observar, la mayoría de la producción eléctrica es de origen hidroeléctrico, aunque también participan en menor proporción el gas y el carbón. Componentes como el petróleo o los biocombustibles componen la parte restante pero ya con una contribución mínima.

5.6 Resultados ACV.

Este apartado se puede visualizar en el Anexo I. Resultados del análisis de ciclo de vida de los productos aislantes comercializados por FiberGlass Colombia S.A.



5.7 Interpretación del ACV.

La interpretación la basaremos en el análisis de 5 indicadores, siendo los resultados mostrados a continuación la media para cada una de las fases vitales de los 9 productos evaluados. Además se incluye un gráfico que representa la participación en porcentaje de las etapas más relevantes de manera que podamos establecer cuáles son las más influyentes. Se aconseja releer el apartado 3.3.3 para recordar el significado de cada uno de los indicadores que a continuación se muestran:

5.7.1 Indicador de calentamiento global (kg CO₂ equivalentes):

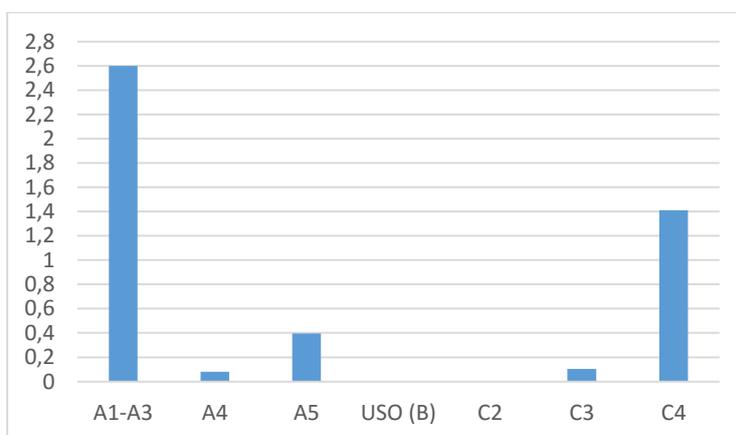


Figura 41. Indicador de calentamiento global resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.

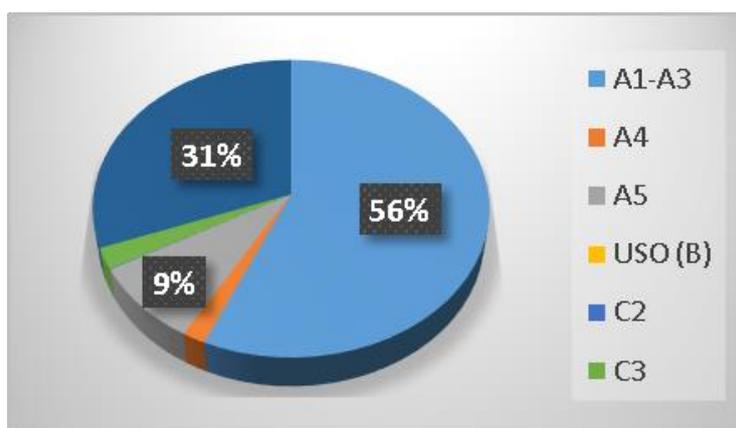


Figura 42. Contribución de cada una de las fases vitales al indicador de calentamiento global. Elaboración propia.



5.7.2 Consumo de recursos no renovables (MJ):

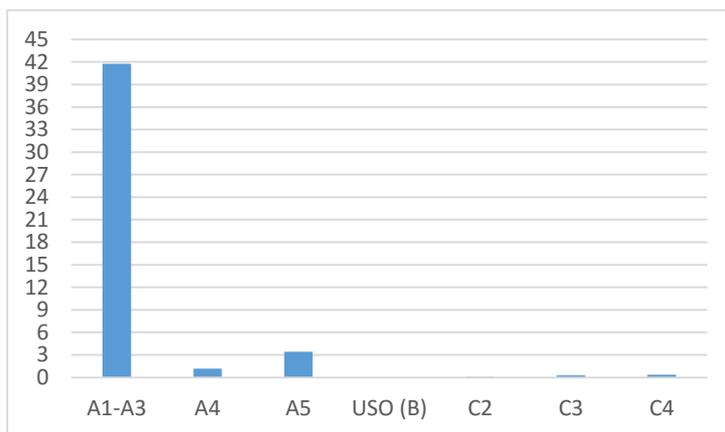


Figura 43. Consumo de recursos no renovables resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.

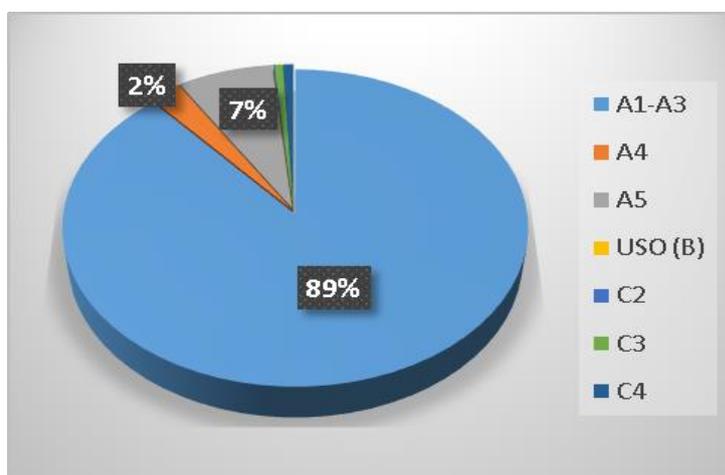


Figura 44. Contribución de cada una de las fases vitales al consumo de recursos no renovables. Elaboración propia.

5.7.3 Consumo de energía primaria (MJ).

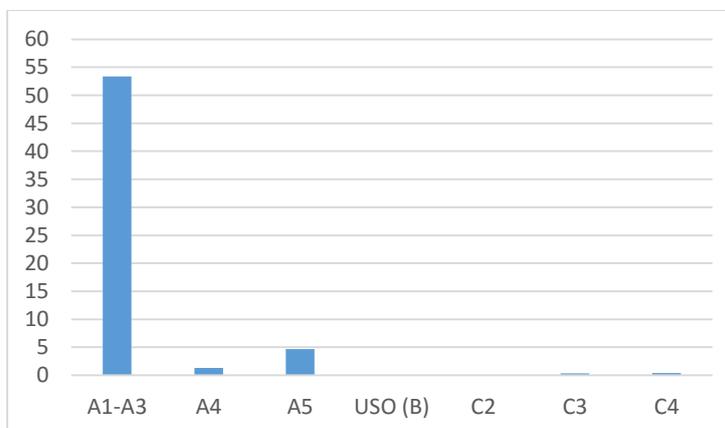


Figura 45. Consumo de energía primaria resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.

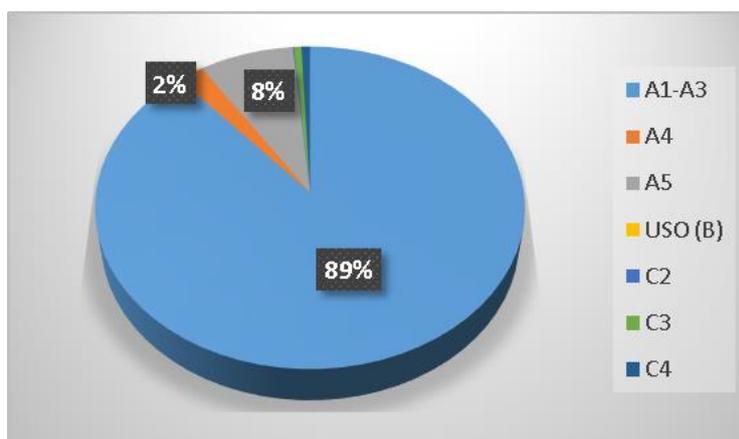


Figura 46. Contribución de cada una de las fases vitales al consumo de energía primaria. Elaboración propia.

5.7.4 Consumo neto de agua (m³).

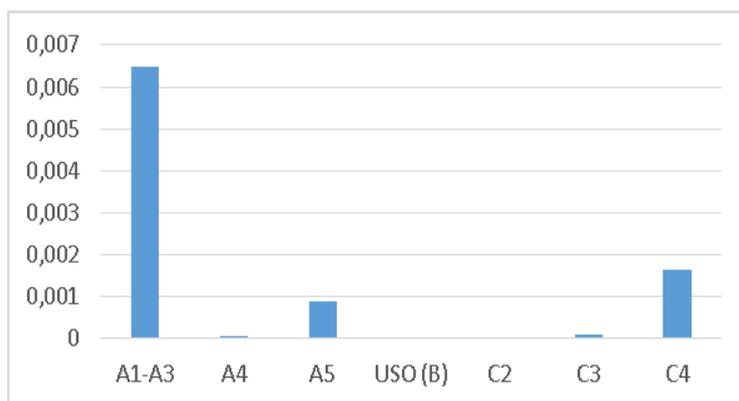


Figura 47. Consumo neto de agua resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.

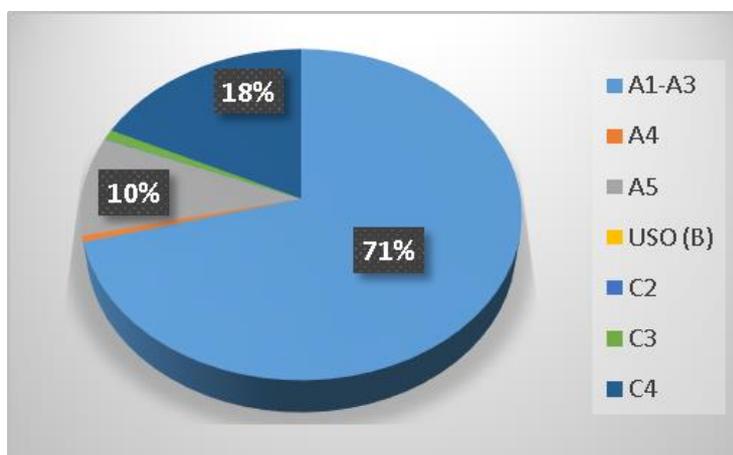


Figura 48. Contribución de cada una de las fases vitales al consumo neto de agua. Elaboración propia.

