

---

Desarrollo de una **metodología** dentro de la fase de **ecodiseño** en el proceso de fabricación e instalación de **placas solares térmicas** mediante modelos de análisis ambiental según la **metodología ACV. Caso práctico.**

## **Juliana Raigosa Montoya**

Directora: Núria Garrido Soriano

Profesor colaborador: Martí Rosas Casals

### **En cooperación educativa con:**

Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático

*Escuela Superior de Comerç Internacional (ESCI) – Universitat Pompeu Fabra*

### **Tutores externos:**

Cristina Gazulla

Marco Raugei

**Proyecto Final de Master (PFM)**

Master en Sostenibilidad

Enero 2012 - UPC

## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia: mis padres y mi hermano, que aún estando lejos físicamente, están muy cerca y me han apoyado siempre y confiado en mí. A ellos este proyecto y todos mis logros como persona y como profesional, porque les debo todo.*

*A David, el motor de mi vida, que no me ha dejado de apoyar nunca y que confía en mí casi más que yo misma. A él especialmente le debo haber encontrado este proyecto.*

*A todos mis amigos y personas que se han convertido en mi familia en Barcelona. Y aquellos que están en Colombia, que nunca me han dejado de acompañar.*

*A mis tutores de la UPC, Núria y Martí, siempre disponibles, siempre positivos y de los cuales aprendí muchísimo, gracias por compartir sus conocimientos.*

*A todos en la Cátedra UNESCO-ESCI, por qué son un grupo de trabajo maravilloso lleno de personas valiosas y grandes profesionales e investigadores. Dentro de la Cátedra, especialmente a:*

*Cristina, por haberme abierto las puertas, por haberme dado la oportunidad de participar del proyecto Renia, de aprender y por darme un espacio en la Cátedra.*

*Marco, por su tiempo, conocimiento, carisma y por compartir su larga experiencia conmigo. Es un investigador del que se aprende siempre, ya sea en una reunión o una charla informal.*

*Oscar, por su paciencia, su tiempo, y su disponibilidad día si día también. Por haber compartido conmigo todo lo que sabe.*

*Gracias a todos. ¡Todo esfuerzo tiene su recompensa!*

## Tabla de contenido

---

Resumen.....	1
Resum.....	2
Abstract .....	3
1. Introducción .....	4
2. Objetivos y Alcance .....	6
3. Justificación .....	8
4. Metodología para el PFM .....	10
5. Marco Teórico .....	12
5.1 El proyecto Renia .....	12
5.2 Las energías renovables en España.....	14
5.3 La energía solar .....	17
5.3.1 Evolución en España .....	17
5.3.2 Energía solar fotovoltaica .....	18
5.3.3 Energía solar térmica .....	20
5.4 Herramientas metodológicas y normativa relacionada .....	29
5.4.1 Ecodiseño.....	29
5.4.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....	39
6. Estado del arte.....	42
7. Metodología de Ecodiseño .....	50
8. Caso de estudio: Termicol .....	58
8.1 Descripción de la empresa (productos y servicios) .....	58
8.2 Aplicación de la metodología propuesta.....	60
8.2.1 Descripción del sistema y escenario base.....	60
8.2.2 ACV del escenario BASE .....	63
8.2.2.1 Definición de alcance y objetivos .....	63
8.2.2.2 Análisis de Inventario .....	65
8.2.2.3 Evaluación de impactos.....	74
8.2.2.4 Interpretación .....	80
8.2.3 Perfil del producto .....	83
8.2.4 Definición de escenarios.....	85
8.2.5 Evaluación y comparación de escenarios .....	86
8.2.6 Conclusiones y recomendaciones para el sistema .....	94
8.2.7 Conclusiones y adaptación para la metodología .....	95
9. Conclusiones y recomendaciones .....	96
10. Referencias .....	101

## Índice de figuras y tablas

---

### *Lista de Figuras*

Figura 1. Metodología para el proyecto .....	10
Figura 2. Evolución de la energía adquirida al régimen especial.....	15
Figura 3. Aportación del régimen especial a la cobertura de la demanda peninsular .....	17
Figura 4. Evolución de la energía adquirida al régimen especial.....	17
Figura 5. Patentes generadas de las diferentes energías renovables .....	20
Figura 6. Típico colector plano .....	22
Figura 7. Diagrama esquemático de un colector de tubo de vacío .....	24
Figura 8. Esquema de un sistema de termosifón .....	25
Figura 9. Diagrama de un sistema de circulación directa para el calentamiento de agua .....	27
Figura 10. Diagrama de un sistema de circulación indirecta para el calentamiento de agua .....	28
Figura 11. Etapas del ciclo de vida de un producto y su potencial de mejora.....	30
Figura 12. Matriz MET (Materiales, energía y toxicidad).....	32
Figura 13. Rueda LiDS .....	34
Figura 14. Diagrama de telaraña (E-concept).....	35
Figura 15. Eco-compass .....	35
Figura 16. Fases y estructura del ACV .....	40
Figura 17. Ejemplo de un grupo de unidades de procesos dentro de un sistema de producto.....	41
Figura 18. Metodología de Ecodiseño .....	50
Figura 19. Principales fases de un estudio de ACV .....	51
Figura 20. Plantilla de gráfico para el perfil del producto o sistema evaluado .....	55
Figura 21. Ejemplo de gráfico para perfil del producto según el impacto de sus componentes .....	55
Figura 22. Colector solar plano horizontal de Termicol.....	58
Figura 23. Esquema del equipo forzado TKA2/300S .....	61
Figura 24. Límites del sistema de Gas natural .....	63
Figura 25. Límites del sistema solar térmico forzado de Termicol .....	64
Figura 26. Perfil del producto: Sistema solar completo TERMICOL con respecto a un sistema tradicional a Gas Natural.....	84
Figura 27. Relación entre categorías de impacto y componentes del sistema solar forzado .....	84
Figura 28. Perfil de los escenarios propuestos con respecto al escenario base=1.....	93
Figura 29. Perfil de los escenarios propuestos con respecto al Sistema de Gas natural=1.....	93

## *Lista de tablas*

Tabla 1. Componentes de un sistema fotovoltaico .....	19
Tabla 2. Resumen del estado del arte .....	42
Tabla 3. Formato de tabla para la descripción de escenarios .....	56
Tabla 4. Características técnicas de los colectores planos de la empresa Termicol.....	59
Tabla 5. Descripción del caso base y sistema seleccionado .....	62
Tabla 6. Componentes del colector.....	65
Tabla 7. Cálculo de datos para un tanque de 300l .....	65
Tabla 8. Demanda anual para el caso de estudio (Vivienda unifamiliar con 6 habitantes).....	68
Tabla 9. Fracción solar del sistema forzado Termicol.....	69
Tabla 10. Componentes de la caldera a Gas.....	70
Tabla 11. Procesos de Eco-invent© utilizados en el sistema de Gas natural.....	71
Tabla 12. Procesos de Eco-invent© utilizados en el sistema solar térmico forzado.....	71
Tabla 13. Algunos datos de inventario de ciclo de vida según la norma EN 15084 .....	73
Tabla 14. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida: comparación de los totales de los dos sistemas básicos: Sistema solar completo y sistema 100% a Gas natural. ....	76
Tabla 15. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida: desagregación del sistema solar completo en sus dos subsistemas principales. ....	77
Tabla 16. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida: desagregación del sistema solar forzado en sus principales componentes. ....	78
Tabla 17. Normalización de los resultados de las categorías de impacto, tomando como valor de referencia el sistema 100% Gas natural (GN=1).....	80
Tabla 18. Desagregación de la categoría Agotamiento de recursos abióticos para el acumulador (tanque) .....	81
Tabla 19. Resumen de descripción de escenarios .....	85
Tabla 20. Comparación dimensional entre tubos de acero y cobre de diámetro interior equivalente .....	86
Tabla 21. Resultados del escenario 1 con respecto al escenario base. ....	87
Tabla 22. Propiedades de diferentes tipos de policarbonatos de paredes múltiples .....	88
Tabla 23. Comparación de datos de eficiencia para el colector .....	89
Tabla 24. Resultados del escenario 2 con respecto al escenario base. ....	89
Tabla 25. Resultados del escenario 3 con respecto al escenario base. ....	90
Tabla 26. Comparación de tipos de aluminios encontrados en la base de datos Eco-invent© .....	91
Tabla 27. Resultados del impacto del colector del escenario 3 con respecto al escenario base. ....	92

*Palabras clave: energía solar térmica, análisis de ciclo de vida, ecodiseño, herramientas metodológicas. ACV, DAP.*

La energía solar es considerada una fuente de energía limpia, por su uso del recurso inagotable del sol; tal y como otras fuentes de energía renovable, no está exenta de la generación de impactos ambientales relacionados con su fabricación, extracción de materiales, uso, mantenimiento y fin de vida. Tomando este principio como base y enmarcado en el proyecto Renia, que persigue la creación de un software para la evaluación y comunicación ambiental de placas solares térmicas y fotovoltaicas, el presente proyecto aporta una metodología de ecodiseño que permite evaluar e identificar puntos débiles de placas solares térmicas y proponer escenarios de ecodiseño para realizar mejoras y recomendaciones tanto a fabricantes como instaladores de las mismas.

Partiendo del análisis de la situación actual de la energía solar en España -en línea de crecimiento- y del entendimiento de los sistemas solares térmicos, sus principios y funcionamiento; de las herramientas metodológicas como el Análisis de Ciclo de Vida, de la normativa relacionada con los temas relevantes del proyecto, y de la realización de un estado del arte sobre otros estudios similares realizados para evaluar el impacto ambiental de sistemas solares térmicos, se diseña una metodología que en seis pasos permite definir, evaluar, proponer escenarios, compararlos y realizar recomendaciones de ecodiseño a cualquier investigador, empresa fabricante o instaladora.

La aplicación de esta metodología a un caso de estudio específico permite identificar cómo los esfuerzos, cambios de ecodiseño y posibles investigaciones en un sistema solar forzado que hace uso de un sistema auxiliar de gas natural para abastecer una casa unifamiliar de agua caliente sanitaria (ACS) deben estar enfocadas en el colector y el tanque, como componentes de mayor impacto. Se observa cómo el cambio de materiales puede afectar el rendimiento del sistema o disminuir su eficiencia. El uso es una etapa vital en el impacto que generan los sistemas solares, y debe ser tenida en cuenta por fabricantes, instaladores y usuarios, ya que determinan si el sistema se encuentra dentro de los límites para los que ha sido diseñado, y no se vea sobredimensionado o subdimensionado.

Las futuras líneas de investigación deberán enfocarse en el uso, la instalación y en experimentos prácticos que consigan arrojar respuestas sobre nuevos materiales, que sean de mayor duración, cumplan las mismas funciones y otorguen a estos sistemas una vida útil más larga permitiendo una mayor amortización de su costo económico e impacto ambiental.

*Paraules clau: energia solar tèrmica, anàlisi de cicle de vida, ecodisseny, metodologies. ACV, DAP.*

L'energia solar és considerada una font d'energia neta, per la seva utilització del recurs inesgotable del sol; al igual que altres fonts d'energia renovable, presenta impactes ambientals relacionats amb la seva fabricació, extracció de materials, ús, manteniment i fi de vida. Amb aquest principi com a base, i emmarcat dins del projecte Renia, que persegueix la creació d'un software per a l'avaluació i comunicació ambiental de plaques solars tèrmiques i fotovoltaïques, el present projecte aporta una metodologia d'ecodisseny que permet avaluar i identificar punts febles de plaques solars tèrmiques i proposar escenaris d'ecodisseny per a realitzar millores i recomanacions tant als fabricants com als instal·ladors de les plaques.

Partint de l'anàlisi de la situació actual de l'energia solar en Espanya -en creixement- i de la comprensió dels sistemes solars tèrmics, els seus principis i funcionament; de metodologies com l'Anàlisi del Cicle de Vida, de la normativa relacionada amb els temes rellevants del projecte, i de la realització d'un estat de l'art sobre altres estudis similars realitzats per a avaluar l'impacte ambiental de sistemes solars tèrmics, es dissenya una metodologia que en sis passos permet definir, avaluar, proposar escenaris, comparar-los i realitzar recomanacions d'ecodisseny a qualsevol investigador, empresa fabricant o instal·ladora.

L'aplicació d'aquesta metodologia a un cas d'estudi específic permet identificar com els esforços, canvis d'ecodisseny i possibles investigacions en un sistema solar forçat que fa ús d'un sistema auxiliar de gas natural per a subministrar a una casa unifamiliar aigua calenta sanitària (ACS) deuen estar enfocats en el col·lector i en el dipòsit, com a components de major impacte. S'observa com el canvi de materials pot afectar al rendiment del sistema o disminuir la seva eficiència. L'ús és una etapa vital en l'impacte que generen els sistemes solars; i fabricants, instal·ladors i usuaris han de tenir-ho en consideració, donat que determinen si el sistema es troba dins dels límits per als què ha sigut dissenyat, i no es vegi sobredimensionat o subdimensionat.

Les futures línies d'investigació hauran de centrar-se en l'ús, la instal·lació i experimentació pràctica al voltant de nous materials, que siguin de major duració, compleixin les mateixes funcions i atorguin a aquests sistemes una vida útil més llarga, possibilitant una major amortització del seu cost econòmic i impacte ambiental.

*Key words: Solar thermal energy, Life cycle assessment, ecodesign, methodological tool, LCA, EPD.*

Solar energy is considered a clean source of energy, mostly because it uses the inexhaustible energy of the sun; however, like other renewable energies, it is responsible for the generation of environmental impacts involved in its production, extraction of materials, use, maintenance and end-of-life. Based on this last statement and as part of the *Renia* project- that persuades the creation of a software for the environmental evaluation and communication of thermal and photovoltaic systems-, this project aims to create an ecodesign methodology able to evaluate solar thermal systems and identify their weak points in order to propose different ecodesign scenarios. These results can be used to recommend improvements and changes to both producers and installers of this type of systems.

The research begins with the current situation of solar energy in Spain -in a growing trajectory- and it is followed by the understanding of all the relevant concepts involved in this project: solar thermal systems performance and functioning, methodological tools as Life cycle assessment, international standards and norms, and the state of art of similar studies; finally an ecodesign methodology has been designed, establishing six steps that allow researchers, producers and installers, to define, evaluate, propose scenarios and compare them, to end up with ecodesign recommendations.

The use of this methodology in a case study shows that the major efforts, ecodesign changes and future research of a forced circulation solar collector that uses an auxiliary system of natural gas to provide hot water to a family house, should be focused in the flat plate collector and the water tank. Both of these elements have the biggest impact in the system. Based on the case study it can also be concluded that the change of materials can reduce the efficiency of the solar system. The use is one of the most important life stages in this type of systems, and it should be taken into consideration by producers, installers and users, because all of them determine if the system is used according to the limits that it was design for, avoiding them to be oversized or undersized.

Future research must be focused in life stages like use and installation, and in practical studies that could give an answer about new and more resistant materials, that guarantee the optimal functioning and a long life of solar thermal systems, reaching lower payback times (economic and environmental).



---

## 1. Introducción

El presente trabajo conforma el Proyecto Final del Máster de Sostenibilidad de la Universitat Politècnica de Catalunya - UPC y ha sido realizado bajo la supervisión de la directora Núria Garrido Soriano y el profesor colaborador Martí Rosas Casals. Además, el proyecto es fruto de la cooperación educativa con la Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático de la Escuela Superior de Comerç Internacional (ESCI) de la Universitat Pompeu Fabra, donde se cuenta con la supervisión y tutoría externa del investigador senior Marco Raugei, la subdirectora Cristina Gazulla y el investigador junior Oscar Enguita.

Este proyecto con título: *“Desarrollo de una metodología dentro de la fase de ecodiseño en el proceso de fabricación e instalación de placas solares térmicas mediante modelos de análisis ambiental según la metodología ACV. Caso práctico”*, aborda conocimientos tanto teóricos como prácticos sobre el funcionamiento, impacto ambiental y posibles cambios y recomendaciones de ecodiseño de sistemas solares térmicos instalados en edificaciones; y arroja posibles futuras líneas de investigación o claridad sobre los puntos de mayor relevancia a lo largo de la vida de estos sistemas, para así conseguir que tanto fabricantes como instaladores logren una ventaja competitiva, a través de sistemas solares de menor impacto, mayor duración y mayor aprovechamiento de la fuente energética renovable inagotable del sol.

Estos conocimientos teóricos y prácticos se desarrollan en ocho capítulos. En los objetivos y el alcance (2) se describe de manera puntual el proyecto, qué pretende alcanzar y cómo se enmarca de manera más específica dentro del proyecto en marcha de la Cátedra UNESCO ESCI. La justificación del proyecto (3) describe la importancia en la investigación de temas como la energía solar, el análisis del ciclo de vida, y el margen de mejora de productos que ya son considerados ambientalmente amigables. La metodología para el proyecto (4) contiene la estructura y principales fases del mismo, estableciendo las actividades y resultados esperados. El marco teórico (5) establece las bases de conocimiento de los temas de relevancia en el presente trabajo, tales como la energía solar en España, la energía solar térmica –su crecimiento en España, principios de funcionamiento, tipos de sistemas, normativa, instalación, entre otros-. Además se describen las principales herramientas metodológicas de ecodiseño, entre las cuales el Análisis de ciclo de vida (ACV) es de gran importancia, junto con su normativa. El capítulo (6) muestra una tabla resumen del estado del arte del proyecto, donde se describen los principales estudios y artículos de evaluación de placas solares térmicas realizados anteriormente, aportando importantes conclusiones sobre mejoras ya realizadas, puntos débiles encontrados y recomendaciones sobre estos sistemas. En el desarrollo de la metodología de ecodiseño (7) se recopilan los conocimientos y teoría de los capítulos (5) y (6) para establecer una serie de pasos que permiten evaluar un sistema solar térmico específico, empezando con la definición del sistema como escenario base, realizando un estudio de ACV para encontrar sus componentes de mayor impacto, estableciendo escenarios de ecodiseño, para luego evaluarlos y compararlos con el escenario base y concluir qué recomendaciones se hacen para el producto y para la metodología. La aplicación de la metodología a un caso práctico en el capítulo (8) permite ver la aplicabilidad y la utilidad de la misma analizando un

sistema solar térmico de una empresa real, lo que permite encontrar sus puntos débiles y plantear unos escenarios con ayuda del estado del arte, que luego darán como conclusiones recomendaciones de ecodiseño y futuras líneas de investigación y trabajo. El capítulo de conclusiones (9) recopila de manera estructurada los principales resultados, puntos importantes y conclusiones tanto del proyecto como de la metodología y del caso de estudio, entre otros.

Existen diversas motivaciones personales para la realización de este proyecto. La primera, es el interés de participar en un proyecto real, que cuenta con diferentes grupos de colaboradores y que representa un acercamiento a la vida profesional e investigación que se están llevando a cabo en temas de sostenibilidad. La segunda, es el interés por temas relacionados con la ecología industrial (línea de énfasis en el máster) como el ecodiseño y las energías renovables, temas que junto con el Análisis de Ciclo de Vida, son de alta relevancia, actualidad e importancia, y de una gran aplicabilidad del conocimiento recopilado en las asignaturas cursadas en el máster, tanto en la UPC como en la Universidad de TUDelft.

---

## 2. Objetivos y Alcance

### *Objetivo General*

Desarrollar una metodología para la fase de ecodiseño del proyecto Renia<sup>1</sup>, que permita, mediante el apoyo de un software, el análisis ambiental y la comparación de productos y/o procesos relacionados con la energía solar térmica y fotovoltaica, a través del uso de herramientas de ACV.

### *Objetivo Específico*

Aplicar la metodología propuesta en un caso práctico para un producto, proceso y/o etapa del ciclo de vida relacionados con la energía solar térmica, identificando opciones de mejora ambiental y optimización y realizando recomendaciones.

### **Alcance**

El presente Proyecto final de Máster (PFM) se encuentra enmarcado dentro del proyecto “Renia” en el que participa la Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático de la Escola Superior de Comerç Internacional (ESCI) adscrita a la Universitat Pompeu Fabra (UPF).

El proyecto Renia tiene como objetivo principal desarrollar una herramienta informática de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para fabricantes e instaladores de placas solares (fotovoltaicas y térmicas). Se pretende proporcionar una herramienta independiente y fácil de usar que agilice el proceso de análisis de las placas y la generación de posibles declaraciones ambientales del producto (DAP’s).

Las principales fases del proyecto según su memoria técnico-económica (Memoria Renia, 2010) son:

- Fase 1. Coordinación del proyecto
- Fase 2. Análisis de Ciclo de Vida de instalaciones de energía renovables
- Fase 3. Ecodiseño
- Fase 4. Comunicación ambiental: ecoetiquetado
- Fase 5. Desarrollo de la aplicación informática
- Fase 6. Pruebas sobre la aplicación
- Fase 7. Difusión de los resultados

Actualmente el proyecto se encuentra realizando actividades relacionadas con la segunda fase: el análisis de ciclo de vida, más concretamente en la recolección de datos para el análisis de inventario e iniciando el desarrollo de la aplicación informática (Fase 5).

El presente PFM pretende aportar conocimientos relevantes tanto para la Cátedra UNESCO – ESCI como para los centros y empresas colaboradoras, mediante una metodología que permita

---

<sup>1</sup> El proyecto Renia tiene como objetivo principal el desarrollo de una herramienta informática para la evaluación, ecodiseño y comunicación ambiental de sistemas solares (térmico y fotovoltaico) utilizados en edificios. Este proyecto, realizado por un consorcio de empresas y entidades de I+D españolas, cuenta con una ayuda del Ministerio de Ciencia e Innovación (actualmente Ministerio de Economía y Competitividad) del gobierno estatal dentro de su programa INNPACTO.

ser aplicada en el análisis de un producto o proceso específico, así como para la comparación y evaluación de alternativas.

De esta manera, identificando las posibilidades de mejora y optimización, se genera un valioso aporte metodológico y práctico para el desarrollo de las siguientes etapas del análisis de ciclo de vida (evaluación de impactos e interpretación de resultados) y la siguiente etapa del proyecto (fase 3), relacionada con el ecodiseño, y que brinda a los fabricantes e instaladores recomendaciones sobre cómo mejorar sus productos y procesos.

---

### 3. Justificación

Desde el inicio de la era industrial el ser humano se ha expandido y ha tenido gran acceso a los recursos naturales. La población ha aumentado exponencialmente y con ella la agricultura, la urbanización y el consumo energético. En pocos siglos, los humanos hemos agotado la mayoría de combustibles fósiles que ha costado a la Tierra millones de años producir (Crutzen, 2002). Este consumo acelerado de combustibles, está teniendo consecuencias a nivel global, como el cambio climático, inducido por causas antropogénicas tales como la generación de gases de efecto invernadero, causando impactos negativos en la sociedad y en sus economías (Smithers y Smit, 1997) y haciendo urgente la necesidad de buscar acciones y soluciones a largo plazo para un desarrollo sostenible con energías más limpias y renovables.

A partir de los años 70, después de la crisis del petróleo, se empezaron a desarrollar tecnologías basadas en energías renovables con el propósito de reemplazar el petróleo como principal fuente de energía (Kamp, 2008). Este tipo de energía se produce de forma continua y es inagotable a escala humana, en sus vertientes solar, eólica, hidráulica, biomasa y geotérmica (Dincer, 2000), y tiene en cuenta aspectos como ingeniería y tecnología, confiabilidad, aplicabilidad, economía, escasez de los recursos y aceptación pública.

La energía solar, tema central en este proyecto ha tenido un destacable proceso de crecimiento durante las últimas dos décadas, particularmente en placas fotovoltaicas (Dincer, 2000). En España, han habido grandes incentivos relacionados con el ámbito de generación de energía en régimen especial (aquellas energías que tienen una potencia menor a 50 MW y que utilizan la cogeneración, los residuos o las energías renovables como fuente primaria), que en el 2010 representaron el 33% de la electricidad producida (Fernández Ordoñez, 2011). La energía solar, que ha sido una de las energías más subvencionadas con 185 millones de euros para la solar térmica y 2638 millones de euros para la fotovoltaica, es una de las que más bajo aporte energético (2,3% fotovoltaica y 0,3% térmica) (Datos de la *Comisión Nacional de la Energía en* Fernández Ordoñez, 2011) tiene en relación con su larga inversión, dejando un amplio margen de mejora y optimización de la tecnología.

El potencial de la energía solar es alto, ya que representa una importante fuente de energía renovable siendo la producción de agua caliente doméstica una de sus aplicaciones más comunes. El consumo de energía en edificios residenciales representa una gran parte del uso global de energía, aproximadamente un 25% de la energía total primaria en la Unión Europea (Hernández y Kenny, 2011). El calentamiento de agua es responsable por aproximadamente un 25% de esta energía. Los sistemas solares domésticos para el calentamiento de agua son una tecnología probada y utilizada para reducir la energía demandada para calentar agua y tiene un gran potencial para reducir la demanda total de energía de uso doméstico (Hernández y Kenny, 2011).

Las tecnologías en energía solar ofrecen una gran ventaja medio ambiental comparadas con las fuentes energéticas convencionales tales como la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, la prevención de gases tóxicos, recuperación de tierras degradadas, reducción en la necesidad de líneas de transmisión (redes eléctricas) y mejora en la calidad del agua. En cuanto a aspectos socio-económicos, los beneficios son el aumento de la independencia energética de los países, la creación de empleo, la diversificación y seguridad de la provisión de energía y la aceleración de la electrificación rural de países en vía de desarrollo (Tsoutsos et al., 2005).

A pesar de que la energía solar está considerada como una fuente de energía “limpia”, ésta se encuentra relacionada directamente con importantes cantidades de materiales, procesos de manufactura, transportes, escenarios de utilización y disposición final. Todos estos procesos tienen lugar en el medio ambiente y sus consecuencias ambientales incluyen la explotación de recursos naturales, emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y lluvia ácida, entre otros, haciendo urgente la necesidad de evaluar los sistemas de tecnología solar y teniendo en cuenta los impactos indirectos que causan a lo largo de su vida útil (Tsilingiridis et al. 2004).

A pesar que estos productos y sistemas han sido objeto de investigación y mejoras continuas durante los últimos años, aún existe un amplio margen de mejora, especialmente con el parón que está afectando fuertemente el sector de la construcción y edificación en España, que hace urgente encontrar ideas innovadoras y elementos que permitan a las empresas fabricantes e instaladoras diferenciarse de las demás. Para esto es necesario el uso de herramientas integrales como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que permiten realizar recomendaciones sobre el diseño, materiales y procesos involucrados en los sistemas solares, por medio de un análisis de sus principales impactos a lo largo de todo el ciclo de vida. Los resultados de los estudios de ACV permiten además realizar recomendaciones sobre cambios en el diseño de estos sistemas que permitan disminuir los principales impactos ambientales asociados. El ACV es además una herramienta integral y detallada, que supone una gran inversión de tiempo y esfuerzo, permitiendo revelar información que de otra manera no sería apreciada.

### **Elección de sistemas solares térmicos como tema central y caso de estudio para el proyecto**

Si bien el presente proyecto tiene como objetivo general la creación de una metodología que permita identificar posibles puntos de mejora y ecodiseño tanto en placas térmicas solares como en fotovoltaicas, por cuestiones de tiempo y esfuerzo requeridos en la aplicación de la misma a un caso de estudio, se ha seleccionado enfatizar el análisis en placas térmicas solares por varias razones:

- La energía fotovoltaica muestra un nivel de complejidad bastante alto en su funcionamiento y componentes y un requerimiento de tiempo superior al alcance del PFM.
- La mejora de placas fotovoltaicas ha sido ampliamente investigada y documentada en todo el mundo con el objetivo de mejorar estos sistemas y sobretodo su eficiencia. Tal y como se muestra más adelante en el apartado 5.3.2 (Energía solar fotovoltaica) en la figura 5, (generación de patentes) existe una gran cantidad de patentes y actividad en este sector con una profunda investigación en tipos de células, celdas fotovoltaicas, materiales, entre otros, concluyendo que para el caso de este PFM los sistemas solares térmicos ofrecen un mayor margen de maniobra y mejora.
- Existe la cooperación por parte de uno de los colaboradores del proyecto Renia, la empresa *Termicol*, que está dispuesta a brindar información sobre sus productos para realizar el caso de estudio, y dicha empresa solo trabaja con sistemas solares térmicos.

## 4. Metodología para el PFM

Para el presente PFM se ha usado una metodología (ver Figura 1) que está basada en métodos de búsqueda de literatura, análisis y síntesis, iniciada con un enfoque general de las áreas relevantes del proyecto (Fase I) como lo son las energías renovables, la energía solar y sus vertientes (fotovoltaica y solar); seguida por herramientas metodológicas de Ecodiseño y evaluación ambiental de productos, y finalizada con la realización de un estado del arte de otros estudios que como éste, pretenden encontrar posibilidades para mejorar el diseño, impacto y rendimiento de sistemas solares térmicos.

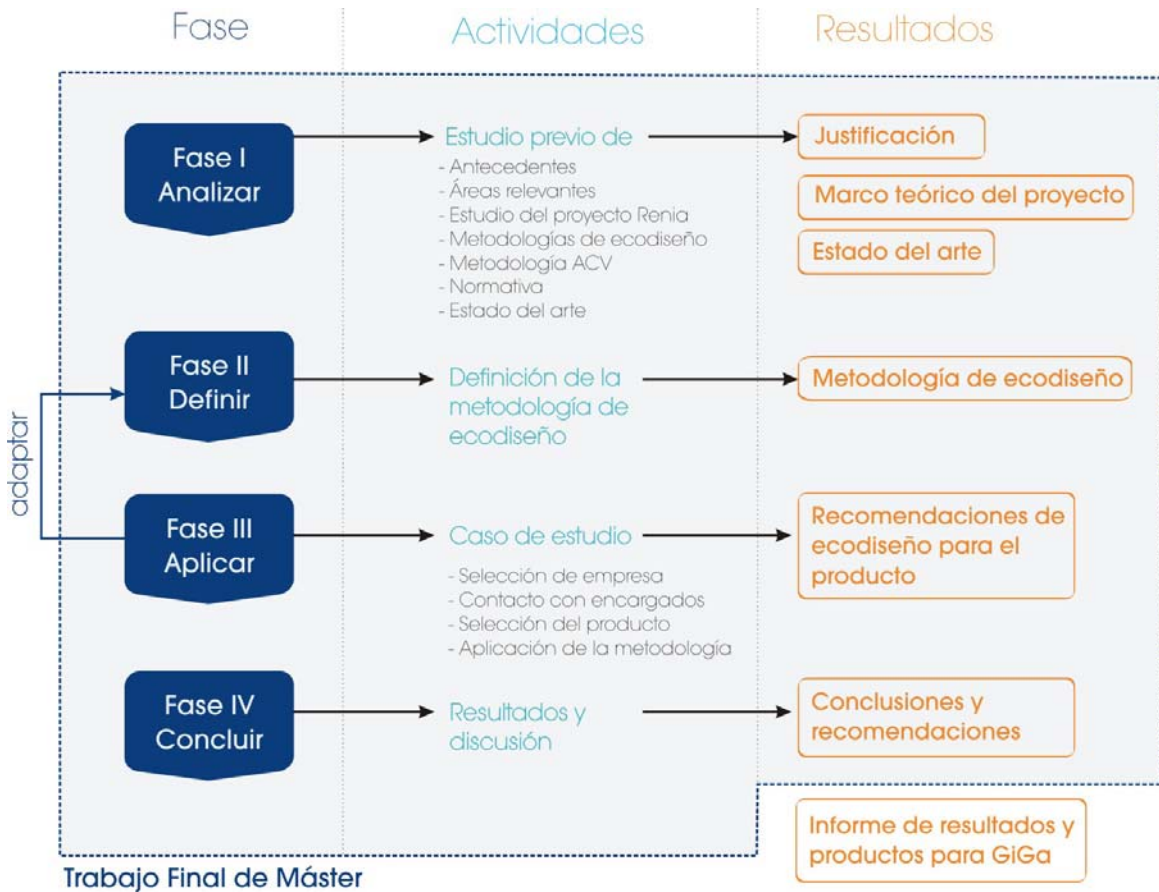


Figura 1. Metodología para el proyecto

Fuente: (Elaboración propia)

Este proceso se hace cada vez más específico en la fase II del proyecto con el desarrollo de la metodología, que se encuentra diseñada con base en los conceptos investigados y analizados en el estudio previo (marco teórico del proyecto). La metodología pretende ser una guía general para la evaluación de diferentes tipos de sistemas solares basada en el Análisis de Ciclo de Vida, cuyo principal objetivo es llegar a recomendaciones de ecodiseño de estos productos de una manera simple y fácil de entender para brindar tanto a fabricantes como instaladores una ventaja competitiva, un elemento diferenciador y un menor impacto ambiental de sus productos.

Esta metodología es aplicada a un caso de estudio en la fase III del proyecto. Dicho caso de estudio se basa en la elección de un producto específico de la empresa *Termicol*, que fabrica

sistemas solares térmicos y que forma parte del consorcio de empresas y centros de I+D que desarrollan el proyecto Renia. Esta fase está marcada por un contacto directo con la empresa, realización de preguntas y formularios y finaliza con la aplicación completa de la metodología previamente diseñada por medio de la utilización del software GaBi de Análisis de ciclo de vida y la colaboración de expertos de la Cátedra UNESCO – ESCI con quien se realiza el presente proyecto en cooperación educativa. El resultado de esta fase son principalmente recomendaciones de ecodiseño, mejoras y/o cambios, identificación de los puntos débiles de estos sistemas y los focos de mayor impacto ambiental. La aplicación de la metodología permitirá además realizar ajustes, cambios o recomendaciones a la metodología desarrollada en la fase anterior como se ve en la figura 1.

En la última fase del proyecto (IV) se realiza una discusión de los resultados obtenidos tanto en la metodología como en su aplicación al caso de estudio y finalmente unas conclusiones y recomendaciones sobre la metodología utilizada, y los productos obtenidos entre otros.



En este apartado se explican y describen los principales conceptos y áreas relevantes que apoyan y dan base al proyecto. Además se realiza una descripción de las principales herramientas metodológicas usadas, así como la normativa relacionada a estas herramientas.

### 5.1 El proyecto Renia

El proyecto Renia nace de la necesidad fundamental de encontrar soluciones innovadoras a nivel de ecodiseño y elementos diferenciadores que permitan el mejoramiento y la optimización de tecnologías relacionadas con la energía solar en la edificación, por medio de la reducción de los impactos asociados al ciclo de vida de los sistemas involucrados haciendo uso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que permite de una manera integrada la revelación de información importante que no se ve a simple vista o con otras herramientas más sencillas.

Las principales características del proyecto se describirán a continuación, y son extraídas de la memoria técnico-económica del proyecto (Memoria Renia, 2010).

- Título del proyecto: *Proyecto Renia - Diseño y desarrollo de una aplicación informática para la evaluación, ecodiseño y comunicación ambiental de sistemas solares utilizados en edificación.*
- El **objetivo general** del proyecto es el diseño y desarrollo de una aplicación informática para la evaluación, ecodiseño y comunicación ambiental de equipos de captación de energía solar utilizados en edificios, instalaciones de energía solar térmica y fotovoltaica.

Esta aplicación, por lo tanto, ayudará a los fabricantes de estos sistemas a: identificar los puntos críticos (materiales, procesos...) a lo largo de todo el ciclo de vida de sus productos, recibir consejos sobre cómo optimizar sus productos y reducir sus impactos ambientales y económicos a lo largo de todo su ciclo de vida, y desarrollar declaraciones ambientales de sus productos (DAP, en adelante).

- Objetivos específicos:
  - Intercambio de información y contacto con diferentes actores de la cadena de valor.
  - Estudio de las materias primas.
  - Estudio de los procesos productivos clave.
  - Procesos de instalación y mantenimiento.
  - Desmantelamiento.
  - Alimentación de las bases de datos.
  - Análisis de tecnologías disponibles y estrategias de ecodiseño.
- El resultado de este proyecto supondrá un avance cualitativo en el diseño, desarrollo y comercialización de productos suponiendo para el sector un elemento diferenciador e

innovador respecto a productos fabricados en otros países con un menor coste de mano de obra y con legislación menos restrictiva.

- Beneficios para fabricantes e instaladores:

Aplicación adaptada a su sector que les resultará sencilla de utilizar y que les ofrecerá una valiosa información que podrán explotar desde el punto de vista estratégico/comercial/ marketing y/u operativo.

Posibilidad de identificar y evaluar diferentes alternativas de ecodiseño aplicables para la mejora del producto: uso de diferentes materias primas, nuevos procesos productivos, rediseño de producto, nuevos procesos de instalación, etc.

Capacidad de ofrecer información rigurosa y creíble a sus clientes y al público en general sobre los impactos ambientales y económicos de sus productos a lo largo de todo su ciclo de vida.

### **Estado actual del proyecto**

El proyecto se encuentra actualmente en su segunda fase llamada “*Análisis de Ciclo de Vida y Análisis de Costes de Ciclo de Vida de instalaciones de energía renovables*” en la cual se han desarrollado las sub-fases 1 y 2, *Definición de objetivos (1) y alcance e inventario de ciclo de vida (2)*, que ha sido la información de entrada para el presente TFM.

A partir de esta información y datos, el presente trabajo pretende obtener resultados y conocimiento que pueda ser aplicado a las siguientes sub-fases “*Evaluación de impacto ambiental de ciclo de vida (3) e Interpretación de resultados y propuestas de mejora*”, y finalmente para la tercera fase del proyecto que es el Ecodiseño.

### **Colaboradores del Proyecto Renia**

El consorcio del proyecto Renia está formado por las siguientes entidades:

#### *Cátedra UNESCO-ESCI*

La *Escola Superior de Comerç Internacional (ESCI)* fue creada en 1993 como una iniciativa conjunta del Gobierno de Cataluña y la Universidad Pompeu Fabra (UPF).

El Grupo de Investigación en Gestión Ambiental (GiGa) dentro de ESCI se crea formalmente en el año 2004 para estudiar los temas relacionados con el producto y el medio ambiente. En 2010, GiGa se convierte en la Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático cuyo objetivo es desarrollar y transmitir los conocimientos de sostenibilidad que ayuden a las organizaciones en sus modelos de internacionalización.

#### *SEMANTIC SYSTEMS*

Es una PYME de alta tecnología dedicada al desarrollo e integración de soluciones avanzadas TI y basadas en el conocimiento, para la industria de fabricación. Coordina el proyecto Renia.

#### *INGHOFM*

INGHO FM, es una empresa independiente que desde el año 2004 se compromete con sus clientes a trabajar en servicios de consultoría y asesoría en el ámbito de las instalaciones, las infraestructuras, el medio ambiente, la alta tecnología y la gestión de los servicios (*facility*)

*management*) ofreciendo un producto de calidad y útil para las organizaciones para las que trabaja.

#### *TERMICOL*

Termicol es una empresa nacional líder en la fabricación de captadores y sistemas solares térmicos, que fabrican de manera integral en sus instalaciones en Sevilla, con una completa gama de captadores solares planos bajo los más altos estándares de calidad, lo que los ha hecho merecedores de la certificación ISO 9001.

#### *TECNALIA*

Tecnalia es una Fundación privada sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es el desarrollo social y mejora de la competitividad en sus sectores de actuación, mediante la Investigación e Innovación tecnológica.

#### *IAT*

El Instituto Andaluz de Tecnología –IAT- es un Centro Tecnológico de “Ingeniería y Gestión del Conocimiento”, y está reconocido como tal tanto por la Administración General del Estado, como por la Junta de Andalucía. Su misión es acompañar a empresas e instituciones en la mejora de sus resultados, de forma sostenible, aportándoles valor mediante soluciones innovadoras.

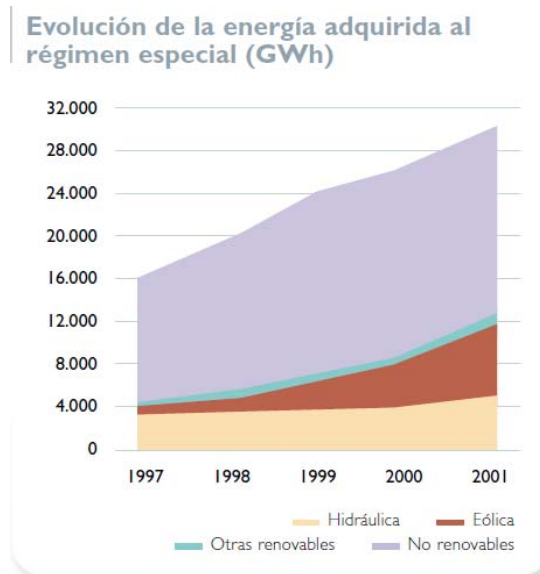
El presente trabajo se hace en cooperación educativa con uno de los miembros del consorcio que desarrollan el proyecto Renia, esto es, la Cátedra UNESCO-ESCI. Además, se ha contado con la colaboración puntual de la empresa Termicol.

## **5.2 Las energías renovables en España**

Tanto España como otros países de la Unión Europea (UE) tienen una gran dependencia energética de países externos. El libro verde de la UE, muestra que la dependencia es del 50% (76% para el petróleo, 40% gas natural y 50% carbón), además de prever que las tendencias para el año 2020 se situarían en el 70%; siendo el caso de España aún más crítico ya que su dependencia energética del exterior se eleva al 75% (Comisión Europea, 2001). Es por esto que se hace urgente la necesidad de generar energía dentro de España con fuentes renovables para disminuir esta dependencia.

