

## **APPLICATION OF LCA TO A PUMP OF HEAT IN A TERTIARY BUILDING SYSTEM**

Palomar Carnicero, Jose Manuel; López Garcia, Rafael; Lozano Miralles, Jose Adolfo  
UNIVERSIDAD DE JAEN

Industry and construction are responsible of the most important environmental impact generated by the man in his activity, being environmentally the most devastating activities. According to many current researches, it has been proved that between 60% and 65% of atmosphere emissions are caused by processes developed in the life cycle of industry and buildings.

“The Life Cycle Analysis” is a methodology that allows us to analyse, determine and justify the impact produced throughout every stage of an element, process or system. In this research, “Life Cycle Assessment” will let us determine which impacts will take place in a heat pump system and which ones will be the most important with the main aim of reducing impacts after a deep analysis of results

**Keywords:** Sustainability; Life cycle; impacts; environment; environmental engineering; resources

## **APLICACIÓN DEL ACV A UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR EN UN EDIFICIO TERCARIO**

La Industria y la edificación suman la mayor parte de los impactos medioambientales que el hombre genera en su actividad. Numerosos estudios indican que entre el 60% y el 65 % de las emisiones, son producidas durante los procesos desarrollados dentro del ciclo de vida de los materiales.

El Análisis de Ciclo de Vida es una metodología que permite analizar, determinar y justificar los impactos que se producen a lo largo de todas las etapas en la que se encuentra un elemento, proceso o sistema.

Existe un extenso trabajo por delante, en el que debemos implicar al sector industrial y edificatorio, utilizando el ACV como herramienta medioambiental global, ya que nos puede proporcionar una mejor comprensión del aporte que todos estos procesos aportan a la sostenibilidad general. Es por esto importante tener en cuenta una visión global de los impactos que produce el hombre en el medioambiente, y no quedarnos en indicadores únicos como los GEI o la huella de agua.

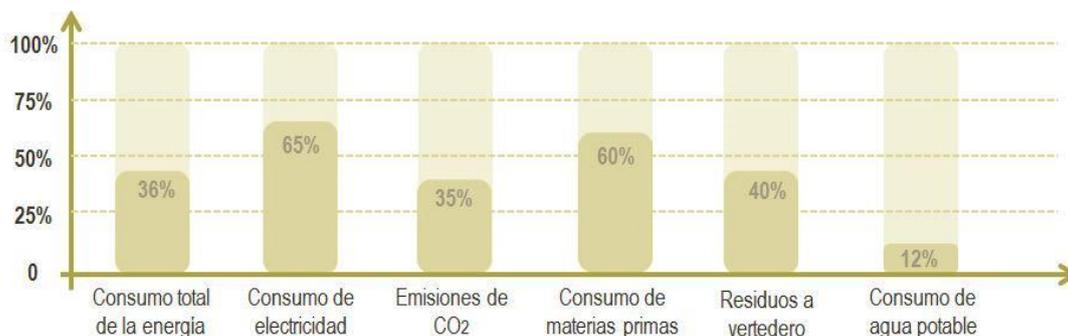
En el presente estudio, se presenta y desarrolla un ACV. Lo cual nos ha permitido determinar qué impactos se producen y cuáles son los más importantes, en un sistema, con el objetivo de poder reducirlos.

**Palabras clave:** Sostenibilidad; Ciclo de vida; impactos; medioambiente; ingeniería ambiental; recursos;

## 1.- Introducción

La mayor parte de nuestras vidas la desarrollamos en un entorno construido. La industria y la edificación consumen grandes cantidades de recursos del planeta, lo que provoca importantes impactos medioambientales. La creciente explotación de recursos naturales y el aumento de la demanda energética, hacen que nuestro estilo de vida sea insostenible. Como podemos ver en la Figura 1, el consumo de electricidad y de materias primas, encabezan la lista de estos impactos.