5.7.5 Producción total de desechos (Kg).

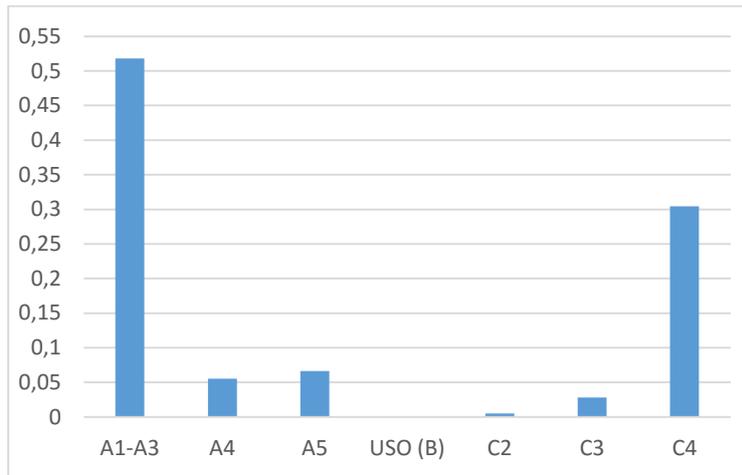


Figura 49. Producción de residuos resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.

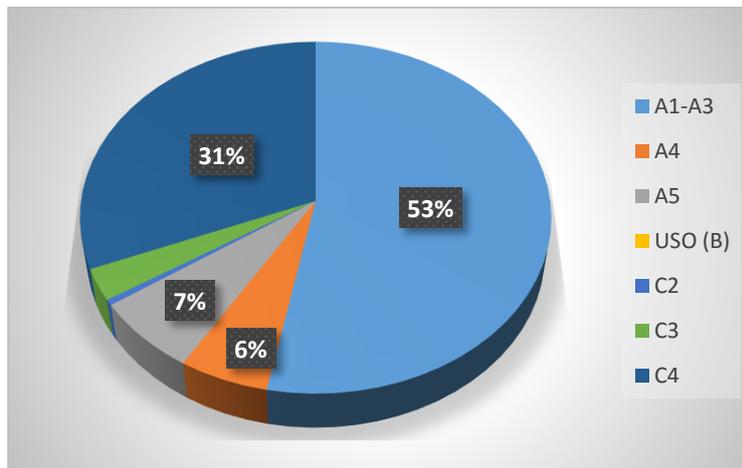


Figura 50. Contribución de cada una de las fases vitales a la producción de residuos. Elaboración propia.

A modo de conclusión, ha quedado constatado que la etapa de fabricación del producto (A1-A3) es la principal responsable de los impactos en el medio, siguiéndole con un índice de participación algo menor la eliminación por incineración de los residuos (C4). El resto de fases presentan en sí una participación igual o inferior al 10%, siendo la más destacada de este restante la correspondiente a la instalación en el edificio del producto (A5).

También se pueden sustraer datos interesantes como el consumo medio de energía primaria en la fábrica de aproximadamente 54 MJ/UF, la necesidad de 6.5 ltrs/UF de agua fresca o la emisión media de 2.6 kg de CO₂/UF al ambiente en la fase de fabricación.



Pero el estudio de 9 materiales basados en una misma unidad funcional (1 m² de producto con una resistencia térmica de 1 (K*m²)/W) nos permite poder compararlos en igualdad de condiciones según diferentes impactos que éstos generan durante su ciclo vital completo, siendo el resultado el que se muestra a continuación:

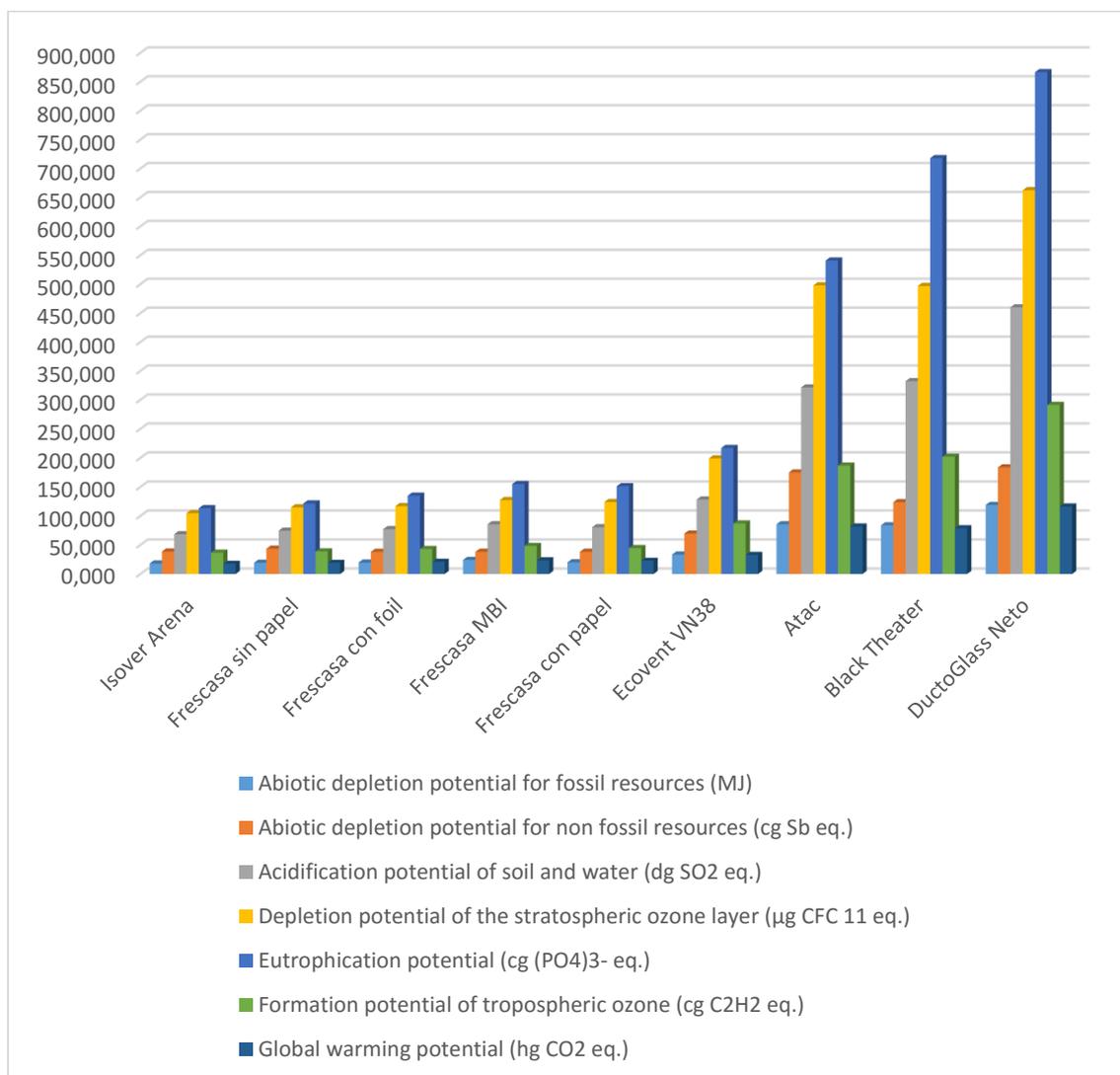


Figura 51. Comparación de impactos ambientales generados por el ciclo vital completo de cada uno de los productos evaluados. Elaboración propia.

En la gráfica se pueden observar los productos clasificados de menor a mayor en función de los principales impactos que éstos generan en el ambiente, destacándose los materiales Atac, Black Theater y DuctoGlass Neto claramente sobre el resto de aislantes. Esta disparidad es debida a su mayor densidad, necesitando para proporcionar la misma resistencia térmica que el resto de la gama más cantidad de componentes de fabricación, viéndose reflejado este incremento en el daño ocasionado al medio. Adicionalmente, recordemos que



tanto Black Theater como DuctoGlass Neto requerían de materiales auxiliares para su instalación en el edificio, escenario que supone un incremento en los resultados con respecto al resto de productos, sobre todo en la fase A5 referida a la instalación en el edificio y la C4 de eliminación de residuos por incineración.

5.8 Estudio simplificado de las fases de producción.

Con este apartado no se pretende analizar al detalle cada una de las fases de fabricación de los distintos materiales evaluados, sino demostrar información adicional que se puede obtener por medio del ACV y sacar conclusiones al respecto.

La gráfica que se muestra seguidamente analiza los impactos ambientales generados por los productos únicamente durante su etapa de producción (A1-A3). En esta comparación se introducen menos suposiciones (incertidumbre), dado que no se ha establecido ningún tipo de “escenario” para el resto de fases vitales posteriores (es lógico que se creen escenarios para aquellas fases en las que se desconoce el uso del producto u otros parámetros que influyen en los impactos finales). Los resultados obtenidos son:

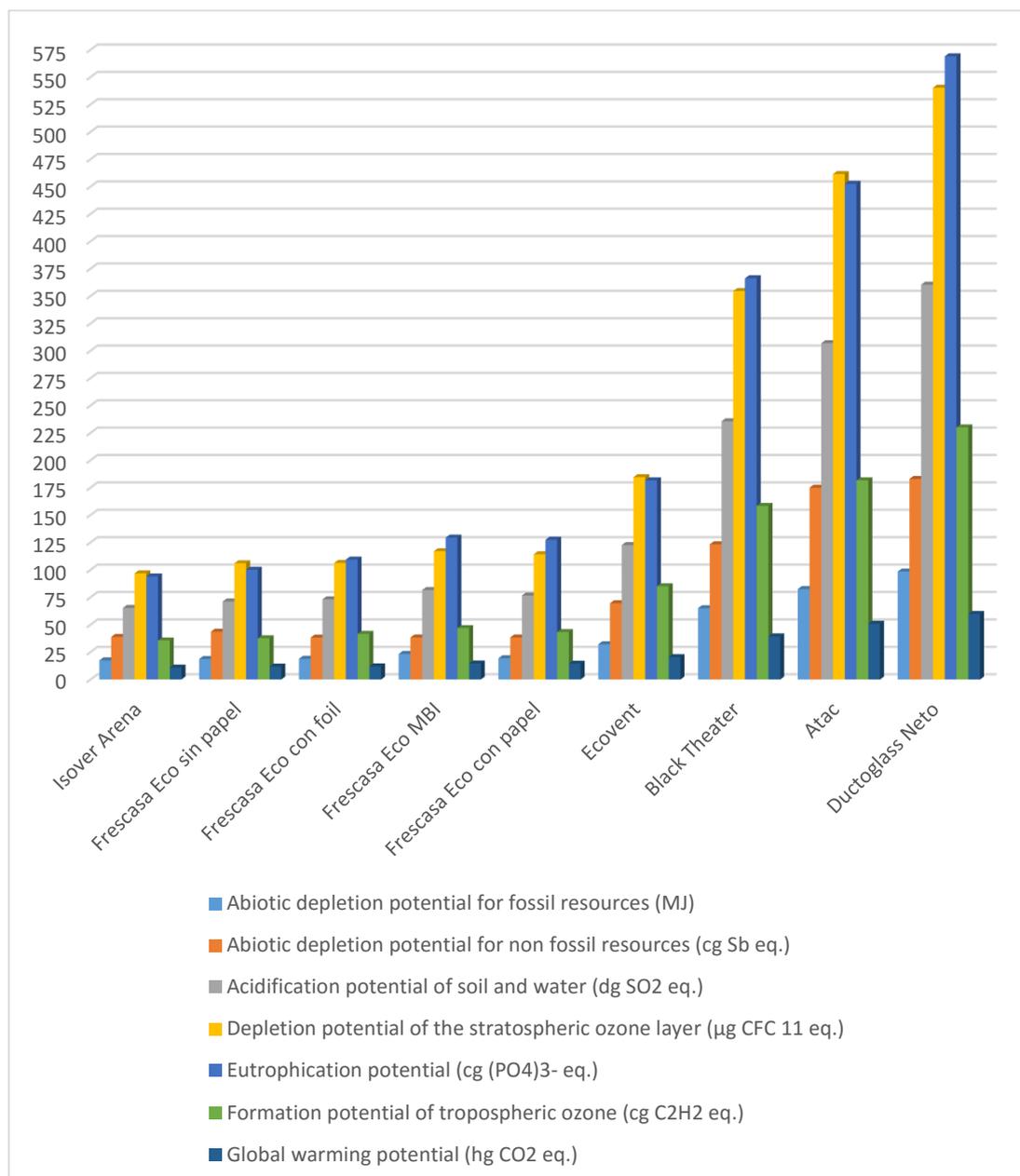


Figura 52. Comparación de impactos ambientales generados por la etapa de fabricación (A1-A3) de cada uno de los productos evaluados. Elaboración propia.