Tradicionalmente, las energías renovables han tenido un peso pequeño con respecto a la demanda de energía primaria y generación eléctrica. El régimen especial que es aquel que complementa el régimen ordinario y se refiere a energía proveniente de fuentes renovables (tratamiento de residuos, biomasa, hidráulica, eólica, solar y cogeneración) ha tenido un gran crecimiento durante los últimos años (Red eléctrica de España, 2001).

Como muestra la figura 2, aunque la proporción de las energías de régimen especial sigue siendo pequeña con respecto a la generada por las no-renovables, ha habido un aumento en los últimos 30 años en la energía eólica y otras renovables dentro de la cual se encuentra la energía solar.



**Figura 2. Evolución de la energía adquirida al régimen especial**  
Fuente: Red eléctrica de España, 2001

El régimen especial de producción está regulado por el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, que establece un sistema de incentivos temporales hacia este tipo de energías para situarse en posición de competencia en un mercado libre.

Estos incentivos (ampliados en el Plan de Energías Renovables 2005-2010) tienen como objetivo principal que las energías renovables alcancen en el Estado una producción que equivalga al 12,1% de la demanda energética global en el año 2010, alcanzando el 33% si se añaden las tecnologías de alta eficiencia energética (Red Eléctrica de España, 2010).

Otras normativas que han potenciado la generación de energía a través de fuentes renovables son (Memoria Renia, 2010):

- RD 2818/ 1998 de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración, que establecía un objetivo mínimo de al menos el 12% para que la energía del país procediera de fuentes renovables en el año 2010, de acuerdo con el objetivo de la Unión Europea.
- RD 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. En este RD se establecía que cualquier persona física o jurídica se podía convertir en productor de energía a través del aprovechamiento de la energía solar.
- El “Plan de Energías Renovables en España 2005-2010” (PER) marca como objetivo alcanzar en 2010, 4.900.000 m<sup>2</sup> de colectores solares térmicos instalados.
- El “Plan de Energías Renovables en España 2011-2020” (*Informe de previsión*) que se encuentra en elaboración, en el que España prevé que en 2020 la participación de las

renovables en el país será del 22,7% sobre la energía final y un 42,3% de la generación eléctrica.

- RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el nuevo Código Técnico de la Edificación. El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, estableciendo la obligación de incorporar criterios de eficiencia energética y el uso de energía solar, térmica o fotovoltaica, en los nuevos edificios o en aquellos que se vayan a rehabilitar.
- RD 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Este RD establece el marco para mejorar la eficiencia de las instalaciones en el sector de la edificación.

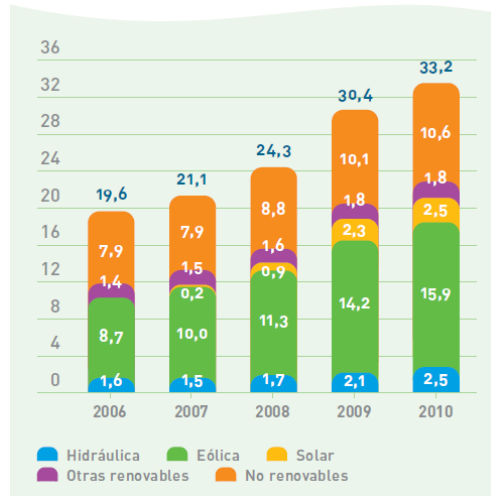
### **Estado actual de las renovables en España**

Actualmente la mayor parte de energía está siendo generada por la hidráulica. En el 2010 el año estuvo marcado por la elevada cantidad de energía hidráulica y la progresiva expansión de las energías renovables (Red eléctrica de España, 2010).

En el 2010 y según el informe anual de la Red Eléctrica de España (2010), *“Las energías renovables cubrieron el 35,4 % de la demanda (un 28,2 % en 2009), situándose como la primera fuente de generación eléctrica en 2010. Este elevado ascenso se debe principalmente a la generación hidráulica que, en un año de abundantes lluvias, registró un fuerte incremento de más de un 60 % respecto al 2009, cubriendo alrededor del 15 % del total de la demanda, y al progresivo ascenso de la eólica, que con un crecimiento del 15,9 %, cubrió el 16 % de la demanda (un 14 % en 2009)”*, figura 3.

Respecto a la producción, las energías renovables del régimen especial generaron 61.867 GWh, lo que supone un crecimiento del 15,5 % respecto al 2009. Del total producido con estas energías, destaca un año más, la eólica que ha generado 43.355 GWh, un 15,9 % más que el año anterior. Así mismo, cabe señalar el ascenso de la solar termoeléctrica que ha producido 692 GWh, frente a los 103 GWh de 2009.

**Aportación del régimen especial a la cobertura de la demanda peninsular en b.c. [%]**

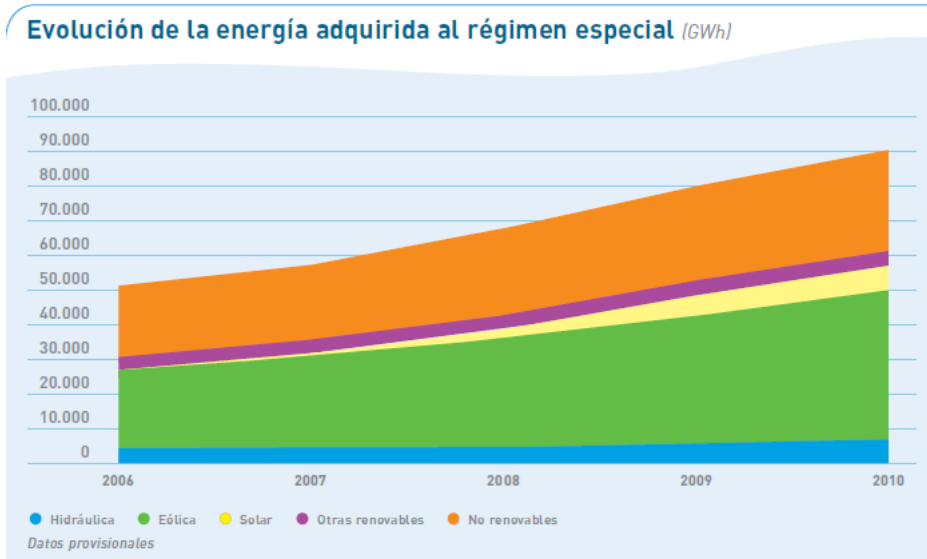


**Figura 3. Aportación del régimen especial a la cobertura de la demanda peninsular**  
Fuente: Red Eléctrica de España (2010)

### 5.3 La energía solar

#### 5.3.1 Evolución en España

Como se ha podido evidenciar en el análisis a las energías renovables en España, la energía solar viene creciendo en últimos años tanto en capacidad instalada como en contribución a la energía total generada, aunque sigue siendo una pequeña contribución comparada con las demás fuentes renovables (Ver figura 4).



**Figura 4. Evolución de la energía adquirida al régimen especial**  
Fuente: Red eléctrica de España (2010)

España se encuentra en una situación muy favorable para el aprovechamiento e instalación de energía solar, ya que es uno de los países con mayor cantidad de horas de sol lo que da una oportunidad inmejorable para disminuir la dependencia energética de la que se hablaba anteriormente, convirtiendo a España en uno de los primeros países a nivel mundial en investigación, desarrollo y aprovechamiento de la energía solar.

El crecimiento del sector de la energía solar en España ha llegado a tal punto que es desde el 2010 el país con mayor potencia termosolar instalada con 432 megavatios (MW) superando a Estados Unidos (422 MW) (El País, 2010).

Una de las mayores críticas que se hacen sobre las energías renovables y específicamente la solar es el alto precio de esta energía, que sería según Libertad Digital (2008) 500% superior a la tarifa media. El decreto sobre energías renovables de 2007, que se ha descrito anteriormente, establecía una tarifa para pequeñas fotovoltaicas de 44,0381 céntimos de euro por kWh. De manera contraria, el precio del régimen ordinario de la producción eléctrica en España rondó los 4 céntimos kWh, mientras que en 2008 superó los 5 céntimos. De este modo, el sobrecoste de la solar es sufragado con los impuestos de los contribuyentes.

Debido a esto, debe garantizarse entonces que la calidad de la energía solar siga manteniéndose así como la investigación en el área para proponer mejoras que permitan que cada vez más la relación entre la inversión y los beneficios que brinda este tipo de energía sea mejor.

El sector de la energía solar, altamente relacionado con la construcción y edificación, se ha visto impulsado gracias a nuevas normas en la construcción de vivienda nueva en España, que obliga a la instalación de calentadores solares en todas las viviendas unifamiliares privadas, nuevas o reformadas, y fotovoltaicas en las viviendas comerciales con el fin de reducir una parte de los consumos energéticos de las mismas (Heras y Bosqued, 2005), aunque con el reciente parón en el sector de la construcción, la instalación de estos sistemas también está siendo afectada.

### **5.3.2 Energía solar fotovoltaica**

A pesar que la energía solar fotovoltaica no es tema central en este trabajo (como se explicó en el apartado 3. Justificación), se describirá brevemente para conocer su funcionamiento y conceptos básicos y así tener una visión global y completa de la energía solar.

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable que es obtenida directamente de los rayos del sol gracias a la foto-detección de un dispositivo que es normalmente una lámina metálica semiconductor llamada célula fotovoltaica o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina.

El sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados de manera especial para realizar las siguientes funciones fundamentales (BUN-CA, 2002):

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica (panel fotovoltaico).

- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada (Baterías).
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada (Regulador).
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada (inversor).

Los componentes que se encargan de realizar las funciones anteriormente se describen brevemente a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1. Componentes de un sistema fotovoltaico**

<b>Componente</b>	<b>Características</b>
<b>Panel fotovoltaico</b>	<p>Placas rectangulares compuestas por celdas fotovoltaicas (10X10 cm).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ La celda capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica. Materiales: Silicio de alta pureza (semiconductor). Producción media: 1W plena luz del día.</li> <li>○ Marco de vidrio y aluminio: soporta mecánicamente las celdas fotovoltaicas y las protege de los efectos de la intemperie. El vidrio frontal es antirreflejante para optimizar la captación de los rayos solares.</li> </ul> <p>Potencia: La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación. La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas.</p> <p>Ejemplo: un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (<math>W/m^2</math>) y sus celdas poseen una temperatura de 25°C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.</p> <p>Vida útil: entre 20 y 30 años.</p>
<b>Baterías</b>	<p>Es el componente que permite almacenar la energía eléctrica cuando se necesite (debido a que la radiación es un recurso variable). Estas baterías son fabricadas especialmente para módulos fotovoltaicos. Entre las funciones de las baterías están: proveer la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar, proveer un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos.</p>
<b>Regulador o controlador de carga</b>	<p>Éste es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.</p>
<b>Inversor</b>	<p>El inversor se encarga de proveer energía en la cantidad, calidad y tipo que se necesita. Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 24 Voltios por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 V de la batería en corriente alterna a 120 V.</p>

Fuente: (BUN-CA, 2002)

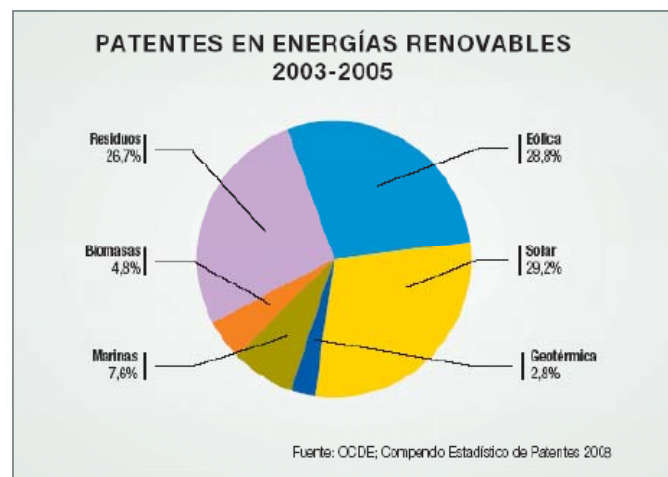


### Mejoras en la energía solar fotovoltaica

De manera continua vienen batiéndose records de eficiencia en las células fotovoltaicas, y cada vez más se crean nuevas aplicaciones en los procesos productivos para hacerlos más económicos y menos intensivos en materiales para poder alcanzar los niveles de potencia deseados. En el 2009, el récord de eficiencia está en una célula de triple unión, basada en el germanio, que alcanzó el 42.8% (Collado, 2009).

En la fase netamente comercial, el rendimiento de estas tecnologías no alcanza tan elevados niveles pero se sigue una trayectoria ascendente. Además, a medida que se incrementa la eficiencia, la cantidad de silicio para producir un *Wp* (Vatios-pico) se reduce a un ritmo del 5% anual (Collado, 2009) consiguiendo con esto grandes ahorros.

Este crecimiento, la investigación y la amplia variedad de este tipo de células fotovoltaicas y materiales, es fruto de grandes innovaciones en este sector, que es uno de los de más actividad en todo el mundo, las patentes registradas de placas fotovoltaicas (figura 5) muestran la importancia de este sector como motor de desarrollo en investigación.



**Figura 5. Patentes generadas de las diferentes energías renovables**  
Fuente: (Collado, 2009)

### 5.3.3 Energía solar térmica

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la radiación solar para producir calor que puede ser utilizada para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al uso doméstico (Agua Caliente Sanitaria: ACS, a la calefacción o producción de energía mecánica).

Los colectores son un tipo especial de intercambiador de calor que transforma la energía de la radiación solar en energía interna de transporte. El componente más importante en la energía solar es el colector solar. Este dispositivo absorbe la radiación solar entrante convirtiéndola en calor y transfiriendo este calor a un fluido (generalmente aire, agua o aceite térmico) que circula a través del colector. La energía solar recolectada es llevada desde el fluido directamente al equipamiento de calentamiento de agua o acondicionamiento de espacios, o hacia un acumulador al que se puede recurrir en las noches o en días nublados (Kalogirou, 2004).

Existen básicamente dos tipos de colectores solares: los de no concentración o estacionarios (baja temperatura) y los de concentración (alta temperatura). Los colectores de no concentración tienen la misma área para interceptar y para absorber radiación solar, mientras que los colectores de concentración normalmente usan superficies cóncavas reflectantes para interceptar el calor y concentrar la radiación del sol en un área más pequeña aumentando así el flujo de radiación.

### **Colectores concentradores (*Sun tracking-Alta temperatura*)**

La energía solar captada por colectores solares puede entregar temperaturas que pueden ser incrementadas mediante la reducción del área en la que ocurren las pérdidas de calor. Esto puede hacerse interponiendo un dispositivo óptico entre la fuente de la radiación y la superficie de absorción de energía (Kalogirou, 2004). Los colectores concentradores muestran una serie de ventajas al ser comparados con los colectores planos convencionales:

- El fluido con el que se trabaja puede alcanzar temperaturas más altas. Mayor eficiencia termodinámica.
- La eficiencia térmica es mayor ya que el área de pérdida de calor es más pequeña que el área de recepción.
- Las superficies reflectantes requieren mucho menos material y son estructuralmente más simples que las de un colector plano.

Desventajas:

- Los sistemas de concentración captan poca radiación difusa dependiendo de la tasa de concentración.
- A veces es necesario alguna forma de seguimiento para que el colector siga la trayectoria del sol.
- Las superficies reflectantes solares pueden perder su capacidad de reflejar con el tiempo y pueden requerir continua limpieza y renovación.
- Existen diferentes diseños en la categoría de colectores concentradores, pueden ser tanto reflectores como refractantes, cilíndricos o parabólicos y pueden ser continuos o segmentados.

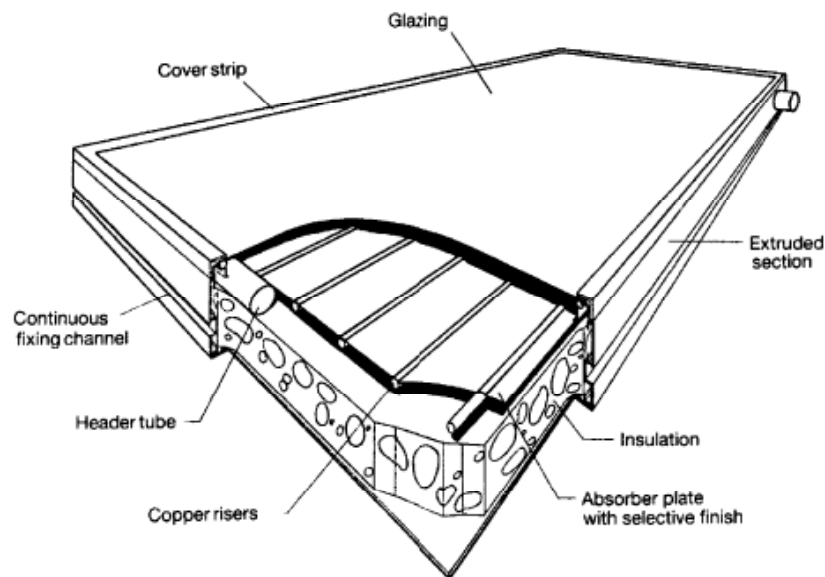
A continuación solo se nombraran los tipos de colectores concentradores, ya que su uso es generalmente a gran escala (campos de colectores) debido a su alta temperatura de funcionamiento, por esta razón este tipo de sistemas no será analizado en el presente trabajo.

1. Colectores parabólicos
2. Reflectores lineales Fresnel
3. Plato reflectante parabólico
4. Colector Heliostático

### **Colectores estacionarios (*baja temperatura*)**

Los colectores estacionarios generalmente se distinguen por su movimiento (estacionarios, un eje o dos ejes de movimiento) y por su temperatura de funcionamiento.

- Colectores solares planos (CSP): Un colector plano típico es mostrado en la figura 6.



**Figura 6. Típico colector plano**

Fuente: (Kalogirou, 2004)

Cuando la radiación solar pasa a través de una cubierta transparente se encuentra con una superficie negra de alta absorción. Una gran parte de esta energía es absorbida por la placa y es luego transferida al medio de transporte en los tubos del fluido para ser llevada para almacenamiento o uso. La parte de atrás de la placa y las partes laterales suelen estar debidamente aisladas para evitar pérdidas de calor. La tubería que transporta el líquido puede estar soldada a la placa de absorción o puede ser una parte integral de la placa. Esta tubería está además conectada en sus dos extremos por tubos de mayor diámetro (Kalogirou, 2004).

La cubierta transparente es usada para reducir las pérdidas por convección procedentes de la placa de absorción a través de la concentración de aire entre la placa y el vidrio (efecto invernadero).

Este tipo de colectores está en posición fija y no requiere un movimiento que siga al del sol. Los colectores deben estar orientados hacia el ecuador, hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur. El ángulo óptimo de inclinación del colector es igual a la latitud de la ubicación, con variaciones entre 10 y 15° dependiendo de sus aplicaciones.

Los principales componentes de un colector plano son:

*Cubierta*: una o más laminas de vidrio u otro material que permita la transmisión de radiación.

*Tubería, aletas o pasajes*: para conducir o direccionar el calor en el fluido desde el interior hacia el exterior, suelen ser en cobre.

*Placas de absorción*: placas planas, corrugadas o con estrías, a las cuales la tubería, pasajes o aletas están unidas.

*Cabeceras o colectores*: su función es permitir y descargar el fluido.

*Aislamiento*: minimiza las pérdidas de calor por detrás y en los laterales del colector.

*Contenedor o carcasa:* para integrar los componentes anteriores y mantenerlos protegidos de la suciedad.

Los fluidos usados más comunes son agua, agua con aditivos anticongelantes, aceites térmicos o aire. El principal objetivo es el de captar tanta energía solar como sea posible con el costo más bajo. El colector debe tener una vida útil larga y soportar efectos del clima, radiación solar, corrosión y la posible rotura de la cubierta de vidrio (recomendable el uso de vidrio templado).

Los colectores solares planos se diferencian principalmente por el uso de diferentes materiales para la cubierta y por el tipo de placas de absorción:

### **Materiales de cubierta**

El vidrio ha sido usado ampliamente como material de cubierta en colectores solares porque pueden transmitir casi el 90% de la radiación solar (ondas cortas) mientras que transmite virtualmente ninguna onda larga de radiación.

Las películas y láminas de plástico también poseen una alta transmisión de ondas cortas, pero pueden tener una transmisión más alta de ondas largas. Los plásticos también están limitados en cuanto a las temperaturas que pueden soportar sin deteriorarse o sufrir cambios de tamaño. Pocos tipos de plásticos pueden soportar la radiación ultravioleta por largos periodos, sin embargo pueden soportar golpes fuertes y son flexibles y de bajo peso.

Los recubrimientos anti reflejantes y las superficies con textura pueden mejorar la transmisión de una manera significativa. El efecto de suciedad y polvo sobre el vidrio puede ser bastante pequeño, y el efecto de lavado de las lluvias ocasionales es generalmente adecuado para mantener la transmisión en su valor máximo.

En los últimos años se han desarrollado y construido diferentes prototipos con materiales de aislamiento transparente de bajo costo para que la comercialización de estos sistemas sea viable.

### **Placas de absorción**

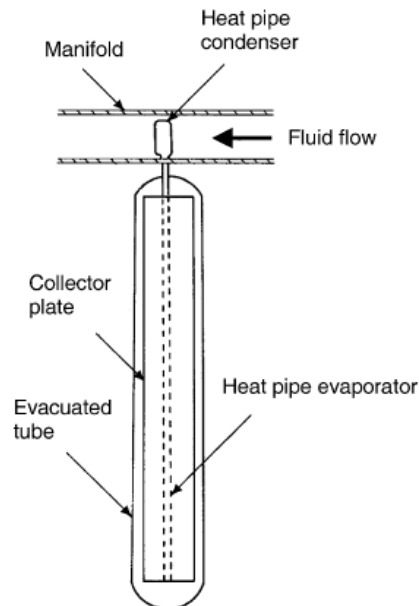
Las placas de absorción absorben la radiación que ha pasado a través de la cubierta y transfiere el calor captado al fluido. La capacidad de absorción de las placas depende de su naturaleza, del color del recubrimiento y del ángulo de incidencia. Normalmente se usa el color negro, otros colores han sido recomendados por Tripanagnostopoulos et al. (2000).

Por medio de tratamientos químicos es posible producir superficies con altos valores de absorción de radiación solar y con bajos valores de emisión de ondas largas.

Un colector solar eficiente deber absorber la radiación solar incidente, convertirla en energía térmica y entregarla al sistema de transferencia de calor con las mínimas pérdidas posibles en cada uno de estos pasos, existen diferentes principios de diseño y mecanismos físicos para crear una superficie absorbente de calor selectiva.

o Colectores de tubo de vacío (CTV)

Los colectores solares planos fueron desarrollados para usarse en climas soleados y cálidos. Sus beneficios se ven reducidos durante días de frío, nubes y viento. Además el desgaste por efectos como la condensación y la humedad pueden causar un deterioro temprano de sus materiales reduciendo el rendimiento del sistema. Los colectores de tubos de vacío funcionan de manera diferente a otros colectores encontrados en el mercado y consisten en una tubería de transferencia de calor dentro de una tubería de vacío sellada como se ve en la figura 7.



**Figura 7. Diagrama esquemático de un colector de tubo de vacío**

Fuente: (Kalogirou, 2004)

Los colectores de tubos de vacío, han demostrado que la combinación de una superficie selectiva y un supresor de convección efectivo pueden resultar en un buen rendimiento con temperaturas más elevadas. El recubrimiento de vacío reduce las pérdidas de convección y conducción, de esta manera los colectores pueden operar a temperaturas más altas que los colectores planos. Tal y como los CSP captan tanto la radiación directa como la difusa, sin embargo su eficiencia es mayor para ángulos de incidencia menores. Este efecto hace que los colectores de tubos de vacío tengan una ventaja sobre los colectores planos en aprovechamiento a lo largo del día.

Los CTV usan el cambio de fase líquido-gaseoso de los materiales para transferir calor de manera altamente eficiente. Estos colectores están compuestos básicamente por una tubería de calor (un conductor térmico de alta eficiencia) que está situada al interior de una tubería de succión sellada; esta tubería que es normalmente de cobre, es unida a una aleta de cobre negro que llena el tubo (placa de absorción).

Recientemente se ha presentado un CTV hecho totalmente de vidrio, que puede ser un paso importante para reducir su costo y alargar su vida útil. Otra variación de este tipo de colectores es el llamado tubería *Dewar*, en la cual dos tubos de vidrio concéntricos son usados y el

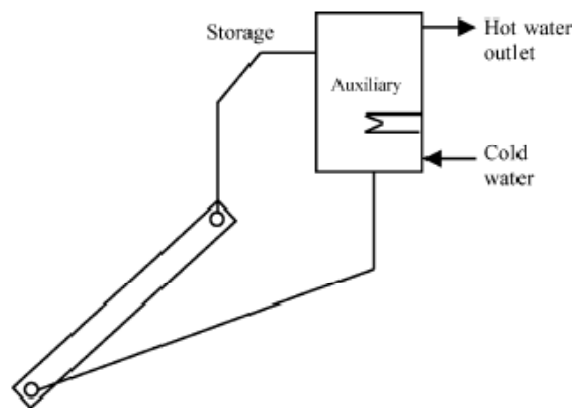
espacio entre ellos es evacuado (bolsa de vacío). Las ventajas de este diseño es que está hecho enteramente de vidrio y no es necesario penetrar el vidrio para extraer el calor de la tubería haciendo que no existan filtraciones y haciéndolo menos costoso.

### **Tipos de aplicaciones de colectores solares**

#### *Sistemas solares para calentamiento de agua (SSCA)*

En los sistemas solares para calentamiento de agua, el agua potable puede ser calentada directamente en el colector (sistemas directos) o indirectamente por medio del calentamiento de un fluido que es calentado en el interior del colector, que pasa a través de un intercambiador de calor que transfiere este calor al agua de uso domestico (sistemas indirectos). El fluido que transmite el calor puede ser transportado de manera natural (sistemas pasivos) o por circulación forzada (sistemas activos). La circulación natural ocurre por convección natural (termosifón), mientras que la circulación forzada usa sistemas como bombas o ventiladores. A excepción de los sistemas de termosifón y los de colectores con almacenamiento integrado que no necesitan control, los sistemas solares de uso domestico y de servicio de agua caliente son controlados mediante el uso de termostatos. Hay cinco tipos de sistemas solares que pueden ser usados para el calentamiento de agua para uso domestico: termosifón, colector con almacenamiento integrado (CAI), circulación directa, circulación indirecta y circulación de aire. Todos estos sistemas muestran grandes beneficios económicos con tiempos de recuperación de la inversión de entre 4 y 7 años (Kalogirou, 2004).

- Sistemas de termosifón (pasivos): Se muestran de manera esquemática en la figura 8.



**Figura 8. Esquema de un sistema de termosifón**

Fuente: (Kalogirou, 2004)

En estos sistemas, el agua dentro del colector se expande volviéndose menos densa a medida que el sol lo calienta y sube por el colector hasta la parte superior del tanque de almacenamiento. Allí es reemplazada por el agua más fría que se ha hundido al fondo del tanque. La circulación continúa mientras que haya luz del sol. Debido a que la fuerza conductora es una pequeña diferencia de densidad, tuberías más grandes deben ser usadas para disminuir la fricción de los tubos. Las conexiones deben estar muy bien aisladas para prevenir pérdidas de calor y la creación de posibles bolsas de aire que puedan impedir la circulación. En la noche, o en las ocasiones que el colector está más frío que el agua en el tanque la dirección del flujo del termosifón va en

dirección opuesta enfriando el agua almacenada. Una manera de prevenir esto es fijar la parte superior del colector muy por debajo (30 cm) del fondo del tanque.

La mayor desventaja de los colectores con termosifón es que son unidades relativamente altas, lo que hace que no sean estéticamente atractivas. Normalmente un tanque de agua fría es instalado en la parte superior del colector solar, abasteciendo el cilindro de agua caliente y la demanda de agua fría de la casa. Haciéndolo incluso más alto.

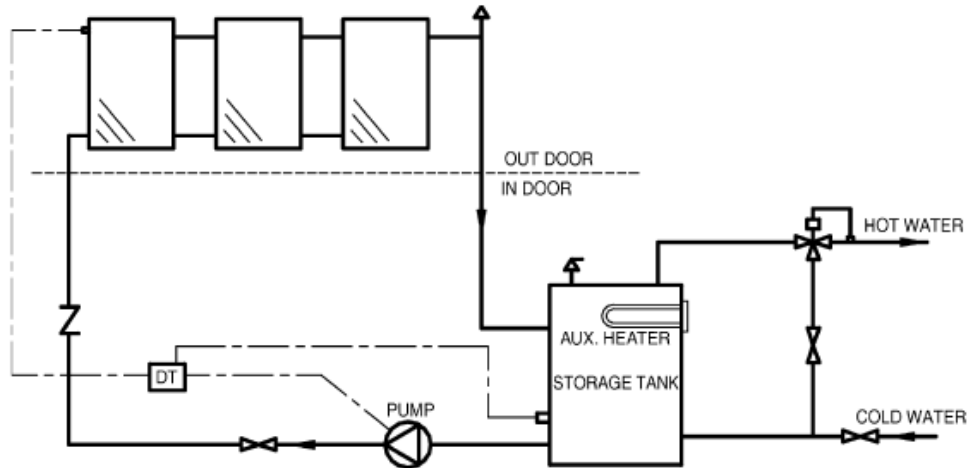
○ Sistemas con almacenamiento integrado (pasivo)

Estos sistemas usan el almacenamiento de agua caliente como parte del colector, como por ejemplo usar la superficie del tanque de almacenamiento como placa de absorción. Como en otros sistemas el agua caliente se extrae desde la parte superior del tanque y la fría entra por el fondo del tanque en el lado opuesto.

La mayor desventaja de este sistema es que tiene altas pérdidas de calor desde el tanque de almacenamiento hacia sus alrededores, ya que la mayor parte del área del tanque no puede ser aislada térmicamente al estar intencionalmente expuesta para capturar la energía solar. Las pérdidas son especialmente altas en las noches y cuando los días son muy nublados.

○ Sistemas de circulación directa (activo)

En sistemas de circulación directa mostrados de manera esquemática en la figura 9, una bomba es usada para hacer circular el agua potable desde el almacenamiento hacia los colectores cuando hay suficiente energía solar para incrementar su temperatura y luego retornar el agua ya caliente al almacenamiento hasta que sea necesario. Ya que es una bomba la que hace circular el agua, el colector se puede montar tanto abajo como arriba del tanque de almacenamiento. El caudal óptimo para estas unidades es de  $0.015 \text{ l/m}^2$  del área del colector. Estos sistemas son muy usados en áreas donde la congelación no es muy frecuente. Para condiciones climáticas extremas, la protección contra el congelamiento es normalmente llevada a cabo por medio de recirculación de agua caliente desde el tanque de almacenamiento. Además estos sistemas cuentan normalmente con un solo tanque de almacenamiento equipado con un calentador de agua adicional, pero sistemas con dos tanques también pueden ser usados. El agua fría que abastece estos sistemas puede provenir de un tanque de agua fría o puede estar conectado directamente a la red de la ciudad, para este último caso se necesitan válvulas de reducción de presión cuando la presión de la red de agua urbana es mayor que la presión a la que trabajan los colectores. Este sistema no debería ser usado en lugares donde el agua es extremadamente pesada o ácida ya que depósitos de agua pueden corroer los colectores.



**Figura 9. Diagrama de un sistema de circulación directa para el calentamiento de agua**

Fuente: (Kalogirou, 2004)

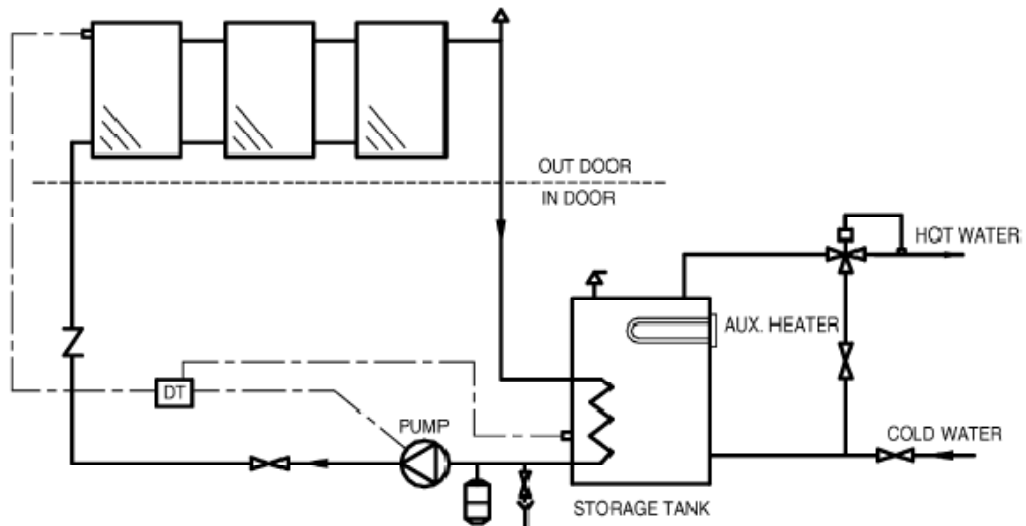
o Sistemas de circulación indirecta o forzados (activo)

Los sistemas de circulación indirecta hacen circular un fluido de transferencia de calor a través del circuito cerrado del colector hasta un intercambiador de calor donde este calor es transferido a agua potable. Los fluidos más usados suelen ser soluciones de agua con etilenglicol, aunque otros fluidos como aceites de silicona y refrigerantes pueden ser también usados. El intercambio de calor puede estar ubicado en el interior del tanque, alrededor del tanque o puede ser externo. Debido a que el circuito de este colector es cerrado, se necesitan un tanque de expansión y una válvula limitadora de presión. Protección contra exceso de temperatura puede ser necesaria para prevenir la descomposición o corrosión del fluido.

Existe una variación de estos colectores y es un sistema de desagüe. Funciona haciendo circular agua por el circuito cerrado hasta un intercambiador de calor donde el calor es transferido al agua potable. Cuando la circulación se detiene (no hay más energía disponible) el fluido es desaguado por medio de la gravedad hacia un tanque de desagüe. Si el sistema es presurizado el tanque funciona además como tanque de expansión cuando el sistema está en funcionamiento, y en este caso debe estar protegido con válvulas limitadoras de presión y temperatura.

Debido a que el circuito del colector está aislado del agua potable, no son necesarias válvulas que ayuden al desagüe.





**Figura 10. Diagrama de un sistema de circulación indirecta para el calentamiento de agua**

Fuente: (Kalogirou, 2004)

o Sistemas de aire

Los sistemas de aire son sistemas indirectos de calentamiento de agua que hacen circular aire por medio de conductos a través de los colectores hasta un intercambiador de calor aire-a-líquido. En este intercambiador de calor, el calor es transferido a agua potable que también circula a través del intercambiador y vuelve al tanque de almacenamiento. Este tipo de sistema es generalmente usado para el precalentamiento de agua caliente a nivel doméstico.

La principal ventaja de este sistema es que el aire no necesita ser protegido del congelamiento o evaporación, no es corrosivo y es gratis. La mayor desventaja es que los equipos para manejo de aire (ductos y ventiladores) necesitan más espacio que las tuberías y bombas, además las fugas de aire son difíciles de notar.

Es también importante conocer cómo se llevan a cabo las instalaciones de los sistemas solares y qué tipo de instalaciones pueden realizarse según el tipo de edificación, algunos de estos tipos de instalación han sido estudiados y se encuentran descritos en el Anexo 1. Algunos de los principales tipos de instalación de placas solares en edificios son:

- Superpuestos (soporte o estructuras auxiliares)
- Embebidos, sustituyendo al propio elemento constructivo
- Como elementos constituyentes de la composición arquitectónica (elemento de sombra)

## 5.4 Herramientas metodológicas y normativa relacionada

Actualmente existen una serie de conceptos, metodologías, herramientas y bases de datos que sirven como punto de partida para el desarrollo de este proyecto. Cabe destacar las siguientes metodologías:

### 5.4.1 Ecodiseño

*Definición:* Existe una gran variedad de definiciones de ecodiseño, entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

Según la TU Delft University (Holanda): *“Nueva metodología para el diseño de productos en la cual se consideran los impactos ambientales en todas las etapas del proceso de diseño y desarrollo de productos para lograr productos que generen el mínimo impacto ambiental posible a lo largo de su proceso de vida”.*

Según la “Directiva 2005/32/CE por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía”, conocida de forma simplificada como PuE (Productos que Usan Energía): *“Integración de los aspectos medioambientales en el diseño del producto con el fin de mejorar su comportamiento medioambiental a lo largo de todo su ciclo de vida”.*

Ambas definiciones implican una perspectiva de ciclo de vida que lleva al diseñador a expandir su integración de conceptos ambientales más allá de las etapas de uso y producción (Rupérez, 2008).

#### *Razones para el uso del Ecodiseño*

- Una mejor acción preventiva: actuaciones habituales de gestión ambiental como la producción más limpia, la gestión de residuos y emisiones, no pueden ser consideradas desde una perspectiva completa de ciclo de vida como preventivas, ya que enfocan sus esfuerzos en minimizar impactos que ya se han generado. Por otra parte, el ecodiseño trata de realizar una acción preventiva contemplando todos los impactos ambientales que se generarán en el ciclo de vida de los productos antes de ser producidos (en la mayoría de ocasiones) y permite minimizar los impactos (Rupérez, 2008). La libertad de poder cambiar aspectos del producto es mayor cuando se está en etapas más cercanas a la generación de ideas y conceptos, ya que a medida que se avanza en el proceso de desarrollo de un producto la libertad disminuye y conseguir mejoras ambientales tiene mayor dificultad (ver figura 11).



**Figura 11. Etapas del ciclo de vida de un producto y su potencial de mejora**

Fuente: (Rupérez, 2008).

- Es una vía económica: el ecodiseño se presenta como una manera muy económica de disminuir los impactos ambientales de los productos ya que la discusión y mejoramiento de las ideas es mucho más económico que hacerlo cuando el producto ya es una realidad y está fabricado.
- Evita trasvases de impactos ambientales: teniendo en cuenta de una manera preventiva los impactos ambientales en todas las etapas del ciclo de vida de los productos se asegura que no existan trasvases de manera inconscientes de un ciclo de vida a otro. De esta manera puede evitarse que al incluir un cambio en una etapa que supone una mejora ambiental, tenga luego un balance negativo al haber incrementado el impacto en otra etapa.

### Herramientas de Ecodiseño

Existen diferentes maneras de categorizar las herramientas destinadas al ecodiseño. Calow et al. (2001), sugiere solo una división entre cualitativas y cuantitativas, pero recientemente Knight and Jenkins (2009) integra esta idea con la necesidad de usar métodos apropiados y un lenguaje que pueda ser reconocido por los usuarios finales, divide las diferentes herramientas y técnicas de ecodiseño en tres grupos:

1. Directrices/guías: definidas como herramientas que brindan soporte pero con poco nivel de detalle, pero aplicable a todo el ciclo de vida del producto o un área específica (e.g. diseño para el reciclaje, diseño para el desensamble, entre otros).
2. Checklists: dan una perspectiva en profundidad pero reducida de las etapas seleccionadas del desarrollo del producto o su ciclo de vida (e.g. listas de materiales).
3. Herramientas analíticas: proveen un análisis detallado y/o sistemático en específicas fases o bien en todo el desarrollo y ciclo de vida del producto (e.g. eco-indicadores,

análisis de impacto ambiental, análisis de ciclo de vida (ACV), matriz de materiales, energía y toxicidad (MET), análisis de costos de ciclo de vida (ACCV). Este grupo muestra muchas ventajas al hacer un análisis más exhaustivo, pero también debe tenerse en cuenta qué análisis y qué tiempo y recursos están disponibles, ya que estas herramientas son generalmente complejas y requieren de un conocimiento y tiempo elevados.

Autores como Bovea y Pérez-Belis (2011), proponen además tres factores claves que deben tener las herramientas para el ecodiseño al ser elegidas:

1. Integración temprana de aspectos ambientales en el proceso de diseño y desarrollo del producto.
2. Enfoque de ciclo de vida, que considere como el producto puede afectar el medio ambiente en sus diferentes etapas.
3. Enfoque multi-criterio.

Como se ha podido ver existen diferentes herramientas que pueden llevar al ecodiseño de productos y a la integración de aspectos ambientales en su diseño y desarrollo. A pesar de esto, en el presente trabajo solo se describirán las herramientas más comunes para el ecodiseño de productos, que puedan aportar ideas y aportes relevantes, estas son:

- **Matriz MET** (*Herramienta analítica*)  
Es una tabla de doble entrada (ver Figura 12), en la cual en el eje horizontal se sitúan tres columnas: materiales, energía y toxicidad y en el eje vertical se sitúan las etapas del ciclo de vida y sub-etapas relevantes (Rupérez, 2008).