**Figura 1: Consumos y emisiones del sector edificatorio e industrial**



Según la Unión Europea, la UNEP y la OCDE, estos sectores están a la cabeza en el porcentaje de consumos, en generación de residuos y en emisiones (Alavedra et al., 1997).

El crecimiento de las nuevas tecnologías y la constante innovación de las mismas, producen un aumento del confort, pero paradójicamente, también, un aumento de los daños medioambientales. Para reducir estos efectos dañinos, hay que identificar los impactos y los daños en cada etapa o proceso, para que mediante métodos efectivos, podamos aplicar las medidas correctoras. Uno de éstos métodos es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), el cuál de una forma sistemática y objetiva, constituye la herramienta medioambiental más apropiada. (Fullana y Puig 1997).

Según la ISO 14040, el ACV se define como la recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida. De esta forma, se convierte en una herramienta para el análisis de los impactos medioambientales en cualquiera de las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de materias primas, a través del transporte y producción de los materiales y sistemas, así como en el uso, mantenimiento y disposición final de los mismos, según se desarrolla en la Guide for Life Cycle Assessment de la *JRC European Commission*.

En 1991, la UE creó el Comité Consultivo sobre Medioambiente, con el principal objetivo de buscar las estrategias para la creación de unos estándares medioambientales. Teniendo como consecuencia la creación del Comité Técnico TC 207. Una de las actividades desarrolladas por este Comité fue el desarrollo de las Normas ISO 14000 estandarizadas (tabla 1), que describen el proceso de un Análisis de Ciclo de Vida. (Guinée et al., 2001),

**Tabla 1: Serie ISO 14000 Standard**

Standard	Descripción	Primera Edición
ISO 14040	Principios y marco de referencia	1997
ISO 14041	Objetivo, alcance y análisis del inventario	1998

ISO 14042	Evaluación del impacto	2000
ISO 14043	Interpretación de resultados	2000

## 2.- Objetivos

De acuerdo a estas normas, nuestro principal objetivo es la aplicación de un Análisis de Ciclo de Vida a un Sistema de Bomba de Calor situado en un edificio terciario, usando para ello la metodología EPS 2000. Esto nos permitirá, en un futuro, tener conocimiento de los impactos que producen otras alternativas, y poder otro criterio más a la hora de la elección de un determinado sistema en la redacción de los Proyectos técnicos.

## 3.- Metodología

### 3.1 Equipos

La bomba de calor seleccionada tiene las siguientes características, de acuerdo a los requerimientos térmicos demandados por cuatro aulas de 93,90 m<sup>2</sup> localizadas en un edificio de la Universidad de Jaén. El análisis se realizó a una bomba de calor compuesta por una máquina exterior de la marca MITSUBISHI ELECTRIC, modelo FDCA224HKXE4, y cuatro máquinas interiores de la misma marca y modelo FDT36KX. Las especificaciones técnicas de estas máquinas son las que se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Especificaciones técnicas de la bomba de calor**