Fruto de esta menor introducción de supuestos que conlleva el análisis de etapas posteriores a A1-A3 se puede observar como hay un pequeño cambio en la clasificación de los materiales y el aislante Atac es más dañino al medio que Black Theater si solamente considerásemos la producción de éstos. Por lógica se entiende que éste último a posteriori sea más perjudicial que Atac dada la estructura de ensamblado metálico que necesita para su instalación como falso techo (fase A5) y los residuos generados por la misma a diferencia del primero que no precisa de otros componentes para su montaje. Este sería un ejemplo más que demuestra la necesidad de evaluar TODAS las fases vitales para poder



establecer conclusiones sobre el impacto final de un producto, aunque suponga la introducción de un cierto grado de incertidumbre.

Si pretendemos ir más allá y poder actuar en cualquiera de las fases vitales con el fin de adoptar soluciones que mitiguen el daño ocasionado, por medio de esta herramienta se puede identificar qué procesos son los que contribuyen en mayor medida a un impacto determinado, conociendo así los puntos clave sobre los que poder remediar los impactos. Por poner un ejemplo, se ha seleccionado el aislante Frescasa Eco MBI, en el que se han determinado los procesos que más concurren en el aumento de impactos como el cambio climático (Kg CO₂ equiv.) y en el potencial de acidificación del suelo y el agua (Kg SO₂ equiv.) en la etapa concreta de fabricación (A1-A3), aunque perfectamente se podría haber calculado cualquier otro aislante, etapa o impacto:

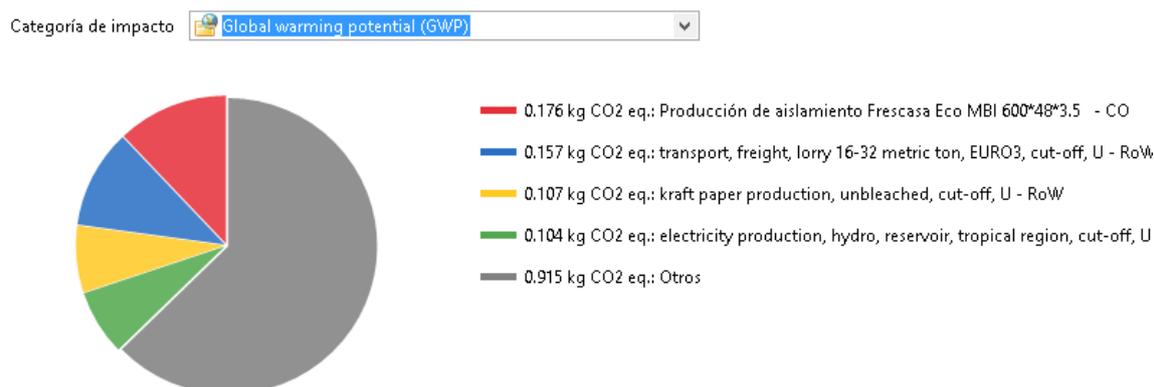


Figura 53. Procesos con mayor participación en el indicador de calentamiento global para la etapa de producción del aislamiento Frescasa Eco MBI. Elaboración propia.

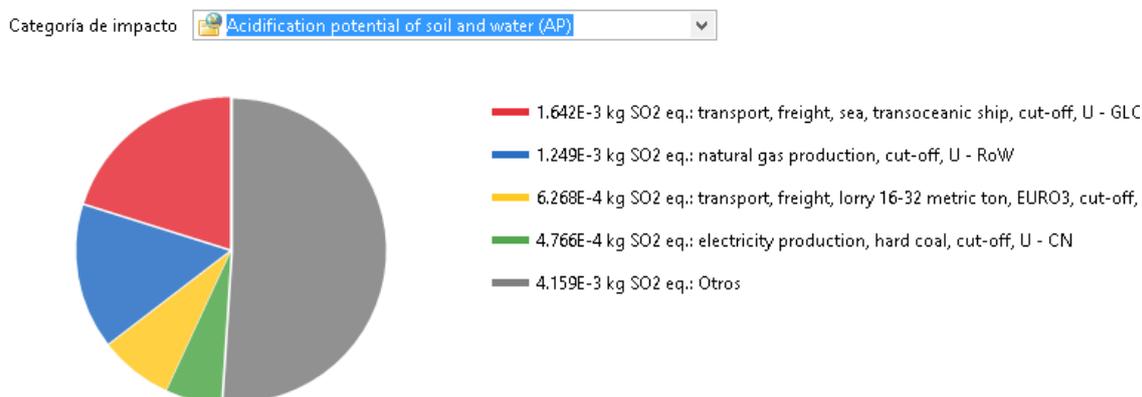


Figura 54. Procesos con mayor participación en el indicador de acidificación del suelo y del agua para la etapa de producción del aislamiento Frescasa Eco MBI. Elaboración propia.



En ambas gráficas se puede deducir como el transporte, ya sea por mar (en el caso de la acidificación del suelo y agua) o por tierra (para el cambio climático) juega un importante papel en el incremento de estos impactos, por lo que reducir distancias con los suministradores ayudaría a mitigar dichas emisiones.

Gran contribución supone la producción de energía tanto para la generación de electricidad a través de carbón como por medio de centrales hidroeléctricas (aunque la energía hidroeléctrica no sea de las más contaminantes, dada la alta participación que ésta presenta en el mix eléctrico de Colombia (ver apartado 5.5), hace que su intervención en la producción de Frescasa MBI sea notable). Otras energías que afectan considerablemente a la acidificación del suelo y agua es la generación de gas natural. Asimismo, se podría reducir la demanda energética a través del aumento del rendimiento de las instalaciones, con la consecuente rebaja de emisiones.

Finalmente destacar que la incorporación al producto de ciertos componentes de remate superficial como puede ser el papel kraft conlleva un aumento de 0.107 Kg CO₂/UF, así como las emisiones generadas durante la propia producción del aislante (0.176 Kg CO₂/UF), ambas con una importante participación en la categoría de cambio climático. Si quisiéramos desgranar el porcentaje y los procesos referidos en las gráficas como “otros” se podría perfectamente, aunque esta investigación no es parte del propósito del documento.

La evaluación de ACV va más allá de los resultados hasta ahora mostrados. Concretamente se pueden identificar aquellos compuestos químicos y las cantidades de los mismos que se emiten y generan los impactos. Por ejemplo, para el caso del indicador de acidificación del agua y suelo (Kg SO₂ equiv), las sustancias involucradas serían:

Flujo	Contribución	Categoría	Subcategoría	Cantidad	Unidad
Sulfur dioxide	32.02%	air	low population density	0.00261	kg SO2 eq.
Sulfur dioxide	22.28%	air	unspecified	0.00182	kg SO2 eq.
Sulfur dioxide	18.48%	air	high population density	0.00151	kg SO2 eq.
Nitrogen oxides	10.90%	air	low population density	0.00089	kg SO2 eq.
Nitrogen oxides	09.90%	air	unspecified	0.00081	kg SO2 eq.
Nitrogen oxides	05.25%	air	high population density	0.00043	kg SO2 eq.

Tabla 21. Compuestos químicos destacados del indicador de acidificación potencial del agua y del suelo. Elaboración propia.



Además, como estos compuestos se encuentran rigurosamente clasificados dentro de la base de datos se puede conocer si su emisión es en el aire, agua o suelo e incluso a través de su subcategoría si se produce en localidades con altas o bajas densidades de población.

Finalizando el caso práctico se muestra un diagrama Sankey que el software *OpenLCA* realiza y que ayuda a comprender cómo se va obteniendo el cálculo de cualquier impacto, así como la representatividad de todos y cada uno de los procesos en el indicador seleccionado, refiriéndose a su contribución directa y a la participación acumulada hasta ese punto del sistema de aquellos procesos “downstream” o de rango inferior. El diagrama que se adjunta a continuación está referido a la categoría de impacto cambio climático y muestra los procesos upstream o de rango superior a un acumulado del 4%, es decir, para no representar los 8198 procesos que componen la fabricación del aislante Frescasa Eco MBI y que conllevaría una difícil interpretación del mismo, solamente se muestran aquellos que hayan acumulado previamente un 4% o más del impacto total generado, simplificando de esta forma el esquema obtenido. A este concepto se le conoce como criterio de corte del diagrama.

De esta manera, este tipo de representación esquemática nos ayuda a entender con un simple vistazo qué ramas o conjuntos de procesos del sistema son los que participan más activamente en un indicador de impacto determinado, ya que engrosa las líneas conforme el impacto acumulado es mayor, incluso varía los colores de los procesos según su contribución (de ahí que la cúspide del esquema o final del sistema se represente en rojo intenso, ya que recoge todo el acumulado previo). En resumen no es más que otra herramienta que nos ayuda y facilita la comprensión de resultados y nos guía a la hora de adoptar medidas correctoras.