MATRIZ MET	MATERIALES		ENERGÍA		TOXICIDAD
	Entradas	Salidas	Entradas	Salidas	Salida
<b>PRODUCCIÓN</b>					
Materiales de proveedor	Entrada de materiales	Salida de materiales	Energía de obtención de los materiales de entrada	Energía gestión materiales salida	Residuos peligrosos generados en el aprovisionamiento
	Entrada de productos químicos	Salida de productos químicos			
Procesos productivos	Materiales de proceso		Consumo energía procesos	Energía de salida en procesos	Residuos peligrosos generados en los procesos productivos
	Materiales auxiliares de mantenimiento				
<b>DISTRIBUCIÓN</b>					
Embalaje	Entrada materiales embalaje	Salida materiales embalaje	Energía consumida en el embalaje		Residuos peligrosos embalajes
Transporte	Entrada materiales según medio de transporte	Salida materiales según medio de transporte	Energía consumida en el transporte		Residuos peligrosos transporte
<b>USO</b>					
Consumibles	Entrada materiales consumibles	Salida materiales consumibles	Energía consumida en el uso		Residuos peligrosos consumibles
Mantenimiento	Entrada materiales mantenimiento	Salida materiales mantenimiento	Consumo energía en mantenimiento		Residuos peligrosos mantenimiento
<b>FIN DE USO</b>					
Recogida	Entrada materiales recogida	Salida materiales recogida	Energía consumida en recogida		Residuos peligrosos transporte
Tratamiento	Entrada materiales tratamiento	Salida materiales tratamiento	Energía consumida en tratamiento	Energía generada en tratamiento	Residuos peligrosos tratamiento Residuos depositados en vertedero

**Figura 12. Matriz MET (Materiales, energía y toxicidad)**

Fuente: (Rupérez, 2008)

Luego de la identificación de aspectos ambientales se evalúa la dimensión del impacto asociado a cada uno de una manera aproximada e independiente, así se agrupan tres bloques principales: impacto alto, medio y bajo. Esta herramienta aunque poco precisa es muy simple y por esta razón es muy válida para iniciar un proceso de ecodiseño, pero avanzando hacia herramientas más precisas y evolucionadas de análisis de ciclo de vida.

o **Las 10 reglas de oro del Ecodiseño (10 Golden rules) (Guías/Directrices)**

(Luttropp y Lagerstedt, 2006)

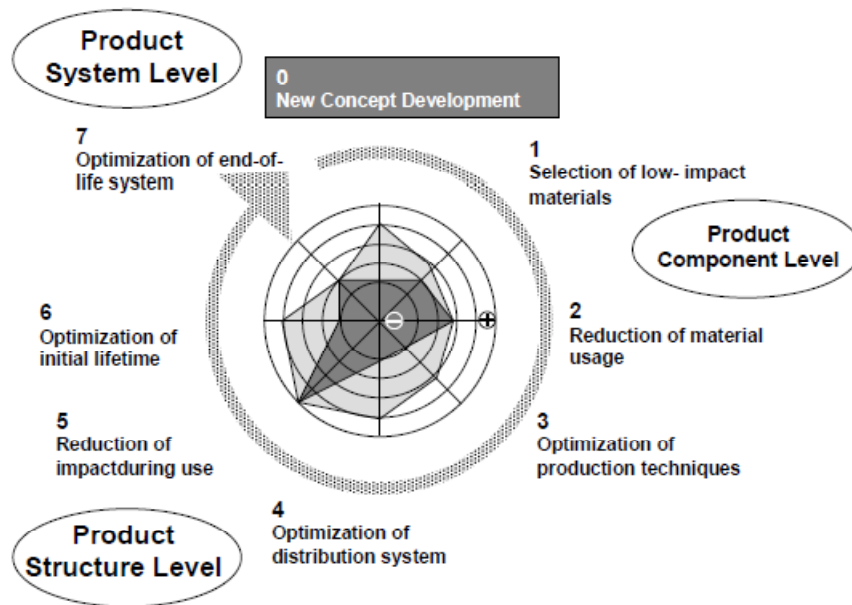
Estas normas han sido desarrolladas básicamente como herramienta de educación de ecodiseño en el año 1996, año en el que se empezaron a impartir clases de ecodiseño en las universidades KTH (*Royal Institute of Technology*) y UTBM (*Universite' de Technologie de Belfort-Montbe'liard*). Las diez normas corresponden y están organizadas según el ciclo de vida de un producto, estas son:

1. No usar sustancias tóxicas y utilizar ciclos cerrados para las que lo tengan que ser necesariamente.
2. Minimizar el consumo de energía y recursos en la fase de producción y transporte a través de mejoras en el proceso sin necesidad de inversión.
3. Hacer uso de elementos estructurales y materiales de alta calidad para minimizar el peso de los productos, siempre y cuando estas elecciones no interfieran con la flexibilidad, resistencia u otras prioridades funcionales.
4. Minimizar el consumo de energía y recursos en la fase de uso, especialmente para productos que tengan aspectos de mayor relevancia en esta fase.
5. Promover la reparación y las mejoras de los productos, especialmente para productos dependientes de sistemas o software (móviles, ordenadores).
6. Promover la larga vida de los productos, especialmente para productos para productos que tengan aspectos ambientales relevantes por fuera de su vida útil.
7. Invertir en mejores materiales, tratamiento de superficies y mejoras estructurales para proteger los productos de la suciedad, la corrosión y el uso, asegurando así un mantenimiento reducido y una vida útil más larga.
8. Planear con antelación aspectos como mejoras, reparaciones y reciclaje del producto mediante el uso de etiquetas, diseño modular, puntos de desensamble y manuales.
9. Promover las mejoras, reparaciones y reciclaje por medio del uso de materiales simples, reducidos, reciclados, que no sean compuestos o aleaciones.
10. Usar pocos elementos de sujeción o uniones, hacer uso de tornillos, adhesivos, soldadura, snapfits, cierres geométricos, entre otros, de acuerdo con el escenario del ciclo de vida.

○ **Estrategia de desarrollo de ciclo de vida, *Lifecycle Development Strategy Wheel (LiDS)* (Herramienta analítica)**

La rueda "LiDS" es una herramienta desarrollada como un enfoque simplificado del análisis de ciclo de Vida (ACV). Las reglas de oro del ecodiseño se encuentran en los ocho ejes de la rueda en sentido de las manecillas del reloj siguiendo la secuencia del ciclo de vida de un producto (Jones et al. 2001).

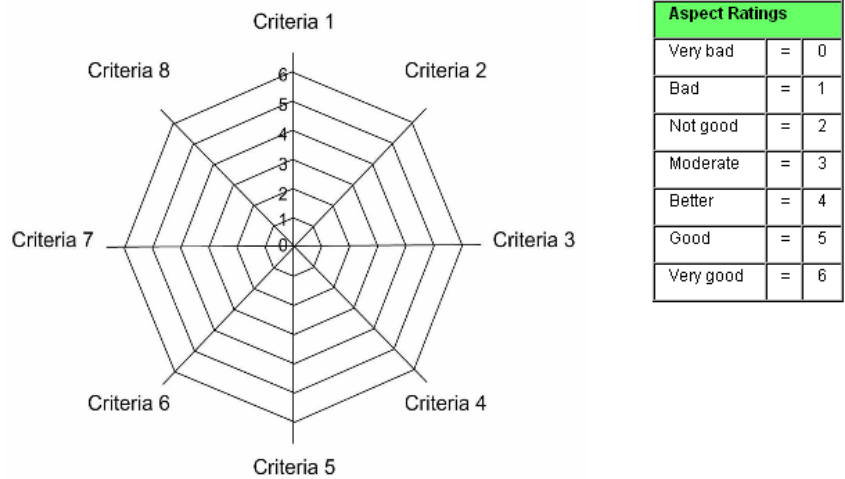
Esta herramienta dibuja de manera muy visual un mapa comparativo de nuevos productos en relación al producto original al igual que la herramienta *Eco compass*. Ambas herramientas además condensan información ambiental relevante de manera visual haciendo que sea muy amigable e interactivo como se ve en la figura 13.



**Figura 13. Rueda LiDS**  
Fuente: (Koreevar, 2011)

Esta herramienta es criticada por Knight and Jenkins (2009), ya que afirman que las herramientas de estrategia, están generalmente controladas por las especificaciones del usuario, lo que implica una falta de libertad en la aplicación del ecodiseño y restringiendo el enfoque de las empresas al implantar una estrategia autoimpuesta. De este modo este tipo de herramientas deben ser usadas con estas limitaciones o cuando exista una cultura de ecodiseño muy establecida.

- **E-concept: Diagrama de telaraña (*Spiderweb diagram*) (Herramienta analítica)**  
Esta herramienta ha sido desarrollada por E-concept. Es un diagrama de ocho ejes, en el que con base en diferentes objetivos y preocupaciones del proyecto específico que se esté realizando pueden variar (SME Funded Project, 2011). Esta herramienta se usa para realizar una evaluación gráfica y ambiental de un producto usando criterios flexibles. Algunos criterios que pueden ser usados son:
  - Eficiencia en el uso de recursos
  - Satisfacción de las necesidades
  - Satisfacción de los usuarios finales
  - Evitar el uso de sustancias tóxicas
  - Residuos y emisiones
  - Reciclabilidad
  - Eficiencia en los costos
  - Estética del producto
  - Durabilidad



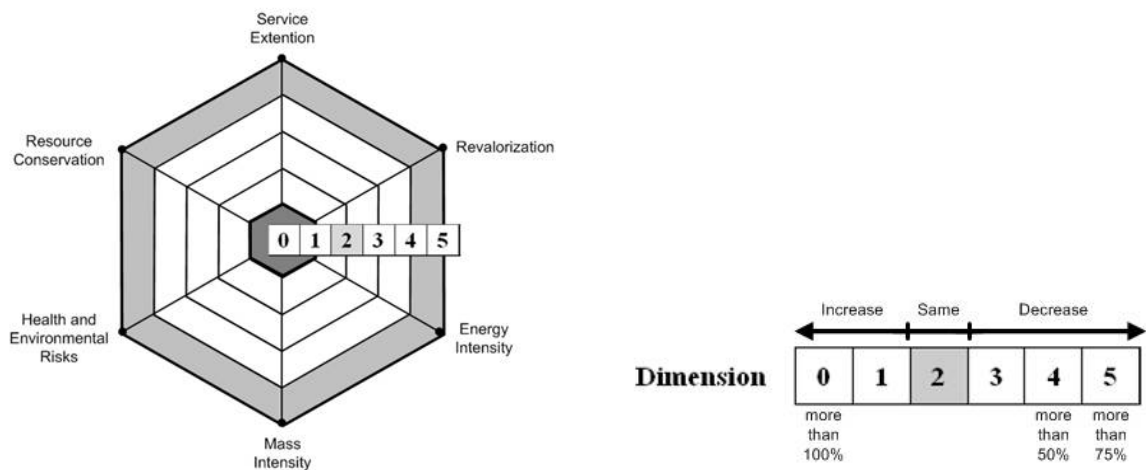
**Figura 14. Diagrama de telaraña (E-concept)**

Fuente: (SME Funded Project, 2011).

Esta herramienta permite también la comparación gráfica de productos o de análisis de sensibilidad de cambios de un mismo producto con el producto de referencia.

o **Eco-compass (Herramienta analítica)**

Esta herramienta fue desarrollada por David Rusell y otros colegas de una empresa diversificada de la industria química llamada DOW, y hace parte del proceso de Eco-innovación de la empresa (SME Funded Project, 2011).



**Figura 15. Eco-compass**

Fuente: (SME Funded Project, 2011).

El Eco-compass fue diseñado para condensar información ambiental y datos de una manera simple en el cual se integran aspectos ambientales con decisiones de negocio (figura 15). El eco-compass tiene seis polos o ejes que representan todos los aspectos ambientales fundamentales: intensidad de masa, reducción de la salud humana, riesgo ambiental, intensidad de energía, re-uso y valorización de residuos, conservación de recursos y extensión del servicio o función (Jones et al. 2001).



Esta herramienta, tanto como la rueda LiDS y el diagrama de telaraña permite la comparación de nuevos productos o conceptos en relación al producto original. El sistema de puntuación usado va de 0 a 5, para evaluar cada aspecto ambiental. Como la herramienta Eco-compass no puede ser usada para evaluar un solo producto, generalmente el punto “2” se marca como la puntuación del producto o actividad que se tome de referencia, y luego se establece un método para evaluar las ideas con respecto al producto referencia como se muestra en la siguiente figura 15.

El sistema de puntuación para cada dimensión, depende del porcentaje en la que esta dimensión aumente o disminuya el rendimiento del producto. Es decir, una calificación más alta significa que la opción comparada tiene un mejor rendimiento que la de referencia.

- **Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Herramienta analítica)**  
Al tratarse de la herramienta más usada para este trabajo, todo lo relacionado con ACV se encuentra ampliamente descrito en el apartado 5.4.2 y en la metodología de ecodiseño en el apartado 7.
- **Metodología del ecoindicador 99 (Herramienta analítica)**  
Esta base de datos permite calcular el impacto asociado a los distintos procesos de obtención de materiales (manufactura o transporte de cada aspecto), asignando milipuntos a una unidad de peso a cada tipo de material o a cada unidad de determinada actividad (soldadura, transporte, entre otros), basta multiplicar los milipuntos por la cantidad de material o unidades de actividad. Para obtener el resultado final, se suman los distintos materiales y actividades de los procesos, obteniendo un valor total del producto que se quiere evaluar.  
Esta metodología permite la comparación rápida de cambios de diseño de un mismo tipo de producto.
- **Huella de Carbono (Herramienta analítica)**  
Consiste en la cuantificación y comunicación de las emisiones de GEI asociadas directa o indirectamente a un producto, a lo largo de su ciclo de vida. Actualmente existen diferentes estándares para el desarrollo de declaraciones de carbono, siendo los más reconocidos internacionalmente el PAS 2050 y el GHG Protocol (Memoria Renia, 2010).

La huella de carbono es una herramienta que ha tenido gran crecimiento y aceptación, y aunque realmente su finalidad es mostrar las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes de diferentes actividades, tal y como puede hacerlo un estudio de ACV con indicadores como el potencial de calentamiento global, la huella de carbono o *carbon footprint* puede ser fácilmente calculada y es simple, pero al usarse debe tenerse en cuenta que tal simplificación puede llegar a ocultar otra información relevante (Weidema et al. 2008).

Puede decirse entonces que la huella de carbono está basada en el pensamiento de ciclo de vida. Su actual norma PAS2050, usa la mayoría de conceptos y directrices de

las normas ISO para ciclo de vida 14040. Un análisis completo de la huella de carbono puede entonces considerarse un subconjunto de ACV, teniendo en cuenta como se dijo anteriormente que está limitado a una única categoría (Benveniste, 2010).

En España se han desarrollado y promovido herramientas de ecodiseño en diferentes organizaciones e instituciones, una de las más relevantes es el **IHOBE** (Sociedad Pública Ambiental del Gobierno Vasco) con múltiples actividades de impulsión, Jornadas, gestión de programas de ayuda a las empresas vascas en implantación de sistemas de gestión de ecodiseño de acuerdo a la **norma UNE 150301**.

○ **Norma UNE 150301: “Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño”**

Objetivos generales (Alonso, 2006):

- Minimizar los impactos ambientales generados por productos o servicios desde su diseño, promoviendo un enfoque preventivo.
- Sensibilizar al mercado sobre la importancia del impacto ambiental generado por productos o servicios, impulsando la información activa por parte de las empresas productoras, tanto a los usuarios como a otros agentes clave a lo largo del ciclo de vida, como por ejemplo los recicladores.
- Fomentar el cambio de perspectiva, pasando de un enfoque basado en los aspectos ambientales asociados a la fabricación del producto, a una identificación más amplia en la que se incluyen los generados en otras etapas del ciclo de vida
- Establecer una sistemática que asegure la mejora ambiental continua en el diseño de productos y servicios, es decir, que todos los productos diseñados o rediseñados incorporen alguna mejora ambiental.
- Facilitar un distintivo a las empresas que garantizan los mínimos establecidos en la norma, mediante la certificación, que les suponga una ventaja competitiva en el mercado.

**Aspectos clave de la Norma UNE 150301** (Alonso, 2006)

- a. Identificación y evaluación de aspectos: se deben identificar los aspectos ambientales o elementos que puedan originar impactos en el medio ambiente de cada uno de los productos a diseñar o rediseñar a lo largo de todo su ciclo de vida.

Herramientas:

- Cualitativas
- Semi-cuantitativas
- Cuantitativas

- b. Requisitos legales y otros requisitos: Se establece una sistemática para identificar y mantener al día los requisitos legales de carácter ambiental aplicables exclusivamente al producto o servicio a diseñar o rediseñar, como paso previo a su incorporación al proceso de diseño para asegurar su cumplimiento.

- c. Control operacional: Mediante el control operacional se incorpora en el proceso de diseño y desarrollo una sistemática de identificación, control y mejora continua de los aspectos ambientales de todos los productos o servicios de la organización.

Ficha de producto:

Aspectos significativos y no significativos de cada etapa del ciclo de vida, sobre los que se establecen objetivos.

Objetivos de mejora ambiental y metas/acciones asociadas previstas para su consecución

- d. Comunicación: La comunicación es uno de los requisitos importantes dentro del sistema, incluyendo tanto el flujo de información interna como externa.

Comunicación Interna: Se fomenta la participación en los equipos de diseño de aquellas personas de la organización que puedan aportar mejoras ambientales al mismo.

Comunicación externa: Se recoge información de cualquier parte interesada que pueda ayudar a optimizar el diseño, desde el punto de vista ambiental, destacando la de agentes clave en el impacto como usuarios o recicladores.

También resulta clave suministrar información de forma activa a los agentes afectados a lo largo del ciclo de vida sobre su actuación para el óptimo comportamiento ambiental del producto, por ejemplo a los consumidores en la etapa de uso o los valorizadores en la de reciclaje.

#### **FASES (Rupérez, 2008)**

1. Selección del producto y determinación de los factores motivantes.
2. Determinación de los Aspectos ambientales significativos del producto.
3. Generación de las Ideas de mejora y del pliego de condiciones para el desarrollo del nuevo producto.
4. Desarrollo de alternativas conceptuales. Evaluación y selección.
5. Diseño de detalle el nuevo producto.
6. Definición de las acciones de mejora a futuro para el producto y para la empresa.
7. Campaña de lanzamiento.
8. Evaluación del proyecto y sus resultados.

#### **Conclusiones sobre la búsqueda de literatura en Ecodiseño**

Existe una gran variedad de herramientas de ecodiseño, que lejos de ayudar a su aplicación en la industria, plantean un reto, ya que además de todos los aspectos considerados en el desarrollo de un producto o servicio la selección de una herramienta de ecodiseño puede incrementar la carga de trabajo.

Esta amplia variedad de herramientas, también hace notar que no todas son aplicables a casos particulares de diseño. Según Knight and Jenkins (2009), no existe una herramienta que sea una “talla única” o 100% adecuada para todos los casos, y en muchas ocasiones lo que se necesita es una adaptación de las herramientas o del proceso realizado para cada caso de

estudio, esto puede hacerse, simplemente seleccionando las herramientas que apoyaran el proceso de ecodiseño o mediante una adaptación detallada de estas herramientas a los casos específicos de diseño de productos. En el desarrollo de la metodología para este trabajo, se tendrán en cuenta y adaptarán las diferentes metodologías aquí descritas que sean aptas y convenientes para la evaluación y comunicación de resultados y recomendaciones.

#### **5.4.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

Teniendo en cuenta la información recopilada en el apartado de ecodiseño y demás apartados anteriores del marco teórico, se puede concluir que existe una creciente necesidad de entender y cuantificar los impactos que provienen de la fabricación y consumo de productos y servicios. Para evaluar dichos impactos existen diferentes técnicas y una de ellas es el análisis de ciclo de vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) que es una de las herramientas más completas e integrales para realizar dicha evaluación (requiere tiempo y esfuerzo).

Los estudios de ACV pueden ayudar a:

- Identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de los productos en sus diferentes etapas del ciclo de vida.
- Informar a los actores en la cadena de valor, industrias, entes gubernamentales y no gubernamentales para la planeación estratégica, establecimiento de prioridades y diseño de productos y procesos.
- Seleccionar indicadores ambientales relevantes.
- Realizar marketing (Eco-etiquetado o declaraciones ambientales de producto DAP).

Para la realización de estudios de ACV fueron creadas las normas ISO (*International Organization for Standardization*) 14040:2006 e ISO 14044: 2006 que reemplazan a las normas ISO anteriores referentes al ACV: ISO 14040:1998, ISO 14041:1999, ISO 14042:2001 e ISO 14043:2001. Las normas ISO 14040-44 explican en detalle los requerimientos para conducir un estudio de ACV.

#### **Descripción general del Análisis de Ciclo de Vida**

Los ACV pueden describirse por medio de las siguientes características (ISO, 2006a):

- Perspectiva de ciclo de vida: tienen en cuenta toda la vida del producto, desde la extracción de materias primas, energía y materiales en la producción y la manufactura, el uso y mantenimiento, y el final de la vida útil y desmantelamiento.
- Enfoque ambiental. Los ACV pueden combinarse con otras herramientas para evaluar aspectos económicos y sociales.
- Enfoque en una unidad funcional: el estudio se estructura a partir de una unidad funcional que define qué es lo que está siendo estudiado.
- Enfoque iterativo: elaboración por fases y entre fases.
- Transparencia: garantiza una apropiada interpretación de resultados.
- Comprensión: los ACV consideran aspectos del ámbito natural, medio ambiente, salud humana y recursos. Considerando todos estos aspectos en un estudio pueden identificarse potenciales *trade-offs*.
- Prioridad en el enfoque científico.

### Fases (Según norma ISO 14040:2006) (ISO, 2006a)

Los ACV consisten en cuatro fases principales como se muestra en la figura 16 que son:

1. Definición de objetivos y alcance
2. Análisis de inventario
3. Evaluación de impactos
4. Interpretación

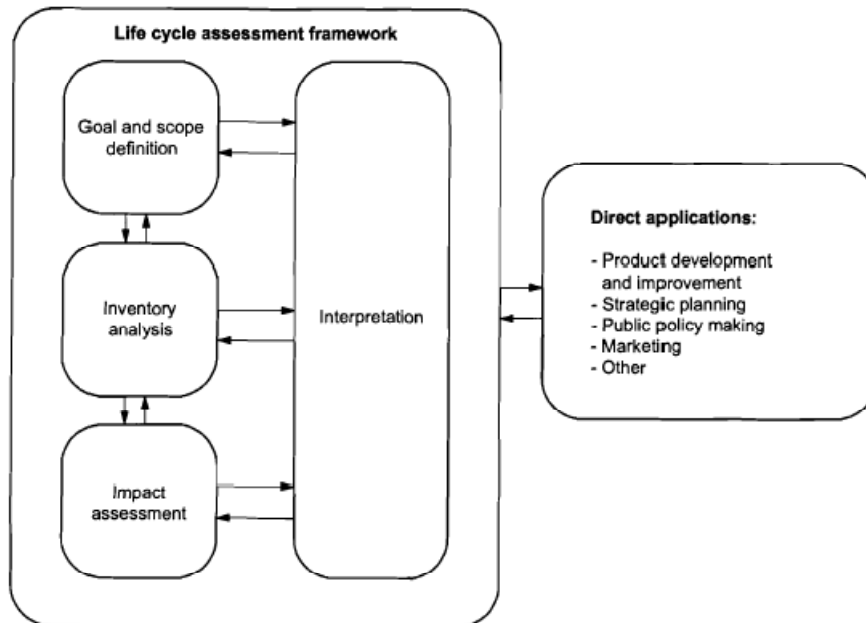


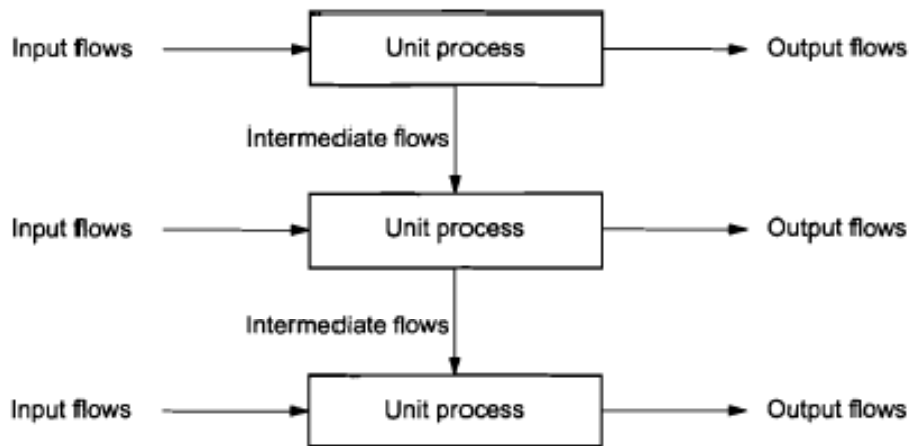
Figura 16. Fases y estructura del ACV

Fuente: (ISO, 2006a)

Los resultados de los ACV son frecuentemente usados como información de entrada para diferentes procesos de toma de decisiones. En el caso de este proyecto los resultados del ACV serán usados para la fase de ecodiseño de los paneles solares y recomendaciones de mejora para los productos.

### Concepto "Product System" (Sistema del producto)

En estudios de ACV es fundamental el establecimiento del producto a analizar como un sistema que desempeña una o más funciones. Los sistemas de productos se subdividen en grupos de procesos que están vinculados unos a otros por medio de flujos o productos intermedios (Ver figura 17). Dividir un sistema de producto en sus unidades de procesos facilita la identificación de entradas y salidas del sistema. Se requiere un alto nivel de detalle en la modelación del sistema para satisfacer el objetivo del estudio.



**Figura 17. Ejemplo de un grupo de unidades de procesos dentro de un sistema de producto**  
Fuente: (ISO, 2006a)

El marco metodológico, que consiste en los pasos y requerimientos detallados para la elaboración de un estudio de ACV están recopilados y explicados en el apartado 7 del presente PFM, Metodología de ecodiseño.

## 6. Estado del arte

En los últimos años con el crecimiento y desarrollo de las energías renovables y en específico de la energía solar térmica -tema central de este trabajo-, se han desarrollado diferentes análisis ambientales, tanto de ciclo de vida como de beneficios y posibles mejoras de los sistemas relacionados con la energía solar. A continuación se listarán algunos de los análisis estudiados y algunas de sus conclusiones más importantes, que entregan información relevante para el presente proyecto.

La siguiente tabla entrega una visión sintética y cronológica del estado del arte realizado en el presente proyecto, para encontrar la versión completa de este estado del arte ir al Anexo 2.

**Tabla 2. Resumen del estado del arte**

Año	Referencia	Aspectos relevantes
1999	<i>Towards making solar water heating technology feasible - the polymer solar collector approach</i>  (Tsilingiris, 1999)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para obtener una tecnología factible se requieren soluciones de bajo costo &gt; Colector solar modular hecho de materiales poliméricos reciclados.</li> <li>- Ventajas: minimizar tubería asociada, limitar corrosión.</li> <li>- Uso: grandes placas solares (campos de placas de concentración)</li> <li>- Diseño: cubierta de vidrio, la placa de absorción y carcasa están hechas de polímero. La carcasa es compuesta por partes modulares prefabricadas &gt; ensamblaje <i>insitu</i>.</li> <li>- <b>Conclusiones:</b> la poca conductividad térmica de los plásticos va en contra de la teoría de la energía solar térmica &gt; se requiere más investigación. El <i>payback</i> (tiempo de recuperación de la inversión) es sustancialmente más bajo que el objetivo.</li> </ul>
2001	<i>Collector Cum Storage solar water heaters with and without Transparent Insulation Material</i>  (Chaurasia y Twidell, 2000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Objetivo: Comparar dos unidades de sistemas solares con almacenamiento integrado, una con un material aislante transparente (Policarbonato) y otra sin él.</li> <li>- Al tener el almacenamiento integrado, este tipo de sistemas tienen altas pérdidas de temperatura durante la noche haciendo necesaria una cubierta adicional para aislar el sistema.</li> <li>- Parámetros analizados: pérdida total de calor, eficiencia de almacenamiento.</li> <li>- <b>Conclusiones:</b> la cubierta de Policarbonato se ha encontrado muy efectiva comparada con el uso de una cubierta de vidrio ya que entrega temperaturas más altas en la mañana del día siguiente (entre 8,5 a 9,5°C) ya que retiene más calor durante la noche, sin necesitar un aislamiento adicional. Además la eficiencia de almacenamiento ha sido de 39,8% con la cubierta de aislamiento transparente comparado con un 15,1% sin esta cubierta.</li> </ul>

2004	<p><i>Life cycle environmental impact of a <b>thermosiphonic</b> domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating</i></p> <p>(Tsilingiridis et al. 2004)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de sistema: termosifón. Comparación: con electricidad y gas.</li> <li>- Etapas estudiadas: manufactura y ensamblaje.</li> <li>- Metodología: Uso del eco-indicador 99.</li> <li>- Caso estudio: colectores planos, diferentes tamaños en Grecia.</li> <li>- <b>Conclusiones:</b> ganancia del sistema solar sobre el uso de la electricidad de 696 a 2117 PT de impacto ambiental (según su tamaño)</li> </ul> <p>El acero y el cobre son los materiales de mayor contribución al impacto ambiental. Un calentador 100% de gas natural tiene un menor impacto que un sistema híbrido (solar eléctrico).</p>
2004	<p><i>Comparación económico-ambiental del <b>uso de energía solar respecto al gas natural</b> para agua caliente sanitaria en la ciudad de Mendoza (Argentina)</i></p> <p>(Correa et al. 2004)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etapas estudiadas: fabricación, instalación y uso. Base de 20 años vida útil.</li> <li>- Tipo de sistema: colector solar plano con sistema directo de calentamiento y un tanque de acumulación.</li> <li>- Cálculo de consumo de agua (no hay datos estadísticos) 50 l persona/día.</li> <li>- <b>Conclusiones:</b> con el uso de energía solar &gt; reducción del 60% de GEI (Gases de Efecto Invernadero)</li> <li>- El consumo de gas auxiliar es altamente impactante. La extracción y procesamiento del níquel (acero inoxidable del tanque) es el proceso más impactante seguido por la producción de fibra de vidrio.</li> </ul> <p>La producción del aluminio de la placa de absorción seguido del consumo eléctrico para la transformación de metales son los procesos de mayor impacto.</p>
2005	<p><i>Environmental impacts from the solar energy technologies</i></p> <p>(Tsoutsos et al. 2005)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio más general del tema. Temática: Cómo minimizar aspectos de estos sistemas: escoger lugar apropiado, uso adecuado (operación, uso del agua), integración en fachadas de edificios.</li> <li>- Impactos comunes de estos sistemas: contaminación por posibles fugas del anticongelante, impacto visual (posibilidad estética de integración), efecto en los edificios (incremento riesgo incendio-filtración de agua en techos).</li> </ul>
2005	<p><i>Life cycle assessment of a solar thermal collector</i></p> <p>(Ardente et al. 2005)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de sistema: termosifón (circulación natural). Componentes: colector plano, tanque y soporte.</li> </ul> <div data-bbox="794 1738 1129 2018" data-label="Image"> </div>

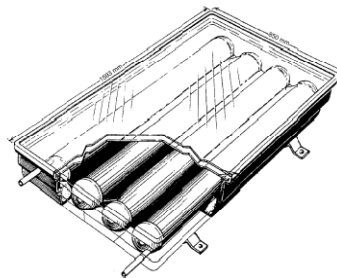


- Etapas estudiadas: producción, instalación, mantenimiento, transporte y desecho (el uso no se considera por la circulación natural). Unidad funcional: el colector.
- **Conclusiones:** el consumo energético directo para producción e instalación es el 5% del total del consumo. 6 % corresponde al transporte. El Resto de % en producción de materias primas (extracción de materiales). El mantenimiento representa gran consumo de energía primaria (cambio de repuestos). La producción causa emisiones directas por procesos de corte y soldadura. Emisiones por transporte (10-15%). *Payback:* menos de 2 años.

2005 *Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage*

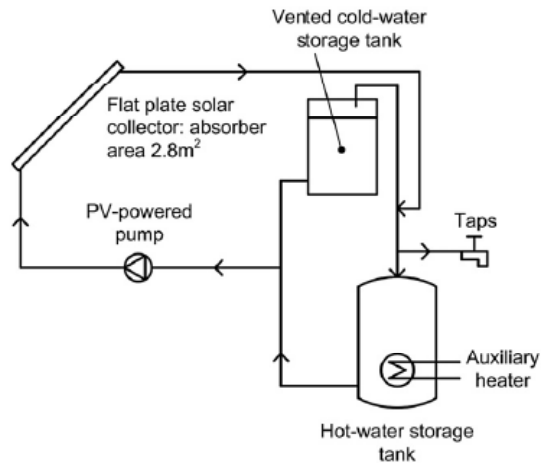
(Battisti y Corrado 2005)

- Tipo de sistema: colector solar plano con almacenamiento integrado, es menos costoso y más simple que un colector plano tradicional. Unidad funcional: el colector.
- Etapas estudiadas: extracción de materiales, producción de componentes, ensamble, uso, desecho y todos los transportes (en el uso el consumo eléctrico no es tenido en cuenta por la circulación natural).



- Resultados: la fase de producción, en especial la tubería de cobre, es la que mayor impacto representa.
- Basados en los resultados del estudio, y sabiendo que fases eran las que más impacto tenían se realizaron diferentes análisis de sensibilidad:
  - 1. Sustituir tubería de cobre por acero:** resultados, -5% en conductividad, -70% impacto en las categorías de GEI y consumo de energía primaria.
  - 2. Uso de material transparente de aislamiento como cubierta adicional:** +1-2% impacto adicional, +20% salida de energía.
  - 3. Recuperación de material y reciclaje:** recuperar acero y cobre (con una tasa del 80% de desensamble) = menor valor de impactos (GEI, energía primaria). Otros cambios realizados, como sustituir el material aislante por otros, no obtuve grandes diferencias o aportaciones.
- *Payback:* 5 a 19 meses.

2008	<p><i>Life Cycle Analysis of a Thermal Solar Installation at a Rural House in Valladolid (Spain)</i></p> <p>(Rey-Martínez et al. 2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Este ACV se realiza a una instalación solar con colectores planos usados para la producción de ACS en una casa unifamiliar en Tudela de Duero en Valladolid, España. Se realiza una comparación para analizar cuál de los dos conceptos (convencional: calentador a gas o instalación solar) tiene el menor impacto ambiental.</li> <li>- Metodologías: ISO 14040, ISO 14042, Eco-indicador 95, Eco-indicador 99 y ESP2000.</li> <li>- <b>Tipo de sistema:</b> dos colectores solares de 2m<sup>2</sup>, superficie absorbente y la tubería es de cobre, y la cubierta de vidrio, acumulador acero vitrificado de 300l. Vida útil: 25 años.</li> <li>- <b>Sistema auxiliar:</b> calentador a gas. Se calcula la demanda anual y la cobertura solar de esa demanda para conocer la aportación que debe hacer el sistema auxiliar. Comparación con una instalación de gas natural: la comparación ambiental se realizado con base en el método ESP2000. El consumo de gas natural en una instalación convencional en los 25 años de ciclo de vida sería de 0.47 TJ y la de una instalación solar de 0.14 TJ.</li> <li>- <b>Conclusiones:</b> El impacto ambiental causado por una instalación solar es mucho más pequeño que la de una instalación de gas natural, ya que la producción de energía es ambientalmente amigable cuando se mantiene un mínimo de uso de gas natural en días nublados. Estas ventajas, eclipsan el impacto ambiental causado por la producción de los sistemas. El tiempo de vida útil estimado para la comparación (25 años) se muestra normal para las predicciones de un sistema solar mientras que para una instalación convencional de gas natural no (según estadísticas de fabricantes). El uso de sistemas solares debe hacerse combinado con sistemas de alta eficiencia (calentadores modernos) con el mínimo consumo ambiental.</li> </ul>
2010	<p><i>Integrated appraisal of a Solar Hot Water system</i></p> <p>(Allen et al. 2010)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación de sistemas solares para producir ACS en un sector residencial del Reino Unido fue realizada para evaluar su rendimiento energético, ambiental y económico.</li> <li>- <b>Tipo de sistema:</b> de circulación forzada con el uso de colectores planos y con un sistema auxiliar de gas natural.</li> </ul>



- Se realiza primero un análisis energético: metodología usada para describir las consecuencias energéticas del uso de un producto o actividad durante todo su ciclo de vida. Consumo medio: para una casa de 2.4 personas una cantidad de 110l diarios.
- Las estimaciones fueron realizadas para dos escenarios de consumo: 100l/día y 150 l/día ya que el consumo variará entre esas cantidades según el mes del año. El agua que ingresa de la red también varía según el mes, pero tiene una temperatura media de 16°C.
- **Análisis ambiental** > etapa producción: La producción de aluminio es altamente intensiva en consumo de energía y tiene muchos impactos asociados a su extracción y residuos. El uso de aluminio reciclado tendría un impacto representativo en los resultados.  
Se realizó entonces una comparación, considerando un sistema que usó aluminio 100% virgen y aluminio reciclado en 50%, obteniendo reducciones importantes en sustancias cancerígenas, *smog* y acidificación.
- **Etapa de uso:** en esta etapa se compara el sistema solar con tres escenarios básicos cuando reemplaza un sistema eléctrico, a gas o con aceite. Los efectos más dominantes se encuentran en categorías como gases de efecto invernadero, metales pesados y reservas energéticas.  
Se contabilizó la reducción de emisiones de carbono gracias al uso de sistemas solares para el calentamiento de agua. El tiempo de recuperación de las emisiones de carbono es de dos años (*payback ambiental*).
- **Conclusiones:**  
Cuando un sistema solar reemplaza a un calentador a gas, eléctrico o de aceite, este provee un beneficio de energía neta por un tiempo estimado de 25 años, mejorando la seguridad energética y reduciendo el uso de fuentes energéticas no renovables.

2011	<p><i>Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation</i></p> <p>(Hernández y Kenny 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Objetivo:</b> analizar dos aspectos poco discutidos hasta ahora: rendimiento real de los sistemas solares para el calentamiento de agua en su operación y enfoque de ciclo de vida en el uso de la energía.</li> <li>- Tipo de sistemas: seis sistemas (planos y de tubos de vacío) en Irlanda, monitorizados durante un año. Cálculo del rendimiento de las instalaciones con variables: uso de agua caliente, energía solar captada y radiación.</li> <li>- <b>Conclusiones:</b> Dos de los seis sistemas muestran un rendimiento mejor de lo esperado (instalación y mantenimiento apropiados, mejor radiación, la demanda de agua no fue mayor a la esperada). Payback ambiental: de medio año a dos años, tres para Irlanda (ubicación geográfica). En los cuatro sistemas donde el ahorro fue menor, los colectores fueron sobredimensionados y al ser combinados con otros sistemas el rendimiento fue peor (defectos en instalación y control). Los factores más determinantes son: demanda real de ACS y el uso de sistemas auxiliares. La instalación y la operación son esenciales en su rendimiento.</li> </ul>
2011	<p><i>General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment - Potential energy savings and environmental impact</i></p> <p>(Golić et al. 2011)</p>	<p>Enfoque en la instalación en proyectos de remodelación de edificios.</p> <p>Importante el cálculo del potencial del edificio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planeación urbana y clima, capacidad del edificio, aspectos arquitectónicos relevantes, selección del tipo de sistema solar térmico.</li> <li>- Resultados: obtención de una guía sistemática para llegar a un diseño óptimo de integración en términos de establecimiento de criterios y estructura de preferencias.</li> </ul>

Conclusiones sobre el estado del arte:

- o La etapa de uso es generalmente poco considerada en los ACV anteriormente estudiados en la bibliografía de referencia (11 estudios). La mayoría de estudios argumentan que se debe al uso de sistemas con circulación natural, pero hay que tener en cuenta que incluso cuando se usan estos sistemas, la demanda de agua caliente puede ser mayor a la cantidad ofrecida por los sistemas solares, haciendo necesario el uso de otras fuentes de energía (electricidad o gas). Sería interesante hacer una inclusión más rigurosa de la etapa de operación y patrones de uso, porque los estudios más generales apuntan a esta etapa como gran responsable del rendimiento energético del sistema y en el ahorro de energía real.

- La extracción de los materiales de entrada es la etapa de mayor impacto, pero es un punto muy sensible para cambiar (cambio de materiales y componentes) y que supone un amplio y detallado conocimiento de estos sistemas.
- El uso de sistemas auxiliares aumenta considerablemente el impacto de estos sistemas. Por ejemplo, uno de los artículos estudiados afirma que es menos impactante un sistema 100% de gas natural que un solar/eléctrico.
- El impacto visual es otro tema poco tenido en cuenta en los estudios (es un tema más “superficial” que no afecta tanto su impacto ambiental total, pero puede ser un punto débil interesante), y sumado a innovaciones en la manera de instalar que pueda reducir materiales o procesos lo convierte en un punto de interés (Ver Anexo 1).
- Los tiempos de recuperación de las emisiones de carbono (*payback ambiental*), suelen estar entre los 0.5 a 3 años.
- Debido a que cambios en los materiales o componentes pueden ser “atrevidos” o incluso innecesarios o difíciles de llevar a cabo, sería interesante seguir alguna línea recomendada por artículos en este estado del arte como los análisis de sensibilidad realizados por Battisti y Corrado (2005), algunos de estos son:

**Cambios en etapa de producción:** un ejemplo es la tubería de cobre que tiene una gran contribución a los impactos totales de un colector acumulador. El principal inconveniente a la hora de cambiar y proponer materiales es el tiempo requerido para estudiar materiales que puedan reemplazar los existentes.

**Mejorar el aislamiento y la producción de energía térmica:** mediante el uso de cubiertas adicionales en policarbonato -u otros materiales transparentes de aislamiento-, como se hace en el artículo de Chaurasia y Twidell (2000). A pesar que estos autores lo recomiendan específicamente en los sistemas solares con almacenamiento integrado, podría analizarse qué tanto podría aportar esta recomendación en sistemas con colectores planos y almacenamiento separados.