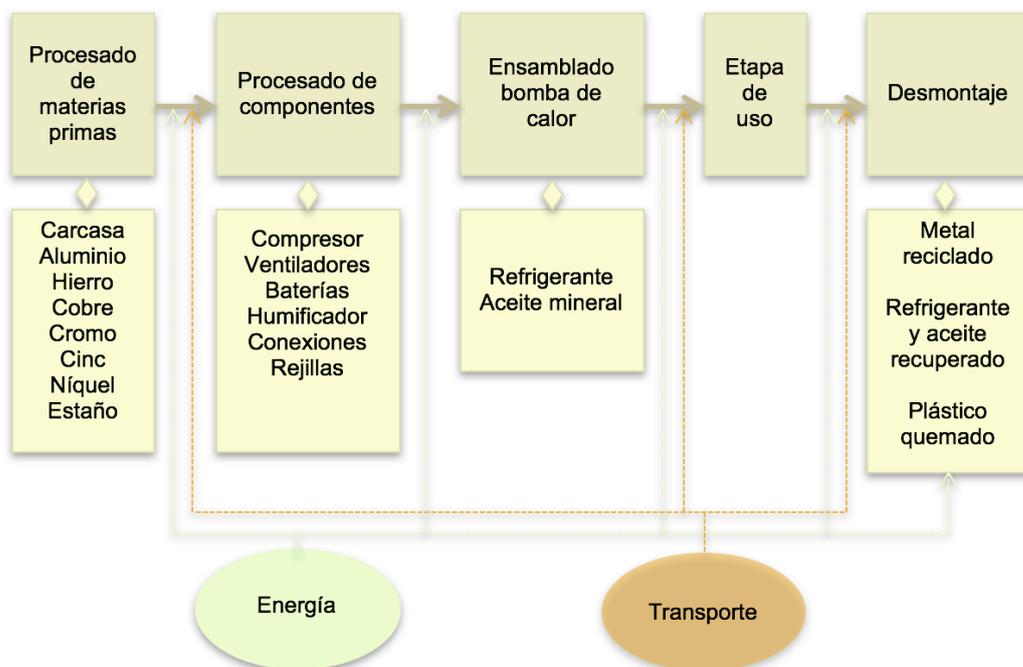
Funcionamiento en modo refrigeración o calefacción				
Modelo			FDCA224HKXE4	FDT36KX
Capacidad	Frio	kw	22,4	3,6
		kcal/h	19.350	3.150
	Calor	kw	25	4
		kcal/h	21.600	3.500
Consumo eléctrico	Frio		5,7	
	Calor	kw	5,98	
Nivel sonoro		dB (A)	57	31
Dimensiones externas		mm	1.690 x 1.350 x 720	246 x 840 x 840
Peso		kg	240	22
Caudal de aire (estándar)		m <sup>3</sup> /min	220	18
Tipo de compresor			GT-C5150ND71 x 1	
Motor del compresor		kw/ud	5,6 x 1	
Motor del ventilador		w x ud	120 x 2	50 x 1
Aceite refrigerante		l	1,75 (M-MA32R)	
Refrigerante			R410A	
Cantidad de refrigerante		kg	11,5	
Tipo de ventilador y cantidad			Ventiladores axiales x 2	
Unidades conectadas		ud	1	4

### 3.2 Ciclo de vida

Para entender de una manera sencilla el ciclo de vida de la bomba de calor, hemos realizado el siguiente diagrama representativo, tal y como se observa en la Figura 2. En él se desglosan los flujos de materiales y la energía que habitualmente se necesitan para este tipo de sistemas. Los datos para la realización del inventario fueron obtenidos de los catálogos correspondientes a cada máquina, y adaptados a las unidades y características de la base de datos utilizada. Así mismo, para el cálculo de distancias para el transporte de los aparatos ya fabricados, se ha considerado que la fábrica se encuentra en Sevilla, y que para su montaje en el edificio, se ha utilizado un camión completo hasta el almacén de la empresa instaladora. Posteriormente, la distribución se ha realizado mediante furgoneta hasta el edificio donde se realiza la instalación.

De la misma forma, al introducir los datos en el programa informático, se han considerado los elementos y procesos que nos aportan más información medioambiental. Otro punto a considerar es, que al final de la vida útil del sistema, se produce un desmontaje y reutilización de algunos elementos, siendo esta fase, opcional según diversos factores. Se ha considerado la recogida y recuperación del refrigerante y el aceite mineral, proceso obligatorio por la normativa española.

Figura 2. Ciclo de vida



### 3.3 Inventario

A continuación describimos las partes y los materiales más significativos de las que se compone el sistema estudiado, expresando las cantidades de cada elemento y la totalidad del conjunto, como podemos observar en la Tabla 3. De ésta forma obtenemos todos los datos necesarios que nos harán falta para la posterior introducción en el software de cálculo.