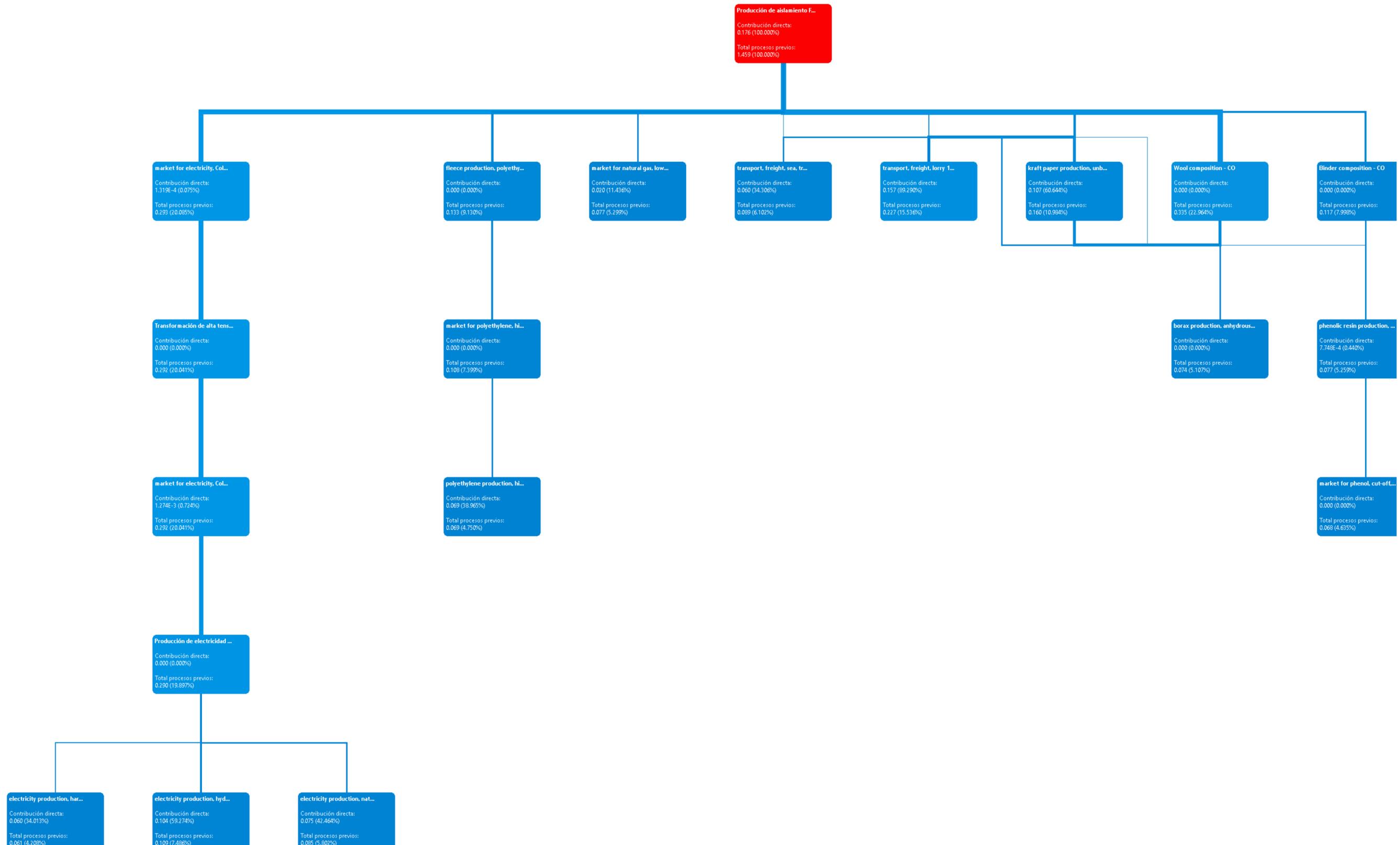


Figura 55. Diagrama Sankey realizado según el indicador de calentamiento global para la etapa de producción del aislamiento Frescasa Eco MBI. Elaboración propia.



5.9 Conclusiones finales sobre el caso práctico.

A modo de resumen, se pueden destacar los siguientes aspectos:

1. Se ha dejado constancia de lo importante que es considerar el ciclo de vida completo a la hora de evaluar impactos medioambientales de productos. Analizar solamente la etapa vital que a “nuestro juicio” sea más perjudicial supone en la mayoría de casos desprestigiar parte del impacto ocasionado, además de la obtención de conclusiones y medidas correctoras basadas en una evaluación deficiente.
2. Si nuestro objetivo es obtener resultados coherentes, debemos escoger una unidad funcional que equipare a todos los productos en cantidad y calidad, permitiendo así la comparabilidad de los mismos. En este caso en concreto, haber analizado una superficie de producto de 1 m² teniendo en cuenta también un parámetro que represente la calidad aislante como es la resistencia térmica de 1 (m²*K)/ W, hace que frente al estudio todos los materiales partan de la mismas condiciones. Es aquí donde se resalta la necesidad de seguir lo estipulado en la regla de categoría de cada producto en específico.
3. De nada sirve realizar un modelo de ACV completo y detallado si en él empleamos datos erróneos e incoherentes con la realidad del sistema a estudiar. Es crucial que la cantidad y calidad de datos, así como la metodología en general sea conforme a lo visto en el apartado 3.3.
4. Ha quedado constancia del potencial de cálculo de la herramienta. Esta cualidad se refleja en la capacidad de analizar una gran cantidad de impactos, siendo algunos de ellos relativos a materias ambientales específicas como puede ser la eutrofización o acidificación del agua. Además se pueden conocer datos tan interesantes como la cantidad y tipología de residuos generados durante todo el ciclo vital, el volumen de agua dulce gastada o la energía necesaria, distinguiendo si ésta es de carácter renovable o no.
5. Es necesario subrayar las facilidades que en este caso OpenLCA ofrece en forma de gráficas, diagramas y tablas para que el modelador entienda la información obtenida del sistema. No solo se centra en evaluar indicadores ambientales sino que es capaz de disgregar ese resultado de



manera que sepamos qué procesos son los más contribuyentes al impacto e incluso los compuestos químicos que en definitiva generan el daño en el medio.

6. Quizás lo más tedioso (opinión personal) sea elaborar el modelo de sistema de producto e introducir los datos correspondientes, además del estudio previo del funcionamiento del software y la base de datos que se va a emplear, pero sin duda alguna, el resultado final hace que el tiempo empleado merezca la pena.

Por último, animar al lector a probar la metodología y que él mismo sea el que compruebe la capacidad de la misma y extraiga sus propias conclusiones y experiencias.



6 Bibliografía.

Agencia Internacional de la Energía. (2015). *IEA*. Obtenido de <http://www.iea.org/>

Alavedra, P., Domínguez, J., Engracia, G., & Serra, J. (1997). *La construcción sostenible. El estado de la cuestión*. Obtenido de <https://goo.gl/7Y2FyK>

Ambientum. (2015). *El portal profesional del Medio Ambiente*. Obtenido de <http://goo.gl/7urjmO>

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2015). *ASHRAE*. Obtenido de <https://www.ashrae.org/>

Antón Vallejo, M. (2004). *Utilización del análisis de ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo*. Universidad Politécnica de Cataluña.

Antón, L. Á., & Díaz, J. (2014). *Integration of life cycle assessment in a BIM environment*. Obtenido de <http://goo.gl/WtdmyC>

Aranda, A., Scapellini, S., & Zabala, I. (2009). *LCA in buildings: State of the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification*. Obtenido de <http://goo.gl/dqRvBf>

Arenas Cabello, F. J. (2007). *Los materiales de construcción y el medio ambiente*. Obtenido de <https://goo.gl/UdxDZT>

Argüello Méndez, T. d., & Cuchí Burgos, Albert. (2008). *Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empelados en las viviendas de bajo coste del programa 10*10 Con Techo-Chiapas del CYTED*. Obtenido de <https://goo.gl/uOCYbY>

Ayuntamiento de Arona. (2015). *Cumbres internacionales más importantes*. Obtenido de <http://goo.gl/0XFUmB>

Bayer, C., Gamble, M., Centry, R., & Joshi, S. (2010). *AIA Guide to building Life Cycle Assessment in Practice*. Obtenido de <http://goo.gl/3eolcD>



Building Ecology. (2015). *Life Cycle Assessment Software, Tools and Databases*.
Obtenido de <http://goo.gl/06x6r6>

Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology. (2015). *BREEM*. Obtenido de <http://www.breeam.org/>

Burgess, R. (2003). *Ciudad y sostenibilidad; Desarrollo urbano sostenible*.
Obtenido de <http://goo.gl/UlwOU1>

Cáceres Teran, J. (1996). *Desenvolupament Sostenible. Revista Tracte*.

Càtedra DOW/URV de Desenvolupament Sostenible. (2015). *El crecimiento de la población mundial los últimos tres siglos*. Obtenido de <http://goo.gl/501l5d>

Certificación FIDE. (2015). Obtenido de <http://goo.gl/JFPo28>

Citherlet, S., & Defaux, T. (2007). *Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span*. Obtenido de <http://goo.gl/3irahR>

Commonwealth of Australia. (2005). *Sustainable Home Technical Manual-3: Materials*.

Comprehensive Assessment System for Building Environment. (2015). *CASBEE*.
Obtenido de <http://goo.gl/BRU1rY>

Construcción 21. (2015). *Datos disponibles para el ACV de edificios y productos*.
Obtenido de <http://goo.gl/2hOrhR>

Crawford, R., & Treolar, G. (2003). *Validation of the use of Australian input output data for building embodied energy simulation*. Eindhoven.

Cuéllar-Franca, R. M., & Azapagic, A. (2012). *Environmental impacts of the UK residential sector: Lyfe cycle assesment of houses*. Obtenido de <https://goo.gl/ErN1nz>

Definiciónabc. (2015). *Definiciónabc*. Obtenido de <http://goo.gl/szT4aD>

Dekker, K. (2004). *The SUREURO project SUREURO: "Sustainable Refurbishment Europe"*. Obtenido de <http://goo.gl/Zwm8iQ>



Díaz, M. G. (2013). *El análisis de ciclo de vida*. Obtenido de http://148.206.107.15/biblioteca_digital/capitulos/423-5758djj.pdf

Diego, M. d. (1996). *Arquitectura integrada en el medio ambiente*. Obtenido de <http://goo.gl/TLqtm4>

Echevarría Miguel, C. (2003). *La planificación urbana sostenible*. Obtenido de <http://goo.gl/6HZavx>

Ecointeligencia. (2015). *Conclusiones sobre las Cumbres del Clima*. Obtenido de <http://www.ecointeligencia.com/>

Ecointeligencia. (2015). *Desarrollo sostenible*. Obtenido de <http://goo.gl/y2Ntkd>

EeBGuide Project. (2015). *Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative*. Obtenido de <http://www.eebguide.eu/>

EL UNIVERSAL. (2012). *Posición de los países sobre el Protocolo de Kyoto*. Obtenido de <http://goo.gl/QNoxBc>

EnerBuiLCA. (2015). *Bases de datos para estudios de ACV*. Obtenido de <http://goo.gl/PILF9q>

Environmental Assesment of Construction Works and Products. (2012). *EURIMA*. Obtenido de <http://goo.gl/8hd6lw>

EPD International. (2015). *¿Qué son las Reglas de Categoría de Producto?* Obtenido de <http://goo.gl/oEF1KJ>

EUMEPS. (2009). *Edificios de baja energía y energía neta cero aislados con EPS*. Obtenido de <http://goo.gl/xjxJHi>

European Construction Technology Platform. (2015). *ECTP*. Obtenido de <http://www.ectp.org/>

European Environment Agency. (1997). *Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources*. Obtenido de <http://goo.gl/awMlXn>

Fernández Salgado, J. M. (2011). *Eficiencia energética en los edificios*. AMV Ediciones.