**Realizar control sobre la disposición del producto realizando recuperación del material y reciclaje:** el principal inconveniente de esta recomendación es que existe poca información sobre este tema, porque pocos colectores han llegado a su final de vida útil.

Otros cambios realizados como el uso de un material diferente de aislamiento tienen muy poca contribución a la disminución de impactos.

- Otros cambios interesantes son los mencionados en el artículo de Allen et al. (2010) sobre considerar aluminio reciclado para el cuerpo y carcasa del colector que es el elemento de mayor impacto, o incluso otro tipo de material que cumpla las funciones principales de este elemento.
- El sobredimensionamiento de sistemas también puede ser responsable de una disminución en el rendimiento esperado y aumento del impacto. Otros factores

determinantes son el cálculo de la demanda real de ACS y sistemas auxiliares descritos anteriormente.

- Se habla más bien poco del proceso de instalación de estos sistemas, sin embargo se considera que defectos en la instalación y control del sistema puede ser determinantes en su funcionamiento.
- Muchos de los estudios analizados previamente se quedan a puertas de proponer cambios de ecodiseño, es decir, llegan a concluir y destacar las partes o puntos más importantes o de alto impacto ambiental en los sistemas solares térmicos, pero pocos llegan a realizar un planteamiento de escenarios o análisis de sensibilidad completos que den una guía clara sobre qué cambios serían más convenientes y provechosos realizar. Esto puede ser una muestra de la dificultad y esfuerzo que requiere un estudio de evaluación de nuevas propuestas de cambios en el ecodiseño. Tiempo, esfuerzo, recursos además de un amplio conocimiento de estos sistemas son elementos fundamentales para conocer las necesidades, puntos no negociables y normativa que pueden llegar a regir o imposibilitar cambios en los sistemas.
- Debido a lo mencionado anteriormente debe definirse un alcance coherente con el tiempo y recursos de los que se disponen para la realización de este proyecto. A continuación se describen algunos puntos importantes que definen de manera más detallada el alcance del caso de estudio para este proyecto:
  - Los cambios que pueden proponerse en el marco del presente PFM son de una magnitud reducida, tales como cambios en el material, sustitución o reemplazo de partes para mejorar rendimiento. Todo lo anterior siempre considerando la normativa actual como el código técnico de la edificación (CTE, 2009).
  - Debido a que la normativa y otros elementos pueden influir en la toma de decisiones o en la cantidad de mejoras o cambios propuestos, estos obstáculos o dificultades serán también conclusiones interesantes y aporte de este PFM.

## 7. Metodología de Ecodiseño

Este apartado contiene el desarrollo y la definición de una metodología (figura 18) que tiene como objetivo principal realizar recomendaciones de ecodiseño para sistemas solares térmicos, tanto para fabricantes como instaladores. Esta metodología está directamente basada en las herramientas metodológicas y normativa relacionada descritas en el apartado 5.4, la información y datos de entrada que provienen del proyecto Renia y de las posibilidades y conclusiones del estado del arte (capítulo 6).



Figura 18. Metodología de Ecodiseño

Fuente: (Elaboración propia)

### Fase 1. Descripción inicial del producto o sistema y escenario base

Antes de iniciar la fase de ACV, debe realizarse una breve descripción del producto, especificaciones técnicas, empresa fabricante (si es posible), gráficos del producto y funcionamiento. Esta descripción deberá ser lo más gráfica y corta posible para permitir un primer acercamiento y dar la posibilidad de contextualizar mejor a quien desarrolla esta metodología.

Es muy importante establecer el escenario base para el caso de estudio. El escenario base toma como primer elemento el sistema o producto descrito anteriormente. A partir de allí se describen las etapas que van a tenerse en cuenta, la situación y posibilidades que permite el caso de estudio, además de las limitaciones que serán la base para la toma de decisiones en cuanto a búsqueda de datos, inclusión de etapas y otras suposiciones e hipótesis que deberán ser descritas siempre que se realicen en cada fase de la metodología y en especial del estudio de ACV. El escenario base quedará completamente descrito y desarrollado luego de realizar el primer paso de la fase 1. ACV, definición de objetivos y alcance.

### Fase 2. Análisis de Ciclo de Vida – ACV (Escenario base)

Cuando se realiza un estudio de análisis de ciclo de vida (ACV), se recomienda aplicar los requerimientos y estructura contenidos en la norma ISO 14044:2006 “Requirements and guidelines” (ISO, 2006b).

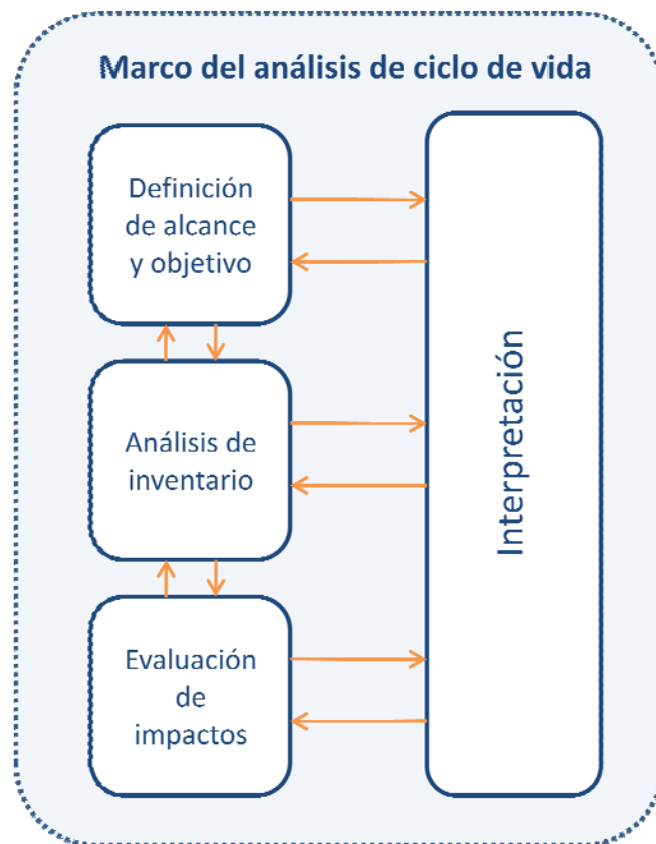


Figura 19. Principales fases de un estudio de ACV

Fuente: ISO, 2006b



- 1. Definición de alcance y objetivos:** Los objetivos y el enfoque del estudio deben ser definidos de manera consistente con la aplicación. Debido al enfoque iterativo del análisis, el enfoque puede ser redefinido durante el estudio.

- Objetivo

Deben definirse los siguientes aspectos: la intención de aplicación del estudio, las razones para llevar a cabo el estudio, a quién va dirigido y a quién interesan los resultados, y si los resultados serán usados para realizar comparaciones.

- Alcance

*Unidad funcional:* especificar las funciones (características de desempeño), siendo consistente con el objetivo y el alcance. La unidad funcional provee una unidad de referencia con la cual las entradas y salidas son normalizadas (matemáticamente).

*Límites del sistema:* determinan qué unidades de procesos son incluidas en el estudio, los criterios usados para establecer estos límites deben ser identificados y explicados. Es recomendable usar un diagrama de flujos de procesos que muestren las unidades de procesos y sus relaciones.

*Tipos y fuentes de datos:* los datos pueden estar tomados de sitios de producción o calculados de otras fuentes (como bases de datos). Las entradas deben incluir el uso de recursos minerales y el uso de productos auxiliares. Los datos deben incluir emisiones al aire, de CO<sub>2</sub>, CO, óxidos de sulfuro, óxidos de nitrógeno.

*Requerimientos en la calidad de los datos:* los datos usados en los estudios de ACV deben tener en cuenta la fecha de los datos, su alcance geográfico y tecnológico, precisión, representatividad, consistencia, que puedan ser reproducidos, fuentes fiables de datos.

Los elementos de objetivo y alcance son los que definen el escenario base del proyecto y deben estar justificados por las limitaciones, posibilidades y condiciones de cada caso de estudio.

- 2. Análisis de inventario**

Recolección de datos: los datos cualitativos y cuantitativos deben ser recolectados para cada unidad de proceso que está dentro de los límites del sistema por medio de formularios. Los diferentes tipos de datos pueden estar clasificados en entradas de energías, materias primas, materiales auxiliares y otras entradas físicas, productos, co-productos y residuos, emisiones al aire, agua y tierra y otros aspectos ambientales.

Existen diferentes bases de datos que ofrecen información sobre determinados productos y procesos para ser usados durante evaluaciones ambientales y ACV, a continuación se describirá brevemente la base de datos usada en el presente caso de estudio.

*Base de datos Eco-invent©*

La base de datos Eco-invent© contiene un Inventario del Ciclo de Vida, resultado del trabajo conjunto de varios institutos suizos para actualizar e integrar bases de datos conocidas ETH-ESU 96, BUWAL 250 y otras varias bases de datos (ESU-services, 2011).

La primera versión se presentó en 2003. La versión utilizada en este estudio es Data v2.2 (2009).

Eco-invent© es la base de datos más completa actualmente en el mercado. Algunas de las características claves de Eco-invent© son:

- Cubre una gran variedad de datos.
- Está bien documentado. Extensos informes de fondo están disponibles.
- Especificación constante de datos inciertos como distribución logarítmica normal con desviación estándar.

El centro Eco-invent© (Suiza) trabaja tanto en el desarrollo de bases de datos para ICV's (Inventarios de Ciclo de Vida) y EICV's (Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida).

La base de datos Eco-invent© contiene el inventario de ciclo de vida de energía (electricidad, petróleo, carbón, gas natural, biomasa, biofuels, bioenergía, hidráulica, nuclear, fotovoltaica, eólica, biogás), de materiales (químicos, metales, plásticos, papel, biomasa, biomateriales), de manejo de residuos (incineración, tratamiento de aguas residuales), de transporte (carretera, tren, aire, barco), productos y procesos de la agricultura, electrónicos, procesamiento de metales, edificación y ventilación (ESU-services, 2011).

En este caso, se dispone de la base de datos de Eco-invent© para sistema fotovoltaicos y colectores solares.

Cálculo de los datos: en el proceso de cálculos de los datos deben tenerse en cuenta aspectos como la validación de datos, relacionar datos a la unidad funcional, refinar los límites del sistema.

- 3. Evaluación de impactos:** esta fase incluye la recolección de indicadores de resultados para diferentes categorías de impacto que juntas formarán el perfil de evaluación de impactos del producto. Esta fase tiene varios elementos indispensables:

Selección de categorías de impacto, categorías de indicadores y modelos de caracterización: la norma ISO 14044 (ISO, 2006b) realiza las siguientes recomendaciones acerca de la selección de categorías de impacto, indicadores y modelos de caracterización:

- Tanto las categorías de impacto, como los indicadores y modelos deben ser internacionalmente aceptados.
- Las categorías de impacto deben representar los impactos agregados de las entradas y salidos del sistema.
- Las suposiciones sobre valores deben ser evitadas al máximo.
- Los indicadores de las categorías de impacto deben ser ambientalmente relevantes.

Asignación de los resultados del análisis de inventario a las diferentes categorías de impacto: deben considerarse dos situaciones básicas, que los resultados del análisis de

inventario sea exclusivas de una categoría de impacto o de más de una categoría de impacto.

Cálculo de los indicadores (caracterización): el cálculo de los indicadores se lleva a cabo por medio de la conversión de los resultados del análisis de inventario a unidades comunes y la agregación de los resultados convertidos en una misma categoría de impacto. Este proceso de conversión usa “factores de caracterización”.

El método por el cual se calculan los indicadores debe ser identificado y documentado incluyendo las decisiones sobre valores y suposiciones realizadas.

Elementos opcionales del análisis de inventario: además de los elementos explicados anteriormente pueden existir algunos elementos adicionales o información tal y como la normalización de datos, la agrupación mediante clasificación y ránking de categorías de impacto, dar peso a los indicadores para dar o restar prioridad a las categorías, análisis de calidad de los datos.

En el caso de la metodología aquí desarrollada el elemento de normalización es necesario para realizar el perfil del producto correspondiente a la tercera fase. La normalización permite dividir los resultados de los indicadores (caracterización) por un valor de referencia, obteniendo de esta manera magnitudes relativas que pueden ser graficadas en diagramas de araña para una mejor comunicación de los resultados. La aplicación de la normalización debe ser consistente con el objetivo y el alcance del ACV y como elemento externo y opcional del estudio debe ser explicado de manera clara y transparente.

- 4. Interpretación:** la interpretación de un análisis de ciclo de vida incluye diferentes elementos:

Interpretación de aspectos importantes: se realiza con el objetivo de estructurar los resultados del análisis de inventario y determinar aspectos significativos en el proceso, considerando las implicaciones de los métodos usados y las suposiciones realizadas. Si los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impactos corresponden a las demandas realizadas en los objetivos y alcance del análisis, la relevancia de los resultados debe ser determinada.

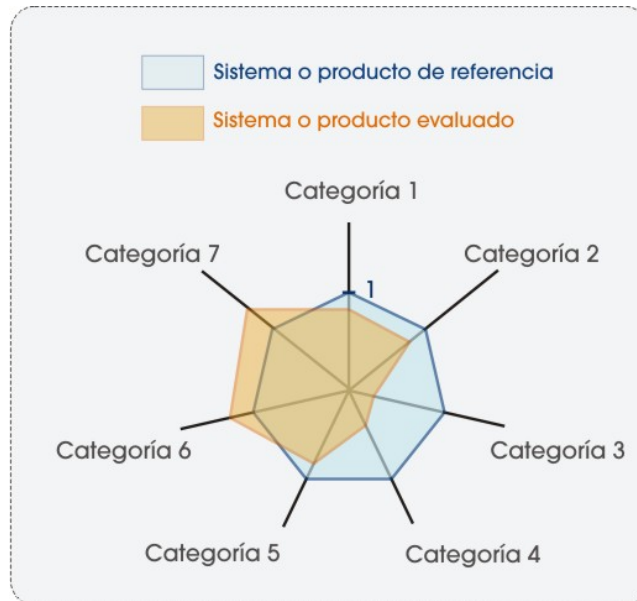
**Conclusiones, limitaciones y recomendaciones:** las conclusiones del estudio deben seguir un proceso similar al siguiente: identificar aspectos relevantes, evaluar las metodologías y resultados, esbozar unas primeras conclusiones y confirmar que son consistentes con el objetivo y el alcance, y una vez hecho esto, reportarlas como conclusiones finales o volver a pasos anteriores. Las recomendaciones deben estar basadas en las conclusiones finales del estudio y recomendaciones específicas debe hacerse para cada actor interesado.

### **Fase 3. Perfil del producto**

Gracias a la recopilación de diferentes herramientas metodológicas de ecodiseño en el marco teórico (capítulo 5), se ha identificado que el uso de diagramas de araña es idóneo para la comunicación del perfil del producto evaluado. Este perfil se realiza con los resultados obtenidos en la evaluación de los impactos de ciclo de vida llevada a cabo en la fase anterior.

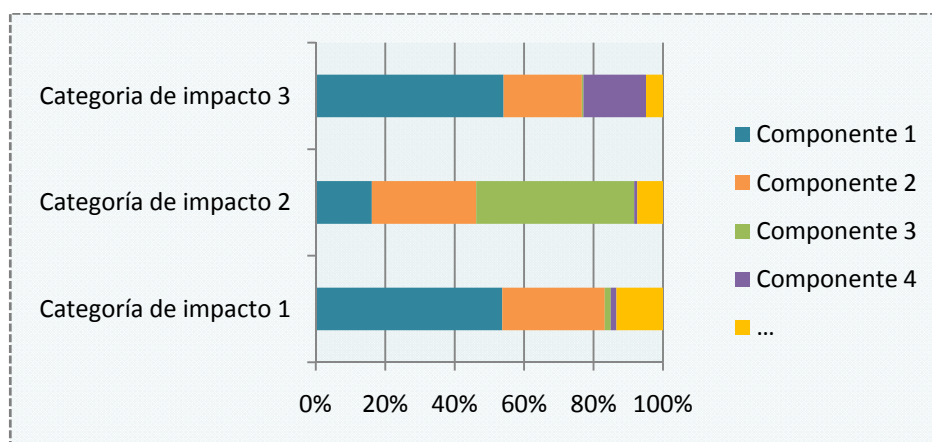
Las gráficas de perfil del producto tienen como objetivo ser una herramienta visual que puede mostrar de manera simple qué puntos, componentes o etapas son las que requieren una mayor atención debido a su alto impacto ambiental y que serán los focos a estudiar para posibles cambios de ecodiseño. Los gráficos para el perfil del producto son los siguientes:

- Gráfico de evaluación del sistema en las diferentes categorías de impacto con respecto a un sistema de referencia: esta gráfica se realiza con base en la normalización realizada en la fase de ciclo de vida (Evaluación de impactos), donde el sistema de referencia tiene un valor de 1 y se compara con el producto o sistema que se está evaluando:



**Figura 20. Plantilla de gráfico para el perfil del producto o sistema evaluado**  
Fuente: (Elaboración propia)

- Gráfico de los componentes del sistema solar con respecto a las diferentes categorías de impactos:



**Figura 21. Ejemplo de gráfico para perfil del producto según el impacto de sus componentes**  
Fuente: (Elaboración propia)

#### Fase 4. Definir escenarios

Una vez identificados los puntos débiles, etapas y componentes de mayor impacto, deben establecerse cambios para estos focos problemáticos del producto. El planteamiento de escenarios debe estar (si es posible) respaldado por una investigación sobre cambios similares que se hayan realizado anteriormente, análisis de nuevos materiales o diseño, entre otra información que dé base a los escenarios propuestos. Se propondrán tantos escenarios como sea posible y conveniente en cada caso de estudio, teniendo en cuenta factores limitantes como tiempo y alcance de los análisis y otros recursos que se requieran, como cantidad y calidad de información.

Cada escenario deberá describir qué cambios y en qué punto se han realizado completando el siguiente formato de tabla:

**Tabla 3. Formato de tabla para la descripción de escenarios**

	Descripción	Etapas y unidad de proceso involucrada	Información referencial o base	Objetivo ppal.
1				
2				
...				

#### Fase 5. Evaluar y Comparar (Análisis de sensibilidad)

Cada uno de los escenarios deberá ser estudiado y evaluado de manera independiente con el modelo de ACV ya creado para evaluar el escenario base. Cada cambio realizado, ya sea material, medidas, componentes o etapas deberá corresponder a un escenario y a un ACV diferente de manera que puedan ser comparados.

En los nuevos escenarios planteados, en cuanto al ACV, solo cambiarán ciertos datos en el inventario o en el sistema, de manera que elementos como: objetivo, alcance, categorías de impacto e interpretación serán los mismos que para el escenario base. De manera que los cambios realizados y la recolección de los nuevos datos a ingresar en el modelo, deben ser justificados y explicados en detalle.

La comparación se llevará a cabo bajo las mismas categorías de impacto y así mismo con los gráficos y plantillas descritas la fase 3 (figura 20). Estas gráficas han sido elegidas ya que permiten sobreponer el perfil de los diferentes escenarios y visualizar de esta manera qué escenario se muestra con potencial de mejora y cual no.

#### Fase 6. Concluir

En esta fase de la metodología se describen los resultados obtenidos de la comparación de escenarios y las conclusiones y recomendaciones para el producto o sistema. Se trata de hacer dos discusiones básicas, la primera sobre la efectividad de los cambios realizados en los diferentes escenarios propuestos respondiendo a las siguientes preguntas:

- ¿Han sido significativos los cambios realizados para cada escenario?

- ¿Cuál de éstos muestra un mayor potencial de mejora?

Con base en las respuestas a estas preguntas, se puede plantear la segunda discusión sobre las recomendaciones finales que se hacen sobre el producto, qué tipo de cambios se recomienda al productor o instalador llevar a cabo, o cuáles de ellas merecen una mayor investigación antes de ser aplicadas.

## 8. Caso de estudio: Termicol

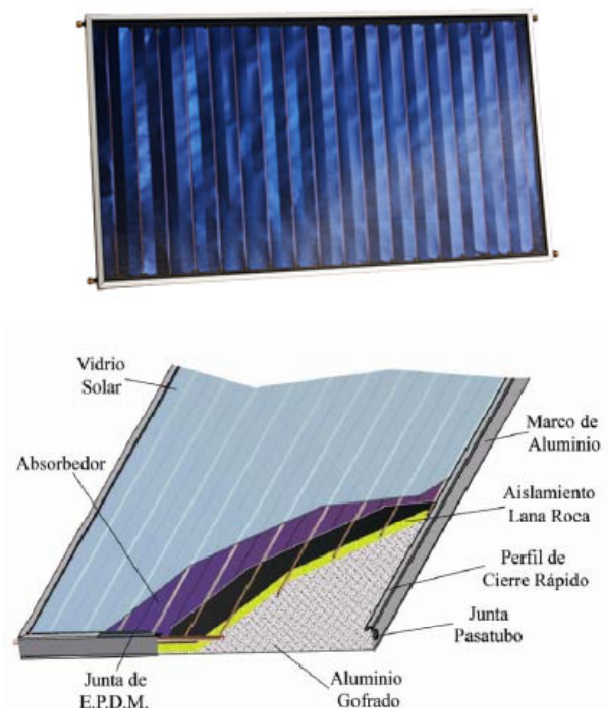
Este apartado corresponde a la fase III del proyecto (figura 1), y consiste en la sección práctica del presente PFM, en la cual se evalúa y lleva a cabo la metodología de ecodiseño planteada en el apartado anterior para obtener resultados, conclusiones y recomendaciones de ecodiseño para un producto concreto, y además, para obtener información relevante que pueda llevar a ajustar o realizar mejoras en la metodología. El caso de estudio se realiza con la colaboración de la empresa Termicol, colaborador del proyecto Renia.

### 8.1 Descripción de la empresa (productos y servicios)

Termicol Energía Solar S.L, es una empresa española, que desde el año 2001 fabrica íntegramente en sus instalaciones de Sevilla una completa gama de captadores solares planos bajo altos estándares de calidad, lo que los ha hecho merecedores de la certificación ISO 9001.

Los productos y sistemas que ofrece Termicol son los siguientes (Termicol, 2011):

1. *Colectores solares planos*: fabricación en serie de seis tipos de captadores, cuatro selectivos de alta eficiencia y dos en cromo negro altamente competitivos. Los captadores planos tienen dos tamaños básicos, 1.9 y 2.4 m<sup>2</sup>, y en el caso de los selectivos en configuraciones horizontales (figura 22), que permiten una mejor integración arquitectónica en terraza plana.



**Figura 22. Colector solar plano horizontal de Termicol**

Fuente: (Termicol, 2011)

El manual técnico que ofrece la empresa en su web (Termicol, 2011) entrega las características principales de los diferentes modelos de captadores que ofrecen:

**Tabla 4. Características técnicas de los colectores planos de la empresa Termicol**

	T20C-R	T25C-R	T20S-R	T25S-R	T20SH-R	T25SH-R
Largo (mm)	2.124				970	1200
Ancho (mm)	970	1200	970	1200	2.124	2.124
Largo absorbedor (mm)	2057				903	1133
Espesor (mm)	83					
Superficie bruta (m <sup>2</sup> )	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5
Superficie útil (m <sup>2</sup> )	1,9	2,4	1,9	2,4	1,9	2,4
Rendimiento óptico	0,739	0,741	0,770	0,770	0,728	0,731
Factor de pérdidas K <sub>1</sub> (W/K*m <sup>2</sup> )	6,341	6,191	4,086	3,663	4,989	4,308
Factor de pérdidas K <sub>2</sub> (W/K*m <sup>2</sup> )	0,017	0,016	0,013	0,016	0,014	0,016
Peso en vacío (kg)	30	37	30	37	30	37
Capacidad del fluido (lit.)	1,02	1,27	1,02	1,27	0,95	1,05
Caudal recomendado (lit./h*m <sup>2</sup> )	30-40					
Material del absorbedor	cobre					
Tratamiento del absorbedor	Pintura negra Cromo			Selectivo		
Espesor aleta de cobre (mm)	0,2					
Nº canales	8	10	8	10	18	18
Diámetro de canales (mm)	8					
Diámetro de tubo colector (mm)	18					
Carcasa	Aluminio					
Material cubierta	Vidrio templado 3,2 mm					
Aislamiento	40 mm, lana de roca semirígida					

Fuente: (Termicol, 2011)

Los captadores solares planos son usados para instalaciones de ACS como son:

2. *Sistemas de circulación forzada:* para pequeñas y medianas instalaciones (150 a 1.000 litros) y una óptima integración arquitectónica, se ofrecen sistemas solares forzados, en los que el acumulador puede separarse hasta 30 metros de los captadores, y en los que se incluyen todos los componentes necesarios para la instalación.
3. *Sistemas de termosifón:* equipos de 150 a 300 litros en los que la proximidad del acumulador a los captadores permite una circulación natural del agua, siendo la opción más económica. La gama de sistemas de termosifón incluye la versión de depósito alto y de depósito bajo así como integración en terraza plana o en cubierta inclinada.
4. *Estructuras para la instalación de cada uno de estos sistemas:* Como soporte de los captadores, estructuras diseñadas para baterías de hasta seis captadores tanto para terraza plana como para cubierta inclinada. Dicha gama mejora su configuración y



peso para facilitar el transporte, la manipulación, y el montaje. Termicol ha desarrollado un nuevo concepto de estructura de aluminio que facilita el montaje por reducir el número de piezas. Se pueden destacar las siguientes características:

- Barras Adaptables.
- Tornillería en acero inoxidable con tuercas autoblocantes.
- Fijación de los captadores sin garras.
- Excelente resistencia.

En la aplicación de la metodología se explican más a fondo estos sistemas, especialmente el producto elegido para realizar el caso de estudio.

## 8.2 Aplicación de la metodología propuesta

A continuación se aplicarán paso a paso las herramientas y marco metodológico explicado en el apartado 7 de este trabajo. Cada una de las etapas describe tanto la aplicación y los procedimientos realizados, como las limitaciones e inconvenientes encontrados para ser llevadas a cabo.

### 8.2.1 Descripción del sistema y escenario base

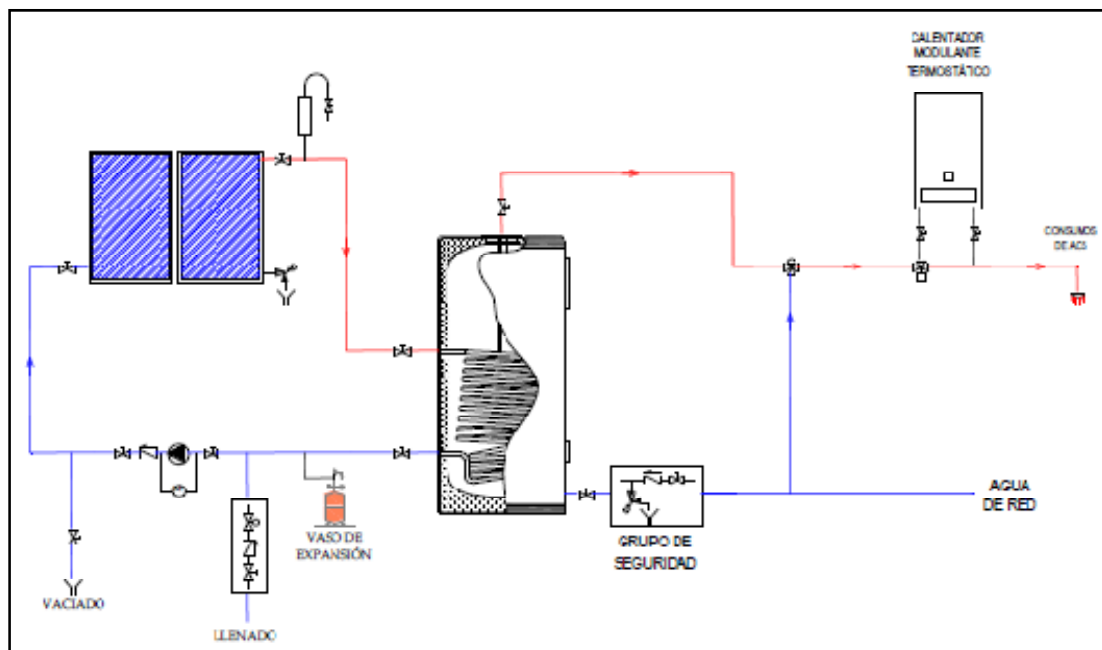
*Limitaciones del caso de estudio:* durante la elaboración del presente proyecto y en concreto en el caso de estudio, se han presentado inconvenientes que generaron cambios en la manera de plantear el ACV y así mismo la aplicación de la metodología. Debido a que el presente PFM se encuentra enmarcado en el proyecto Renia (descrito en el apartado 5.1), está sometido a las condiciones y procesos internos del propio proyecto. Debido a diferencias en el cronograma, no se han obtenido los formularios del inventario de ciclo de vida, por lo que no se tiene información detallada de la cantidad de materiales, energía, transporte y demás flujos principales para el análisis de un sistema. La empresa Termicol, colaborador del proyecto Renia y del presente PFM, se mostró dispuesta a responder dudas y preguntas puntuales sobre un sistema seleccionado, pero no pudo entregar datos exactos de todo el inventario.

Por esta razón, y contando con la base de datos de Eco-invent© en el programa de ACV GaBi (software disponible para el proyecto), que cuenta con el inventario de ciclo de vida para diferentes sistemas solares térmicos, se ha seleccionado un modelo de Termicol, extraído de su manual técnico general (Termicol, 2010) que se acerque lo más posible al sistema de eco-invent© llamado: *Solar System flat plate collector for one-family house – Hot water*. Este sistema ha sido elegido, ya que el ACS (Agua Caliente Sanitaria) es una de las aplicaciones más típicas de sistemas solares térmicos. Además, el hecho de estar diseñado para una casa unifamiliar, lo hace más simple y flexible adaptándose mejor al alcance del caso de estudio. La descripción del sistema y suposiciones realizadas por eco-invent para realizar dicha base de datos se encuentra descrita en su literatura de soporte en la versión Data v2.0 (2007) realizada por Dones et al. (2007).

Características del sistema *Solar System flat plate collector for one-family house – Hot water (Eco-invent©)*:

- Los sistemas de colectores solares destinados únicamente a producir ACS tienen un área de captación de 4m<sup>2</sup>.
- Los colectores consisten en: un absorbedor en cobre con recubrimiento selectivo, una cubierta de vidrio, lana de vidrio como material aislante y marco en aluminio.
- La tubería tanto del circuito primario y secundario es en cobre.
- Un acumulador de 600l.
- Al tratarse de un sistema forzado, cuenta con un vaso de expansión de 25l, una bomba hidráulica de 40W y Propilenglicol como fluido térmico.
- El modelo ofrecido por eco-invent no incluye sistema auxiliar.

De esta manera, y tomando las características básicas del sistema elegido en Eco-invent®, se elige el siguiente producto de Termicol: Sistema forzado TKA2/300S (figura 23), sus características son:



**Figura 23. Esquema del equipo forzado TKA2/300S**

Fuente: Termicol, 2010

- Sistema con componentes separados y modulares y marco en aluminio.
- Cuenta con dos captadores solares de referencia T20S-R de 1.9m<sup>2</sup> cada uno, en cobre y con recubrimiento selectivo (para más características técnicas ver tabla 4). Área total: 3.8m<sup>2</sup>.
- Acumulador de 300l.
- Vaso de expansión de 18l.
- Circuito primario (distancia media 15m) y circuito secundario (distancia media 15m) en cobre. Datos de distancia media dados por el fabricante para una casa unifamiliar.
- Fluido térmico: el anticongelante “Fluidosol”, que es un líquido fisiológicamente inofensivo y teñido de verde basado en una solución acuosa Propilenglicol y otros glicoles de peso molecular muy elevado.
- Tubería en cobre tanto del circuito primario como secundario.
- Sistema auxiliar de Gas Natural (Calentador Instantáneo modulante termostático).

*Adaptaciones necesarias:* existen algunas diferencias entre los dos sistemas anteriormente descritos, esto hace necesaria la adaptación del sistema que se modela en el programa GaBi (el sistema de Eco-invent©) para que sea lo más parecido posible al sistema de la empresa Termicol y así los resultados y recomendaciones sean adecuadas y cercanas a la realidad del producto real. Las adaptaciones están descritas en la tabla 5.

Los datos del modelo existente de Eco-invent© solo se tomarán para la etapa de fabricación del sistema. Las demás etapas consideradas se realizan con datos del sistema de Termicol.

A continuación se realiza una tabla resumen del sistema que se va a analizar en la presente metodología y que sintetiza lo descrito anteriormente, de esta manera, será más útil trabajar con este formato a la hora de realizar las siguientes etapas.

**Tabla 5. Descripción del caso base y sistema seleccionado**

Características	Sistema Termicol	Sistema Eco-invent	Adaptación del modelo eco-invent
Área colector	3.8 m <sup>2</sup>	4 m <sup>2</sup>	Adaptar a los m <sup>2</sup> reales
Placa de absorción (absorbedor)	Cobre	Cobre	-
	Tratamiento selectivo	Tratamiento selectivo	-
Material cubierta colector	Vidrio templado (3,2mm) 8 kg/m <sup>2</sup>	Vidrio templado 9.12 kg/m <sup>2</sup>	Adaptar el peso por m <sup>2</sup> de vidrio al real
Carcasa colector	Aluminio	Aluminio	-
Aislamiento colector	Lana de roca	Lana de roca	-
Acumulador	300l	600l	Adaptar datos para un acumulador de 300l.
Vaso de expansión	18l	25l	-
Tubería circuito primario	Cobre 12.13 kg 3.24kg/m <sup>2</sup>	Cobre 11.28 kg 2.82kg/m <sup>2</sup>	Adaptar al peso real de la tubería
Tubería circuito secundario	Cobre 7.13kg	Cobre 8kg	Adaptar a peso real
Sistema auxiliar	Calentador modulante termostático (Gas natural: GN)	No cuenta con sistema auxiliar	Añadir sistema auxiliar de GN en el modelo
Fluido térmico	Propilenglicol	Propilenglicol+glicoles	
Mix energéticos	España	Suiza	Cambiar al mix energético al español
Vida útil	20 años	25 años	Referencia: 20 años

Fuente: (Termicol, 2010), (Dones et al. 2007)

## 8.2.2 ACV del escenario BASE

### 8.2.2.1 Definición de alcance y objetivos

#### Objetivo:

El objetivo del presente ACV es, por un lado, evaluar el impacto ambiental de un sistema térmico solar de circulación forzada de la empresa Termicol usado para el abastecimiento de ACS y, por el otro, comparar este impacto con el de otro sistema que utilice únicamente gas natural como fuente energética. Este estudio permitirá, además, conocer los impactos del sistema por etapas de su ciclo de vida, por componentes y materiales aportando información relevante para la realización de recomendaciones de ecodiseño para el producto y la proposición de escenarios de cambio en el sistema.

La información y resultados del presente ACV serán de utilidad para la empresa Termicol y para el Proyecto Renia, ambos anteriormente descritos, y al tratarse de un ACV simplificado, sigue algunas de las recomendaciones de la normativa ISO 14040: 2006 e ISO 14044: 2006.

#### Alcance

*Unidad funcional:* producción de un kWh de energía térmica para suplir las necesidades de ACS de una vivienda unifamiliar (6 habitantes) ubicada en Barcelona (España). Se analizarán dos escenarios relativos al tipo de fuente energética utilizada para la producción de esta energía; por un lado, un sistema de energía solar térmica de circulación forzada que cuenta con un sistema auxiliar de gas natural para cubrir el total de la demanda; por el otro, un sistema que funciona totalmente con gas natural. En ambos casos, se estima un horizonte temporal de 20 años.

*Límites del sistema:* en las figuras 24 y 25, se muestran los límites de los dos sistemas comparados, el sistema a gas natural y el sistema solar térmico forzado.

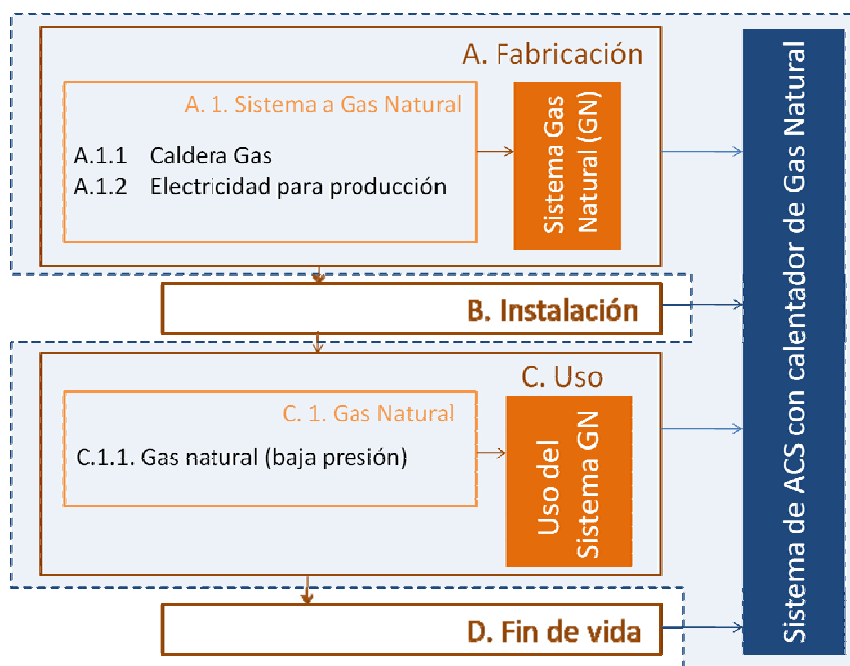


Figura 24. Límites del sistema de Gas natural

Fuente: (Elaboración propia)

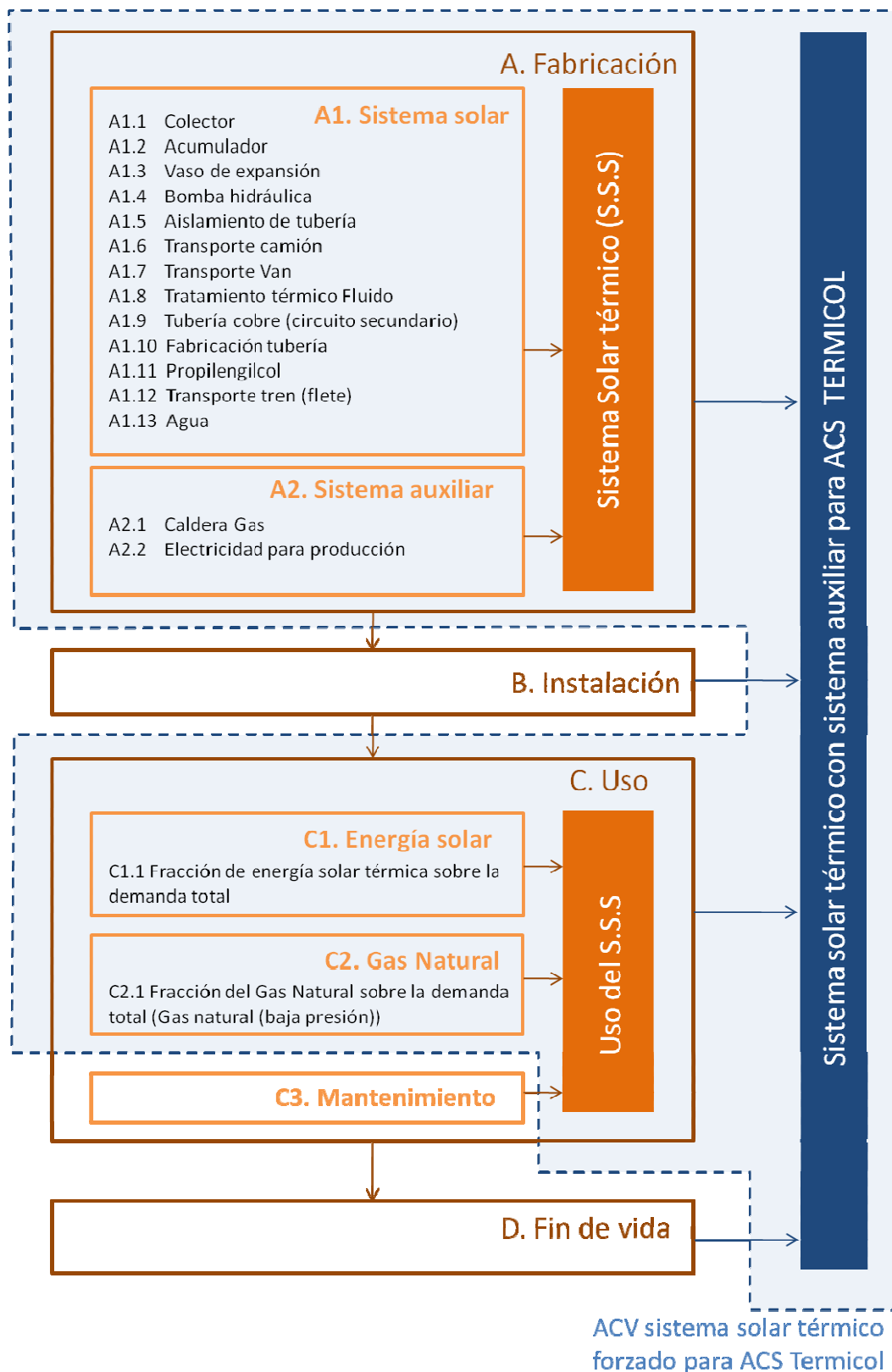


Figura 25. Límites del sistema solar térmico forzado de Termicol  
Fuente: (Elaboración propia)

### 8.2.2.2 Análisis de Inventario

#### Descripción de las etapas de ciclo de vida del sistema solar forzado (Figura 25)

##### A. Fabricación

En la fabricación del sistema solar térmico se tienen en cuenta dos elementos básicos, el sistema solar forzado (A1) que incluye elementos básicos como colector, tanque, vaso de expansión, bomba hidráulica, entre otros, y el sistema auxiliar de gas natural (A2).