**Tabla 3. Inventario del sistema de bomba de calor**

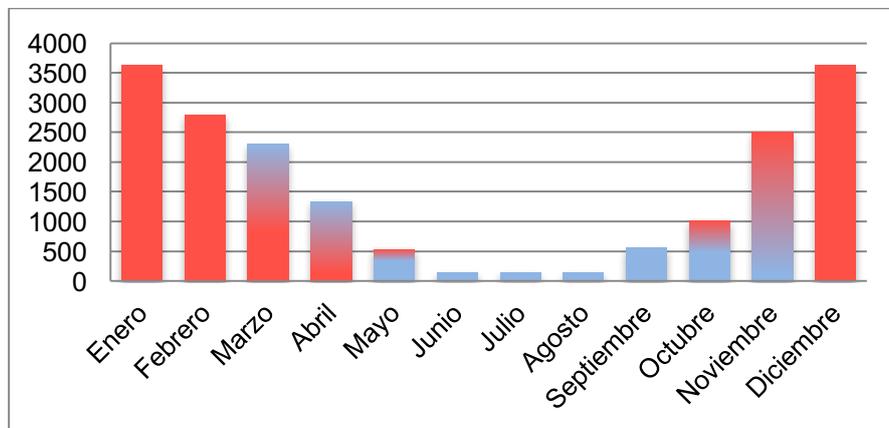
INVENTARIO				
CONCEPTO	EXTERIOR	INTERIOR	CONEXIONES	TOTAL
MATERIAS PRIMAS (kg)	FDCA224HKXE4	FDT36KX	4 ud	1 ext + 4 int
Carcasa (plástico)	86,89			86,89
Hierro	78,07	35		112,93
Aluminio	40,17	38		77,95
Cobre	17,11	9	16,35	42,79
Níquel	3,48			3,48
Plomo	3,48			3,49
Cromo	2,89			2,89
Polietileno	5,82	6		11,36
Cinc	1,11			1,46
Estaño	0,02			0,04
PVC	0,09			0,19
Goma	0,82			0,82
Total	240,00	88,00	16,35	344,36
ENERGIA				MJ
Petróleo (Caldera, 1 MW)	1.538,81	618,57	154,64	2.312,03
Gas natural industrial (>100 kW)	1.538,81	618,57	154,64	2.312,03
Electricidad de Medio Voltaje	112,83	45,36	11,34	169,54
TRANSPORTE				tKm*
Camión (40 t)	23,91	8,80	1,63	34,35
Furgoneta (<3,5 t)	55,01	20,24	3,76	79,010
Tren	47,83	17,60	2,61	68,05
BASURA (incinerador público)				KG
Polipropileno	5,82	5,53		11,36
PVC (Policloruro de vinilo)	0,09	0,09		0,19
Goma	0,82	0,00		0,82
EMISIONES A LA ATMÓSFERA				MJ
Calor residual	112,84	45,36	21,12	179,32

tKm\*. Esta unidad es el transporte de 1 tonelada de material en 1 km  
Para el cálculo del transporte, se ha considerado la fábrica en Sevilla.

### 3.4 Consumo anual de energía

Para el cálculo del consumo anual de energía se han considerado los siguientes límites: la temperatura de funcionamiento seleccionada para el interior de los edificios terciarios es de 22 °C invierno y de 24 °C en verano, considerando la normativa española sobre diseño de máquinas térmicas (RITE, 1988. Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios). El horario de trabajo (aulas de docencia), es de 09.00 h a 20.00 h. El cálculo de los días lectivos viene desarrollado de la siguiente manera: 2 cuatrimestres de 22 días/mes, obtenemos un uso de 176 días. Por lo que el total de horas de trabajo del sistema es de 3.036 horas/año. Considerando una expectativa de vida de la bomba de calor de 10 años, obtenemos un total de 19.360 horas. Por lo tanto el consumo de energía en este período, sería de 115.772,80 kw, o lo que es lo mismo 0,4167 TJ. En la figura 3, podemos analizar la estacionalidad significativa en el consumo, debido a la actividad a la que está destinado el edificio, edificio terciario con uso docente.