- FiberGlass Colombia S.A. (2015). Obtenido de <http://goo.gl/m96ZKj>
- García-Herrero, A., Navia , D., & Nigrinis Ospina, M. (2011). *Las economías emergentes que lideran el crecimiento*. Obtenido de <http://goo.gl/nyWQ6s>
- Green Building Council España. (2015). *GBCe*. Obtenido de <http://www.gbce.es/>
- Greenhouse Gas Protocol. (2015). *Third Party Databases*. Obtenido de <http://goo.gl/5BNHC6>
- Guinée, J. B., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T., & Rydberg, T. (2011). *Life Cycle Assessment: Past, present and future*. Obtenido de <http://goo.gl/VYDnWJ>
- Hernández Sanchez, J. (2013). *Metodología basada en ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios*. Obtenido de <http://goo.gl/dzQvcm>
- Hogan, M. (2010). *Abiotic factor. Encyclopedia of Earth. eds Emily Monosson and C. Cleveland. National Council for Science and the Environment*. Obtenido de <http://goo.gl/uhkNkK>
- Institute for Environment and Sustainability; European Commission; Joint Research Centre. (2010). *ILCD Handbook: Analysing og existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment*. Obtenido de <http://goo.gl/r11sdP>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2015). *IDAE*. Obtenido de <http://www.idae.es/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Chapter 9, Buildings*. Obtenido de <http://goo.gl/RGhKL4>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change; Resumen Técnico 2014*. Obtenido de <http://www.ipcc.ch/>
- International Energy Agency. (2013). *Transition to sustainable Buildings*. Obtenido de <http://goo.gl/Dik73E>
- International Initiative Sustainable Built Environment. (2015). *iiSBE*. Obtenido de <http://www.iisbe.org/>



International Organisation for Standardization. (2015). *Normas ISO*. Obtenido de <http://www.iso.org/iso/home.html>

ISOVER. (2015). *Declaraciones Ambientales de Producto. Aislamiento sostenible*. Obtenido de <http://goo.gl/YIXIWW>

Joint Research Centre Europe Commission. (2015). *JRC-EC*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/jrc/>

Kumar Dixit, M., Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp. (2010). *Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review*. Obtenido de <https://goo.gl/blkOtF>

Lamana, N. R., & Hernández Aja, A. (2005). *Análisis del ciclo de vida*. Obtenido de <http://goo.gl/AnbNED>

Leadership in Energy and Environmental Design. (2015). *LEED*. Obtenido de <http://www.usgbc.org/leed>

Lehtinen, H., Saarentaus, Anna., Pitts, Michael, Azapagic, Adisa, & Rouhiainen, J. (2011). *A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs*. Obtenido de <http://goo.gl/MYF5hN>

McDonough, W., & Braungart, Michael. (2002). *Cradle to cradle. Remaking the way we make things*. Noth Point Press.

Mercader, M., Ramírez de Arellano, A., & Olivares, M. (2012). *Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución*. Obtenido de <https://goo.gl/Hyki6r>

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Gobierno de España). (2015). *MAGRAMA*. Obtenido de <http://goo.gl/5utrte>

Ministerio de Fomento (Gobierno de España). (2014). *Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España*. Obtenido de <http://goo.gl/rzgTLi>

Ministerio de Fomento (Gobierno de España). (2015). *Normativa Estatal*. Obtenido de <http://goo.gl/JSiuFI>



- Moch, Y. (1996). *Impacte Ambiental dels materials de construcció*. Barcelona.
- Molina, M. (2013). *Hazlo con sensibilidad*. Obtenido de <http://goo.gl/NSGQgD>
- Naciones Unidas. (2015). *El Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://goo.gl/S0rhU2>
- Neila González, F. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. munilla-lería.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). OMS. Obtenido de <http://www.who.int/es/>
- Ortíz, O., Castells, Francesc, & Sonnemann, Guido. (2008). *Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA*. Obtenido de <https://goo.gl/rQKfHd>
- Passivehouse International. (2015). *iPHA*. Obtenido de <http://goo.gl/dpUleN>
- Pérez Gutiérrez, F. A. (2013). *Análisis del ciclo de vida comparativo de una mermelada de naranja ecológica y no ecológica*. Obtenido de <http://goo.gl/UtL3TU>
- Peuportier, B., & Putzeys, Katrien. (2005). *Inter-comparison and Benchmarking of LCA-Based Environmental Assessment and Design Tools*. Obtenido de <http://goo.gl/fd8UD4>
- Peuportier, B., Kohler, N., & Boonstra, C. (1998). *European project REGENER Life Cycle Analysis of buildings*. Obtenido de <http://goo.gl/Kd9WWR>
- Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida. (2015). *EPLCA*. Obtenido de <http://goo.gl/oocExt>
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (2010). *Ciclo de Vida Social*. Obtenido de <http://goo.gl/B86O81>
- Prats, F. (2008). *Energía/Clima y ciudades en España*. Obtenido de <https://goo.gl/Uadbb5>
- Pré sustainability. (2015). *On Developing Globally Relevant LCA Databases*. Obtenido de <https://goo.gl/S2EHZi>



PricewaterhouseCoopers. (2009). *Emisiones de gases de efecto invernadero*. Obtenido de <https://goo.gl/JKiQhN>

Puig, A. (1989). *Ecotoxicología*. Obtenido de <http://goo.gl/d5BB6y>

Rivela, B. (2010). *El análisis de ciclo de vida, una aproximación necesaria*. Obtenido de <https://goo.gl/4XWb4z>

Romero Rodriguez, B. I. (2003). *El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental*. Obtenido de <http://goo.gl/OceWJv>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT); Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2010). *Glosario de términos en cambio climático*. Obtenido de <http://goo.gl/0z3LGh>

SIEMENS. (2015). *Soluciones en eficiencia energética*. Obtenido de <https://goo.gl/XUTI5j>

Sociedad pública de gestión ambiental. (2009). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono*. Obtenido de INHOBE: <http://goo.gl/s9yFyX>

Society of Environmental Toxicology and Chemistry. (2015). *SETAC*. Obtenido de <https://www.setac.org/>

Speare, R. (1995). *Recycling of structural Materials*.

Sustainable Manufacturing. (2015). *Microeconomic sustainability assessment*. Obtenido de <http://goo.gl/ZbWI77>

Taberner Duque, F. M. (2010). *La arquitectura bioclimática y el cambio climático*. Obtenido de <https://goo.gl/oXe28Z>

The International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community. (2015). *IEA-ECBCS*. Obtenido de <http://www.iea-ebc.org/>

the International EPD System. (2015). Obtenido de <http://goo.gl/pM7G5V>

Tritthart, W., Zabalza, I., Malmqvist, T., Bruno, P., Wetzel, C., Stoykova, E., . . . Krigsvoll, G. (2010). *LoRe-LCA: Low Resource consumption buildings and constructions by use of LCA in design and decision making*. Obtenido de <http://goo.gl/U5Wbsj>



U.S. Green Building Council. (2015). *Buildings and climate change*. Obtenido de <http://goo.gl/d0qmoa>

Udo de Haes, H., Jolliet, O., Finnveden, G., Hauschild, M., Krewitt, W., & Muller-Wenk, R. (1999). *Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Assessment*. Obtenido de <http://goo.gl/JE3G4I>

Unión Europea. (2015). *UE*. Obtenido de <http://goo.gl/YIXYLf>

United Nations. (2015). *Un-Habitat Programme*. Obtenido de <http://unhabitat.org/>

United Nations Environment Programme. (2007). *Buildings and climate change*. Obtenido de UNEP: <http://goo.gl/6F4ioo>

United Nations Environment Programme. (2009). *Summary for Decision-Makers; Buildings and Climate Change*. Obtenido de UNEP: <http://goo.gl/ZgsY7d>

United Nations Environment Programme. (2011). *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases. A basis for Greener Processes and Products*. Obtenido de UNEP: <http://goo.gl/zEMP2z>

United Nations Environment Programme. (2012). *Building Design and Construction*. Obtenido de UNEP: <http://goo.gl/Seqq3X>

United Nations Environmental Protection. (2004). *¿Por qué adoptar un enfoque de ciclo de vida?* Obtenido de <https://goo.gl/G0m8AI>

Universidad a Distancia de Madrid. (2015). *Certificaciones medioambientales*. Obtenido de UDIMA: <http://goo.gl/IQ1Qmj>

Universidad de Vigo; ENERGYLAB. (2013). *ecoRaee. Informe de resultados del ACV del proceso*. Obtenido de <http://goo.gl/s0k1mP>

Vázquez Espí, M. (2000). *Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales*. Obtenido de <https://goo.gl/zVqvca>

World Bank. (2015). *Desarrollo sostenible*. Obtenido de <http://goo.gl/yjXclT>

World Wildlife Fund International. (2015). *WWF*. Obtenido de <http://wwf.panda.org/es/>



Zabalda Bribián , I. (2011). *Adaptación de la metodología de análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España*. Obtenido de <https://goo.gl/1vfCH8>

Zabalda Bribián, I., Aranda Usón, J. A., & Scarpellini, S. (2012). *Proyecto "EnerbuiLCA": Desarrollo de una base de datos y una herramienta de análisis de ciclo de vida de edificios adaptada a la región sudoeste de Europa*. Obtenido de <http://goo.gl/8m686A>

Zubiaga, R., Pradera, B., Sánchez, J., & Bonilla, A. (2002). *Declaración ambiental de productos de construcción. Situación actual y perspectivas futuras*. Obtenido de <http://goo.gl/1l8jqw>