De manera específica, el sistema solar forzado que se ha modelado en el programa GaBi con la ayuda de la base de datos de Eco-Invent©, tiene trece componentes:

*A1.1. Colector:* el colector tiene 3,8 m<sup>2</sup> y está compuesto a su vez por los siguientes elementos:

**Tabla 6. Componentes del colector**

Componente	Cantidad por m <sup>2</sup> de colector
Cartón corrugado (para empaque)	3,68 kg
Lana de roca (aislamiento)	2,43 kg
Vidrio templado solar (recubrimiento antirreflejo)	8 kg
Aluminio forjado (carcasa)	3,93 kg
Cobre (tubería)	3,24 kg
Acero inoxidable (parte posterior de carcasa)	4,14 kg
Propilenglicol (líquido térmico)	1,01 kg
Lámina cobre (aletas superficie absorbadora)	2,82 kg
Caucho sintético (aislamientos y juntas)	0,732 kg
Agua	1,38 kg
Energía para la fabricación	4,126 MJ

Fuente: (Eco-invent© Data Base v2.2, 2009)

*A1.2. Tanque:* como se ha descrito anteriormente en la tabla 5, el tanque es adaptado a un tamaño de 300l. Esta adaptación se realiza teniendo en cuenta valores existentes de tanques de 600l y 2000l realizando una progresión lineal como puede verse en la siguiente tabla:

**Tabla 7. Cálculo de datos para un tanque de 300l**

Cantidad por tanque producido	Tanque 300l	Tanque 600l	Tanque 2000l
Eliminación de desechos minerales (kg)	18,93	20	25
Eliminación de desechos plásticos (kg)	3,62	3,86	5
Lana de roca (kg)	18,93	20	25
Transportes (tkm)	13,32	14,2	18,3
Tratamiento de aguas residuales (m <sup>3</sup> )	0,58	0,617	0,8
Pintura Alquídic (kg)	0,85	1	1,7
Acero inoxidable (kg)	41,07	40	35
Madera (kg)	0,01	0,0222	0,0667

Acero de baja aleación (kg)	201,79	220	305
Agua potable (kg)	577,79	617	800
Transporte de mercancías (tkm)	159,29	170	220
Soldadura (kg)	7,23	7,72	10

Fuente: (Eco-invent© Data Base v2.2, 2009)

Los datos de energía para la producción se han mantenido en la misma magnitud al tanque de 600l (Electricidad, voltaje medio 124,92 MJ) y Gas natural (153 MJ).

Para los siguientes elementos no se describen cantidades ya que son elementos que viene prediseñados y están fuera del rango de los componentes que pueden ser ecodiseñados:

*A1.3. Vaso de expansión:* Se toma como elemento básico un vaso de expansión de 25l de la base de datos de eco-invent que contiene principalmente: cartón corrugado para empaque, acero de baja aleación, polipropileno, butil-acrilato, pintura alquídica, aceite ligero, soldadura, entre otros.

*A1.4. Bomba hidráulica:* Como en el caso anterior se toma un elemento ya existente en la base de datos, una bomba hidráulica de 40W cuyos principales componentes son: aluminio forjado, hierro fundido, cobre, acero cromado, PVC, caucho sintético, transportes y energía para su fabricación.

*A1.5. Aislamiento de la tubería:* para proteger y aislar la tubería se usa un elastómero compuesto entre otros por materiales como sustancias químicas, poliuretano, PVC y caucho sintético.

*A1.6. Transporte camión - A1.7. Transporte Van:* en este caso los valores para transportes se mantienen a los establecidos por eco-invent para su modelo de sistema solar, es difícil conocer las suposiciones realizadas para establecer estos valores que son de manera correspondiente 1,5 tkm y 88 tkm.

*A1.8. Tratamiento térmico del fluido - A1.11. Propilenglicol:* el liquido térmico propilenglicol necesario para evitar el congelamiento durante las bajas temperaturas y soportar las condiciones de estancamiento se encuentra en una cantidad de 13.1 kg.

*A1.9. Tubería cobre (circuito secundario):* La tubería del circuito secundario es la encargada de llevar el agua caliente desde el tanque hasta el consumo final, cantidad de material: 7,13 kg.

*A1.10. Fabricación tubería:* la tubería del circuito secundario se fabrica por medio del trefilado, para el cual es necesaria la elaboración de un dado de acero (7,13 kg).

*A1.12. Transporte en tren (flete):* tal y como se ha descrito en los procesos de transporte anteriores, los valores se han mantenido igual al modelo de eco-invent, en este caso, el transporte en tren corresponde a 15 tkm.

*A1.13. Agua (suavizada en planta):* Toda el agua consumida en la fabricación de un sistema solar forzado es 18 kg (además de las cantidades específicas para cada componente).

El sistema auxiliar de Gas natural (A2) cuenta con dos componentes básicos, que son luego explicados en más detalle en las etapas de ciclo de vida del sistema de gas natural:

*A2.1. Caldera Gas:* esta caldera deber ser lo más similar posible a la usada en el sistema por la empresa Termicol (Calentador modulante termostático). Para ello, se elige la caldera llamada *Heat natural gas, at boiler modulating no condensing*, que permite la auto-regulación de la caldera y tiene una eficiencia del 96%.

*A2.2. Electricidad para producción:* la energía para la producción de una caldera de este tipo es de 0,010 MJ por MJ de Gas natural consumido.

## B. Instalación

Tal y como ha sido descrito en las conclusiones del estado del arte (apartado 6.) la instalación es una etapa importante para el posterior funcionamiento, eficiencia e impacto de los sistemas térmicos solares. Sin embargo, desde el punto de vista de impacto ambiental generado es menos relevante en comparación, por ejemplo, a la producción de los distintos componentes. Por ello y debido a la falta de datos, para este estudio la etapa de instalación ha quedado fuera de los límites del sistema analizado.

## C. Uso

La etapa de uso es de vital importancia en el impacto total de un sistema solar forzado, que incluye en la mayoría de las ocasiones sistemas auxiliares que completan el 100% de la demanda en meses o días donde la fracción solar es insuficiente. Los porcentajes de fracción solar mínima y máxima, consumos de agua según tipología de vivienda, entre otros datos básicos para la instalación de sistemas solares térmicos se encuentran recopilados en el Código Técnico de Edificación, en su documento Básico HE Ahorro de energía, más específicamente en el apartado H4 - Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (CTE, 2009).

Gracias a las directrices de este documento, que se encuentran descritas en el Anexo 3 se ha calculado la demanda anual para el caso de estudio. Según preguntas realizadas a la empresa Termicol, su sistema elegido para el caso de estudio (equipo forzado TKA2/300S) con un área de captación de 3,8m<sup>2</sup> y un acumulador de 300l, ubicado en la provincia de Barcelona, Cataluña, con una inclinación de 40º, es indicado para una vivienda unifamiliar de aproximadamente 6 habitantes (según el CTE (2009) cada persona consume 40l de agua a 45ºC al día). Para estos datos se obtiene la demanda anual recogida en la tabla 8:



**Tabla 8. Demanda anual para el caso de estudio (Vivienda unifamiliar con 6 habitantes)**

Mes	Días por mes	T agua fría (°C) T <sub>AF</sub>	Demanda ACS (MJ/mes)	Demanda ACS (kWh/mes)
E	31	9	1.121	311
F	28	10	985	273
M	31	11	1.059	294
A	30	12	995	276
M	31	14	965	268
J	30	17	844	234
J	31	19	810	225
A	31	19	810	225
S	30	17	844	234
O	31	15	934	260
N	30	12	995	276
D	31	10	1.090	303
<b>Total anual</b>	<b>365</b>		<b>11.451</b>	<b>3.181</b>

Fuente: (Excel-fSol, v. 2.09. 2011)

Parte de esta demanda es cubierta con un sistema auxiliar de gas natural (C2. en la figura 25), que es la unidad de proceso asociada a todos los impactos en la etapa de uso (C2.1 Fracción de la demanda cubierta con Gas natural), la demanda cubierta con energía solar (C1.1) no tiene ningún impacto asociado más que el correspondiente a su fabricación (A1).

Para calcular las fracciones de cada una de las fuentes de energía (gas natural y energía solar), son necesarios datos de eficiencia del colector, que son los que caracterizan el comportamiento energético de un captador solar (Rosas et al. 2009) y determinan qué tanto de la radiación solar sobre la vivienda (Barcelona se encuentra en la zona II, según el mapa de zonas climáticas de CTE (2009)) es energía solar útil para el sistema. Estos datos vienen dados por el fabricante de las placas térmicas, y son:

*Rendimiento óptico  $F_R(\tau\alpha)$* : Está relacionado con dos datos básicos, la transmisividad ( $\tau$ ) de la cubierta (que en este caso es vidrio templado) y la absortividad ( $\alpha$ ) de la superficie absorbidora (que en este caso es de cobre).

*Factor de pérdidas térmicas ( $K1: F_R U_L$ )*: Este factor tiene en cuenta las pérdidas por convección y radiación en la placa (Rosas et al. 2009).

Los valores para la placa de la empresa Termicol son 0,77 y 4,086 W/m<sup>2</sup>K, de manera correspondiente para el modelo de placa seleccionado (ver Tabla 4) y su capacidad de almacenaje es de 78,9l por m<sup>2</sup> de colector solar. De esta manera se obtiene que para un sistema solo de agua caliente, el sistema solar puede cubrir un 75,6% de la demanda anual. Estos datos son calculados gracias al archivo *Excel fsol\_v2\_09*, usado para casos de estudio del módulo 4. Energía Solar Térmica en el Máster en Energía para el desarrollo sostenible de la Fundació UPC (Rosas et al. 2009) y se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Fracción solar del sistema forzado Termicol**

Mes	Días	Segundos por mes	T <sub>a</sub>	(100-T <sub>a</sub> )	Demanda (MJ/mes)	Fracción Energía solar (MJ/mes)
E	31	2,68E+06	9,5	90,5	1.121	<b>567</b>
F	29	2,51E+06	10,3	89,7	985	<b>628</b>
M	31	2,68E+06	12,3	87,7	1.059	<b>800</b>
A	30	2,59E+06	14,6	85,4	995	<b>841</b>
M	31	2,68E+06	17,7	82,3	965	<b>873</b>
J	30	2,59E+06	21,5	78,5	844	<b>801</b>
J	31	2,68E+06	24,3	75,7	810	<b>790</b>
A	31	2,68E+06	24,3	75,7	810	<b>779</b>
S	30	2,59E+06	21,9	78,1	844	<b>755</b>
O	31	2,68E+06	17,6	82,4	934	<b>715</b>
N	30	2,59E+06	13,5	86,5	995	<b>590</b>
D	31	2,68E+06	10,3	89,7	1.090	<b>514</b>
<b>Total energía solar (MJ)</b>						<b>8.653</b>
<b>Porcentaje de fracción solar</b>						<b>0,756</b>

Fuente: (Excel-fSol, v. 2.09. 2011)

De esta manera, un 24,4% de la energía necesaria (C2.1) es cubierta con una caldera de Gas natural (2.798 MJ), mientras que el 75,6% corresponde a una entrada de energía renovable (C1.1).

**D. Fin de vida**

Esta etapa queda excluida de los límites del sistema analizado debido a que existe muy poca información acerca del desmantelamiento de estos sistemas. Específicamente, para el presente caso de estudio, que trata un sistema forzado con sistema auxiliar con 20 años de vida útil (y en la mayoría de casos similares), los sistemas no han llegado a su fin de vida, por lo que existe poca experiencia e información de los procesos involucrados en esta etapa.

**Descripción de las etapas de ciclo de vida del sistema a Gas natural (Figura 24)**

Las etapas y datos de ciclo de vida están dictaminadas por la elección de un sistema ya modelado en Eco-invent© llamado: *Natural gas, burned in boiler modulating <100kW* que es el mismo que se utiliza en el sistema solar forzado como sistema auxiliar.

**A. Fabricación**

La fabricación del sistema para suplir la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) por medio de la utilización de Gas natural, está compuesta por dos componentes básicos:

A.1.1. Caldera Gas: la caldera a gas elegida de la base de datos de Eco-invent© está compuesta por diferentes elementos. La tabla 10, describe los más significativos:

**Tabla 10. Componentes de la caldera a Gas**

<b>Componente</b>	<b>Cantidad por unidad de caldera</b>
Latón	0,05 kg
Electricidad, voltaje medio	294,1 MJ
Aceite combustible ligero, quemado en horno industrial	249 MJ
Lana de roca	8 kg
Pintura alquídica	1,25 kg
Aluminio (aleación)	7,5 kg
Soldadura fuerte (Sin Cadmio)	4 kg
Cobre	3,03 kg
Cartón corrugado	5 kg
Acero inoxidable	5 kg
Polietileno alta densidad	0,9 kg
Acero baja aleación	115 kg
Agua	182 kg

Fuente: (Eco-invent© Data Base v2.2, 2009)

A.1.2. Electricidad para producción: la electricidad para la producción de la caldera es de bajo voltaje y corresponde a 0,01 MJ por MJ producido por la caldera.

- B. Instalación: esta etapa de ciclo de vida no es tomada en cuenta por el sistema en Eco-invent©. Además para ser consistentes con el estudio, al no tener en cuenta esta etapa de vida, en el sistema solar forzado, tampoco se hace para el sistema de Gas natural.
- C. Uso: en este caso, el sistema de gas natural, cubre el 100% de la demanda calculada en el apartado anterior, es decir, los 3.181 kWh mensuales son cubiertos con gas natural. A lo largo del ciclo de vida (20 años) este valor es de 229020 MJ, lo que se traduce en 8781,4 m<sup>3</sup> de gas natural.
- D. Fin de vida: esta etapa no es tomada en cuenta por dos razones. La primera, es la consistencia con las etapas tomadas en cuenta por el sistema solar forzado. La segunda es que el modelo de Eco-invent© contiene únicamente los procesos de fabricación y abastecimiento de gas natural para consumo, no tiene en cuenta los procesos de fin de vida, como reutilización o recuperación de materiales.

*Tipos y fuentes de datos*: los datos de inventario básicos provienen de la base de datos de Eco-invent© Data v2.2 (2009), *solar collector systems* para la etapa de fabricación A1, que se han complementado y adaptado según datos específicos del sistema solar térmico de circulación forzada con identificación TK2/300S de la empresa Termicol, provenientes de dos fuentes fundamentales: su manual técnico (Termicol, 2010) y por comunicación vía mail con el director técnico de la empresa (Castro, 2011).

Los datos de uso del sistema, en los que influye directamente la eficiencia del sistema y en específico del colector, se toman del manual técnico de Termicol. Datos de cantidad de agua usada y demás datos estadísticos provienen del Código técnico de Edificación en su código técnico de Ahorro de energía HE explicado en el anexo 3 (CTE, 2009).

*Requerimientos en la calidad de los datos:* los datos obtenidos del manual técnico de la empresa Termicol son recientes (año 2010) y confiables, ya que cuentan con la certificación de calidad ISO 9001 y con pruebas de la eficiencia de sus captadores. Estos datos tienen un alcance geográfico a nivel nacional (España) y serán reproducidos solo aquellos datos que la empresa considere pertinentes por el convenio de confidencialidad firmado.

Los datos provenientes de fuentes de Eco-invent son confiables al ser una de las mayores bases de datos para ACV, con una alta reputación y calidad. Los datos de los sistemas de colectores solares son del año 2003 y actualizados en 2009, para sistemas instalados en Suiza. Por esta razón, cuando se modele el sistema en el programa GaBi, deberán adaptarse los mix energéticos al contexto español, tal y como lo recomienda la literatura de apoyo de Eco-invent© (Dones et al. 2007).

#### Listado de los procesos de Eco-invent© utilizados para el estudio de ACV:

**Tabla 11. Procesos de Eco-invent© utilizados en el sistema de Gas natural**

Nombre del proceso en la memoria (Figura 24)	Nombre del proceso en Eco-invent©	Fuente
Sistema Gas natural, compuesto por:	<i>RER: Natural gas, burned in boiler modulating &lt;100kW</i>	Data v2.2 (2009)
- Caldera Gas	<i>RER: gas boiler [heating systems]</i>	
- Electricidad para producción	<i>UCTE: electricity, low voltage, production UCTE, at grid [production mix]</i>	
- Gas natural (baja presión)	<i>CH: natural gas, low pressure, at consumer [fuels]</i>	

Fuente: (Eco-invent© Data Base v2.2, 2009)

**Tabla 12. Procesos de Eco-invent© utilizados en el sistema solar térmico forzado**

Nombre del proceso en la memoria (Figura 25)	Nombre del proceso en Eco-invent©	Fuente
Sistema solar térmico (S.S.S), compuesto por:	<i>CH: solar system, flat plate collector, one-family house, hot water</i>	Data v2.2 (2009)
- Colector	<i>CH: flat plate collector, at plant [production of components]</i>	
- Acumulador	<i>Datos extrapolados de los procesos: - CH: hot water tank 600l, at plant [production of components] - CH: hot water tank 2000l, at plant [production of components]</i>	

- Vaso de expansión	<i>CH: expansion vessel 25l, at plant [production of components]</i>	Data v2.2 (2009)
- Bomba hidráulica	<i>CH: pump 40W, at plant [production of components]</i>	
- Aislamiento de tubería	<i>DE: tube insulation, elastomere, at plant [Manufacturing]</i>	
- Transporte camión	<i>CH: transport, lorry 20-28t, fleet average [Street]</i>	
- Transporte Van	<i>CH: transport, van &lt;3.5t [Street]</i>	
- Tratamiento térmico Fluido	<i>CH: treatment, heat carrier liquid, 40% C3H8O2, to wastewater treatment, class 2 [wastewater treatment]</i>	
- Tubería de cobre (circuito secundario)	<i>RER: copper, at regional storage [Benefication]</i>	
- Fabricación tubería	<i>RER: drawing of pipes, steel [processing]</i>	
- Propilenglicol	<i>RER: propylene glycol, liquid, at plant [organics]</i>	
- Transporte tren	<i>RER: transport, freight, rail [Railway]</i>	
- Agua	<i>RER: water, completely softened, at plant [Appropriation]</i>	
Sistema auxiliar (Ver tabla 11).		

Fuente: (Eco-invent© Data Base v2.2, 2009)

### Datos del inventario de ciclo de vida

Los parámetros elegidos para la el análisis de inventario corresponden a la norma recientemente aprobada EN 15804 (2011) (Contribución de las obras de construcción a la sostenibilidad - Declaraciones ambientales de producto - Reglas de categoría de los productos de construcción). Esta norma establece los principios y especifica los procedimientos para desarrollar programas de declaraciones ambientales tipo III, que es uno de los objetivos del proyecto Renia, en el cual está enmarcado este PFM. De esta manera, y siguiendo los requerimientos de la norma para presentar los resultados de ACV del producto evaluado, se analizan los parámetros encontrados en la tabla 13. Esta tabla, muestra datos básicos de energía primaria y secundaria, residuos generados y agua dulce consumida para el sistema completo (sistema solar forzado y sistema auxiliar).

La mayoría de estos datos, son extraídos del balance que realiza el programa GaBi, como el consumo de energía primaria renovable y no renovable o el consumo de agua, y que son utilizados para calcular los impactos ambientales. Sin embargo, datos como los residuos peligrosos y no peligrosos, deben hacerse de manera manual con base en los datos de materiales de entrada de los formularios completados por las empresas fabricantes, de los cuales no se ha tenido disponibilidad.

**Tabla 13. Algunos datos de inventario de ciclo de vida según la norma EN 15084**

Parámetro	Unidad por kWh generado	Total del sistema (solar + auxiliar)	A1. Sistema solar forzado													A2 y C2. GN	
			Total sistema solar	Colector	Tanque	Vaso expansión	Bomba hidráulica	Transporte Camión	Tratamiento térmico fluido	Aislamiento tubería	Tubería cobre	Fabricación tubería	Propilenglicol	Transporte tren, flete	Transporte Van	Agua	Total sistema auxiliar
Consumo de energía primaria renovable	MJ (valor neto)	3,65E+00	3,64E+00	1,87E-02	1,99E-02	5,21E-04	4,80E-04	1,02E-06	1,20E-04	2,60E-04	7,40E-04	4,42E-05	1,04E-03	1,22E-05	1,71E-03	5,54E-09	3,77E-03
Consumo de energía primaria no renovable	MJ (valor neto)	1,65E+00	5,35E-01	1,45E-01	2,64E-01	7,62E-03	7,49E-03	8,50E-05	7,60E-04	1,08E-02	5,18E-03	7,36E-04	3,00E-02	2,48E-04	6,24E-02	1,19E-07	1,11E+00
Utilización de combustibles secundarios no renovables <sup>2</sup>	MJ (valor neto)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilización de combustibles secundarios renovables	MJ (valor neto)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Consumo de agua dulce	m3	6,29E-01	5,60E-01	1,78E-01	2,16E-01	8,73E-03	6,42E-03	3,07E-05	3,02E-04	1,59E-02	4,60E-03	6,57E-03	9,14E-02	2,74E-04	3,11E-02	1,59E-07	6,95E-02
Producción de residuos																	
* Peligrosos	kg	Información no disponible															
* No peligrosos	kg	Información no disponible															
* Radioactivos <sup>3</sup>	kg	2,44E-09	2,12E-09	6,41E-10	1,06E-09	3,65E-11	3,38E-11	9,09E-14	1,08E-11	2,06E-11	2,37E-11	3,04E-12	1,26E-10	1,45E-12	1,70E-10	4,67E-16	3,16E-10

<sup>2</sup> Los combustibles secundarios son los recuperados de un uso previo o de un residuo evitando el consumo de combustibles primarios. Ejemplo de combustible secundario no renovable: neumáticos utilizados en una caldera. Ejemplo de combustible secundario renovable: pellets de biomasa utilizados en una caldera. En este caso no se hace uso de combustibles secundarios.

<sup>3</sup> Estos residuos son en su totalidad emisiones radiactivas al aire, y corresponden a la pequeña fracción que representa el uso de energía nuclear utilizada.

### 8.2.2.3 Evaluación de impactos

*Selección de categorías de impacto, categorías de indicadores y modelos de caracterización:* Tal y como en el análisis de inventario, la norma EN 15084 (2011) para el desarrollo de declaraciones ambientales, que es uno de los objetivos del proyecto RENIA es quién rige qué tipo de datos deben ser incluidos en la evaluación de los impactos del ciclo de vida. La normativa aclara que los resultados de los indicadores del análisis del impacto del ciclo de vida deben incluir:

- Cambio climático,
- reducción de la capa de ozono en la estratosfera,
- acidificación de suelos y de fuentes de agua
- eutrofización,
- formación de oxidantes fotoquímicos,
- reducción de recursos energéticos fósiles,
- reducción de recursos minerales.

En el programa utilizado para realizar todo el estudio de ACV, llamado GaBi, existen diferentes métodos para el cálculo de los indicadores anteriormente descritos. Dentro de la comunidad científica del ACV, uno de los métodos más utilizados y aceptados es el CML 2001. Este método utiliza datos que provienen de información recopilada en el Instituto de ciencias ambientales en la Universidad de Leiden en Holanda. Este instituto además, ha publicado un libro guía (*handbook*) donde explica los indicadores y flujos correspondientes (Guineé et al. 2001).

El método CML 2001, es usado en su última versión (nov. 2009) y como método de evaluación restringe la modelación cuantitativa a etapas relativamente tempranas en la cadena de causa y efecto para limitar la incertidumbre, y agrupa los resultados del inventario de ciclo de vida en mecanismos comunes (e.g cambio climático) o en grupos normalmente aceptados (e.g. ecotoxicidad) (GaBi Software, 2011).

A continuación se describen brevemente las categorías de impacto tal y como lo hace el *handbook* realizado por el CML (Guineé et al. 2001).

- *Agotamiento de recursos abióticos (minerales y fósiles):* son recursos naturales y recursos energéticos, tales como el hierro, petróleo crudo, carbón, entre otros. El agotamiento de recursos abióticos es una de las categorías más discutidas hoy en día y es por ello que existen diferentes métodos de cálculo para caracterizarla, tales como reservas y tasas de extracción o reservas económicas. En este caso el modelo de caracterización es el de concentración de reservas y tasa de de-acumulación. La unidad para el indicador es kg (Sb eq). (Antimonio equivalente) para los recursos minerales y MJ para los recursos fósiles.
- *Acidificación:* los contaminantes ácidos tiene una gran variedad de impactos en la tierra, el agua (superficial y subterránea), organismos biológicos, ecosistemas y materiales (edificaciones). Ejemplos de estos impactos incluyen mortalidad de peces en lagos escandinavos, disminución de los bosques y el desmoronamiento de

materiales de edificación. Los mayores contaminantes ácidos son  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{HN}_x$ . El indicador de esta categoría es kg ( $\text{SO}_2$  eq).

- *Eutrofización*: la eutrofización cubre todos los impactos que puedan aumentar potencialmente los niveles ambientales de macronutrientes, siendo los más importantes el nitrógeno (N) y el fósforo (P). El enriquecimiento de nutrientes puede causar un cambio no deseado en la composición de las especies y elevar la producción de biomasa en ecosistemas acuáticos y terrestres. Además, las altas concentraciones de nutrientes pueden convertir aguas superficiales en una fuente no apta para consumo humano. En ecosistemas acuáticos, un aumento de biomasa puede causar una disminución de los niveles de oxígeno. La unidad de este indicador es kg ( $\text{PO}_4$  eq). (Fosfato equivalente).
- *Cambio climático (calentamiento global)*: el cambio climático es definido como el impacto de las emisiones humanas en la capacidad de absorción de radiación de la atmósfera, que puede tener impactos adversos en la salud humana y el bienestar material. Estas emisiones de gases de efecto invernadero por causas antropogénicas, intensifican la fuerza radiativa de la tierra aumentando la temperatura de su superficie, comúnmente llamado efecto invernadero. Las unidades del indicador resultante de esta categoría es kg ( $\text{CO}_2$  eq).
- *Agotamiento de Ozono estratosférico*: esta categoría se refiere al adelgazamiento de la capa de ozono estratosférica como resultado de emisiones causadas por el ser humano, que causan principalmente que una fracción de rayos UV-B alcancen la superficie de la tierra con impactos potencialmente dañinos para la salud humana, el bienestar de animales, ecosistemas terrestres y acuáticos, y daño de ciclos bioquímicos y de materiales. La unidad del indicador de esta categoría es kg (CFC-11 eq) (Clorofluorocarbonos equivalentes).
- *Formación de ozono fotoquímico*: es la formación de componentes químicos reactivos como el ozono por la acción de la luz solar con ciertos contaminantes en el aire. Estas reacciones pueden ser dañinas para la salud humana e incluso para los cultivos. El ozono fotoquímico puede ser formado en la troposfera bajo la influencia de la luz ultravioleta por medio de la oxidación fotoquímica de Componentes Volátiles Orgánicos (COV) y monóxido de carbono (CO) en la presencia de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). La unidad del indicador que corresponde a esta categoría es kg (etano eq).

*Cálculo de los indicadores*: por medio del programa GaBi, los indicadores se calculan de manera automática eligiendo el método CML 2001 (nov. 09). Estos resultados están dados en unidades comunes y ya agregadas en cada indicador como lo muestran las tablas de resultados de impacto de ciclo de vida a continuación (Tablas 14, 15 y 16), para cada etapa de ciclo de vida y componentes como se ven en el grafico 25.

La primera tabla de resultados de la evaluación de impactos (tabla 14), muestra la comparación de resultados totales para el sistema solar completo aquí analizado (que contiene el sistema solar forzado más el sistema auxiliar de gas natural) con un sistema 100% a gas natural. La última columna muestra el porcentaje de mejora o empeoramiento del sistema solar con respecto al sistema con Gas natural. El signo negativo indica reducción del impacto o impacto evitado por el sistema solar.



**Tabla 14. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida: comparación de los totales de los dos sistemas básicos: Sistema solar completo y sistema 100% a Gas natural.**

Categoría de impacto	Unidad por kWh generado	Comparación de sistemas		
		Sistema Gas Natural	Sistema Solar completo	% mejora
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,14E-07	1,86E-06	1534,06%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	3,35E+00	1,20E+00	-64,06%
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,35E-04	2,50E-04	6,22%
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	2,48E-05	4,00E-05	61,30%
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	2,64E-01	9,24E-02	-65,01%
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	4,07E-08	1,25E-08	-69,33%
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	6,06E-05	3,60E-05	-40,58%

La siguiente tabla (15) muestra los datos del sistema solar térmico completo desagregado en sus dos componentes básicos, el sistema solar forzado y el sistema auxiliar, para observar, que porcentaje del total proviene de cada uno de estos sistemas, ya que al único al que se lo pueden incluir cambios es al sistema solar forzado, que es el producto analizado en este trabajo.

Tabla 15. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida: desagregación del sistema solar completo en sus dos subsistemas principales.

Categoría de impacto	Unidad por kWh generado	Total del sistema (solar + auxiliar)	SISTEMA SOLAR COMPLETO			
			Total sistema solar forzado A1.	%	Total sistema auxiliar A2.	%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	<b>1,86E-06</b>	1,84E-06	<b>98,53%</b>	2,74E-08	<b>1,47%</b>
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	<b>1,20E+00</b>	4,00E-01	<b>33,22%</b>	8,04E-01	<b>66,78%</b>
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	<b>2,50E-04</b>	1,93E-04	<b>77,40%</b>	5,64E-05	<b>22,60%</b>
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	<b>4,00E-05</b>	3,40E-05	<b>85,12%</b>	5,95E-06	<b>14,88%</b>
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	<b>9,24E-02</b>	2,90E-02	<b>31,40%</b>	6,34E-02	<b>68,60%</b>
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	<b>1,25E-08</b>	2,71E-09	<b>21,75%</b>	9,76E-09	<b>78,25%</b>
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	<b>3,60E-05</b>	2,15E-05	<b>59,61%</b>	1,45E-05	<b>40,39%</b>

A partir de este punto, es también interesante analizar cuáles de los componentes del sistema solar son los que más contribuyen al impacto que este genera. La tabla 16, muestra el sistema solar forzado, desagregado en sus componentes principales (A1.1 – A1.13 en la figura 25), los porcentajes que aparecen al lado de cada uno de los resultados de cada componente son calculados con respecto al valor total del sistema solar completo (datos en azul). De esta manera, y a mayor desagregación de los resultados es posible realizar una mejor interpretación de los mismos, que se realiza en el siguiente apartado (8.2.2.4).

Tabla 16. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida: desagregación del sistema solar forzado en sus principales componentes.

Categoría de impacto	Unidad por kWh gen.	Total del sistema solar completo	Componentes del sistema solar forzado A1.											
			Colector		Tanque		Vaso expansión		Bomba hidráulica		Transporte Camión		Tratamiento térmico fluido	
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,86E-06	4,51E-07	24,2%	1,13E-06	60,5%	2,43E-08	1,3%	2,22E-08	1,2%	1,42E-11	0,0%	8,19E-11	0,0%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	1,20E+00	1,07E-01	8,9%	1,99E-01	16,5%	5,25E-03	0,4%	5,74E-03	0,5%	7,34E-05	0,0%	1,85E-04	0,0%
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,50E-04	8,43E-05	33,8%	6,24E-05	25,0%	1,26E-06	0,5%	3,66E-06	1,5%	2,76E-08	0,0%	7,47E-08	0,0%
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	4,00E-05	9,51E-06	23,8%	1,13E-05	28,2%	2,55E-07	0,6%	3,26E-07	0,8%	7,11E-09	0,0%	4,91E-06	12,3%
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	9,24E-02	8,82E-03	9,5%	1,35E-02	14,6%	3,64E-04	0,4%	3,98E-04	0,4%	5,02E-06	0,0%	5,46E-04	0,6%
Potencial de agotamiento de Ozono Estratósferico	kg de CFC11 eq.	1,25E-08	7,37E-10	5,9%	8,28E-10	6,6%	2,09E-11	0,2%	2,02E-11	0,2%	8,16E-13	0,0%	1,83E-12	0,0%
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	3,60E-05	6,40E-06	17,8%	8,86E-06	24,6%	2,31E-07	0,6%	3,09E-07	0,9%	4,67E-09	0,0%	3,28E-08	0,1%

Categoría de impacto	Unidad por kWh gen.	Total del sistema solar completo	Componentes del sistema solar forzado A1.													
			Aislamiento tubería		Tubería cobre		Fabricación tubería		Propilenglicol		Transporte tren, flete		Transporte Van		Agua	
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	<b>1,86E-06</b>	6,25E-09	<b>0,3%</b>	1,70E-07	<b>9,1%</b>	4,66E-10	<b>0,0%</b>	1,36E-08	<b>0,7%</b>	8,75E-11	<b>0,0%</b>	2,06E-08	<b>1,1%</b>	5,66E-14	<b>0,0%</b>
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	<b>1,20E+00</b>	8,41E-03	<b>0,7%</b>	3,79E-03	<b>0,3%</b>	5,30E-04	<b>0,0%</b>	2,09E-02	<b>1,7%</b>	1,63E-04	<b>0,0%</b>	4,92E-02	<b>4,1%</b>	8,67E-08	<b>0,0%</b>
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	<b>2,50E-04</b>	2,47E-06	<b>1,0%</b>	2,08E-05	<b>8,3%</b>	1,66E-07	<b>0,1%</b>	4,56E-06	<b>1,8%</b>	6,69E-08	<b>0,0%</b>	1,36E-05	<b>5,4%</b>	2,94E-11	<b>0,0%</b>
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	<b>4,00E-05</b>	2,84E-07	<b>0,7%</b>	7,37E-07	<b>1,8%</b>	5,46E-08	<b>0,1%</b>	3,68E-06	<b>9,2%</b>	1,06E-08	<b>0,0%</b>	2,97E-06	<b>7,4%</b>	5,40E-12	<b>0,0%</b>
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	<b>9,24E-02</b>	3,69E-04	<b>0,4%</b>	2,98E-04	<b>0,3%</b>	5,41E-05	<b>0,1%</b>	1,13E-03	<b>1,2%</b>	1,23E-05	<b>0,0%</b>	3,55E-03	<b>3,8%</b>	9,95E-09	<b>0,0%</b>
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	<b>1,25E-08</b>	6,15E-11	<b>0,5%</b>	2,23E-11	<b>0,2%</b>	5,01E-12	<b>0,0%</b>	5,17E-10	<b>4,1%</b>	8,89E-13	<b>0,0%</b>	4,97E-10	<b>4,0%</b>	8,72E-16	<b>0,0%</b>
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	<b>3,60E-05</b>	2,86E-07	<b>0,8%</b>	1,07E-06	<b>3,0%</b>	2,13E-08	<b>0,1%</b>	8,35E-07	<b>2,3%</b>	7,04E-09	<b>0,0%</b>	3,41E-06	<b>9,5%</b>	3,80E-12	<b>0,0%</b>

*Normalización:* la normalización se realiza en este caso tomando como valor de referencia (1) el sistema a Gas natural. Luego se dividen los resultados de las categorías del sistema solar completo por este valor de referencia. Los resultados se muestran en la siguiente tabla (17) y de manera gráfica en la siguiente etapa de la metodología: perfil del producto. Si el valor del escenario base es menor que el sistema de referencia (Gas natural) quiere decir que en esta categoría de impacto, el sistema solar es mejor opción.

**Tabla 17. Normalización de los resultados de las categorías de impacto, tomando como valor de referencia el sistema 100% Gas natural (GN=1).**

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	Comparación de sistemas		Resultado para Esc. base
		Sistema GN	ESC. BASE	
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,14E-07	1,86E-06	16,34
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	3,35E+00	1,20E+00	0,36
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,35E-04	2,50E-04	1,06
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	2,48E-05	4,00E-05	1,61
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	2,64E-01	9,24E-02	0,35
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	4,07E-08	1,25E-08	0,31
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	6,06E-05	3,60E-05	0,59

#### 8.2.2.4 Interpretación

La interpretación de los resultados está basada en los dos objetivos principales del ACV, compararlo con un sistema tradicional para el abastecimiento de ACS como lo es el Gas natural, y establecer las etapas o componentes de mayor impacto, para determinar puntos débiles del sistema que puedan llevar a recomendaciones de ecodiseño.

Con respecto al primer objetivo, como puede observarse en la tabla 14, los resultados de la comparación de impactos de un sistema de gas natural y el sistema solar completo, muestran una disminución en casi todas las categorías, especialmente en una categoría de mucha importancia como es el calentamiento global, esta categoría se reduce en un 65,01%. También disminuyen de manera considerable el uso de combustibles primarios (64,06%) y el agotamiento de la capa de ozono (69,33%), siendo junto con el calentamiento global categorías de mucha relevancia ambiental, sobretodo la primera, ya que evita el consumo de combustibles no renovables, ligados a las emisiones de CO<sub>2</sub>. El aumento del impacto en agotamiento de recursos abióticos (recursos minerales) es bastante destacable con un porcentaje del 1534%. Este resultado puede tener varias explicaciones, además del hecho ya comentado en la definición de las categorías sobre el debate que existe en la caracterización y cálculo de esta categoría en concreto. La primera es que el sistema solar completo, cuenta con

una cantidad importante de materiales, entre ellos varios metales (acero, cobre, aluminio), aislamientos, vidrio, plásticos, entre otros, y además, cuenta con los materiales del sistema de Gas natural (auxiliar) que son utilizados para la caldera y la distribución del gas, que nuevamente son metales en su mayoría. El sistema 100% de Gas natural solo cuenta con esta última porción de materiales (un poco mayores ya que la caldera de gas sería más grande en este caso). La segunda razón puede encontrarse a medida que se desagrega el sistema, poniendo especial cuidado en esta categoría. La tabla 15 muestra que el 98,53% del agotamiento de recursos abióticos proviene del sistema solar forzado, y desagregando este dato aún más en la tabla 16, puede observarse (con color rojo en la tabla) que el tanque es responsable por el 60,5% del agotamiento de recursos abióticos y el colector de un 24,2%. De esta manera, sabiendo que el tanque es la fuente de la mayoría de recursos consumidos, se desagrega en sus principales componentes para hallar la razón de dicho aumento. La tabla 18 muestra el tanque desagregado en sus diferentes componentes:

**Tabla 18. Desagregación de la categoría Agotamiento de recursos abióticos para el acumulador (tanque)**

Componentes	Valor para la categoría de Agotamiento de recursos abióticos (ADP) (kg Sb eq)	%
<b>Total Acumulador</b>	<b>1,13E-06</b>	<b>100%</b>
Eliminación final lana roca	2,32E-11	0,00%
Eliminación final productos PVC	3,81E-10	0,03%
Eliminación desechos plásticos	2,84E-11	0,00%
Lana de roca	1,69E-08	1,50%
Producción del tanque	2,05E-09	0,18%
Transporte camión	1,45E-10	0,01%
Tratamiento de aguas residuales	2,23E-11	0,00%
Madera (wood chips)	5,75E-11	0,01%
Pintura Alquídica	2,60E-10	0,02%
<b>Acero inoxidable</b>	<b>1,22E-07</b>	<b>10,85%</b>
PCV	4,20E-10	0,04%
Madera aserrada	1,05E-10	0,01%
<b>Acero baja aleación</b>	<b>9,82E-07</b>	<b>87,08%</b>
Soldadura	1,90E-09	0,17%

Fuente: (Eco-invent© Data Base v2.2, 2009)

Se puede observar que los metales (acero inoxidable y acero de baja aleación) son los materiales que más contribuyen a esta categoría. Estos datos comprueban que el sistema solar consume muchos más materiales que el sistema de Gas natural, ya que en cuestiones de tamaño, la caldera de gas es mucho más pequeña que un tanque de acumulación de 300 litros. Esto también se ve reflejado cuando se comparan los datos de cada uno de estos elementos (tablas 7 y 10 en el apartado de Inventario de ciclo de vida 8.2.2.2). La caldera no hace uso de acero inoxidable, mientras que el tanque utiliza 40 kg de este material. Por otro lado, el tanque utiliza casi el doble de acero de baja aleación que la caldera (201,79 kg contra 115 kg) y mucho más material aislante, entre otros. Una investigación en mayor detalle que pudiera dar luz sobre este asunto supera el alcance del presente proyecto. Aun teniendo en cuenta estas

razones, esta categoría sigue siendo importante para tener en cuenta en los escenarios de ecodiseño, así como otras categorías que muestran un aumento como la eutrofización (61,30%) y la acidificación en menor medida (6,22%) quizás por la razón ya explicada del aumento en la cantidad de metales utilizados.

Siguiendo con la tabla 15 donde el sistema solar completo es desagregado en sus dos subsistemas, solar forzado y auxiliar (gas), se puede observar de dónde proviene el mayor impacto en las categorías más sensibles como se realizó anteriormente; si éstas provienen del sistema solar forzado, como es el caso del agotamiento de recursos abióticos, eutrofización con un 85,12% y acidificación con un 77,4%, quiere decir que hay margen de maniobra, ya que es el sistema solar forzado el que puede ser variado o cambiado (el sistema auxiliar de gas natural no es objeto de estudio en este trabajo).