Figura 3. Consumo de energía (kWh)



### 3.5 Análisis del impacto medioambiental

Para la evaluación del impacto existen diversos indicadores, recogidos en bases distintas bases de datos. Nos podemos encontrar con numerosas de ellas siendo cada una específica en función del campo de actuación y de las líneas de impacto que consideremos más importantes, como nos describen Goedkoop y Collignon (2000).

Con los datos anteriormente aportados, realizamos una evaluación de los impactos medioambientales que el sistema de bomba de calor provoca. Para ello utilizaremos un software, llamado Simapro, en el que dentro de las distintas bases de datos disponibles, utilizaremos la EPS 2000 (Environmental Priority Strategies) (Steen B. 1999a,1999b). Esta metodología evalúa los daños provocados en cuatro categorías de impacto, cuya características describimos en la tabla 4.

Tabla 4. Indicadores de los impactos

CATEGORIA DE IMPACTO	INDICADOR DE CATEGORIA	UNIDADES
Calidad del ecosistema	FDP*	FDP x m2 x año
Salud humana	DALY**	Persona x año

Recursos naturales	Daño a los recursos	MJ/kg
--------------------	---------------------	-------

Recursos abióticos***	Agotamiento	kg
-----------------------	-------------	----

\* Fracción de desaparición potencial del ecosistema por m2 y año.

\*\* Disability-adjusted life year: Reducción de los años de vida por persona/año.

\*\*\* Recursos climáticos, geológicos y geográficos. (Biodiversidad)

Esta metodología fue desarrollada durante 1989 por el Instituto de Investigación medioambiental Sueco en colaboración con Volvo y la Federación de Industrias Suecas. (Steen, 1999), desde entonces ha sido modificado en numerosas ocasiones originando una metodología resultante más eficiente y extensa. En la última modificación realizada se incorporó la evaluación de los impactos respecto la Salud humana. (Rey et al., 2004).

#### 4. Resultados

Una vez introducidos los datos del inventario, el programa nos facilita los resultados que se muestran en la tabla 5, donde podemos analizar los porcentajes de contribución que aportan las diferentes partes del sistema de bomba de calor a cada categoría de impacto. Estos datos nos han sido facilitados por el programa, a partir del cálculo del consumo de energía anual que produce el sistema a lo largo de la vida útil estimada del sistema.

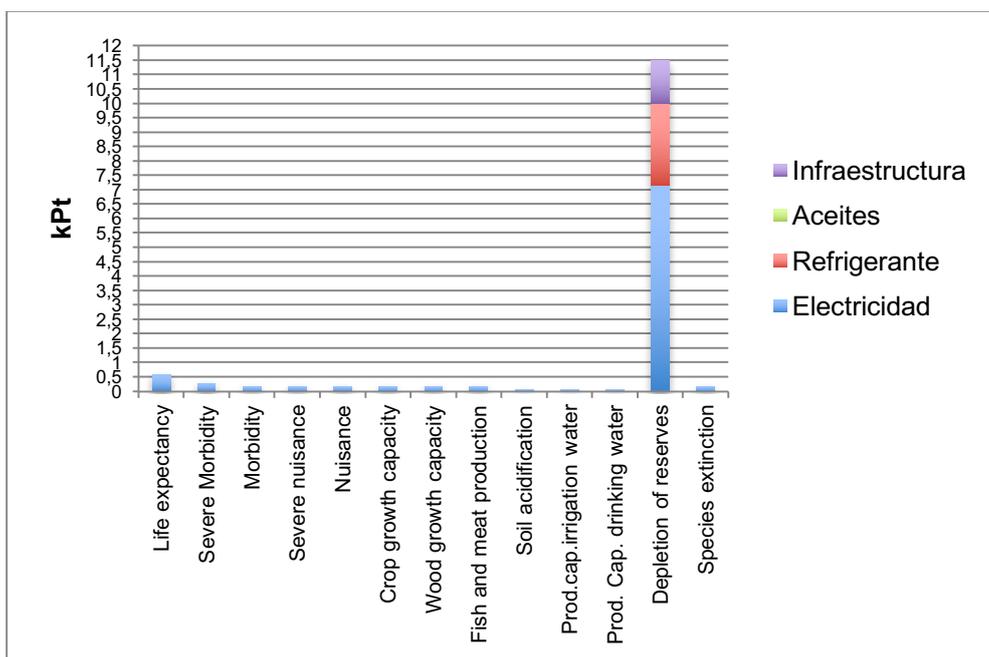
**Tabla 5. Análisis de ciclo de vida de la bomba de calor usando TJ como unidad de referencia**