7 Lista de figuras.

Figura 1. Posición de los diversos países en 2011 respecto del Protocolo de Kyoto (EL UNIVERSAL, 2012).	21
Figura 2. Los pilares del desarrollo sostenible y su interacción entre ellos. (Ecointeligencia, 2015).	23
Figura 3. Anomalías de la temperatura debidas al cambio climático. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).	24
Figura 4. Aumento del nivel del mar y previsión hasta el año 2100. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).	25
Figura 5. Incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero desde 1975. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).	26
Figura 6. Consumo total de energía térmica por agrupaciones de países. (Agencia Internacional de la Energía, 2015).	29
Figura 7. Consumo total de energía en diferentes continentes y distintas tipologías edilicias. (United Nations Environment Programme, 2007).	30
Figura 8. Diferentes usos finales de la energía en distintos continentes y tipologías de edificios. (United Nations Environment Programme, 2007).	31
Figura 9. Evolución de las emisiones directas e indirectas en el período 1970-2010. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).	32
Figura 10. Diferentes soluciones y metodologías de reducción de emisiones de CO ₂ y previsión de eficacia hasta el año 2050. (International Energy Agency, 2013).	33
Figura 11. Diferentes conclusiones sobre el porcentaje de energía incorporada en edificios residenciales según diversos autores. (Kumar Dixit, Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp, 2010).	35
Figura 12. Diferentes conclusiones sobre el porcentaje de energía incorporada en edificios comerciales según diversos autores. (Kumar Dixit, Fernández-Solís, José L., & Sarel Lavy, Charles H.Culp, 2010).	36
Figura 13. Cómputo acumulado de energía según las diferentes fases del ciclo de vida de un edificio de 60 años de vida útil. (United Nations Environment Programme, 2007).	37



Figura 14. Coste energético y ambiental de los principales materiales que componen una vivienda unifamiliar. (Argüello Méndez & Cuchí Burgos, Albert, 2008).....	38
Figura 15. Representación de los materiales que suponen un mayor consumo energético en viviendas unifamiliares adosadas. (Mercader, Ramírez de Arellano, A., & Olivares,M., 2012).....	38
Figura 16. Representación de los materiales que suponen un mayor consumo energético en edificios plurifamiliares de viviendas VPO. (Mercader, Ramírez de Arellano, A., & Olivares,M., 2012).....	39
Figura 17. Aportación de los materiales que componen las viviendas aisladas, adosadas y adosadas con terraza al índice de calentamiento global. (Cuéllar-Franca & Azapagic, 2012).....	40
Figura 18. Comparación de índices de energía correspondientes a distintas tipologías de viviendas. (EUMEPS, 2009).....	43
Figura 19. Variación de los costos en diferentes tipologías energéticas de viviendas. (EUMEPS, 2009).....	45
Figura 20. Principales requerimientos de las edificaciones Passivehouse. (United Nations Environment Programme, 2007).	47
Figura 21. Actuaciones y metodologías de commissioning para cada fase del ciclo de vida del edificio. (United Nations Environment Programme, 2007).	49
Figura 22. Certificaciones voluntarias de edificios en Europa, clasificadas según distintos sistemas existentes. (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, 2015).	52
Figura 23. Composición del Life Cycle Sustainability Assessment. (Sustainable Manufacturing, 2015).	68
Figura 24. Diagrama de espina de pez, resumen de cronología. Elaboración propia.	70
Figura 25. Fases para la realización de un ACV e interacción entre ellas. ISO 14040.	74
Figura 26. Variantes de ACV. (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009).	75
Figura 27. Etapas del ciclo de vida según el estándar EN 15643-2 del CEN/TC 350.	77



Figura 28. Ejemplo de sistema de producto para la realización de un ACV. ISO 14040.	79
Figura 29. Procedimiento a seguir para la elaboración del inventario de ciclo de vida. ISO 14044.	82
Figura 30. Cálculo del indicador de calentamiento global según dos metodologías de EICV distintas. (Sociedad pública de gestión ambiental., 2009).	85
Figura 31. Categorías de impactos “midpoints” y “endpoints”. (United Nations Environment Programme, 2011).	90
Figura 32. Sistemática para la realización de la evaluación de impactos. ISO 14044.	91
Figura 33. Esquema del proceso general a seguir en un ACV. (Díaz, 2013). ..	93
Figura 34. Niveles del sector de la edificación en los que interviene el ACV. (European Environment Agency, 1997).	106
Figura 35. Ventajas obtenidas por la aplicación del ACV en fases tempranas de proyecto y agentes implicados. (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012).	108
Figura 36. Estructura legislativa de las “ecoetiquetas”. (ISOVER, 2015).	110
Figura 37. Diferentes sistemas implantados para la consecución de las DAP. (Zabalda Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2012).	112
Figura 38. Diagrama de flujo del ciclo de vida. Información proporcionada por FiberGlass Colombia S.A.	130
Figura 39. Diagrama de flujo del proceso de fabricación. Información proporcionada por FiberGlass Colombia S.A.	132
Figura 40. Mix eléctrico para Colombia referente al año 2012. (Agencia Internacional de la Energía, 2015).	138
Figura 41. Indicador de calentamiento global resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.	139
Figura 42. Contribución de cada una de las fases vitales al indicador de calentamiento global. Elaboración propia.	139
Figura 43. Consumo de recursos no renovables resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.	140
Figura 44. Contribución de cada una de las fases vitales al consumo de recursos no renovables. Elaboración propia.	140



Figura 45. Consumo de energía primaria resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.....	140
Figura 46. Contribución de cada una de las fases vitales al consumo de energía primaria. Elaboración propia.	141
Figura 47. Consumo neto de agua resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.	141
Figura 48. Contribución de cada una de las fases vitales al consumo neto de agua. Elaboración propia.	141
Figura 49. Producción de residuos resultado de la media de todos los productos. Elaboración propia.	142
Figura 50. Contribución de cada una de las fases vitales a la producción de residuos. Elaboración propia.....	142
Figura 51. Comparación de impactos ambientales generados por el ciclo vital completo de cada uno de los productos evaluados. Elaboración propia.	143
Figura 52. Comparación de impactos ambientales generados por la etapa de fabricación (A1-A3) de cada uno de los productos evaluados. Elaboración propia.	145
Figura 53. Procesos con mayor participación en el indicador de calentamiento global para la etapa de producción del aislamiento Frescasa Eco MBI. Elaboración propia.	146
Figura 54. Procesos con mayor participación en el indicador de acidificación del suelo y del agua para la etapa de producción del aislamiento Frescasa Eco MBI. Elaboración propia.....	146
Figura 55. Diagrama Sankey realizado según el indicador de calentamiento global para la etapa de producción del aislamiento Frescasa Eco MBI. Elaboración propia.	149



8 Lista de tablas.

Tabla 1. Principales categorías de impactos. Elaboración propia.	86
Tabla 2. Principales características de las bases de datos más destacadas. Fuente: Elaboración propia.	96
Tabla 3. Principales características de las metodologías EICV más destacadas. Elaboración propia.	99
Tabla 4. Principales características de las metodologías EICV más destacadas. Elaboración propia.	100
Tabla 5. Principales características de las herramientas ACV más utilizadas en la práctica actual. Elaboración propia.	103
Tabla 6. Principales características de las herramientas ACV más utilizadas en la práctica actual. Elaboración propia.	104
Tabla 7. Demostración de la verificación según la norma UNE-EN 15804. ...	122
Tabla 8. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”. Elaboración propia.	126
Tabla 9. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	126
Tabla 10. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	127
Tabla 11. Componentes principales en la fabricación de Frescasa Eco M.B.I 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	127
Tabla 12. Componentes principales en la fabricación de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.	127
Tabla 13. Componentes principales en la fabricación de Black Theater 96”*48”*1”. Elaboración propia.	128
Tabla 14. Componentes principales en la fabricación de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.	128
Tabla 15. Componentes principales en la fabricación de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.	128
Tabla 16. Componentes principales en la fabricación de Isover Arena 10.16m* 1.22m* 0.07m. Elaboración propia.	129



Tabla 17. Principales características del análisis ACV realizado. Elaboración propia.....	130
Tabla 18. Resumen del escenario planteado para la etapa A4. Elaboración propia.....	134
Tabla 19. Resumen del escenario planteado para la etapa A5. Elaboración propia.....	135
Tabla 20. Resumen del escenario planteado para la etapa C2, C3 y C4. Elaboración propia.....	137
Tabla 21. Compuestos químicos destacados del indicador de acidificación potencial del agua y del suelo. Elaboración propia.....	147
Tabla 22. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.....	174
Tabla 23. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.....	175
Tabla 24. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.....	176
Tabla 25. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.....	177
Tabla 26. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.....	178
Tabla 27. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.....	179
Tabla 28. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.....	180
Tabla 29. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.....	181
Tabla 30. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.....	182
Tabla 31. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.....	183
Tabla 32. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.....	184
Tabla 33. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.....	185



Tabla 34. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	186
Tabla 35. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	187
Tabla 36. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	188
Tabla 37. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	189
Tabla 38. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	190
Tabla 39. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	191
Tabla 40. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	192
Tabla 41. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	193
Tabla 42. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	194
Tabla 43. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	195
Tabla 44. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	196
Tabla 45. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.	197
Tabla 46. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”. Elaboración propia.	198
Tabla 47. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”. Elaboración propia.	199
Tabla 48. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”. Elaboración propia.	200
Tabla 49. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”. Elaboración propia.	201
Tabla 50. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.	202



Tabla 51. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.....	203
Tabla 52. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.	204
Tabla 53. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.	205
Tabla 54. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Black Theater 96”*48”*1”. Elaboración propia.....	206
Tabla 55. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Black Theater 96”*48”*1”. Elaboración propia.....	207
Tabla 56. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Black Theater 96”*48”*1”. Elaboración propia.	208
Tabla 57. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Black Theater 96”*48”*1”. Elaboración propia.....	209



9 Anexo I. Resultados del análisis de ciclo de vida de los productos aislantes comercializados por FiberGlass Colombia S.A.

El modelo ACV, el cálculo del inventario y de los impactos ambientales se ha realizado con el software *OpenLCA*. Además, se ha aplicado en método de impacto CML junto con la base de datos Ecoinvent 3.1 para la obtención de información sobre procesos que no estaban al alcance de la empresa.

Las materias primas y el consumo de energía, así como las distancias de transporte se han medido de forma directa desde la planta de fabricación del municipio de Mosquera durante el año 2013.

De esta manera, se muestran en formato de tabla los siguientes resultados para cada uno de los productos analizados:

- Categorías de impactos:
 - o Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO₂ equiv/UF.
 - o Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC₁₁ equiv/UF.
 - o Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO₂ equiv/UF.
 - o Potencial de eutrofización (EP) - Kg (PO₄) equiv/UF.
 - o Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno equiv/ UF.
 - o Potencial de agotamiento abiótico por recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU.
 - o Potencial de agotamiento abiótico por recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU.
- Uso de recursos:
 - o Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) - MJ/UF.
 - o Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) - MJ/UF.
 - o Uso de material secundario - kg/UF.
 - o Uso neto de agua dulce - m³/UF.
- Producción de residuos:



- Residuos peligrosos eliminados - kg/UF.
- Residuos no peligrosos eliminados - kg/UF.
- Residuos radioactivos eliminados - kg/UF.
- Flujos de salida:
 - Materiales para reciclaje - kg/UF.
 - Energía exportada - MJ/UF.