Sin embargo, el análisis de categorías como la acidificación o la eutrofización, no es tan sencillo como el de una categoría global, como lo es el agotamiento de recursos o el calentamiento global. La acidificación y eutrofización, están más ligadas a impactos y emisiones a nivel local por lo que necesitan una mayor desagregación o cuanto menos un análisis más detallado. El caso del sistema 100% gas natural, muestran menores impactos en estas dos categorías, pero la emisión de estos impactos está concentrada en el ámbito local (la combustión del gas que emite gases como  $\text{NO}_x$  o  $\text{SO}_2$  afecta directamente al entorno cercano donde se encuentre la caldera). Por otro lado, la acidificación y eutrofización correspondientes al sistema solar forzado vienen en una mayor proporción de la fabricación de los metales usados en el sistema. Debido a que los procesos involucrados en esta fabricación, como transporte, extracción, producción, montaje, entre otros están realizados en diferentes países, los impactos se encuentran más distribuidos a nivel global. De esta manera se plantea un tema de responsabilidad en la transferencia o emisión de los impactos, el uso del sistema solar evita una parte de la combustión de gas natural lo que asegura un aire más limpio, menor acidificación del entorno local, pero al mismo tiempo se están externalizando impactos a otras localidades. Es importante tener estos aspectos en cuenta, ya que no se puede categorizar como bueno o malo un sistema. De cualquier manera es interesante intentar reducir los impactos en estas categorías.

Finalmente, y como se observa en la tabla 16 es interesante preguntarse qué componentes o procesos del sistema solar forzado contribuyen en mayor medida en las categorías de impacto más sensibles.

Puede observarse que el colector y el tanque son los componentes que mayor impacto tienen dentro del sistema, lo que era de esperar porque tienen asignado un mayor número de componentes y materiales en su fabricación. Como se ha descrito anteriormente, el tanque muestra un mayor porcentaje de impacto en categorías como agotamiento de recursos abióticos (60,5%), por otro lado el colector muestra mayores porcentajes en las categorías de acidificación (33,2%) y eutrofización (23,8%). En menor medida pero con impactos importantes también están componentes como la tubería del circuito secundario con un 9,1% en agotamiento de recursos y 8,3% en acidificación. Los demás elementos muestran porcentajes bastante bajos con respecto al impacto total del sistema.

### *Conclusiones y recomendaciones preliminares para el ACV del escenario base*

Los resultados del ACV del escenario base son consistentes y de relevancia para el alcance de los objetivos y alcance propuesto, se han podido identificar puntos débiles del sistema y observar que el sistema solar completo evita impactos importantes con respecto a uno tradicional en categorías globales de gran importancia ambiental como uso de combustibles primarios, calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono.

Después de la desagregación y análisis de resultados, puede concluirse que se recomienda realizar cambios en componentes como el colector, el tanque y la tubería del sistema auxiliar, teniendo en cuenta que las categorías de impacto que muestran un aumento con respecto al sistema tradicional de gas natural son: agotamiento de recursos abióticos, acidificación y eutrofización.

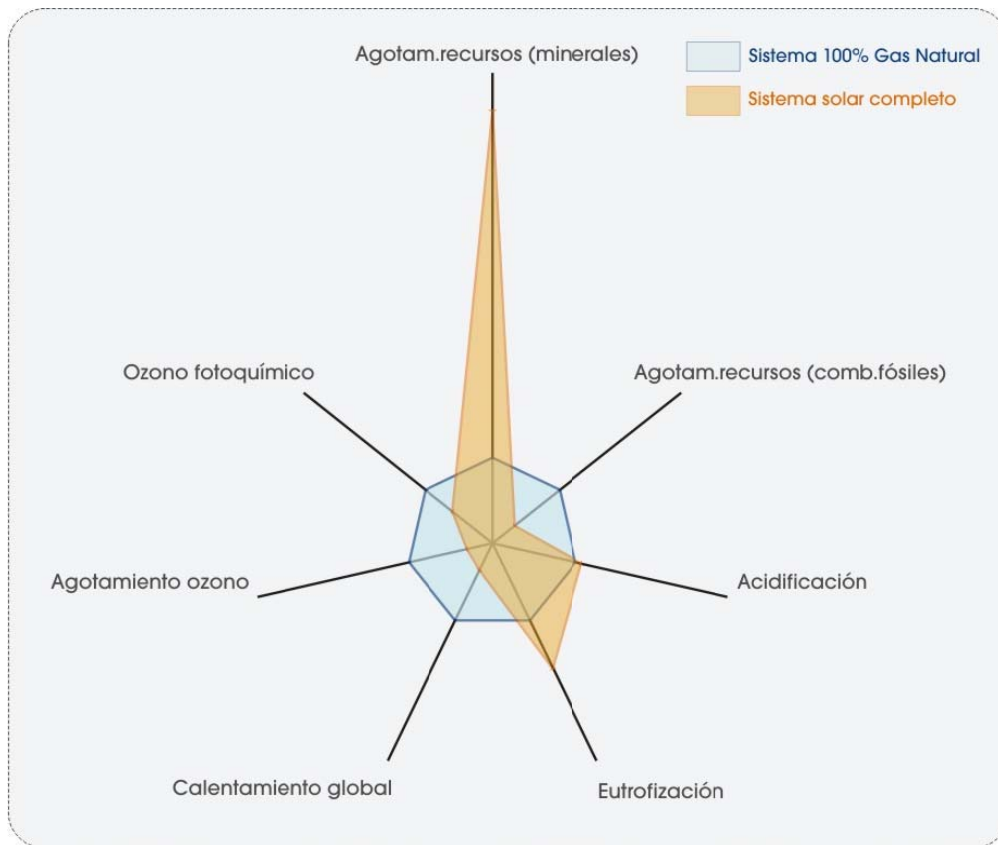
Estas recomendaciones o cambios en los componentes anteriormente descritos deben realizarse teniendo en cuenta normativa, limitaciones, y demás aspectos relevantes. En el caso del tanque, que es un elemento en la mayoría de ocasiones, prefabricado, muestra una mayor dificultad en la variación de su diseño. El colector muestra ser el elemento con mayor margen de acción.

### **8.2.3 Perfil del producto**

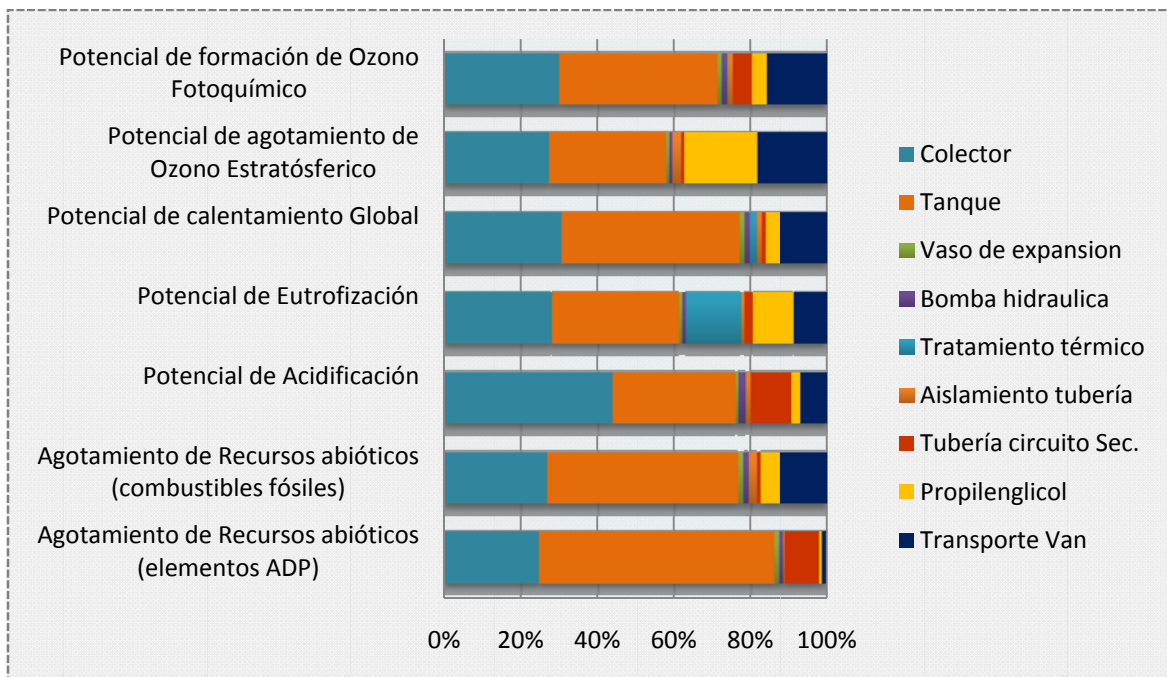
El escenario base y su estudio de ACV, es visualizado y resumido en los siguientes gráficos. Es importante resaltar, que estos gráficos son una herramienta visual y rápida de ver el perfil del escenario base y sus resultados, pero deben estar acompañados de una lectura de su interpretación, en solitario no muestran la imagen completa del estudio. La primera gráfica usa los resultados de la normalización realizada en la tabla 17.

La figura 26 muestra un diagrama de araña, en el que cada eje es una categoría de impacto. El perfil del sistema solar, se hace con respecto al sistema de Gas natural que tiene un valor referencia de 1. La figura 27 relaciona las categorías de impacto con los componentes del sistema solar forzado, para identificar cuales tienen mayor relevancia. En la figura solo se visualizan los componentes que tienen algún valor significativo, ya que algunos tienen valores muy pequeños (entre 0% y 1%).





**Figura 26. Perfil del producto: Sistema solar completo TERMICOL con respecto a un sistema tradicional a Gas Natural**  
Fuente: (Elaboración propia)



**Figura 27. Relación entre categorías de impacto y componentes del sistema solar forzado**  
Fuente: (Elaboración propia)

## 8.2.4 Definición de escenarios

Los escenarios descritos a continuación están basados tanto en los resultados del estudio de ACV realizado en el apartado anterior y el perfil del producto, que muestran los puntos débiles y a mejorar del sistema solar, como en la información y literatura de referencia descrita en el estado del arte para el proyecto. Ambos criterios son relevantes para la selección de cambios a realizar en el producto, en especial este último, ya que ofrece la posibilidad de comparar y constatar información de referencia.

**Tabla 19. Resumen de descripción de escenarios**

	Descripción	Etapa y unidad de proceso	Información referencia o base	Objetivo ppal.
1	Sustitución del material de la tubería en el circuito secundario: de cobre a acero galvanizado.	A1. Fabricación. A1.9. Tubería circuito secundario	En el artículo escrito por Battisti y Corrado (2005), donde realizan una serie de recomendaciones de cambio de materiales para colectores solares acumuladores (tabla 2), encuentran un alto impacto ambiental en el cobre usado en la tubería del colector, ya que aporta un porcentaje elevado en categorías de impacto como cambio climático y consumo de energía primaria. Gracias a un cambio de esta tubería, que pasa de ser de cobre a acero galvanizado, los autores encuentran una disminución del 70% en estas categorías.	Reducir uno de los puntos débiles del sistema solar forzado, como es el agotamiento de recursos minerales, así como las categorías de acidificación y eutrofización.
2	Sustitución de la cubierta: de vidrio templado a policarbonato.	A1. Fabricación. A1.1. Colector	Tanto en el artículo anteriormente descrito (Battisti y Corrado, 2005), como en el escrito por (Chaurasia y Twidell, 2000) llamado " <i>Collector Cum storage solar water heaters with and without transparent insulation material</i> ", aseguran que un cambio en la cubierta del colector de vidrio a policarbonato, puede reducir las pérdidas térmicas superiores y conseguir de esta manera una mejor eficiencia del colector, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de la energía solar incidente.	Ya que el sistema auxiliar aporta un importante porcentaje en las categorías de impacto de agotamiento de recursos, acidificación, eutrofización y ozono fotoquímico, si aumenta la eficiencia del colector, menos uso habría que hacer de este sistema, reduciendo el impacto total.

<b>3</b>	Usar un mayor porcentaje de aluminio reciclado en el colector	A1. Fabricación. A1.1. Colector	En el estudio realizado por Allen et al. (2010) en tabla 2, donde un sistema de circulación forzada es evaluado ambientalmente, la producción del aluminio resultó ser altamente impactante por tratarse de un aluminio virgen (primario). Realizando una comparación con un sistema que en lugar de usar aluminio 100% virgen, usará un mayor porcentaje de aluminio reciclado (50%), los autores encontraron reducciones importantes en categorías como sustancias cancerígenas, acidificación y formación de ozono foto químico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducir los impactos causados por el colector que es un componente que aporta gran porcentaje, sobre todo en las categorías de agotamiento de recursos abióticos, acidificación y eutrofización.</li> <li>- Reducir el impacto de calentamiento global.</li> </ul>
----------	---	------------------------------------	---	---

### 8.2.5 Evaluación y comparación de escenarios

*Escenario 1. Sustitución del material de la tubería en el circuito secundario: de cobre a acero galvanizado*

El cambio de la tubería de cobre por acero galvanizado se hizo teniendo en cuenta la equivalencia de tuberías que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 20. Comparación dimensional entre tubos de acero y cobre de diámetro interior equivalente**

Tubo de acero estirado (DIN)					Tubo de cobre				
Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor pared (mm)	Diámetro interior (mm)	Peso lineal (kg/m)	Dimensión nominal (mm)	Diámetro exterior (mm)	Espesor pared (mm)	Diámetro interior (mm)	Peso lineal (kg/m)
3/8"	17,2	2	13,2	0,75	15x1	15	1	13	0,391
1/2"	21,3	2,35	16,6	1,1	18x0,75	18	0,75	16,5	0,361
3/4"	26,9	2,35	22,2	1,41	25x1,5	25	1,5	22	0,934

Fuente: (Clean energy solar, 2011)

De esta manera la tubería a usar es de 21,3mm diámetro exterior y 16,6mm de diámetro interior, la longitud de la tubería es la misma del circuito secundario (15m). El peso total de material es 16,5 kg de acero más el recubrimiento en zinc de el área correspondiente a la tubería (3,57 m<sup>2</sup>).

Los cambios realizados en el modelo ya realizado en GaBi y que corresponden al modelo del escenario 1 son: eliminar el cobre como material en el componente A1.9 y agregar acero,

agregar un recubrimiento de zinc al total del área y cambiar la cantidad de acero utilizado en la fabricación de la tubería (A1.10) que es igual a 16,5kg.

Con estos cambios realizados en el modelo, se procede a realizar nuevamente el balance del sistema y extraer los resultados de la evaluación de impactos. La tabla 21 muestra la variación de los totales del escenario 1 con respecto al escenario base, y la última columna muestra la mejora obtenida (porcentajes negativos) o los impactos aumentados (porcentajes positivos).

**Tabla 21. Resultados del escenario 1 con respecto al escenario base.**

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	Esc BASE	ESC 1.	%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,86E-06	1,82E-06	-2,27%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	1,20E+00	1,22E+00	0,96%
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,50E-04	2,35E-04	-5,77%
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	4,00E-05	4,02E-05	0,51%
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	9,24E-02	9,32E-02	0,83%
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	1,25E-08	1,25E-08	0,48%
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	3,60E-05	3,57E-05	-0,91%

Se obtienen resultados favorables con respecto al objetivo planteado, para dos de las tres categorías marcadas como objetivo. La mayor reducción es la de la acidificación que reduce en un 5,77%, seguida por una disminución del agotamiento de recursos abióticos (2,27%) y formación de ozono fotoquímico (0,91%). También puede observarse que algunas categorías aumentan su impacto, pero este aumento es mucho menor que las mejoras obtenidas en las demás categorías. Al final de este apartado estos comportamientos pueden verse con respecto al escenario base, los demás escenarios y el sistema de Gas Natural.

#### *Escenario 2. Sustitución de la cubierta: de vidrio templado a policarbonato.*

Para la sustitución del material de la cubierta del colector por policarbonato, debe tenerse en cuenta que esto implica cambios tanto en la etapa de fabricación como en la etapa de uso, ya que afectara la eficiencia del colector y de manera consecuente la fracción solar aportada por el mismo.

En cuanto a la etapa de fabricación, lo más importante es decidir qué tipo de policarbonato debe usarse en el colector para reemplazar el vidrio y cumplir las mismas funciones. Para esto, se realiza una pequeña búsqueda de literatura de donde se extraen las siguientes conclusiones:

- La cubierta elegida debe seguir garantizando propiedades como capacidad de soportar altas temperaturas, alta transmisividad de luz, larga vida útil cuando se expone a rayos UV y altas temperaturas, gran resistencia al impacto, bajo peso y facilidad de manejo y

montaje, opacidad ante ondas largas de radiación para reducir las pérdidas de calor, y bajo costo (Build it solar, 2011).

- Sin embargo, ningún material muestra la totalidad de las propiedades anteriormente descritas, por lo que se trata de escoger un material balanceado que se adapte a cada necesidad o caso.
- Diversas fuentes investigadas tanto en artículos como páginas web, entre las que están Build it solar (2011), Chaurasia and Twidell (2000), Heat wave solar (2011), Macrolux® (2005), recomiendan el uso de policarbonato de múltiples paredes (*Multiwall*), que es un material extruido que consiste en paneles conectados, comúnmente es usado en invernaderos.
- El panel más usado para colectores solares es un policarbonato de doble pared (2W), con un total de 10mm de espesor, que posee un recubrimiento que lo protege de los rayos UV, además es altamente resistente al impacto. Según el catalogo de Macrolux® (2005) el policarbonato elegido tiene las siguientes características:

**Tabla 22. Propiedades de diferentes tipos de policarbonatos de paredes múltiples**

Thickness	Nº walls	Weight Kg/m <sup>2</sup>	k=W/m <sup>2</sup> °K	k=Kcal/m <sup>2</sup> °K
4,0	2W	0,8	3,6	3,1
4,5	2W	1	3,6	3,1
6,0	2W	1,3	3,5	3
8,0	2W	1,5	3,4	2,9
10,0	2W	1,7	3,2	2,8
10,0	3W	2	3	2,6
16,0	3W	2,7	2,3	2
16,0	5X	2,5	2	1,7
6,0	3WQ	1,3	3,4	2,9
8,0	3WQ	1,5	3	2,6
10,0	3WQ	1,7	2,7	2,3
16,0	4RW	2,8	2,1	1,8
16,0	5W	2,8	1,9	1,6
20,0	5W	3,1	1,8	1,5
20,0	5X	2,9	1,9	1,6
25,0	5W	3,3	1,6	1,4
25,0	5RW	3,3	1,7	1,5
32,0	5RW	3,6	1,6	1,4
35,0	5RW	3,8	1,3	1,1

Fuente: Macrolux® (2005)

- Este material es conocido y recomendado por su alta capacidad de aislamiento térmico, incluso mayor al vidrio, lo que podría incrementar la eficiencia del colector. Pero como punto negativo, su transparencia es menor que la del vidrio (a mayor número de paredes, menor transparencia, pero mayor aislamiento térmico).

Para establecer el modelo en GaBi, del Escenario 2 deben realizarse los siguientes cambios en el proceso del colector (procesos internos): eliminar el material de vidrio templado y reemplazarlo por material de policarbonato (1,7 kg/m<sup>2</sup> de colector).

Para observar cómo este cambio en las propiedades del material influye en la eficiencia del colector, debe analizarse de nuevo la etapa de uso.

Introduciendo los datos del policarbonato en el archivo *Excel fSol v 2.09*, se obtiene lo siguiente:

**Tabla 23. Comparación de datos de eficiencia para el colector**

	Transmisividad del material	Rendimiento óptico $F_R(\tau\alpha)$	Factor de pérdidas térmicas $K1: F_R U_L$	Fracción solar
Vidrio (Esc. Base)	91%	0,77	4,086 W/m <sup>2</sup> °K	<b>75,6%</b>
Policarbonato (Esc. 2)	82%	0,69	3,2 W/m <sup>2</sup> °K	<b>68,5%</b>

Los resultados muestran, que el aumento en el aislamiento térmico (disminución de pérdidas térmicas) no se compensa con la disminución en la transmisividad de la luz solar y por lo tanto en el rendimiento óptico, mostrando que este último es mucho más sensible a cambios y es de suma importancia para un sistema térmico solar forzado.

Con estos nuevos resultados en la fracción solar del sistema, habrá un mayor uso del sistema auxiliar, que pasa del 25,4% al 31,5%. Estos cambios son también incluidos en el modelo de GaBi donde hay una mayor entrada de energía proveniente del sistema auxiliar de Gas natural.

Realizando estos cambios en el modelo, se realiza el balance para el escenario 2, y se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 24. Resultados del escenario 2 con respecto al escenario base.**

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	ESC BASE	ESC 2	%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	<b>1,86E-06</b>	<b>2,06E-06</b>	<b>10,61%</b>
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	<b>1,20E+00</b>	<b>1,50E+00</b>	<b>24,53%</b>
Potencial de Acidificación	kg de SO <sub>2</sub> eq.	<b>2,50E-04</b>	<b>2,83E-04</b>	<b>13,41%</b>
Potencial de Eutrofización	kg de PO <sub>4</sub> eq.	<b>4,00E-05</b>	<b>4,49E-05</b>	<b>12,18%</b>
Potencial de calentamiento Global	kg de CO <sub>2</sub> eq.	<b>9,24E-02</b>	<b>1,16E-01</b>	<b>25,29%</b>
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	<b>1,25E-08</b>	<b>1,57E-08</b>	<b>26,04%</b>
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	<b>3,60E-05</b>	<b>4,28E-05</b>	<b>18,76%</b>

Como puede observarse en la tabla 24, este escenario no muestra mejora alguna, al contrario muestra un aumento considerable en las diferentes categorías evaluadas, esto se debe a un mayor uso del sistema auxiliar de Gas natural.

*Escenario 3. Usar un mayor porcentaje de aluminio reciclado en el colector*

El aluminio del colector del escenario base es en su mayoría aluminio primario (90%). El nombre para este tipo de aluminio en la base de datos de eco-invent es Aluminio forjado o “Wrought alloy”. Este escenario propone realizar un cambio en el que se utilice un mayor porcentaje de aluminio reciclado. Usando la base de datos de eco-invent y su guía de datos para metales (Classen et al., 2007), se encuentran diferentes tipos de mix para aluminios comerciales. Estos aluminios contienen diferentes porcentajes de aluminio primario, secundario a partir de chatarra antigua (*old scrap*), y secundario a partir de chatarra nueva (*new scrap*).

Realizando una evaluación rápida de los diferentes tipos de aluminio encontrados en la base de datos, el de menor impacto es el llamado de aleación o “cast alloy”. Este aluminio tiene los siguientes porcentajes:

- 20% aluminio primario.
- 47% aluminio secundario (*new scrap*).
- 33% aluminio secundario (*old scrap*).

Hay que tener en cuenta que el uso del aluminio secundario es en términos generales menos contaminante que el uso de uno primario, pero cuando los residuos o chatarra se encuentran en mal estado o son muy antiguos, este material requiere de una serie de procesos adicionales y energía para que pueda ser usado de nuevo y cumple las funciones del material.

Para modelar este nuevo escenario, debe eliminarse del colector (A1.1) el material anterior (Aluminio forjado) e introducir el nuevo material (Aluminio de aleación) en la misma cantidad (3,93kg/m<sup>2</sup> de colector).

Una vez realizados estos cambios, se realiza el balance para evaluar el nuevo escenario, la tabla 25 muestra los resultados del escenario 3 con respecto al escenario base y el porcentaje de mejora.

**Tabla 25. Resultados del escenario 3 con respecto al escenario base.**

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	ESC. BASE	ESC. 3	%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,86E-06	1,87E-06	0,13%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	1,20E+00	1,18E+00	-2,21%
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,50E-04	2,38E-04	-4,63%
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	4,00E-05	3,86E-05	-3,50%
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	9,24E-02	8,99E-02	-2,67%

Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	<b>1,25E-08</b>	<b>1,23E-08</b>	<b>-1,14%</b>
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	<b>3,60E-05</b>	<b>3,47E-05</b>	<b>-3,60%</b>

Se pueden observar mejoras en casi todas las categorías excepto por la de agotamiento de recursos abióticos. De nuevo, esta categoría genera debate y es objeto de discusión como en la interpretación de los resultados de la evaluación de impactos del escenario base. Para encontrar la razón por la cual, los impactos en esta categoría aumentan en lugar de reducir (una reducción era el comportamiento esperado al tratarse de un aluminio reciclado que no consume una gran cantidad de recursos primarios), se han comparado los mix de aluminios que provienen de la base de datos de Eco-invent, para comprobar que el error no estuviera en el cálculo y balance del sistema solar, y se obtienen como resultados, que el mix de aluminio (*cast alloy*) con menor porcentaje de aluminio secundario, tiene un mayor impacto que los demás mix en esta categoría como se observa en la tabla 26.

**Tabla 26. Comparación de tipos de aluminios encontrados en la base de datos Eco-invent®**

Parámetro	TOTAL	Production mix: 68% primary, 21,6% sec-new scrap, 10,4% sec-old scrap		Cast alloy (Esc.3): 20% primary, 47% sec-new scrap, 33% sec-old scrap		Wrought alloy (Esc. Base): 90% primary, 10% sec-new scrap	
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	6,01E-05	1,91E-05	31,79%	2,43E-05	<b>40,39%</b>	1,67E-05	27,82%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	2,50E+02	9,40E+01	37,58%	3,52E+01	14,07%	1,21E+02	48,35%
Potencial de Acidificación	1,07E-01	4,04E-02	37,63%	1,48E-02	13,81%	5,21E-02	48,55%
Potencial de Eutrofización	1,26E-02	4,77E-03	37,75%	1,68E-03	13,30%	6,18E-03	48,95%
Potencial de calentamiento Global	2,27E+01	8,55E+00	37,67%	3,10E+00	13,67%	1,11E+01	48,66%
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	1,42E-06	5,30E-07	37,33%	2,16E-07	15,21%	6,74E-07	47,46%
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	1,16E-02	4,40E-03	37,77%	1,54E-03	13,20%	5,71E-03	49,03%

Este comportamiento no puede encontrarse en la documentación soporte de esta base de datos consultada para el presente proyecto (Classen et al., 2007), hecho que lo convierte en un aspecto interesante y recomendado para un posterior análisis.

La mayor mejora es con respecto a una de las categorías objetivo, como lo es la de acidificación con una reducción de 4,63%, seguida por la de eutrofización con 3,50%. Este mejoramiento aunque pequeño, muestra un avance en la reducción de impactos. Este comportamiento es más evidente a medida que se desagrega más el sistema, por ejemplo, la tabla 27 muestra los porcentajes de mejora, teniendo en cuenta solo el colector.



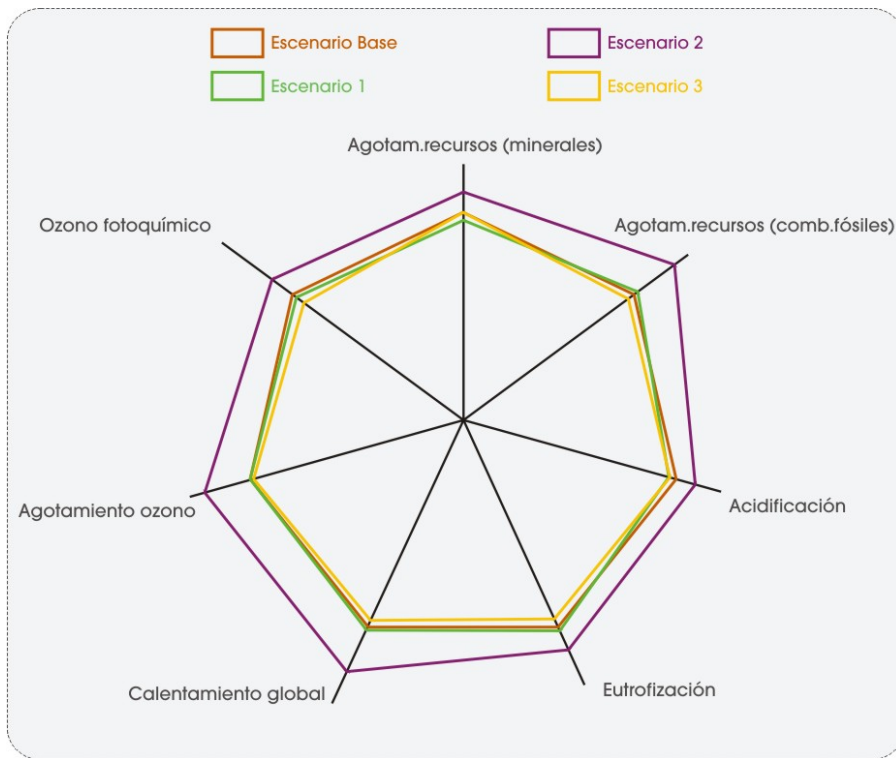
**Tabla 27. Resultados del impacto del colector del escenario 3 con respecto al escenario base.**

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	Colector Esc. Base	Colector Esc.3	%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	4,51E-07	4,53E-07	0,52%
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	1,07E-01	8,01E-02	-24,95%
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	8,43E-05	7,28E-05	-13,72%
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	9,51E-06	8,11E-06	-14,71%
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	8,82E-03	6,35E-03	-27,99%
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	7,37E-10	5,95E-10	-19,29%
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	6,40E-06	5,10E-06	-20,25%

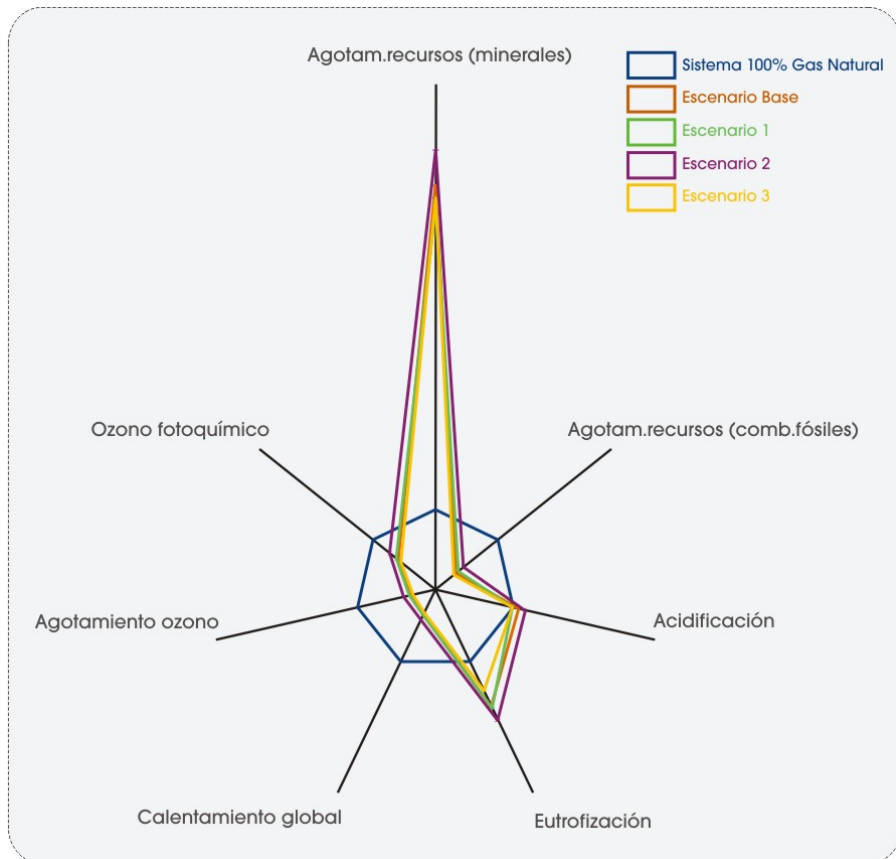
#### *Perfil de los escenarios y comparación*

Las gráficas 28 y 29, muestran el perfil de los escenarios anteriormente descritos, en primer lugar, se trata de una normalización interna, en la que se comparan los tres escenarios propuestos con respecto al escenario base, esta gráfica es útil para responder las preguntas: ¿Qué ha mejorado?, ¿Qué mejora puedo realizar o continuar buscando?. Por otro lado, la segunda gráfica compara los escenarios base y propuestos con respecto al sistema tradicional de Gas natural, y puede usarse para responder a la pregunta: Si se tuviera que elegir un sistema solar con respecto a uno de gas natural, ¿Cuál sería la mejor opción? Estas preguntas son respondidas en la siguiente y última fase de la metodología, conclusiones y recomendaciones para el sistema o producto.

Las tablas de donde se extraen los valores de cada normalización se encuentran en el Anexo 4.



**Figura 28. Perfil de los escenarios propuestos con respecto al escenario base=1.**  
Fuente: (Elaboración propia)



**Figura 29. Perfil de los escenarios propuestos con respecto al Sistema de Gas natural=1.**  
Fuente: (Elaboración propia)

### 8.2.6 Conclusiones y recomendaciones para el sistema

Considerando la efectividad de los cambios realizados, los escenarios 1 y 3 muestran mejoras con respecto al escenario base como se observa en la figura 28. Estos escenarios podrían combinarse en uno nuevo para evaluar si juntas, podrían lograr una mayor reducción de impactos. El escenario 2, muestra ser más impactante que los demás, incluso que el escenario base. Esto lleva a concluir que el cambio del material de la cubierta de vidrio a policarbonato, lleva a un mayor consumo de Gas natural por parte del sistema auxiliar aumentando los impactos. Sin embargo, este análisis no ha tenido en cuenta aspectos como resistencia al impacto en caso de granizo (en la que es mejor que vidrio) o reducción en el peso total del colector. Aun así, y teniendo en cuenta que una lámina del policarbonato evaluado tiene una vida útil aproximadamente de la mitad de un vidrio templado, los impactos entonces se duplicarían, ya que a los 10 años de vida del sistema necesitaría ser cambiado.

Es evidente, que el tanque y el colector son los componentes donde deben enfocarse los esfuerzos de búsqueda de nuevos materiales y cambios de diseño, ya que aporta un alto porcentaje en todas las categorías de impacto (figura 27). Estos cambios deben de tener siempre en cuenta diferentes aspectos como la normativa vigente del código de edificación, o materiales que muestran una única opción (como el cobre en las tuberías del circuito primario). También es muy importante vigilar que los cambios en materiales no afecten la eficiencia del colector, ya que como se comprobó en el escenario 2, una disminución en el porcentaje de fracción solar se traduce en mayores impactos. Por lo tanto, es importante incluir la etapa de uso en los estudios de ACV de placas solares térmicas, práctica que no suele ser muy común. Un sobredimensionamiento de la placa, o una fracción solar muy pequeña, son dos situaciones no deseadas que afectan negativamente el funcionamiento y el comportamiento ambiental de estos sistemas.

El tanque del que provienen la mayoría de impactos en la categoría más crítica (agotamiento de recursos abióticos (minerales) (figura 27), es un componente difícil de cambiar ya que a menudo suele ser prefabricado, sin embargo, y en caso de poder hacerse, es interesante investigar más en detalle sobre los materiales o cambios que puedan realizarse en este componente.

En el caso de la comparación de los diferentes escenarios planteados (Base, 1, 2 y 3) con respecto al sistema para ACS con Gas natural (figura 29), el escenario 3, con el aluminio reciclado, muestra ser la mejor opción en caso de escoger entre los sistemas existentes. El eje que corresponde a la categoría de agotamiento de recursos abióticos llama la atención. Este comportamiento fue explicado en el apartado de interpretación de resultados (8.2.2.4). Por las razones allí explicadas, sería recomendable entonces, incluir la etapa de fin de ciclo de vida en un próximo estudio, y tener en cuenta los flujos de entrada de materiales que puedan ser reciclados o reutilizables, y ver cómo cambia entonces esta categoría.

Es importante resaltar que las gráficas y resultados están siempre realizados teniendo en cuenta las categorías de impacto y sus valores correspondientes. No se ha realizado ningún indicador agregado, ya que la comparación de categorías y la asignación de pesos a las mismas, es una tarea que puede caer en subjetividades y discusiones, que son difíciles de consensuar. No se recomienda para esta metodología realizar indicadores agregados en términos

absolutos, ya que aunque se resume en un único número, este número puede perder de vista información de gran relevancia. Lo que sí es interesante seguir realizando, es discutir y diferenciar entre categorías que tienen impactos globales, más fáciles de interpretar (calentamiento global) y categorías de impactos más locales (acidificación) como también se hizo en la interpretación de resultados.

La dificultad en la proposición de un mayor número de escenarios o cambios que tengan más cambios en el sistema, pasa por diferentes aspectos y limitaciones explicados en el estado del arte. Los sistemas térmicos solares, son sistemas que han llegado a un nivel alto de optimización y ha sido objeto de estudio durante años. La línea de investigación, podría continuar por temas de durabilidad de los materiales o componentes, con experimentos prácticos, y resistencia de materiales, entre otros.

Finalmente se recomienda hacer una investigación más profunda y detallada que llegue a la raíz de los resultados que no pudieron ser completamente explicados en este caso de estudio como el comportamiento de la categoría de agotamiento de recursos abióticos tanto en la comparación del escenario base con el sistema de Gas natural, como en el escenario 3.

### **8.2.7 Conclusiones y adaptación para la metodología**

La metodología propuesta y utilizada en el presente PFM ha sido de gran utilidad para el alcance del principal objetivo, realizar recomendaciones de cambio y ecodiseño para el producto, y dar un perfil ambiental de un sistema solar térmico que permita conocer sus puntos débiles y sus ventajas con respecto a otros sistemas utilizados para el abastecimiento de ACS. Esta metodología, es una agrupación estructurada de herramientas, normativa e información recopilada a lo largo del marco teórico, que toma los elementos que mejor se adaptan a este caso concreto y dan como resultado una guía práctica, que intenta proporcionar tanto elementos de análisis, interpretación y discusión, como tablas y gráficos, complementos visuales que lo hacen más fácil de entender.

Como adaptación a la metodología existente, se recomienda incluir en la primera fase de la misma, en la descripción del sistema y el escenario base, un formato que permita organizar esta información de una manera más estructurada como en el resto de fases. También podría ser interesante, realizar una ficha resumen, que contenga la información más relevante de cada fase en un solo lugar y así tener una imagen global del estudio realizado.

---

## 9. Conclusiones y recomendaciones

Este apartado es la síntesis de los resultados obtenidos y los objetivos alcanzados en el presente trabajo final de máster. Contiene las principales conclusiones y recomendaciones para el proyecto, divididas en los apartados de mayor relevancia del mismo.

### Conclusiones y recomendaciones generales

- Se ha diseñado una metodología clara para la evaluación de sistemas térmicos solares, utilizando diferentes herramientas metodológicas y normativa relacionada y adaptándola de tal manera que su resultado permita realizar recomendaciones de ecodiseño para fabricantes e instaladores. Esta metodología es además un aporte de conocimiento para el proyecto Renia, ya que da ideas sobre posibles líneas de investigación y además brinda una amplia literatura de apoyo y herramientas metodológicas que pueden ser usadas en futuras etapas del proyecto.

- La metodología de ecodiseño ha sido aplicada a un producto específico de una empresa colaboradora del proyecto Renia. Esta aplicación ha permitido reconocer obstáculos y limitaciones que pueden ser encontrados en este tipo de proyectos, pero más importante aún cómo identificar caminos alternativos para continuar con el desarrollo de las fases de la metodología. La metodología ha permitido identificar y recomendar posibles cambios de ecodiseño para el producto y la identificación de los componentes y las etapas de vida de mayor impacto en el producto y que merecen un mayor enfoque en el futuro.

- Gracias a la metodología de ecodiseño, luego de identificar los puntos débiles del sistema, se han podido establecer, evaluar y comparar diferentes escenarios de ecodiseño. Estos escenarios son resultado tanto de las conclusiones del análisis de ciclo de vida (ACV) realizado, del análisis de puntos débiles en el perfil del producto y de las conclusiones y análisis del estado del arte del proyecto. La evaluación y comparación de escenarios, permite realizar recomendaciones más ajustadas a la realidad del producto, y entender qué tipo de cambios son más significativos y muestran un mayor potencial de mejora en el producto.

- Se recomienda en proyectos similares donde se diseña una metodología de este tipo, que esté acompañando de un caso de estudio que compruebe su aplicabilidad y alcance de objetivos, ya que los resultados de un caso de estudio, afianzan el conocimiento teórico obtenido, además de permitir la evaluación de la metodología y la adaptación de la misma por medio de la retroalimentación del caso de estudio.

- El desarrollo de una metodología de ecodiseño involucra más que empezar de cero, la adaptación y dar estructura a las diferentes herramientas existentes, normativa, necesidades del proyecto, tipo de producto, entre muchos otros aspectos, que deben ser estudiados con anterioridad. No existen metodologías universales que apliquen a todo tipo de casos de estudio, el estudio y la adaptación de las ya existentes brinda una claridad necesaria para este tipo de proyectos que involucran el ecodiseño de productos.

- La metodología desarrollada a partir de la combinación de definiciones y descripciones del producto, cuenta con tablas de resultados e interpretaciones, además de elementos visuales y

un perfil del producto, herramientas que permiten ver de una manera clara, sencilla y estructurada la evaluación y evolución del producto.