Recursos no energéticos		Recursos energéticos	
Barita (kg)	30,95	Madera (kg)	17,56
Bauxita (kg)	251,49	Energía del agua (MJ)	88,36
Calcita (kg)	17,38	Lignita (kg)	3,32
Cr (kg)	5,74	Gas Natural (MJ)	446,25
Mn (g)	6,19	Petróleo (kg)	12,29
Ni (g)	8,27	Uranio (kg)	8,6006
Zinc (kg)	309,14		
Sn (g)	2,23		
Emisiones al agua		Emisiones a la atmósfera	
Sulfatos (kg)	122,91	CO <sub>2</sub> (kg)	106,93
NH <sub>3</sub> (kg)	13,17	SO <sub>x</sub> (kg)	10,09
Grasas y aceites (kg)	0,3003	CH <sub>4</sub> (kg)	10,75
Al (g)	83,62	CFC (g)	5,011
Ba (g)	193,33	Partículas (kg)	391,65
Pb (g)	714,11	Cd (kg)	1,44
Ca (g)	5,058	Pb (kg)	189,40

Cr(III) (kg)	1,070	Otros metales (kg)	44,54
K (mg)	593,91	Calor residual (MJ)	2.344,04
Na (kg)	19,64		
Calor residual (MJ)	56.468,59		

De las gráficas obtenidas, podemos analizar los impactos que producen cada parte del sistema de bomba de calor, que vienen recogidos en la Figura 4 siguiente:

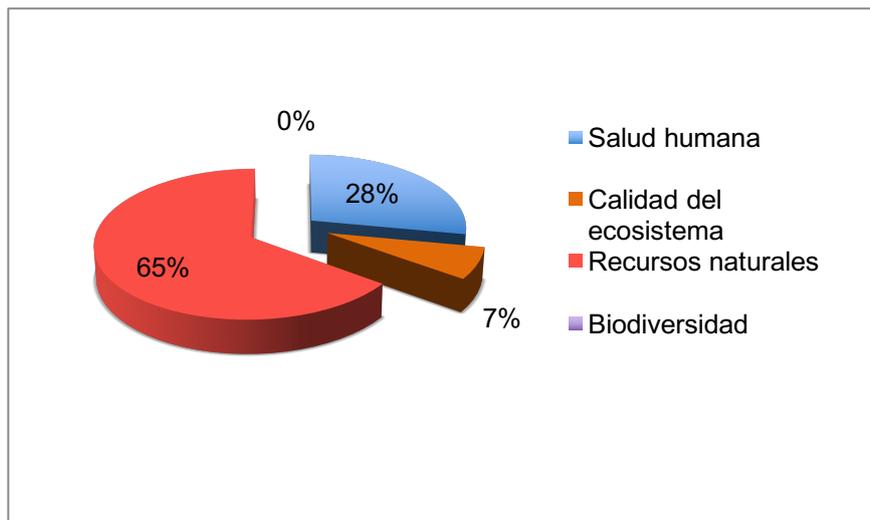
**Figura 4. Indicadores de impacto de la bomba de calor según EPS 2000**



En esta gráfica podemos observar como el impacto más importante se produce sobre el agotamiento de los recursos (figura 5), motivado por la generación de la electricidad necesaria para la fabricación y uso del sistema. Seguidos a estos impactos se encuentran el impacto del refrigerante y de la infraestructura, sobre el agotamiento de los recursos.