Aclarar finalmente que algunas etapas del ciclo de vida, tal y como hemos visto, no son relevantes (indicándose en las tablas como “NR”) o no se han declarado en esta DAP, como es el caso del módulo D (indicado como “MND”).

A continuación se muestra el orden de productos según se van a visualizar los resultados en este anexo:

1. Atac 1m*2.97m*0.03m.
2. Ductoglass Neto 96”*48”*1”.
3. Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m.
4. Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”.
5. Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”.
6. Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”.
7. Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”. Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m.
8. Black Theater 96”*48”*1”.



9.1 Atac 1m*2.97m*0.03m.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil			D Reutilización, recuperación y reciclaje.	
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos		C4 Eliminación
Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	5,09E+00	1,52E-01	1,56E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	6,07E-03	NR	2,77E+00	MND
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.															
Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	4,61E-07	2,77E-08	4,09E-10	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,14E-09	NR	7,26E-09	MND
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratosfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.															
Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	3,07E-02	7,97E-04	3,27E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,26E-05	NR	5,80E-04	MND
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.															
Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	4,53E-03	1,78E-04	3,73E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,20E-06	NR	6,61E-04	MND
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.															
Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	1,82E-03	2,93E-05	1,13E-06	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,16E-06	NR	2,00E-05	MND
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.															
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	1,75E-03	4,87E-07	7,57E-09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,33E-08	NR	1,34E-07	MND
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	8,25E+01	2,29E+00	4,10E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	9,46E-02	NR	7,27E-01	MND
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.															

Tabla 22. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	1,29E+01	2,82E-02	1,35E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,39E-03	NR	2,39E-02	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	1,29E+01	2,82E-02	1,35E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,39E-03	NR	2,39E-02	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	9,14E+01	2,45E+00	4,56E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,02E-01	NR	8,03E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	9,14E+01	2,45E+00	4,56E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,02E-01	NR	8,03E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	1,48E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	1,27E-02	1,03E-04	1,81E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,70E-06	NR	3,21E-03	MND

Tabla 23. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.



RESIDUOS																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	1,12E-01	5,00E-04	2,71E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,01E-05	NR	4,80E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	9,44E-01	1,06E-01	6,63E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,62E-03	NR	1,17E-01	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	1,92E-04	1,56E-05	1,46E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	6,48E-07	NR	2,58E-06	MND

Tabla 24. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.



Parámetros		FLUJOS DE SALIDA														
		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	6,07E+00	4,58E-01	5,26E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,71E-02	NR	9,32E+00	MND

Tabla 25. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Atac 1m*2.97m*0.03m. Elaboración propia.



9.2 Ductoglass Neto 96”*48”*1”.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES																
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción			Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación		
Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	5,98E+00	1,87E-01	1,69E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,01E-03	5,45E-01	3,21E+00	MND
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.																
Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	5,40E-07	3,40E-08	7,77E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,32E-09	6,15E-10	8,39E-09	MND
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratósfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.																
Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	3,60E-02	9,81E-04	8,23E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,77E-05	4,82E-05	6,71E-04	MND
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.																
Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	2,19E-04	3,40E-08	1,91E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,33E-06	7,39E-05	7,65E-04	MND
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.																
Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	2,30E-03	3,61E-05	5,51E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,34E-06	1,81E-06	2,31E-05	MND
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.																
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	1,83E-03	6,00E-07	7,96E-06	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,54E-08	1,23E-08	1,55E-07	MND
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	9,84E+01	2,82E+00	1,67E+01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,09E-01	6,84E-02	8,40E-01	MND
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.																

Tabla 26. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	1,40E+01	3,46E-02	1,27E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,61E-03	1,85E-03	2,76E-02	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	1,40E+01	3,46E-02	1,27E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,61E-03	1,85E-03	2,76E-02	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	1,09E+02	3,02E+00	1,89E+01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,18E-01	7,55E-02	9,35E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	1,09E+02	3,02E+00	1,89E+01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,18E-01	7,55E-02	9,35E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	1,54E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	1,46E-02	1,26E-04	2,69E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5,44E-06	1,32E-04	3,71E-03	MND

Tabla 27. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96”x48”x1”. Elaboración propia.



RESIDUOS																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción / demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	1,26E-01	6,16E-04	7,92E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,48E-05	2,50E-02	5,55E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	1,06E+00	1,30E-01	2,16E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	9,97E-03	1,61E-02	1,36E-01	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	2,30E-04	1,92E-05	3,99E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,49E-07	2,62E-07	2,99E-06	MND

Tabla 28. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96”*48”*1”. Elaboración propia.



FLUJOS DE SALIDA																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,81E-02	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	6,81E+00	5,63E-01	2,37E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,29E-02	5,27E-01	1,08E+01	MND

Tabla 29. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Ductoglass Neto 96^{mm}48^{mm}1^{mm}. Elaboración propia.



9.3 Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES																
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción			Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación		
Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	2,04E+00	6,10E-02	7,27E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,41E-03	NR	1,10E+00	MND	
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.																
Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	1,85E-07	1,11E-08	1,90E-10	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,53E-10	NR	2,88E-09	MND	
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratosfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.																
Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	1,23E-02	3,20E-04	1,52E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,29E-05	NR	2,30E-04	MND	
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.																
Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	1,82E-03	7,13E-05	1,73E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,86E-06	NR	2,63E-04	MND	
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.																
Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	8,50E-04	1,18E-05	5,24E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,60E-07	NR	7,94E-06	MND	
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.																
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	6,95E-04	1,96E-07	3,52E-09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5,29E-09	NR	5,33E-08	MND	
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	3,21E+01	9,18E-01	1,90E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,76E-02	NR	2,89E-01	MND	
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.																

Tabla 30. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	5,30E+00	1,13E-02	6,26E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5,54E-04	NR	9,48E-03	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	5,30E+00	1,13E-02	6,26E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5,54E-04	NR	9,48E-03	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	3,57E+01	9,84E-01	2,12E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,04E-02	NR	3,21E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	3,57E+01	9,84E-01	2,12E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,04E-02	NR	3,21E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	5,85E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	5,72E-03	4,12E-05	8,41E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,87E-06	NR	1,27E-03	MND

Tabla 31. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.



Parámetros		RESIDUOS														
		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción / demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	4,50E-02	2,01E-04	1,26E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,19E-05	NR	1,91E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	3,72E-01	4,24E-02	3,08E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,42E-03	NR	4,66E-02	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	7,59E-05	6,27E-06	6,77E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,57E-07	NR	1,03E-06	MND

Tabla 32. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.



FLUJOS DE SALIDA																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	2,41E+00	1,84E-01	2,44E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,47E-02	NR	3,70E+00	MND

Tabla 33. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Ecovent VN38 1.35m*0.6m*0.06m. Elaboración propia.



9.4 Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES																
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción			Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación		
Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	1,20E+00	4,42E-02	5,22E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,74E-03	NR	7,97E-01	MND	
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.																
Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	1,06E-07	8,03E-09	1,37E-10	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,28E-10	NR	2,09E-09	MND	
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratósfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.																
Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	7,31E-03	2,31E-04	1,09E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	9,37E-06	NR	1,67E-04	MND	
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.																
Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	1,09E-03	5,16E-05	1,24E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,07E-06	NR	1,90E-04	MND	
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.																
Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	4,16E-04	8,50E-06	3,76E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,33E-07	NR	5,75E-06	MND	
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.																
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	3,82E-04	1,41E-07	2,52E-09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,83E-09	NR	3,86E-08	MND	
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	1,89E+01	6,64E-01	1,37E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,72E-02	NR	2,09E-01	MND	
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.																

Tabla 34. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	3,00E+00	8,17E-03	4,49E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,01E-04	NR	6,86E-03	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	3,00E+00	8,17E-03	4,49E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,01E-04	NR	6,86E-03	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	2,11E+01	7,12E-01	1,52E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,92E-02	NR	2,32E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	2,11E+01	7,12E-01	1,52E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,92E-02	NR	2,32E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	3,22E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	3,11E-03	2,98E-05	6,04E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,35E-06	NR	9,22E-04	MND

Tabla 35. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600*48*3.5". Elaboración propia.



RESIDUOS																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	2,79E-02	1,45E-04	9,03E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,65E-06	NR	1,38E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	2,02E-01	3,07E-02	2,21E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,48E-03	NR	3,38E-02	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	4,58E-05	4,54E-06	4,86E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,86E-07	NR	7,42E-07	MND

Tabla 36. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600*48*3.5". Elaboración propia.



Parámetros		FLUJOS DE SALIDA														
		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	1,37E+00	1,33E-01	1,75E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,07E-02	NR	2,68E+00	MND

Tabla 37. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con foil 600**48**3.5". Elaboración propia.



9.5 Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES																
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.	
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción / demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación		
Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	1,44E+00	4,11E-02	4,94E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,62E-03	NR	7,41E-01	MND	
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.																
Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	1,14E-07	7,47E-09	1,29E-10	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,05E-10	NR	1,94E-09	MND	
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratósfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.																
Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	7,66E-03	2,15E-04	1,03E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,71E-06	NR	1,55E-04	MND	
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.																
Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	1,27E-03	4,80E-05	1,18E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,92E-06	NR	1,77E-04	MND	
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.																
Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	4,32E-04	7,91E-06	3,56E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,09E-07	NR	5,34E-06	MND	
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.																
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	3,83E-04	1,32E-07	2,39E-09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,56E-09	NR	3,58E-08	MND	
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	1,94E+01	6,18E-01	1,29E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,53E-02	NR	1,94E-01	MND	
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.																

Tabla 38. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	7,05E+00	7,60E-03	4,25E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,73E-04	NR	6,38E-03	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	7,05E+00	7,60E-03	4,25E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,73E-04	NR	6,38E-03	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	2,16E+01	6,63E-01	1,44E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,72E-02	NR	2,16E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	2,16E+01	6,63E-01	1,44E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,72E-02	NR	2,16E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	3,22E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	3,25E-03	2,77E-05	5,71E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,26E-06	NR	8,57E-04	MND

Tabla 39. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600**48**3.5". Elaboración propia.



RESIDUOS																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	2,71E-02	1,35E-04	8,54E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,04E-06	NR	1,28E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	2,14E-01	2,86E-02	2,09E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,30E-03	NR	3,14E-02	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	5,03E-05	4,22E-06	4,60E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,73E-07	NR	6,90E-07	MND

Tabla 40. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600*48*3.5". Elaboración propia.



Parámetros		FLUJOS DE SALIDA														
		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	1,40E+00	1,24E-01	1,66E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	9,91E-03	NR	2,49E+00	MND

Tabla 41. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco con papel 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.