### **Sobre el marco teórico y el estado del arte**

- Las energías renovables en España muestran un destacable crecimiento en los últimos años, en el año 2009 cubrieron un 28,2% de la demanda anual y en 2010 ese porcentaje aumentó a 35,4%. Dentro de estas energías llamadas de régimen especial, la energía solar, que ha recibido grandes incentivos económicos en los últimos años, muestra porcentajes pequeños pero en crecimiento continuo, además España ha llegado en 2010 a ser el país con mayor potencia termosolar instalada. Sin embargo, aspectos como el alto coste de la energía solar y el parón de la construcción en España, hace urgente la búsqueda de soluciones y estrategias para promover y mejorar los sistemas solares en general, mejorar su competitividad, eficiencia, durabilidad y su impacto ambiental.

- Existe una necesidad de incluir explícitamente aspectos y consideraciones ambientales en el diseño de productos, a lo largo de toda su etapa del ciclo de vida. Este concepto, considerado "ecodiseño" o simplemente un buen diseño, está orientado a que los productos tengan el menor impacto ambiental asociado en toda su vida útil.

- Se han analizado en profundidad once estudios realizados anteriormente por diferentes autores relacionados con análisis o evaluaciones ambientales de sistemas solares térmicos. Este estado del arte ha sido fundamental para establecer prioridades, para conocer posibles escenarios de cambio y de mejora, y en general para tener literatura de referencia para apoyar futuras decisiones. Dentro de la bibliografía estudiada la etapa de uso es poco tenida en cuenta, pero reconoce su importancia en este tipo de análisis. Además, se concluye que la extracción de materiales es una de las etapas más contaminantes y que el fin de vida es una etapa de la que se tiene poco conocimiento. Sin embargo, la mayoría de estudios se quedan a puertas de proponer cambios concretos, evaluarlos y compararlos, ya que es un reto bastante importante por diferentes aspectos como normativa, materiales de difícil reemplazo, y costos, entre otros.

### **Sobre la metodología de ecodiseño**

- Actualmente puede encontrarse una gran variedad de herramientas metodológicas que permiten el ecodiseño de productos. Estas pueden ser separadas según su tipología como: guías/directrices, checklists y herramientas analíticas. Estas últimas son las más completas, pero también requieren de mayor tiempo y recursos para ser aplicadas. La gran cantidad de herramientas plantean un reto para ser adaptadas a la industria y deben ser analizadas y adaptadas a cada caso de estudio.

- La herramienta de mayor uso en este proyecto, el Análisis de Ciclo de Vida, es una de las herramientas más completas dentro de las estudiadas y permite analizar un producto a lo largo de todo su ciclo de vida para identificar oportunidades de mejora, informar y comunicar a los diferentes grupos de actores alrededor del producto, hacer declaraciones ambientales que sirvan como ventaja competitiva o marketing. El uso del ACV está regido por la normativa ISO14040: 2006 e ISO14044:2006, que han sido estudiadas en este trabajo. Se puede concluir

que aunque el uso de estudios de ACV requiere de recursos, tiempo y una importante carga de trabajo, constituye una herramienta fundamental para el análisis de un sistema a nivel ambiental, ofrece la posibilidad de desagregar y agregar resultados y hacer interpretaciones, evaluaciones y comparaciones de productos.

- Los diagramas de telaraña mostraron ser de gran utilidad para comunicar de una manera más visual los resultados del análisis de ciclo de vida y comparar diferentes sistemas o escenarios de un mismo sistema. Sin embargo el uso único de estas herramientas daría tan solo una visión parcial de los resultados, y es por esta razón que en la metodología diseñada se acompañan de explicaciones e interpretaciones escritas de los resultados del ACV. Se recomienda la combinación de herramientas más analíticas y completas como el ACV con herramientas visuales, que permitan sintetizar el perfil de un producto y al mismo tiempo comparar diferentes productos o escenarios.

- Las guías y directrices, como normativas ISO y UNE y el reglas de oro del ecodiseño, han sido de gran utilidad para dirigir y estructurar la metodología de ecodiseño, y permiten que pueda ser usada para realizar la comunicación ambiental del producto en etapas posteriores. De esta manera se puede concluir, que la metodología de diseño de este trabajo combina diferentes tipos de herramientas para el alcance de un objetivo común.

### **Sobre el caso de estudio**

- El producto analizado y utilizado para realizar el caso de estudio y aplicación de la metodología es un sistema solar de circulación forzada de la empresa Termicol, cuyos principales componentes son dos colectores solares, un tanque de acumulación, vaso de expansión y bomba hidráulica. Además cuenta con un sistema auxiliar que hace uso de gas natural para cubrir la demanda total de agua caliente sanitaria de seis personas. Este sistema es uno de los más usados en viviendas unifamiliares. Después de su evaluación y la de sus impactos, se observa que comparado con un sistema tradicional para cubrir la misma demanda (calentador a gas natural) tiene grandes ventajas ambientales, como una reducción del potencial de calentamiento global en un 65%, de uso de recursos fósiles en un 64% y creación de ozono estratosférico en un 69.3%, categorías de impacto de gran importancia.

- El sistema evaluado también muestra puntos débiles cuando es comparado con un sistema tradicional de gas natural. El primero y más llamativo, es el aumento en el potencial de agotamiento de recursos abióticos (recursos naturales). Este resultado podría explicarse por el aumento en la cantidad de materiales del sistema solar (materiales del sistema solar más la porción de los materiales del sistema auxiliar), y por la gran cantidad de metales utilizada principalmente en el tanque de acumulación. Sin embargo se recomienda una investigación más profunda en este resultado. La acidificación y eutrofización, muestran también un aumento aunque en menor medida, y se convierten en puntos a tener en cuenta en el rediseño del producto.

- Las categorías de impacto de carácter local, como pueden ser la acidificación o eutrofización requieren una interpretación cuidadosa, ya que su impacto dependerá de lo disperso o concentrado que se encuentren los procesos involucrados, por esto se recomienda un análisis más detallado de este tipo de categorías. Por otro lado las categorías globales como

calentamiento global o agotamiento de la capa de ozono, muestran una mayor facilidad en su interpretación.

- Existe un importante margen de mejora para el sistema, especialmente en categorías como agotamiento de recursos naturales, acidificación y eutrofización. Estas mejoras deben ser realizadas sobre el sistema solar como tal, dejando de lado el sistema auxiliar que no es objeto de estudio en este proyecto. Los componentes de mayor relevancia e impacto y donde deben estar enfocados los esfuerzos de ecodiseño son el colector y el tanque de almacenamiento. Estos componentes muestran gran cantidad de materiales (especialmente metales), que pueden ser objeto de mejoras, reemplazo o cambios, teniendo siempre en cuenta los siguientes aspectos:

- El cambio de materiales debe hacerse teniendo en cuenta la normativa vigente, para este caso, el código técnico de edificación (CTE, 2009) que regula la fabricación e instalación de sistemas solares técnicos en España.
- La eficiencia y funcionamiento del sistema debe estar garantizado, de manera que un cambio de material o en el diseño de algún componente no disminuya la demanda cubierta por el colector solar, sino que aumente el aprovechamiento de la energía solar para disminuir el uso del sistema auxiliar y así mismo el impacto total del sistema.
- Los aspectos anteriores dificultan y disminuyen la cantidad de recomendaciones acertadas sobre qué cambiar en este tipo de productos, además el cambio de materiales o componentes debe garantizar la durabilidad de las piezas y así mismo del sistema. Se recomienda seguir líneas de investigación que permitan experimentar con diferentes materiales que sean de mayor duración y alarguen la vida del sistema.

- Se han planteado tres escenarios de ecodiseño para el sistema. El primero de ellos es un cambio en el material de la tubería del circuito secundario de cobre a acero galvanizado, que muestra mejoras en la categoría de acidificación y en el agotamiento de recursos abióticos. El segundo propone cambiar la cubierta del colector de vidrio a policarbonato, para disminuir las pérdidas térmicas y aumentar la eficiencia del colector y así mismo la fracción solar, pero los resultados muestran que una disminución en la transmisividad del material (el vidrio posee mayor transparencia que el policarbonato) es vital en la eficiencia del colector, y su disminución aumenta la necesidad en el uso del sistema auxiliar y así mismo el impacto total del sistema. El tercer escenario propone la utilización de un mayor porcentaje de aluminio reciclado en la carcasa del colector, con el cual se obtienen mejoras en casi todas las categorías de impacto (menos en el agotamiento de recursos abióticos), especialmente en la acidificación y la eutrofización. Se recomienda entonces realizar los cambios propuestos en el escenario 1 y 3, o realizar una combinación de ambos para obtener mayores mejoras en el sistema.

- Se ha demostrado que el uso es una etapa fundamental en el análisis de los impactos del ciclo de vida de una placa solar térmica, en especial en casos de estudio similares al del presente proyecto, donde se hace uso de sistemas auxiliares que usan energías no renovables, como el gas natural. El uso está influenciado por diversos aspectos, como la elección de materiales, que puede afectar la eficiencia del sistema y así mismo aumentar sus impactos; o el usuario



directo del producto, que puede variar el impacto del producto según se haya sub o sobredimensionado a partir del valor promedio. La etapa de uso también está influenciada por la época del año, la temperatura del agua, o la zona climática, entre otros muchos aspectos

- Al ser una etapa influenciada por tantos aspectos, se convierte en un reto realizar recomendaciones de diseño, que quizás solo puedan variar aspectos de materiales, fabricación, mantenimiento y diseño óptimo de la placa, pero que deja por fuera aspectos fundamentales como el usuario final y el uso real que se hará del sistema. Esto plantea una buena oportunidad para ingenieros, diseñadores e investigadores, que deben trabajar juntos para identificar maneras de integrar el uso de los productos con su impacto y rendimiento ambiental.

- Se recomienda para próximos estudios, tener en cuenta etapas que no pudieron ser tenidas en cuenta en el presente proyecto por el corto alcance del mismo como la instalación (los diferentes tipos de estructura y posibilidades que muestran las fachadas y techos de edificaciones para la integración de sistemas solares). También sería interesante incluir el fin de vida en estos estudios, de esta manera, se podrán incluir la recuperación de materiales, reciclaje y reutilización.

---

## 10. Referencias

- Alonso, M.C. 2006. Primera norma certificable sobre Gestión Ambiental del proceso de diseño y desarrollo: ECODISEÑO (UNE 150301:2003). *CONAMA 8: Congreso Nacional del medio ambiente*. Cumbre del Desarrollo Sostenible. AENOR.
- Allen S.R., G.P. Hammond, H.A. Harajli, M.C. McManus y A.B. Winnett. 2010. Integrated appraisal of a Solar Hot Water system. *Energy*, Vol. 35, 1351 - 1362.
- Ardente, F., G. Beccali, M. Cellura, y V. Lo Brano. 2005. Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy*, Vol. 30, 1031–1054.
- Battisti R. y A. Corrado. 2005. Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 13, 1295 - 1300.
- Benveniste, G. 2010. Herramientas simplificadas para el cálculo de la huella de carbono. *CONAMA 10: Congreso Nacional del medio ambiente*.
- Bovea M.D. y V. Pérez-Belis. 2011. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 20, No. 1, 61-71.
- Built it Solar. 2011. Solar Collector Glazing Materials.  
URL<<http://www.builditsolar.com/Projects/SpaceHeating/Glazing.htm>. Consultada en noviembre de 2011.
- BUN-CA. 2002. Manuales sobre energía renovable: Solar fotovoltaica. Biomass Users Network (BUN-CA)-1 ed. - San José, C.R.: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-9708-9-1.
- Calow P., L. Holloway, A. Owen. 2001. Ecodesign from the ground up: taking steps without footprints. A step by step guide to greener product development. Brighthouse: Shot in the Dark; 2001.
- Castro, J. 2011. Comunicación vía mail con el Socio y Director Técnico de la empresa Termicol. Comunicación realizada en octubre 28/2011.
- Classen, M., H.J. Althaus, S. Blaser, W. Scharnhorst, M. Tuchschnid, N. Jungbluth y M. F. Emmenegger. 2007. *Life cycle Inventories of Metals*. *Eco-invent© centre*, Report N°10.
- Clean Energy Solar. 2011. Tipos de tuberías en instalaciones de solar térmica.  
URL<<http://www.cleanergysolar.com/2011/10/18/tipos-de-tuberias-en-instalaciones-de-solar-termica/>. Consultado en Noviembre de 2011.
- Collado, E. 2009. *Tesis doctoral: Energía solar fotovoltaica, competitividad y evaluación económica, comparativa y modelos*. Escuela técnica superior de ingenieros industriales, Universidad nacional de educación a distancia.
- Comisión Europea. 2001. Libro Verde: Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético. *Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas*. ISBN 92-894-0316-0.

- Correa, E.N, A. Herrerías, A. Albornoz, G. Villarroel y A.P. Arena. 2004. Comparación económico-ambiental del uso de energía solar respecto al gas natural para agua caliente sanitaria en la ciudad de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 8, Nº 1, 2004.
- Crutzen, P.J. 2002. The “anthropocene”. *Journal of Physics IV, France* 12 (2002).
- CTE (Código Técnico de la Edificación). 2009. URL<[http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB\\_HE\\_abril\\_2009.pdf](http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf)>. Consultada en octubre del 2011.
- Chaurasia P.B.L y J. Twidell. 2000. Collector Cum storage solar water heaters with and without transparent insulation material. *Solar Energy*, Vol. 70, Nº5, pp. 403 – 416.
- Dincer, I. 2000. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 4, 157±175.
- Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Röder, M.F. Emmenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth y M. Tuchschnid. 2007. *Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries*. Eco-invent© Centre, Report Nº5.
- Eco-invent© Data Base v 2.2. 2009. Base de datos de Eco-invent©, versión 2.2. Eco-Invent Centre – Swiss centre for Life Cycle inventories.
- El País. 2010. *España supera a EE UU como líder mundial en energía termosolar*. URL<[http://www.elpais.com/articulo/economia/Espana/supera/EE/UU/lider/mundial/energia/termosolar/elpepueco/20100712elpepueco\\_3/Tes](http://www.elpais.com/articulo/economia/Espana/supera/EE/UU/lider/mundial/energia/termosolar/elpepueco/20100712elpepueco_3/Tes)>. Consultada en septiembre de 2011.
- EN 15804. 2011. Sustainability of construction works - Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, May 2011.
- ESU-Services (Fair consulting in sustainability). 2011. Eco-invent© data. URL<<http://www.esu-services.ch/data/ecoinvent/>>. Consultada en septiembre de 2011.
- Excel-fSol, v.2.09. 2011. Energía Solar Térmica- Máster en Energía para el Desarrollo Sostenible. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Fernández Ordoñez, M. 2011. “¿Les parecen pocos 7.092 millones de euros en subvenciones?”. Blog: la vuelta al mundo en 80 líneas. URL<<http://www.expansion.com/blogs/vuelta-al-mundo/2011/07/01/les-parecen-pocos-7092-millones-de-euros.html>>. Consultada 27/07/2011.
- GaBi Software. 2011. Description of the CML 2001 Method. URL<<http://www.gabi-software.com/sweden/support/gabi/gabi-lcia-documentation/life-cycle-impact-assessment-lcia-methods/cml-2001/>>. Consultada en Noviembre de 2011.
- Golić, K., V. Kosorić y A.K. Furundžić. 2011. General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment–Potential energy savings and environmental impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, 1533 - 1544.

- Guineé, J.B., M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Klejin, A. de Koring, L. van Oers, A.W. Sleeswijk, S. Suh, H.A Udo de Haes, H. de Bruijn, R. van Duin y M.A.J. Huijbregts. 2001. *Life cycle assesment: an operational guide tu the ISO standards*. Final report, May 2001. Centre of Environmental Science - Leiden University (CML).
- Heat wave solar. 2011. Twin Wall Polymer Cover. URL<[http://www.heatwavesolar.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=78:twin-wall-polymer-cover&catid=40:how-it-works&Itemid=68](http://www.heatwavesolar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=78:twin-wall-polymer-cover&catid=40:how-it-works&Itemid=68)>. Consultada en noviembre de 2011.
- Heras, M.R y R. Bosqued. 2005. Criterios para la integración de la energía solar en los edificios. *Era solar: Energías renovables*, ISSN 0212-4157, Nº. 125, págs. 6-17.
- Hernández, P. y P. Kenny. 2011. Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation. *Renewable and Sustainable Energy Review (article in press)*
- ISO 2006a. ISO 14040:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. *International Organization for Standardization 2006*.
- ISO 2006b. ISO 14044:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. *International Organization for Standardization 2006*.
- Jones E., D. Harrison y J. McLaren. Managing Creative Eco-innovation: Structuring outputs from Eco-innovation projects. *The Journal of Sustainable Product Design*, Vol. 1, 27–39.
- Kalogirou, S.A. 2004. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 30, 231–295.
- Kamp, L.M. 2008. Socio-technical analysis of the introduction of wind power in The Netherlands and Denmark. *Int. J. Environmental Technology and Management*, Vol. 9, Nos. 2/3, 2008.
- Knight P. y J.O. Jenkins. 2009. Adopting and applying ecodesign techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 17, 549–558.
- Korevaar, G. 2011. *Presentation Ecodesign tools*. Material for the course: Design of sustainable Technological Systems, Master of Industrial Ecology. TUDelft - 2011.
- Libertad Digital. 2008. *Sebastián cede: amplía la potencia y las primas de la energía solar en España*. URL< <http://www.libertaddigital.com/economia/sebastian-cede-amplia-la-potencia-y-las-primas-de-la-energia-solar-en-espana-1276339444/>>. Consultada en septiembre de 2011.
- Luttrupp C. y J. Lagerstedt. 2006. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, 1396-1408.
- Macrolux. 2005. Catálogo de producto: Multiwall Polycarbonate Sheets. URL<<http://www.macrolux-emp.com/>>. Consultado en noviembre de 2011.
- Memoria Renia (Técnico-Económica). 2010. Diseño y desarrollo de una aplicación informática para la evaluación, ecodiseño y comunicación ambiental de sistemas solares utilizados en edificación. *SEMANTIC, TERMICOL, INGHOFM, CIDEMCO-TECNALIA, INSTITUTO ANDALUZ DE TECNOLOGÍA, GIGA-ESCI*.

- Red eléctrica de España. 2001. El sistema eléctrico español, Informe 2001. URL<[http://www.ree.es/sistema\\_electrico/informeSEE-2001.asp](http://www.ree.es/sistema_electrico/informeSEE-2001.asp). Consultada en septiembre de 2011.
- Red eléctrica de España. 2010. El sistema eléctrico español, Informe 2010. URL<[http://www.ree.es/sistema\\_electrico/informeSEE.asp](http://www.ree.es/sistema_electrico/informeSEE.asp). Consultada en septiembre de 2011.
- Rey-Martínez F.J., E. Velasco-Gómez, J. Martín-Gil, L.M. Navas Gracia y S. Hernández Navarro. 2008. Life Cycle Analysis of a Thermal Solar Installation at a Rural House in Valladolid (Spain). *Environmental Engineering Science*, Vol. 25, Number 5, 2008. 713 – 723.
- Rosas, M., R. Galiano, S. Bestraten, E. Hormías, J.C. Pulfer, M. Ibañez y J.I. Rosell. 2009. *Modulo 4. Energía Solar Térmica* – Máster en Energía para el desarrollo sostenible, Fundació UPC. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat – Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rupérez, J.A. 2008. Apuntes para sostenibilidad Nº2: ECODISEÑO, necesidad social y oportunidad empresarial. *Fundación Ecología y Desarrollo*. URL<[www.ecodes.org](http://www.ecodes.org)>
- SME Funded Project. 2011. Ecodesign Toolbox. URL<<http://www.pctech.ise.polyu.edu.hk/ecodesign/Ecodesigntoolbox/>. Consultada en septiembre de 2011.
- Smithers J. y B. Smit. 1997. Human adaptation to climatic variability and change. *Global Environmental Change*, Vol. 7. No. 2. pp. 129 146.
- Termicol, 2010. Manual técnico general Termicol. URL<[http://www.termicol.es/images/stories/pdf/Manual\\_Tecnico\\_JUL1\\_2010\(version2\).pdf](http://www.termicol.es/images/stories/pdf/Manual_Tecnico_JUL1_2010(version2).pdf). Consultado en Noviembre de 2011.
- Termicol. 2011. Página web de la empresa TERMICOL- Energía solar. URL< <http://www.termicol.es/>. Consultada en septiembre de 2011.
- Tripanagnostopoulos, Y., M. Souliotis y Th. Nousia. 2000. Solar collectors with colored absorbers. *Solar Energy*, Vol. 68: 343–56.
- Tsilingiris, P.T. 1999. Towards making solar water heating technology feasible - the polymer solar collector approach. *Energy Conversion & Management*, Vol. 40, 1237±1250
- Tsilingiridis G., G. Martinopoulos y N. Kyriakis. 2004. Life cycle environmental impact of a thermosiphonic domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating. *Renewable Energy*, Vol. 29 , 1277–1288.
- Tsoutsos, T., N. Frantzeskaki y V. Gekas. 2005. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, Vol. 33, 289–296.
- Weidema, Bo P., M. Thrane, P. Christensen, J. Schmidt y S. Løkke. 2008. Carbon Footprint: A Catalyst for Life Cycle Assessment? *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 12, Nº 1, 3-6.

---

Desarrollo de una **metodología** dentro de la fase de **ecodiseño** en el proceso de fabricación e instalación de **placas solares térmicas** mediante modelos de análisis ambiental según la **metodología ACV. Caso práctico.**

## **ANEXOS**

### **Juliana Raigosa Montoya**

Directora: Núria Garrido Soriano

Profesor colaborador: Martí Rosas Casals

#### **En cooperación educativa con:**

Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático

*Escuela Superior de Comerç Internacional (ESCI) - Universitat Pompeu Fabra*

#### **Tutores externos:**

Cristina Gazulla

Marco Raugei

**Proyecto Final de Master (PFM)**

Master en Sostenibilidad

Enero 2012 - UPC

### Normativa y tipos de instalaciones para sistemas solares térmicos

Fuente principal (Heras y Bosqued, 2005)

#### Normativa en la instalación

La normativa técnica de muchos municipios españoles obliga a la instalación de sistemas de captación solar térmica para la producción de A.C.S. en todos los edificios de nueva planta o que se rehabiliten en su totalidad. Pero se ha observado que la integración de estos sistemas se realiza de una manera incorrecta en muchas ocasiones por la falta de información de los diferentes agentes implicados (Heras y Bosqued 2005).

#### La normativa actual

Tanto la Unión Europea, como el Estado Español, algunas Autonomías y Administraciones Locales, han tenido en cuenta desde hace tiempo, la necesidad de una mayor eficiencia energética en los edificios. Para ello han legislado y publicado normativa técnica al respecto. Inicialmente, el ayuntamiento de Barcelona publicó en Julio de 1999 una Ordenanza de Medio Ambiente Urbano, con un anexo de captación de energía solar térmica, a la que siguieron las de muchos otros municipios españoles. Actualmente existe la Directiva 2002/91/CE sobre eficiencia energética de los edificios, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y el segundo Proyecto del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Respecto a las Comunidades Autónomas existen normativas publicadas por una de ellas, la Comunidad Autónoma de Canarias, que considera el tema de captación solar térmica para la edificación y en cuanto a Administraciones Locales existen en 25 municipios, de los cuales 5 son andaluces, 1 balear, 1 castellano-leonés, 12 catalanes, 1 ceutí, 2 madrileños, 1 navarro y 2 valencianos. Es posible, no obstante, que exista algún municipio con normativa publicada, a cuya información no se haya tenido acceso o que se publique mientras este trabajo se encuentre en proceso de impresión siguiendo el trabajo elaborado por el IDAE.

#### Instalación (Heras y Bosqued 2005)

##### ¿Cómo colocarlos?

A continuación se describen diferentes formas de colocar los captadores solares en los edificios, haciendo énfasis en los requerimientos de integración.

##### **Caso general**

Los captadores se colocan sobre una estructura auxiliar, generalmente metálica, de sección triangular, que les proporciona una inclinación distinta que la del soporte.

Es una solución en la que priman los requerimientos puramente técnicos, para conseguir el mayor aprovechamiento de la radiación solar por el captador (orientación al sur e inclinación óptima), pero no suelen cumplir los mínimos requerimientos de integración.

##### Superpuestos

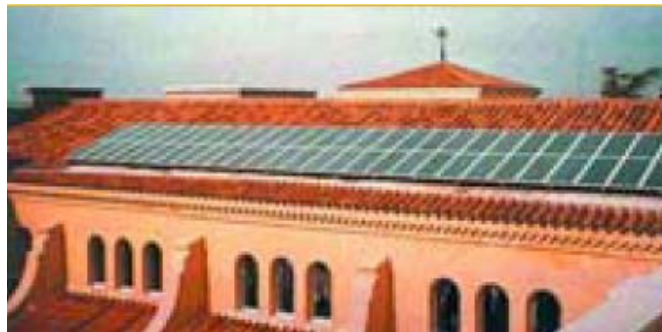
Sobre estructura auxiliar con distinta inclinación que el soporte. Suele emplearse este sistema para la colocación sobre fachadas. En algunos casos, se utilizan los propios captadores como elementos sombreadores de huecos acristalados formando parte de estrategias pasivas de acondicionamiento.

**Directamente anclados sobre el soporte:** Esta solución es la que se emplea generalmente en el caso de superposición, posiblemente por ser la más sencilla a la hora de ejecutar la obra,

aunque no es, evidentemente, la más satisfactoria, desde el punto de vista funcional y estético.

**Sobre estructura auxiliar, con la misma inclinación que el soporte:** Solución interesante desde el punto de vista funcional porque se propicia la evacuación de calor por la parte trasera de la carcasa de los captadores. Estéticamente suele resultar peor, porque generalmente no se cuida el diseño y colocación del soporte y su integración con el propio captador y con el resto de la edificación.

Algo mejor resulta la solución de la figura 1 en la que se ha estudiado con detenimiento la ubicación en la cubierta sustituyendo parte de la cobertura de teja curva, justo en la zona donde se encuentra el canalón de recogida de aguas pluviales.



**Figura 1.** Captador sobre cubierta sustituyendo a la teja

#### Embebidos, sustituyendo al propio elemento constructivo

Esta forma de colocación, tanto en fachadas como en cubiertas, supone la sustitución de una parte de la superficie de estos componentes, o incluso la totalidad de la misma por captadores solares planos.

En el caso de la figura 2 los captadores han sido integrados muy inteligentemente, constituyendo la propia cubierta del edificio residencial.



**Figura 2.** Captadores sustituyendo a materiales de cubierta

No obstante puede observarse que se encuentran sombreados parcialmente en el momento que se tomo la fotografía, muy probablemente a primeras horas de la mañana.

Si el sombreadamiento hubiera ocurrido durante las 10:00h y las 14:00h solares del solsticio de invierno, la instalación tendría importantes problemas de ineficacia.

#### Exentos

En ocasiones, debido a la gran superficie necesaria de captación no es posible ubicar en parte alguna de la edificación el campo de captadores, por lo que éste se ubica al nivel de suelo, o en zonas ajenas a las edificaciones que va a servir.

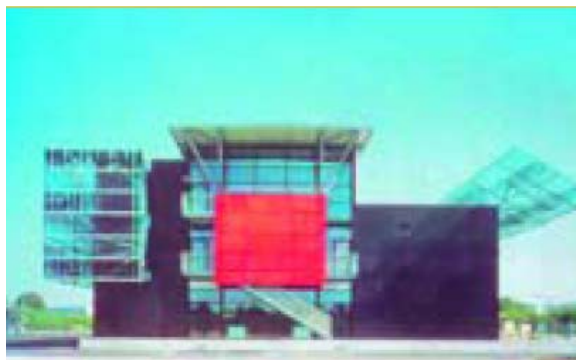


En este supuesto, la integración arquitectónica no es posible y no se plantea, aunque deberían potenciarse siempre este tipo de aplicaciones con otros fines, aunque no sea el motivo de este documento.

#### Como elementos constituyentes de la composición arquitectónica

Cuando el proyecto de un edificio se plantea como una obra de Arquitectura, teniendo en cuenta desde el primer momento de su concepción, todas las variables necesarias para su realización y todos los elementos y sistemas que deben “integrarlo”, es posible conseguir resultados que son de todo punto inviables, cuando no es éste el planteamiento de partida.

En la figura 3 se muestra una realización arquitectónica en la que la instalación térmica se encuentra exenta del resto de la edificación, con la función de sombrear la fachada sur en verano, pero formando parte de la composición de un todo funcional y armónico, de tal manera que la supresión de cualquier parte de la misma supondría, de alguna manera, la pérdida de la identidad inicial.



**Figura 3.** Ejemplo de integración arquitectónica

#### Edificios de nueva planta

La edificación de nueva planta es, sin duda, la mejor y más fácil a la hora de incorporar los captadores solares, en el sentido de integración que se viene defendiendo. Las maneras de integración son tantas como la propia imaginación del diseñador o proyectista sea capaz de asumir, con los únicos condicionantes funcionales de que deben estar orientados sensiblemente al sur y que no deben recibir sombreadamiento.

#### Edificios existentes

En la edificación existente la integración de cualquier elemento ajeno, en principio, a la concepción primitiva del edificio, es un planteamiento no excesivamente diferente al caso de la edificación de nueva planta, pero presenta lógicamente parámetros de partida en las que el proyectista no ha intervenido (la edificación preexistente) y que tiene que tener en cuenta a la hora de plantear su intervención.

Dentro de los edificios existentes, podemos distinguir dos grandes grupos: edificios a rehabilitar sin interés arquitectónico y/o histórico-artístico y edificios que sí poseen dichos valores, y dentro de cada uno de esos grupos, si la intervención consiste en una restauración o en una rehabilitación libre.

#### **Edificios a rehabilitar sin interés arquitectónico y/o histórico-artístico**

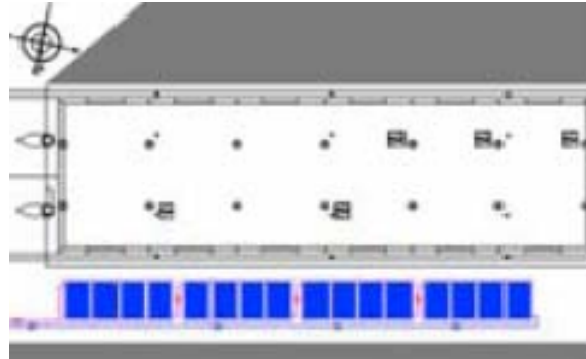
A continuación se trata únicamente el caso de restauración, en la que no existe libertad para modificar la edificación existente, ya que en caso contrario, se estaría prácticamente en el mismo supuesto de la edificación de nueva planta.

Colocación sobre cubierta plana: en este caso los captadores van montados sobre estructura auxiliar, inclinada el ángulo óptimo para el mayor aprovechamiento energético. Por tanto esta

solución no es aceptable desde el concepto de integración que se viene defendiendo. No obstante es una posibilidad que solamente es recomendable cuando no existe ninguna otra.

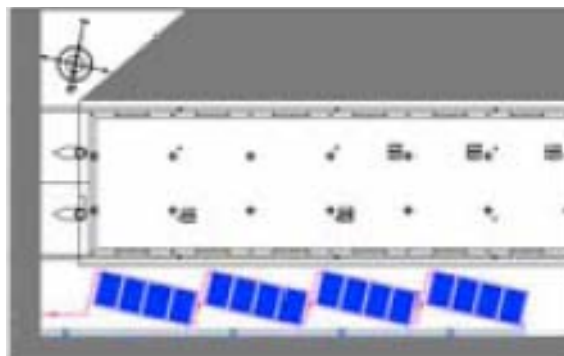
Existen dos posibilidades básicas de colocación de los captadores:

En la figura 4 se muestra la que da prioridad a los condicionantes de orden estético, al situar los captadores paralelos a la fachada S-E.



**Figura 4.** Sobre cubierta paralela a fachada

En la figura 5 los captadores se han colocado dando prioridad a la orientación, para garantizar las condiciones óptimas de aprovechamiento solar.



**Figura 5.** Sobre cubierta plana orientada al sur

Colocación sobre cubierta inclinada: el caso de la cubierta inclinada presenta menor grado de libertad que la plana para integrar los captadores, ya que hay que plantearse la funcionalidad del sistema en los casos de buena orientación e inclinación, que son: buena orientación pero no inclinación, buena inclinación pero no orientación y orientación e inclinación distintas de las óptimas.

Colocación en fachada: este supuesto es, posiblemente, el más complejo y el que menos posibilidades brinda para la integración de los captadores. Evidentemente solo son aprovechables fachadas orientadas al sur o desviadas de esta orientación entre 20-22º máximo, hacia el este u oeste.

Además tanto la solución embebida, como la superpuesta precisan de paños ciegos de cierta entidad, al estar los captadores inclinados 90º respecto a la horizontal, por lo que suelen ser muy bien aprovechados los testeros ciegos bien orientados (ver figura 6), si bien estas características no son, ciertamente, habituales.

Por supuesto, en el caso de poder modificar exteriormente la edificación, el proyectista siempre es capaz de encontrar soluciones interesantes, como la que se muestra en la figura 7.



**Figura 6.** Colocación sobre estructura auxiliar sobre fachada



**Figura 7.** Integración de captadores en fachada

#### Edificios Histórico - Artísticos

La intervención en edificios Histórico- Artísticos o de alto valor arquitectónico es claramente más restrictiva que en el resto de los tratados hasta el momento.

Si bien en ciertas actuaciones, es posible introducir algunas modificaciones sobre la obra construida e incluso de obra nueva, lo más común, sobre todo en Arquitectura monumental, es que se realicen trabajos de consolidación, mantenimiento y restauración, en las que el edificio original no sufre variaciones formales.

En el caso de restauración es en el que se plantean problemas de integración de más entidad, no solo por su condición intrínseca, SINO también por la responsabilidad que siempre implican actuaciones de esta importancia.

En este tipo de edificios, deben ser tenidos en cuenta planteamientos que sean estrictamente respetuosos con la obra preexistente y por ello no se plantean actuaciones en las que los captadores cambien la orientación o inclinación, con respecto de los planos de la edificación y por razones similares, la actuación sobre fachadas es prácticamente imposible, quedando reducida la integración de captadores a las cubiertas, inclinadas a una o dos aguas, en la mayoría de los casos y acabadas generalmente en teja o pizarra.

### Estado del arte: otros estudios de impacto ambiental y beneficios realizados sobre el sector de la energía solar térmica

En los últimos años con el crecimiento y desarrollo de las energías renovables y en específico de la energía solar térmica -tema central de este trabajo-, se han desarrollado diferentes análisis ambientales, tanto de ciclo de cómo de beneficios y posibles mejoras de los sistemas relacionados con la energía solar. A continuación se listarán algunos de los análisis realizados y algunas de sus conclusiones más importantes, que entregan información relevante para el presente proyecto.

#### 1. *Towards making solar water heating technology feasible - the polymer solar collector approach*

Hacia la fabricación de sistemas solares de calentamiento de agua factibles - El enfoque del colector solar polimérico

Autor: Tsilingiris (1999)

Para convertir la tecnología solar en algo más factible, deben desarrollarse nuevas ideas que sean de bajo costo. En este artículo, el principio de un nuevo colector solar modular y de bajo costo es presentado, hecho de materiales poliméricos reciclados.

Recientes investigaciones han demostrado el potencial significativo de los polímeros para el diseño y fabricación en masa de colectores solares de bajo costo. La integración de una película fina de plástico en los sistemas de almacenamiento del colector había sido propuesta anteriormente. El extenso uso de partes poliméricas recicladas para ensamblaje in-situ de colectores modulares permite una reducción de costos y minimizar la tubería asociada y limitar la posibilidad de corrosión gracias a los efectos electroquímicos.

Este artículo pretende investigar la posibilidad de usar colectores simples y de bajo costo en grandes plantas solares de calentamiento de agua.

#### **Diseño del colector**

El colector está compuesto por la cubierta de vidrio, placa de absorción de polímero y carcasa. La carcasa está hecha de partes modulares prefabricadas hechas en polímero rígido que se ensamblan insitu. Estas partes están hechas de una espuma rígida estructural de aislamiento térmico normalmente producida por la dispersión de gas en un polímero fundido para producir estructuras herméticas.

#### **Conclusiones**

El diseño del colector propuesto en este estudio, está basado en el amplio uso de materiales poliméricos y vidrio como elemento de cubierta, y es básicamente ofertado para la instalación de grandes campos de colectores solares de bajo costo y simples. Sin embargo, el uso de polímeros con poca conductividad térmica (casi tres órdenes de magnitud más bajos que los metales) en el diseño relacionado con absorción solar, lleva a una desviación significativa de las directrices y supuestos realizados sobre la teoría de colectores solares planos. Por esto investigaciones sobre el comportamiento de estos sistemas y sus limitaciones fueron investigadas obteniendo unos resultados que luego han sido comparados con resultados de

una planta que usa colectores convencionales. Los resultados de la comparación muestran que los colectores de bajo costo muestran un “payback” (tiempo de recuperación de la inversión) sustancialmente más bajo, demostrando que el futuro de grandes sistemas solares está en la promoción de sistemas de bajo costo e innovaciones en diseño.

## **2. *Collector cum storage solar water heaters with and without transparent insulation material (TIM)***

Colector con almacenamiento integrado con y sin material de aislamiento transparente

Autores: Chaurasia y Twidell (2001)

En este artículo, dos colectores con almacenamiento integrado fueron comparados, uno de ellos tenía como cubierta adicional un material transparente de aislamiento. El estudio concluye que la cubierta con TIM ha demostrado ser altamente eficaz comparado con los colectores que usan solo cubierta de vidrio y provee agua caliente a una temperatura más alta (de 8,5 a 9º) la mañana siguiente.

Además una cubierta de este tipo evitaría el uso de otros materiales de aislamiento que son normalmente colocados en estos sistemas (colectores con almacenamiento integrado) en las noches, haciendo su operación y uso mucho más simple.

Las ventajas del uso de un TIM es que es favorable en el rango de radiación solar y al mismo tiempo reduce pérdidas de calor de los sistemas solares. Los materiales de aislamiento transparentes han sido usados principalmente para el calentamiento de espacios en Europa.

Este aislamiento transparente puede ser puesto en el espacio entre el vidrio y la placa de absorción del sistema de calentamiento de agua para disminuir pérdidas de calor.

Comparación de 2 sistemas iguales:

- Cubierta con material transparente aislante (policarbonato, construcción de nido de abeja-producido en Israel. La sección transversal es una sección cuadrada de tubos de 3mm x 3mm de 100mm de largo)
- Cubierta con vidrio (4mm espesor).

### **Principales conclusiones:**

Las ventajas de sistemas solares con almacenamiento de agua integrado.

EL uso de un material de aislamiento transparente sobre la superficie de absorción puede proveer de agua a más alta temperatura y en el caso específico de los sistemas con almacenamiento integrado, aumentar la eficiencia del agua almacenada de un 15.1% a un 39,8%.

### 3. *Life cycle environmental impact of a thermosiphonic domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating*

Impacto ambiental del ciclo de vida de un sistema solar domestico de agua caliente de termosifón en comparación con el uso de electricidad y gas

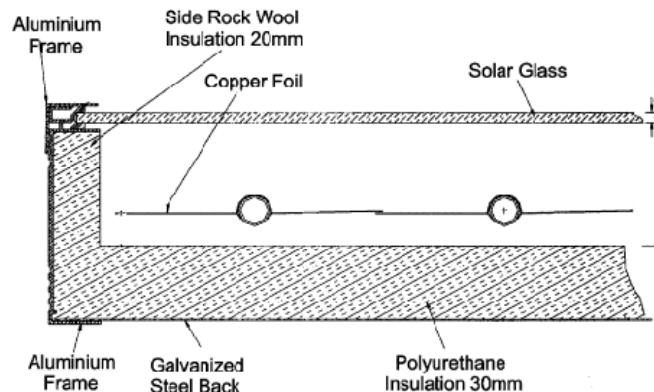
**Autor:** (Tsilingiridis et al. (2004))

El objetivo del paper es hacer un análisis de ciclo de vida a un sistema solar domestico de agua caliente y compararlo con otras fuentes de energía competitivas. El análisis se enfoca solamente en polución atmosférica, en particular en emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> causadas por la energía usada durante la manufactura y el ensamble del sistema. Este ACV es incompleto ya que ninguna otra etapa del ciclo de vida es tomada en cuenta. El resultado del estudio puede además de aportar datos confiables sobre la evaluación ambiental, aportar recomendaciones o sugerencias sobre modificación o sustitución de materiales o procesos de manufactura que tengan el mayor impacto ambiental.

Uso del software "eco-it" con base de datos "Eco-indicator '99". El eco-indicador de un material o proceso es un número que indica su impacto ambiental basado en datos recopilados en evaluaciones de ciclo de vida. Mientras más alto sea el indicador, mayor es su impacto ambiental. Los ACV completos son costosos y consumen mucho tiempo y recursos, haciendo que los estudios muy largos sean improductivos y poco útiles para el diseño de productos ambientalmente responsables, que requieren poca inversión. Los valores del eco-indicador han sido desarrollados como una herramienta para diseñadores, un instrumento usado para buscar alternativas de diseño más ambientalmente amigables. Los valores estándar del Eco-indicator '99 pueden ser relacionados a cifras adimensionales llamadas Eco-indicator points (Pt), un Pt representa una milésima de la carga ambiental anual de un habitante europeo promedio.

Producto a analizar: un típico sistema solar domestico de agua caliente (Colectores planos) en diferentes tamaños, producido al norte de Grecia, donde el sistema más común para calentar agua es el eléctrico.