Haciendo un estudio en función de las categorías, la metodología EPS 2000 nos marca que durante la fabricación y uso de la bomba de calor, el agotamiento de recursos es el 65% del total de la contribución. Así mismo, es también importante el impacto sobre la expectativa de vida (Salud humana), que viene a ser el 28%, generadas principalmente por las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la etapa de generación de electricidad, mientras que el porcentaje restante 7% corresponde con el impacto sobre los ecosistemas.

**Figura 5. Importancia del daño según la categoría de impacto**



## 5. Conclusiones

De forma general, podemos estar de acuerdo, en que el uso del ACV como metodología para determinar los impactos producidos durante el ciclo de vida de los productos, procesos o sistemas analizados, es satisfactoria y nos aporta una información necesaria para la toma de decisiones, que podrán afectar a diversos aspectos, como la elección de materiales en la etapa de producción, la elección de un sistema de producción de energía en la etapa de redacción de Proyectos o las políticas medioambientales de consumo de energía.

De forma específica, del análisis de los resultados obtenidos, podemos determinar varios resultados importantes. Uno de ellos, es que el principal impacto de un sistema de bomba de calor, situado en un edificio terciario, se produce durante su etapa de fabricación y uso, y que afecta al agotamiento de los recursos. Estos resultados, coinciden en un tanto por ciento muy elevado con los obtenidos en otros trabajos similares, como pueden ser los realizados por Rey et al. Esto nos indica, que la elección de los materiales con los que se fabrican los componentes y la eficiencia energética del edificio, son imprescindibles si pretendemos reducir el impacto que producen estos sobre el medioambiente. Así mismo, la decisión de elección sobre la expectativa de vida y la elección del refrigerante del sistema son extremadamente importantes.

Es importante enfatizar que con el nuevo criterio medioambiental que nos aporta el ACV en general, y específicamente el presente estudio con este tipo de sistemas ubicados edificios terciarios, nos suponen una innovación importante, y que progresivamente, con nuevas investigaciones, nos aportarán datos que nos permitan fundamentar y justificar la elección de un sistema de producción de energía u otro, con mayor criterio.

Es por ello recomendable, que para completar y aumentar el aporte científico que hemos obtenido con estos resultados, el realizar estudios similares sobre otros sistemas que puedan ser alternativas directas a la bomba de calor analizada, así como el realizar un comparativo con otras metodologías existentes, en este tipo de edificios terciarios.

## 6. Referencias bibliográficas.

- Alavedra et al. (1997). La construcción sostenible: el estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 49(451), 41- 47.
- Dr. Bayer, C. Project Director. AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice. Georgia Institute of Technology.
- Goedkoop, Effting y Collignon (2000). The eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Manual for Designers. 17 April. Amersfoort, *The Netherlands: PRE Consultants*. P.34.
- Guinée, J.B. et al. (2001). Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Fullana, P. y Puig, R. (1997). Análisis del Ciclo de Vida. (pp.144-146). *Rubés Ed. Barcelona, Spain*.
- ILCD Handbook. General Guide for Life Cycle Assessment. *JRC European Commission*. Via E. Fermi,, 2749 -21027 Ispra (Italy).
- Steen, B. (1999a). A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000. General system characteristics. Gothenburg. *Chalmers University of Technology*, p. 67. Disponible en: [http://pre.nl/simapro/impact\\_assessment.methods.htm](http://pre.nl/simapro/impact_assessment.methods.htm).
- Steen, B. (1999b). A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000. General system characteristics. Gothenburg. *Chalmers University of Technology*, p.67. Disponible en: [http://pre.nl/simapro/impact\\_assessment.methods.htm](http://pre.nl/simapro/impact_assessment.methods.htm).
- Rey et al. (2004). Life cycle assessment and external environmental cost analysis of heat pumps. *Environmental engineering science*, 21(5), 591-605.
- Real Decreto:**  
España. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de agosto de 2007, núm. 207, pp.35931-35984.