9.6 Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción			Etapa de utilización						Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	1,46E+00	4,40E-02	5,20E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,74E-03	NR	7,95E-01	MND
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.																
	Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	1,17E-07	8,00E-09	1,36E-10	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,27E-10	NR	2,08E-09	MND
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y/o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratosfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.																
	Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	8,15E-03	2,31E-04	1,09E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	9,34E-06	NR	1,66E-04	MND
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.																
	Potencial de eutrofización (EP) - Kg (PO4) eq/UF	1,29E-03	5,14E-05	1,24E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,06E-06	NR	1,90E-04	MND
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.																
	Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/UF	4,69E-04	8,48E-06	3,75E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,32E-07	NR	5,73E-06	MND
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.																
	Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	3,83E-04	1,41E-07	2,52E-09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,82E-09	NR	3,84E-08	MND
	Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	2,33E+01	6,62E-01	1,36E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,71E-02	NR	2,08E-01	MND
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.																

Tabla 42. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600”*48”*3.5”. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	4,98E+00	8,15E-03	4,48E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,00E-04	NR	6,84E-03	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	4,98E+00	8,15E-03	4,48E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,00E-04	NR	6,84E-03	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	2,61E+01	7,10E-01	1,52E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,91E-02	NR	2,32E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	2,61E+01	7,10E-01	1,52E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,91E-02	NR	2,32E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	3,22E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	3,27E-03	2,97E-05	6,02E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,35E-06	NR	9,19E-04	MND

Tabla 43. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600**48**3.5". Elaboración propia.



RESIDUOS																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	2,72E-02	1,45E-04	9,01E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,62E-06	NR	1,38E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	2,37E-01	3,06E-02	2,20E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,47E-03	NR	3,37E-02	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	5,17E-05	4,52E-06	4,85E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,86E-07	NR	7,40E-07	MND

Tabla 44. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600**48**3.5". Elaboración propia.



FLUJOS DE SALIDA																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	1,51E+00	1,32E-01	1,75E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,06E-02	NR	2,67E+00	MND

Tabla 45. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco MBI 600[™]*48[™]*3.5[™]. Elaboración propia.



9.7 Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción			Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil			D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	1,18E+00	3,69E-02	4,78E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,45E-03	NR	6,62E-01	MND
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.															
Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	1,06E-07	6,71E-09	1,25E-10	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,72E-10	NR	1,73E-09	MND
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratosfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.															
Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	7,11E-03	1,93E-04	9,99E-06	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,78E-06	NR	1,39E-04	MND
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.															
Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	1,00E-03	4,31E-05	1,14E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,72E-06	NR	1,58E-04	MND
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.															
Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	3,76E-04	7,11E-06	3,44E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,77E-07	NR	4,77E-06	MND
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.															
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	4,36E-04	1,18E-07	2,31E-09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,18E-09	NR	3,20E-08	MND
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	1,86E+01	5,55E-01	1,25E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,26E-02	NR	1,73E-01	MND
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.															

Tabla 46. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600”*48”*2.5”. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	3,25E+00	6,83E-03	4,11E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,33E-04	NR	5,70E-03	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	3,25E+00	6,83E-03	4,11E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,33E-04	NR	5,70E-03	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	2,07E+01	5,96E-01	1,39E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,43E-02	NR	1,93E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	2,07E+01	5,96E-01	1,39E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,43E-02	NR	1,93E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	3,68E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	3,09E-03	2,49E-05	5,52E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,12E-06	NR	7,66E-04	MND

Tabla 47. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600**48**2.5". Elaboración propia.



RESIDUOS																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	2,74E-02	1,21E-04	8,27E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,18E-06	NR	1,15E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	2,20E-01	2,57E-02	2,02E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,06E-03	NR	2,80E-02	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	4,37E-05	3,79E-06	4,45E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,55E-07	NR	6,16E-07	MND

Tabla 48. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600*48*2.5". Elaboración propia.



FLUJOS DE SALIDA																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización						Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.	
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos		C4 Eliminación
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
	Energía exportada MJ/FU	1,44E+00	1,11E-01	1,61E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,86E-03	NR	2,22E+00	MND

Tabla 49. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Frescasa Eco sin papel 600**48**2.5". Elaboración propia.



9.8 Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	1,09E+00	3,35E-02	4,81E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,30E-03	NR	5,95E-01	MND
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.																
	Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	9,68E-08	6,09E-09	1,26E-10	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,45E-10	NR	1,56E-09	MND
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratósfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.																
	Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	6,53E-03	1,76E-04	1,01E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,00E-06	NR	1,25E-04	MND
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.																
	Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	9,39E-04	3,92E-05	1,15E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,55E-06	NR	1,42E-04	MND
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.																
	Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	3,56E-04	6,45E-06	3,47E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,49E-07	NR	4,29E-06	MND
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.																
	Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	3,88E-04	1,07E-07	2,33E-09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,86E-09	NR	2,88E-08	MND
	Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	1,74E+01	5,04E-01	1,26E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,03E-02	NR	1,56E-01	MND
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.																

Tabla 50. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	2,92E+00	6,20E-03	4,14E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,99E-04	NR	5,12E-03	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	2,92E+00	6,20E-03	4,14E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,99E-04	NR	5,12E-03	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	1,94E+01	5,41E-01	1,40E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,18E-02	NR	1,74E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	1,94E+01	5,41E-01	1,40E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,18E-02	NR	1,74E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	3,27E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no- renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	2,80E-03	2,26E-05	5,57E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,01E-06	NR	6,89E-04	MND

Tabla 51. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.



RESIDUOS																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	2,46E-02	1,10E-04	8,33E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	6,46E-06	NR	1,03E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	2,00E-01	2,33E-02	2,04E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,85E-03	NR	2,52E-02	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	4,01E-05	3,44E-06	4,48E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,39E-07	NR	5,54E-07	MND

Tabla 52. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.



FLUJOS DE SALIDA																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	1,30E+00	1,01E-01	1,62E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,97E-03	NR	2,00E+00	MND

Tabla 53. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Isover Arena 10.16m*1.22m*0.07m. Elaboración propia.



9.9 Black Theater 96”*48”*1”.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil			D Reutilización, recuperación y reciclaje.	
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos		C4 Eliminación
Potencial de Calentamiento global (GWP) - kg CO2 equiv/UF	3,93E+00	1,12E-01	1,39E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7,62E-03	4,02E-01	2,04E+00	MND
El potencial de calentamiento global de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de ese gas con respecto a una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, que se asigna un valor de 1.															
Disminución de Ozono (ODP) - kg CFC 11 equiv/UF	3,55E-07	2,04E-08	9,69E-08	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,43E-09	1,83E-08	5,33E-09	MND
La destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta dañina para la vida. Esta destrucción de ozono es causada por la descomposición de ciertos compuestos de cloro y / o bromo que contiene (clorofluorocarbonos o halones), que se descomponen cuando llegan a la estratosfera y luego destruyen catalíticamente moléculas de ozono.															
Potencial de acidificación (AP) - Kg de SO2 eq/UF	2,36E-02	5,87E-04	6,96E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,10E-05	1,66E-03	4,26E-04	MND
Las deposiciones ácidas tienen impactos negativos sobre los ecosistemas naturales y el medio ambiente incluido el hombre, edificios. Las principales fuentes por emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte.															
Potencial de eutrofización (EP)- Kg (PO4) eq/UF	1,31E-04	2,04E-08	2,35E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	9,05E-06	5,42E-04	4,85E-04	MND
El enriquecimiento excesivo de las aguas y las superficies continentales con nutrientes y los efectos biológicos adversos asociados.															
Creación de ozono fotoquímico (POCP) - Kg etileno eq/ UF	1,58E-03	2,16E-05	3,26E-04	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,46E-06	7,44E-05	1,47E-05	MND
Las reacciones químicas provocadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de una reacción fotoquímica.															
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos no fósiles (ADPE) - kg Sb equiv/FU	1,23E-03	3,59E-07	9,79E-07	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,67E-08	2,73E-06	9,85E-08	MND
Potencial de agotamiento abiótico por Recursos fósiles (ADPF) - MJ/FU	6,50E+01	1,68E+00	1,39E+01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,19E-01	2,59E+00	5,33E-01	MND
El consumo de recursos no renovables, lo que reduce su disponibilidad para las generaciones futuras.															

Tabla 54. Resultados de impactos medioambientales durante el ciclo de vida de Black Theater 96”*48”*1”. Elaboración propia.



USO DE RECURSOS															
Parámetros	Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	9,31E+00	2,07E-02	2,49E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,75E-03	2,78E-01	1,75E-02	MND
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas) MJ/UF	9,31E+00	2,07E-02	2,49E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,75E-03	2,78E-01	1,75E-02	MND
Uso de la energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF	7,21E+01	1,81E+00	1,94E+01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,28E-01	2,96E+00	5,94E-01	MND
Uso de energía primaria no renovable utilizados como materias básicas MJ/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso total de los recursos no renovables de energía primaria (energía primaria y recursos energéticos primarios utilizados como materias primas)- MJ/UF	7,21E+01	1,81E+00	1,94E+01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,28E-01	2,96E+00	5,94E-01	MND
Uso de material secundario kg/UF	1,04E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	MND
Uso de combustibles renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso de combustibles no renovables secundarios - MJ/UF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MND
Uso neto de agua dulce m3/FU	9,73E-03	7,56E-05	4,73E-03	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5,91E-06	6,86E-04	2,36E-03	MND

Tabla 55. Resultados de uso de recursos durante el ciclo de vida de Black Theater 96”x48”x1”. Elaboración propia.



Parámetros		RESIDUOS														
		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Residuos peligrosos eliminados kg/UF	8,14E-02	3,68E-04	6,40E-02	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,78E-05	1,19E-01	3,52E-01	MND
	Residuos no peligrosos eliminados kg/UF	7,11E-01	7,78E-02	1,33E-01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1,08E-02	9,37E-02	8,62E-02	MND
	Residuos radioactivos eliminados kg/UF	1,48E-04	1,15E-05	8,06E-05	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8,14E-07	9,67E-06	1,90E-06	MND

Tabla 56. Resultados referentes a la producción de residuos durante el ciclo de vida de Black Theater 96”x48”x1”. Elaboración propia.



FLUJOS DE SALIDA																
Parámetros		Etapa del producto	Etapa del proceso de construcción		Etapa de utilización							Etapa de finalización de vida útil				D Reutilización, recuperación y reciclaje.
		A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Reemplazo	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía operacional	B7 Uso de agua operacional	C1 Deconstrucción/ demolición.	C2 Transporte	C3 Tratamiento de residuos	C4 Eliminación	
	Componentes para re-utilización kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Materiales para reciclaje kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,14E+00	-	-
	Materiales para recuperación de energía kg/FU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energía exportada MJ/FU	4,51E+00	3,37E-01	1,74E+00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4,66E-02	2,59E+00	6,84E+00	MND

Tabla 57. Resultados referentes a flujos de salida durante el ciclo de vida de Black Theater 96”x48”x1”. Elaboración propia.