El área del colector está hecha de tubos de cobre extendidas sobre láminas de cobre y cubiertos con *spray* negro para aumentar su capacidad de absorber calor. Una capa de poliuretano expandido de 30 mm de espesor es aplicado a la parte trasera del colector como aislamiento, mientras que en los laterales lana de roca es usada (20 mm de espesor) con el mismo fin. La cubierta de la parte trasera del colector es acero galvanizado y los laterales aluminio. En la parte delantera un vidrio solar sencillo es usado. El calentador tiene un manto intercambiador de calor y está hecho de acero inoxidable.



El análisis está dividido en tres etapas:

- La capacidad térmica de cada sistema solar es calculada.
- Se realiza un análisis de ciclo de vida y se calculan los impactos ambientales.
- El impacto ambiental de los sistemas domésticos solares de agua caliente son comparados con el uso de energía eléctrica y gas natural.

La producción y utilización de un sistema doméstico solar para agua caliente tiene una ganancia neta sobre el uso de electricidad de al menos 696 Pt hasta un máximo de 2117 Pt en su impacto ambiental, según el tamaño del colector. La ganancia neta se reduce en un factor de 4 cuando la fuente de la energía primaria es gas natural en lugar de electricidad.

De los materiales usados, el acero y el cobre son los de mayor contribución en el impacto ambiental total.

Como dato interesante, se notó que el uso de un calentador que usa 100% gas natural tiene un menor impacto ambiental que un sistema híbrido (solar-eléctrico). Sin embargo, esta diferencia se debe al aporte de la energía eléctrica. Otro factor a tener en cuenta es que la energía solar es abundante en un país como Grecia o España mientras que el gas natural es importado.

#### **4. Comparación económico-ambiental del uso de energía solar respecto al gas natural para agua caliente sanitaria en la ciudad de Mendoza (Argentina)**

**Autor:** Correa et al. 2004

En este trabajo se aplica la metodología del Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCC) y Análisis Ciclo de vida (LCA) para analizar el impacto económico-ambiental del uso de los calefones solares y comparar los resultados con el impacto derivado del uso de sistemas convencionales de producción de agua caliente sanitaria que funcionan con gas natural.

**Objetivo:** calcular el impacto ambiental producido por la fabricación, colocación y uso de 1 colector solar de 2.96 m<sup>2</sup> de área colectora que funciona en la provincia de Mendoza, Argentina 20 años de vida útil.

**Producto analizado:** El calefón solar analizado es del tipo colector plano, con un sistema directo de calentamiento de agua y un solo tanque de acumulación, el mismo consiste en una caja rectangular de aluminio cubierta por una superficie de cristal templado de 1,2m de ancho x 3,08 m de largo y 4mm de espesor en cuyo interior se encuentra la superficie absorbente que está construida con 8 tubos de cobre de 0,435 cm. de diámetro interior y 0,1 cm. de espesor dispuestos entre dos placas de aluminio, pintadas de color negro mate. El material aislante utilizado es lana de vidrio de 50 mm. de espesor, colocado en el fondo y los laterales del calefón solar. El tanque de acumulación de 300 l de capacidad está construido de acero inoxidable (peso 9 Kg.) y aislado con lana de vidrio de 7.62 cm. de espesor. Para el cálculo del consumo de agua caliente sanitaria se toma como base una familia tipo constituida por 4 personas, en ausencia de datos estadísticos locales se considera como consumo de agua caliente sanitaria 50 l. por persona por día, valor sugerido por la bibliografía.

Metodología: Se consideran todos los recursos consumidos en la fabricación, instalación, transporte y operación del calefón solar seleccionado y se lo compara con el consumo de gas natural que tendría un calefón a gas convencional que posee una eficiencia térmica de 0.8.

Evaluación de impactos: metodología EDIP 96. Potencial de Calentamiento Global (GW), El potencial de adelgazamiento de la capa de ozono (OD); el potencial de Acidificación (AC); el potencial de Eutrofización (EU); el potencial de creación de ozono fotoquímico (SP); Toxicidad Humana (HT) al aire, agua y suelo y Ecotoxicidad (ET).

Software: SimaPro.

Resultados: Los resultados presentados en este trabajo muestran que el uso de energía solar reduce considerablemente la producción de gases de efecto invernadero, para el caso de estudio aproximadamente un 60% menos. Desde el punto de vista de su económico su eficiencia está vinculada a los incrementos del precio de la energía. Esto permite concluir que los sistemas que operan con energía solar ofrecen una protección significativa al medioambiente y deben ser usados siempre que sea posible con el objeto de alcanzar la sustentabilidad.

- El consumo de gas auxiliar del sistema es altamente impactante en cuanto al calentamiento global, acidificación, eutrofización, smog fotoquímico y consumo de recursos se refiere, mientras que los componentes del tanque de acumulación, el área colectora y el esqueleto del calefón impactan fuertemente en la disminución de la capa de ozono, la ecotoxicidad, la toxicidad humana y la generación de smog fotoquímico.
- El tanque de acumulación de acero inoxidable, la extracción y el procesamiento del níquel es el proceso más impactante seguido de la producción del aislante de fibra de vidrio. En la placa absorbidora la producción del aluminio seguido del consumo de electricidad que está asociado a los procesos de transformación y trabajado de los metales presentes en la placa son los procesos de mayor impacto, lo mismo para el esqueleto del colector.

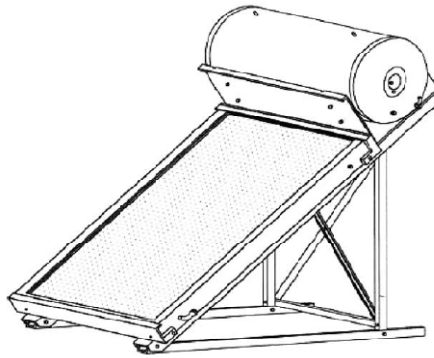
## **5. *Life cycle assessment of a solar thermal collector***

Análisis de Ciclo de Vida de un colector solar térmico

**Autores:** Ardente et al. (2005)

El estudio está realizado para un colector solar térmico que consta de tres componentes básicos: el colector, el tanque de almacenamiento de agua y el soporte externo.





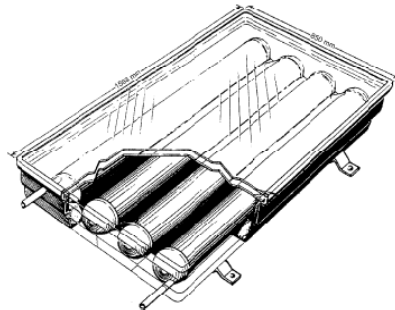
- Las fases que tiene en cuenta el estudio son: procesos de producción, instalación, mantenimiento, transporte y disposición final. La fase de uso no es tenida en cuenta en este estudio, ya que al tratarse de un colector con circulación natural del agua, no considera la energía usada durante su uso.
- La unidad funcional utilizada es el sistema completo del colector.
- La perspectiva de ciclo de vida es fundamental para *Design for environment*, pero la decisión final de cómo debe ser el producto no puede ser solamente enfocada en aspectos medio ambientales, otros aspectos como costos, tiempo de vida útil y rendimiento son importantes.
- Para obtener una evaluación más realista es importante considerar una serie de criterios básicos además de la función principal del producto, ya que normalmente los diseñadores no dan prioridad a temas medio ambientales, es decir, tener en cuenta estos aspectos son poner en riesgo otros que pongan en riesgo el funcionamiento y balance del producto.
- El consumo energético directo usado para procesos de producción e instalación fue de solo 5% del total del consumo. 6% está destinado al transporte durante las diferentes fases estudiadas. El resto del porcentaje corresponde a la producción de materias primas, usadas como materiales de entrada, lo que quiere decir que el uso directo de la energía es pequeño comparado con la extracción de materiales, con lo que una cambio en la inclusión y exclusión de materiales tendría un efecto en la demanda de energía (e.g. excluyendo el soporte, la demanda total disminuiría un 10%). El mantenimiento puede involucrar un gran consumo de energía primaria relacionado con el cambio de repuestos.
- La producción del colector solar causa emisiones directas de metales relacionadas con los procesos de corte y soldadura. Las emisiones directas generadas por el transporte corresponden al 10-15%.
- Para este tipo de estudios es importante la definición de límites y fronteras y los materiales involucrados. Para garantizar la transparencia de los resultados se necesita la mayor disgregación posible y describir las suposiciones realizadas.
- Con respecto al payback time del producto con respecto a la energía y CO2 generado, los autores consideran que los indicadores son bastante bajos (menos de 2 años), considerando una gran conveniencia ambiental de estos productos.

## 6. *Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage*

Evaluación ambiental de colectores solares térmicos con almacenamiento de agua integrado

**Autores:** Battisti y Corrado (2005)

- El análisis ambiental de los productos debe ampliarse y considerar todas las etapas del ciclo de vida de los productos, además del uso, para poder identificar impactos ocultos o difíciles de encontrar.
- El estudio está basado en la producción de agua caliente sanitaria (ACS) por medio de un colector térmico solar con un tanque de almacenamiento integrado, que hace que no se necesite un sistema de almacenamiento externo. Consta de un pequeño número de grandes tubos (de 1 a 4) que incrementa la capacidad de almacenamiento interna (60-80l/m<sup>2</sup> por los 1-2l/m<sup>2</sup> de los colectores solares planos).



Este sistema muestra numerosas ventajas comparado con un colector solar plano tradicional, ya que es mucho más simple y menos costoso debido a la ausencia de un tanque externo.

- La unidad funcional utilizada es un colector.
- Software usado: SimaPro 5.0
- Las fases incluidas en el análisis son: extracción de materiales, producción de los componentes, proceso de ensamble, uso, disposición final del producto y todos los transportes involucrados.
- Durante la etapa de uso no se tuvo en cuenta el consumo eléctrico para la circulación de agua, ya que este tipo de colector usa la convección natural para la circulación y no necesita bombas adicionales.
- En el estudio se llevaron a cabo diferentes análisis de sensibilidad para identificar si determinados cambios en etapas del producto podían influir en el desempeño ambiental final. Estos análisis fueron:
  - o *Etapa de producción, cambios de tubería de cobre por tubería de acero:* el acero galvanizado es muy usado en países como Grecia para la creación de tubería ya que es menos costoso. Se consideraron unas pérdidas del 5% de conductividad térmica para el acero. La reducción del impacto, teniendo en cuenta solo la fase de producción es aproximadamente un 70% para los indicadores de efecto invernadero y consumo de

energía primaria, lo que resulta destacable desde el punto de vista de ciclo de vida, ya que muestra que los tubos de cobre son la contribución más alta al total de impactos ambientales.

- *Etapa de operación/uso, uso de un material transparente de aislamiento como cubierta adicional:* el uso de este material (policarbonato) causa impactos muy pequeños a lo largo del ciclo de vida (entre un 1% y 2%) y además ofrece un mejor rendimiento en términos de producción de energía térmica. La salida de energía incrementa en un 20%, debido a las significativamente pequeñas pérdidas de calor. El balance entre el aumento de salida de energía y el aumento del impacto del producto es positivo, y gracias a esto el uso de este material transparente asegura una mejora para el comportamiento del sistema.
- *Etapa de disposición final del producto, control sobre la disposición del producto mediante recuperación de material y reciclaje:* este escenario propone que al final de la vida útil del producto, éste sea desensamblado y luego el cobre y el acero sean recuperados y reciclados (considerando un 80% de tasa de desensamble), mientras los plásticos (material aislante y cubierta transparente) son incinerados con producción de electricidad. Este escenario de residuos controlados muestra valores menores para los dos indicadores básicos (efecto invernadero y consumo de energía primaria, gracias a la contribución del reciclaje del acero y el cobre.

Debido a que la electricidad causa la mayoría de impactos en la producción, una posible mejora es el mix energético usado para producir electricidad. El uso de energías verdes para producir electricidad puede disminuir los impactos en la etapa de producción. En un análisis de sensibilidad realizado, usando energía hidroeléctrica para procesar solo la carcasa de acero, causa una reducción del 6% en el impacto de efecto invernadero en todo el ciclo de vida.

Otros análisis de sensibilidad fueron llevados a cabo, pero no son explicados en este *paper* debido a su poca contribución en la disminución de impactos, como el uso de un material diferente para el aislamiento del colector.

- Los resultados del estudio muestran que desde el punto de vista medio ambiental, la fase más crítica es la de producción, además los resultados del ACV podrían ayudar al ecodiseño del producto mediante el uso de diferentes materiales o componentes para mejorar su perfil ambiental.
- Los valores sobre el “payback” medioambiental (es el periodo necesario para que los beneficios obtenidos en la fase de uso se equilibren con los impactos ambientales de todo el ciclo de vida del colector) son de 5 a 19 meses, lo que se considera muy bajo para el largo tiempo de vida útil del producto (15 a 20 años).
- Un siguiente paso recomendado por los autores es la comparación de diferentes tipos de colectores, la evaluación de los sistemas que tienen integrado el almacenamiento de agua con los colectores tradicionales con tanque separado.

## **7. Environmental impacts from the solar energy technologies**

Impactos medio ambientales de las tecnologías en energía solar

**Autores:** Tsoutsos et al. (2005)

Este artículo presenta un resumen sobre los aspectos ambientales de las tecnologías solares e ilustra la manera en la que pueden ser usadas para abordar con éxito los impactos que puedan tener sobre el medio ambiente.

### **Aspectos generales:**

Algunos de los impactos de las tecnologías de energía solar están relacionados básicamente con impactos estéticos y visuales o ruido durante la etapa de instalación o demolición. Estos impactos pueden ser minimizados:

- Escogiendo un lugar apropiado para la ubicación de los sistemas.
- Con un uso adecuado (prácticas de operación y uso apropiado del agua, prácticas de seguridad).
- Con el compromiso del público y otros actores relevantes en la planificación de etapas previas para aumentar la aceptación pública de estas tecnologías.
- Con el uso de las mejores tecnologías disponibles y el mejoramiento continuo de las mismas.
- Con la integración en la fachada del edificio.
- El entrenamiento de trabajadores y el uso especial de equipamiento, junto con la familiarización del sistema.
- Por medio de estudios de evaluación ambiental.

A continuación se describen algunos de los impactos que pueden llegar a causar los sistemas solares térmicos y de qué manera pueden ser minimizados:

- Uso del suelo: los sistemas solares para calentamiento de agua en casa o grupos de casas no es necesario uso del suelo, solo la integración de estos sistemas a los edificios. El uso de suelo adicional podría darse en el caso de almacenamiento de calor.
- Producción rutinaria y accidental de contaminantes: el uso y cambio de sustancias anticongelantes en los sistemas térmicos solares debe realizarse con especial cuidado ya que puede haber un riesgo de contaminación accidental del agua a través de fugas del fluido.
- Impacto visual: hasta hace poco el término “integración” era sinónimo de “invisibilidad”. Antes, era considerado deseable el esconder el hecho de que los sistemas solares eran diferentes a otros elementos del edificio. Esta tendencia ha cambiado y ahora los arquitectos se están dando cuenta que los elementos solares pueden ser usados para mejorar la apariencia estética de un edificio, y los clientes han descubierto los efectos positivos de marketing que ofrece el hacer notar el uso de sistemas solares. Los sistemas solares son usados de manera atractiva y visible actualmente. Actualmente se están desarrollando sistemas solares “modernos” que pueden ser fácilmente integrados en los edificios de una manera agradable.
- Efecto en los edificios: teóricamente la colocación de sistemas solares en las fachadas de edificios pueden incrementar el riesgo de incendio (OECD/IEA, 1998 en Tsoutsos et al. 2005) y la filtración de agua en los techos. Esto puede ser fácilmente evitado, ya que normalmente solo cuatro agujeros deben ser hechos en las terrazas por panel instalado.

En conclusión, las tecnologías renovables muestran un gran potencial y muy positivo balance entre beneficios y costos. Debe tenerse en cuenta que ningún sistema hecho o fabricado por el hombre puede estar libre de impactos sobre el medio ambiente, y que estos impactos dependen del tamaño y envergadura del proyecto específico. Sin embargo, los efectos adversos que puedan tener la fabricación e implantación de tecnologías renovables deben ser disminuidos por medio de herramientas como el uso de las mejores técnicas disponibles, una buena planeación y guías prácticas, mejoramiento en los componentes o diseños completamente innovadores. Esta labor depende de la acción oportuna de los actores involucrados (inversores, investigadores y autoridades) y su toma de decisiones que den prioridad a aspectos medio ambientales.

### **8. *Life Cycle Analysis of a Thermal Solar Installation at a Rural House in Valladolid (Spain)***

Análisis de ciclo de vida de una instalación solar térmica en una casa rural en Valladolid (España)

**Autor:** Rey-Martínez et al. 2008.

- Para cuantificar los beneficios de la energía solar se realiza un ACV que realice una evaluación del impacto ambiental de todos los materiales usados para su fabricación. Este ACV se realiza a una instalación solar con colectores planos usados para la producción de ACS en una casa unifamiliar en Tudela de Duero en Valladolid, España. Además se realiza una comparación para analizar cuál de los dos conceptos (convencional: calentador a gas o instalación solar) tiene el menor impacto ambiental.
- Metodologías usadas: normativa ACV ISO 14040 para el análisis del ciclo de vida, uso de la ISO 14042 para la realización de un análisis de sensibilidad. Tres métodos de evaluación de impactos fueron usados: Eco-indicador 95, Eco-indicador 99 y ESP2000. En este trabajo los dos primeros indicadores son usados como criterios medio ambientales y el último como método base de cálculos económicos.
- Tipo de sistema: Instalación solar térmica para suplir de ACS a una casa unifamiliar rural de dos plantas de 100m<sup>2</sup>. De acuerdo con el IDAED (instituto para la Diversificación y el Ahorro energético) en un hogar español el 46% del gasto energético es debido a la calefacción y un 20% a la producción de agua caliente. La asociación FEGECA ((Asociación de Fabricantes Españoles de Generadores y Emisores de Calor por Agua Caliente) aseguran que un sistema solar puede proveer entre un 50 y un 70% de las necesidades de energía para el agua caliente permitiendo el ahorro de hasta un 75% en comparación con otros sistemas.
- Subsistema de colección: dos colectores solares de 2m<sup>2</sup>. La superficie absorbente y la tubería es de cobre, y la cubierta de vidrio. El sistema de acumulación es de acero vitrificado aislado con 55mm de poliuretano. Tiene capacidad para 300l.
- Vida útil: 25 años.

- Un sistema auxiliar es utilizado para cubrir la demanda cuando la instalación solar no pueda hacerlo, este sistema auxiliar es un calentador a gas. Para esto se calcula la demanda mensual y anual de energía y cuanta de esa demanda puede ser cubierta por el sistema solar (teniendo en cuenta la radiación solar de cada mes). En este caso el 70% de la demanda de agua caliente puede ser suplida por el sistema solar (2751 kWh) mientras que el resto debe ser proporcionada por el calentador a gas (1183 kWh).

Comparación con una instalación de gas natural: la comparación ambiental se realizó con base en el método ESP2000. El consumo de gas natural en una instalación convencional en los 25 años de ciclo de vida sería de 0.47 Tj y la de una instalación solar de 0.14 Tj.

Método EPS2000 para la comparación ambiental: esta metodología (estrategias de priorización ambiental en diseño de productos) es un método orientado en el daño causado por los productos. El indicador ambiental es el ELU (environmental load unit) y se desarrolla para encontrar cual de las dos instalaciones tienen un menor impacto ambiental.

Conclusiones:

El impacto ambiental causado por una instalación solar es mucho más pequeña que la de una instalación de gas natural, ya que la producción de energía es ambientalmente amigable cuando se mantiene un mínimo de uso de gas natural en días nublados. Estas ventajas, eclipsan el impacto ambiental causado por la producción de los sistemas. El tiempo de vida útil estimado para la comparación (25 años) se muestra normal para las predicciones de un sistema solar mientras que para una instalación convencional de gas natural no (según estadísticas de fabricantes). El uso de sistemas solares debe hacerse combinado con sistemas de alta eficiencia (calentadores modernos) con el mínimo consumo ambiental.

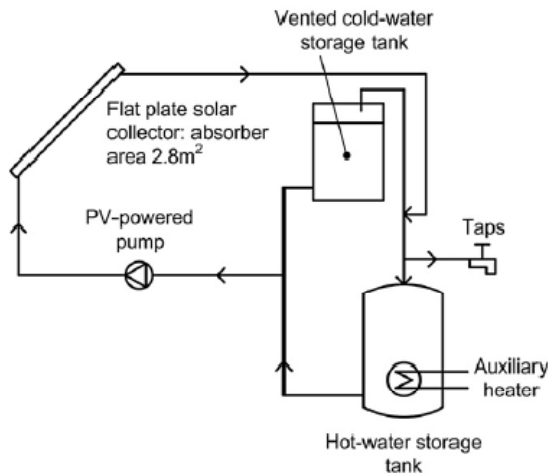
## **9. *Integrated appraisal of a Solar Hot Water system***

Evaluación integrada de un sistema solar para agua caliente

**Autor:** Allen et al. 2010.

La evaluación de sistemas solares para producir ACS en un sector residencial del Reino Unido fue realizada para evaluar su rendimiento energético, ambiental y económico.

Tipo de sistema: de circulación forzada con el uso de colectores planos y con un sistema auxiliar de gas natural.



Análisis energético: metodología usada para describir las consecuencias energéticas del uso de un producto o actividad durante todo su ciclo de vida. Pasos:

1. Determinar la demanda residencial de agua caliente.
2. Determinar los recursos solares.
3. Desarrollar un modelo de rendimiento para el sistema solar.
4. Estimar la salida de energía del sistema solar para una instalación típica y la fracción solar que esta representa.
5. Estimar la cantidad de electricidad o combustible que será reemplazado por el sistema solar.
6. Estimar el rendimiento energético neto del sistema solar.

Consumo medio: para una casa de 2.4 personas una cantidad de 110l diarios.

Según la radiación solar de la zona y según el área del colector utilizado (2.8 m<sup>2</sup>) el total de energía solar anual es de (2700 a 3500 kWh/año). Las estimaciones fueron realizadas para dos escenarios de consumo: 100l/día y 150 l/día ya que el consumo variara entre esas cantidades según el mes del año. El agua que ingresa de la red también varía según el mes, pero tiene una temperatura media de 16°C.

Se calcula entonces el total de energía que es evitada gracias al uso del sistema solar según estos dos escenarios y esta va de 4210 MJ (mínimo) a 7360 MJ para el caso de el calentador de gas (con una eficiencia del 86% que es el mínimo actualmente según regulaciones de edificación). Se realiza la comparación también para electricidad y aceite.

Análisis ambiental:

Los impactos asociados fueron determinados gracias a la combinación de bases de datos contenidas en el software usado, análisis de ciclo de vida publicados anteriormente y mediante la recolección de datos directamente de los fabricantes.

Etapas producción:

La mayor parte de los impactos son resultado de la producción del panel colector, otros impactos están relacionados con elementos de fijación al tejado, tuberías. El empaque representa una parte muy pequeña de los impactos. . Los impactos relacionados con las

partes del sistema son graficados, mostrando que el impacto más significativo es en términos de metales pesados, en el que el panel o colector es el de mayor aportación, esto incluye, la carcasa de aluminio, el material aislante, la tubería, los elementos de sujeción, la cubierta entre otros. El impacto predominante proviene de los elementos de aluminio que son los que dan rigidez y estructura al colector. El aluminio ha sido escogido, debido a su bajo peso, y gracias a esto, los techos no deben ser reforzados para la instalación de estos sistemas.

La producción de aluminio es altamente intensiva en consumo de energía y tiene muchos impactos asociados a su extracción y residuos. El uso de aluminio reciclado tendría un impacto representativo en los resultados. El aluminio reciclado es muy común y en algunas circunstancias puede tener solo un pequeño detrimento de su resistencia.

Se realizó entonces una comparación, considerando un sistema que uso aluminio 100% virgen y aluminio reciclado en 50%, obteniendo reducciones importantes en sustancias cancerígenas, *smog* y acidificación.

Etapas de uso: en esta etapa se compara el sistema solar con tres escenarios básicos cuando reemplaza un sistema eléctrico, a gas o con aceite. Se grafican y consideran los impactos ambientales cuando se reemplaza estos tres sistemas, mostrando que en el caso en el que el sistema solar reemplaza uno eléctrico los beneficios y reducción de impactos son mucho más altos. Los efectos más dominantes se encuentran en categorías como gases de efecto invernadero, metales pesados y reservas energéticas.

Análisis neto de la producción de carbono con el sistema solar: Como uno de los objetivos tanto de la UE como del Reino Unido, se contabilizó la reducción de emisiones de carbono gracias al uso de sistemas solares para el calentamiento de agua. El tiempo de recuperación del carbono es de 2 años (*payback*). Cuando el 50% del aluminio usado en el sistema es reciclado en lugar de aluminio 100% virgen, la emisión de GEI se reduce un 20% de 460 a 360 kg CO<sub>2</sub>eq. El periodo de recuperación del carbono se reduce también un 20%.

Conclusiones:

Cuando un sistema solar reemplaza a un calentador a gas, eléctrico o de aceite, este provee un beneficio de energía neta por un tiempo estimado de 25 años, mejorando la seguridad energética y reduciendo el uso de fuentes energéticas no renovables.

Gracias a la realización del ACV se destaca que el uso del aluminio tiene el mayor impacto dentro de la fase de producción del sistema. Durante su uso el sistema solar provee grandes beneficios ambientales cuando reemplaza un sistema eléctrico.

#### **10. Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation**

Análisis de la energía neta de la instalación de un sistema solar de agua caliente en operación

**Autores:** Hernández y Kenny 2011



**Objetivo:** El estudio pretende analizar dos aspectos que los autores consideran que son poco discutidos a la hora de hablar de los beneficios y el potencial de sistemas solares domésticos para el calentamiento de agua, estos son: el rendimiento real de estos sistemas en su operación (la instalación y operación no son frecuentemente regulados y controlados) y un enfoque de ciclo de vida en el uso de energía. Otros estudios como éste realizados anteriormente muestran que el rendimiento real de estos sistemas son más bajos de lo esperado.

Repaso sobre el comportamiento de sistemas solares domésticos para agua caliente

- Calculo del rendimiento energético: la información mínima requerida es: la radiación solar sobre el colector plano, la curva de eficiencia del colector, el tamaño del tanque y sus pérdidas, el sistema de circulación y el perfil de la demanda de agua caliente.
- Monitorizar el rendimiento energético: el rendimiento de los sistemas solares térmicos y sus componentes están normalmente regulados por la norma EN 12975 o EN 12976. Sin embargo, tests y monitorizaciones constantes no son normalmente hechos para sistemas hechos a la medida. Por otro lado la monitorización de la operación de sistemas solares a gran escala es muy común y muchas veces parte del servicio de la compañía, pero existe muy poca información sobre el rendimiento en la operación de sistemas domésticos. Diferentes estudios sobre la energía neta entregada por estos sistemas han sido realizado antes, con conclusiones encontradas, para unos cumplen las expectativas y para otros resultan ser de muy baja eficiencia, algunos por errores tan pequeños como olvidar abrir una pequeña válvula después del mantenimiento.

**Tipo de sistemas:** en este estudio, se realizó en análisis de energía en seis instalaciones en Irlanda, que incluyen diferentes tipos de sistemas térmicos solares (planos y de tubos de vacío), de diferentes tamaños, y diferentes empresas fabricantes e instaladoras.

**Rendimiento de las instalaciones:** las instalaciones fueron monitorizadas durante todo un año para recoger datos de el rendimiento energético actual, las variables medidas fueron: uso de agua caliente, energía solar recolectada (salida) e irradiación. La energía y rendimiento esperados fueron calculados usando las características y tecnología de cada sistema. Dos de los cinco sistemas monitorizados muestran un mejor rendimiento del esperado, esto relacionado a una mejor radiación solar en esas locaciones, una instalación y mantenimiento apropiados, y a no tener una demanda de agua caliente mayor a la esperada. El resto de instalaciones muestran un rendimiento menor.

**Calculo de la energía:** existen cierta incertidumbre relacionada con el establecimiento de los límites de cálculo y la disponibilidad de datos. Cuando muchos de los componentes del sistema térmico solar son importados de otros países, la incertidumbre sobre los datos aumenta, ya que es prácticamente imposible seguir los procesos de producción y de entrega para cada componente.

Este análisis usa una base de datos compuesta por referencias y estudios anteriores y lo complementa con datos de EcoInvent®.

Otra dificultad adicional es la separación de la energía del sistema solar domestico de la energía del sistema auxiliar.

### Conclusiones

Un repaso sobre el estado del arte comprueba que el periodo de “*energy payback*” de los sistemas solares domésticos para el calentamiento de agua está entre 0.5 y 2 años aproximadamente, indicando que el ahorro de energía compensa rápidamente la energía (embodied) de estos sistemas.

El análisis demuestra que cuando los sistemas solares son de un tamaño adecuado, y con una instalación y operación adecuadas el rendimiento es similar a las expectativas. En situaciones climáticas diferentes y de menor radiación solar como es el caso de estudio (Irlanda) los tiempos de “payback” están por debajo de los 3 años. Sin embargo en 4 de los 6 casos de estudio el ahorro de energía fue menor de lo previsto. De manera particular, cuando los sistemas solares fueron hechos más grandes de lo que la demanda de agua determinaba, o cuando eran combinados con sistemas auxiliares relativamente eficientes (como bombas de calor de suelo ground heat pump), el rendimiento de las instalaciones fue peor que las predicciones debido a defectos en la instalación o el control.

En una correcta instalación y funcionamiento de sistemas solares, la *embodied energy* es generalmente una pequeña porción del ciclo de vida del ahorro energético. El rendimiento y eficiencia de los sistemas solares domésticos para agua caliente dependen de diferentes factores como la demanda real de agua caliente y el sistema auxiliar de calentamiento.

Aunque la tecnología térmica solar domestica es relativamente sencilla y está bien desarrollada, deben de tomarse medidas que aseguren un diseño, instalación y control apropiados, especialmente en grandes instalaciones y cuando están combinadas con otros sistemas. Si el ahorro de energía de estos sistemas es menor que lo esperado, su EE se convierte en una parte muy grande del ciclo de vida de la energía usada reduciendo su valor con respecto a otras tecnologías renovables.

El estudio concluye que existe un potencial real en el ahorro de energía a través del uso de sistemas domésticos solares para el calentamiento de agua, mediante la elaboración de mecanismos que aseguren un diseño apropiado. La instalación y la operación de estos sistemas son esenciales en su rendimiento durante todo el ciclo de vida.

### ***11. General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment - Potential energy savings and environmental impact***

Modelo general de la integración de un sistema solar de calentamiento de agua en la remodelación de edificios residenciales – Ahorro potencial de energía e impacto ambiental

**Autores:** Golić et al. (2011)

Los sistemas solares térmicos son una excelente opción para ser usados en remodelaciones de edificios que generen reducciones tanto de CO2 como de uso de combustibles fósiles. Sin embargo la instalación de estos sistemas requiere un enfoque que comprenda aspectos como aspectos funcionales y estéticos, rendimiento energético, y aspectos económicos y ambientales desde el diseño hasta la realización.

Este artículo presenta un modelo general de integración de sistemas solares de calentamiento de agua (SSCA) en la remodelación de edificios.

**Primera fase** – Calculo del potencial del edificio

Esta etapa evalúa la posibilidad en la integración de un SSCA en el edificio analizado. El potencial del edificio está definido por varios grupos de criterios, con los que se evalúan las características más importantes para dicha integración.

Algunos de los grupos de criterios de evaluación tenidos en cuenta son:

- a. Planeación urbana y clima
  - Radiación solar sobre la ubicación del edificio
  - Numero de lados del techo orientados favorablemente
  - Numero de fachadas orientadas favorablemente
  - Efecto de sombra en el techo creado por elementos del contexto
  - Efecto de sombra en la fachada creado por elementos del contexto
- b. Capacidad del edificio
  - Tamaño del edificio
  - Promedio del gasto diario de agua caliente por ocupante
  - Utilización regular del edificio en época de verano
  - Tipo de combustible usado para el sistema de calentamiento existente
  - Tipo de sistema de calentamiento de agua usado
  - Estado del sistema de calentamiento de agua usado
  - Tipo de sistema de calentamiento de espacios usado
- c. Aspectos arquitectónicos relevantes
  - Organización espacial y arquitectónica del edificio (layout, distancias de las habitaciones)
  - Aplicabilidad de un colector solar en superficies de techo, proporción entre el consumo diario de agua caliente y superficies de techo favorables para integrar SSCA.
  - Aplicabilidad de un colector solar en superficies de fachada, proporción entre el consumo diario de agua caliente y superficies de fachada favorables para integrar SSCA.
  - Facilidad de montaje de colectores solares sobre techos y fachadas de la construcción.
  - Facilidad de montaje de sistemas solares térmicos sobre las fachadas.

En casos deterministas y poco difusos el potencial del edificio es calculado mediante la suma de los valores de cada criterio. El grado de factibilidad es calculado como la proporción entre el potencial del edificio y el máximo potencial del edificio que es la suma de todos los valores máximos para cada criterio.

#### **Segunda fase – Selección del tipo de SSCA**

El proceso comienza con la selección del tipo de tecnología para el colector solar, que está basado en el clima de la ubicación del edificio, la construcción y diseño de acabado del exterior del edificio y de la disponibilidad de los tipos de tecnologías en el mercado.

Los tipos de colectores más comunes son: colector plano con o sin cubierta y de tubos de vacío. Los diseñadores toman esta decisión basados en preferencias personales y creativas y en criterios de eliminación.

Luego de la selección de tecnología, se selecciona un tipo de producto específico. En algunos casos el proceso se da de manera contraria, empezar con un producto específico y ver su posible integración al edificio.

El paso final es el dimensionamiento del SSCA, en la cual el área (m<sup>2</sup>) y el volumen de almacenamiento (l) son definidos teniendo en cuenta todos los datos relevantes sobre el clima, el consumo de agua, características del sistema elegido. Existen programas que ayudan a simplificar el proceso de dimensionamiento y volumen del tanque.

#### **Tercera fase – Generación y optimización de las variantes de la integración del SSCA**

Para generar variantes de posibles diseños para el edificio, el área estimada del colector térmico debe ser posicionada sobre el exterior del edificio. Cabe recordar que la eficiencia de un SSCA depende en gran medida del efecto de sombra del contexto sobre el edificio y las orientaciones de las fachadas y techos donde serán integrados. Mejoras en el rendimiento de

SSCA pueden lograrse con orientaciones hacia el sur, suroeste y sureste. Los techos son más favorables en un ambiente urbano ya que las distancias entre los árboles y los edificios generan efectos de sombra en las fachadas.

El siguiente paso es la selección del ángulo de inclinación en el exterior del edificio. Este ángulo tiene una influencia directa sobre la eficiencia del SSCA y por lo tanto debe ser seleccionado cuidadosamente teniendo en cuenta el ángulo óptimo según la ubicación del edificio.

Finalmente la instalación del colector solar debe ser seleccionada teniendo en cuenta aspectos estéticos del edificio.

Caso de estudio: Suburbio de "Konjarnik" en Belgrade, Serbia

### **Conclusiones**

Los procedimientos iterativos como el que presenta este estudio, son útiles para procesos de resolución de problemas con gran complejidad como el presente, que tiene aspectos estéticos, funcionales, de rendimiento de energía, económicos y ambientales.

El modelo general presentado puede ser aplicado a problemas y casos reales, dando una guía sistemática para llegar a un diseño óptimo de integración en términos de establecimiento de criterios y estructura de preferencias.

## **ANEXO 3**

### **Normativa según el Código técnico de edificación (CTE, 2009)**

Documento Básico HE - Ahorro de energía  
HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

## Sección HE 4

# Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

## 1 Generalidades

### 1.1 Ámbito de aplicación

- 1 Esta Sección es aplicable a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta.
- 2 La contribución solar mínima determinada en aplicación de la exigencia básica que se desarrolla en esta Sección, podrá disminuirse justificadamente en los siguientes casos:
  - a) cuando se cubra ese aporte energético de agua caliente sanitaria mediante el aprovechamiento de energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia generación de calor del edificio;
  - b) cuando el cumplimiento de este nivel de producción suponga sobrepasar los criterios de cálculo que marca la legislación de carácter básico aplicable;
  - c) cuando el emplazamiento del edificio no cuente con suficiente acceso al sol por barreras externas al mismo;
  - d) en rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente o de la normativa urbanística aplicable;
  - e) en edificios de nueva planta, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la normativa urbanística aplicable, que imposibiliten de forma evidente la disposición de la superficie de captación necesaria;
  - f) cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.
- 3 En edificios que se encuentren en los casos b), c) d), y e) del apartado anterior, en el proyecto, se justificará la inclusión alternativa de medidas o elementos que produzcan un ahorro energético térmico o reducción de emisiones de dióxido de carbono, equivalentes a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar, respecto a los requisitos básicos que fije la normativa vigente, realizando mejoras en el aislamiento térmico y rendimiento energético de los equipos.

### 1.2 Procedimiento de verificación

- 1 Para la aplicación de esta sección debe seguirse la secuencia que se expone a continuación:
  - a) obtención de la contribución solar mínima según el apartado 2.1;
  - b) cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado del apartado 3;
  - c) cumplimiento de las condiciones de mantenimiento del apartado 4.

## 2 Caracterización y cuantificación de las exigencias

- 1 Las contribuciones solares que se recogen a continuación tienen el carácter de mínimos pudiendo ser ampliadas voluntariamente por el promotor o como consecuencia de disposiciones dictadas por las administraciones competentes.

### 2.1 Contribución solar mínima

- 1 La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales. En las tablas 2.1 y 2.2 se indican, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de agua caliente sanitaria (ACS) a una temperatura de referencia de 60 °C, la contribución solar mínima anual, considerándose los siguientes casos:
- general: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural, u otras;
  - efecto Joule: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea electricidad mediante efecto Joule.

**Tabla 2.1. Contribución solar mínima en %. Caso general**

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

**Tabla 2.2. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule**

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

- 2 En la tabla 2.3 se indica, para cada zona climática la contribución solar mínima anual para el caso de la aplicación con climatización de piscinas cubiertas.

**Tabla 2.3. Contribución solar mínima en %. Caso Climatización de piscinas**

	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscinas cubiertas	30	30	50	60	70

- 3 En el caso de ocupaciones parciales de instalaciones de uso residencial turístico de las recogidas en el apartado 3.1.1, se deben detallar los motivos, modificaciones de diseño, cálculos y resultados tomando como criterio de dimensionado que la instalación deberá aproximarse al máximo al nivel de contribución solar mínima. El dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 % y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50 % por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

- 4 Con independencia del uso al que se destine la instalación, en el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %, se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:
  - a) dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario);
  - b) tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador);
  - c) vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo en ese caso entre las labores del contrato de mantenimiento;
  - d) desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.
- 5 En el caso de optarse por las soluciones b) y c), dentro del mantenimiento deben programarse las operaciones a realizar consistentes en el vaciado parcial o tapado parcial del campo de captadores y reposición de las condiciones iniciales. Estas operaciones se realizarán una antes y otra después de cada periodo de sobreproducción energética. No obstante se recomiendan estas soluciones solo en el caso que el edificio tenga un servicio de mantenimiento continuo.
- 6 Cuando la instalación tenga uso de residencial vivienda y no sea posible la solución d) se recomienda la solución a).
- 7 Adicionalmente, durante todo el año se vigilará la instalación con el objeto de prevenir los posibles daños ocasionados por los posibles sobrecalentamientos.
- 8 La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Pérdidas límite**

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

- 9 En la tabla 2.4 se consideran tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica. Se considera que existe integración arquitectónica cuando los módulos cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con en fin de favorecer la autolimpieza de los módulos. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.
- 10 En todos los casos se han de cumplir las tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores obtenidos con orientación e inclinación óptimos y sin sombra alguna.
- 11 Se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:
  - a) demanda constante anual: la latitud geográfica;
  - b) demanda preferente en invierno: la latitud geográfica + 10 °;
  - c) demanda preferente en verano: la latitud geográfica – 10 °.
- 12 Sin excepciones, se deben evaluar las pérdidas por orientación e inclinación y sombras de la superficie de captación de acuerdo a lo estipulado en los apartados 3.5 y 3.6. Cuando, por razones arquitectónicas excepcionales no se pueda dar toda la contribución solar mínima anual que se indica en las tablas 2.1 , 2.2 y 2.3 cumpliendo los requisitos indicados en la tabla 2.4, se justificará esta imposibilidad, analizando las distintas alternativas de configuración del edificio y de ubicación de la instalación, debiéndose optar por aquella solución que de lugar a la contribución solar mínima.



## 3 Cálculo y dimensionado

### 3.1 Datos previos

#### 3.1.1 Cálculo de la demanda

- 1 Para valorar las demandas se tomarán los valores unitarios que aparecen en la siguiente tabla (Demanda de referencia a 60 °C).

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

(1) Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".

Para el cálculo se ha utilizado la ecuación (3.2) con los valores de  $T_i = 12^\circ\text{C}$  (constante) y  $T = 45^\circ\text{C}$ .

- 2 Para el caso de que se elija una temperatura en el acumulador final diferente de 60 °C, se deberá alcanzar la contribución solar mínima correspondiente a la demanda obtenida con las demandas de referencia a 60 °C. No obstante, la demanda a considerar a efectos de cálculo, según la temperatura elegida, será la que se obtenga a partir de la siguiente expresión:

$$D(T) = \sum_1^{12} D_i(T) \quad (3.1)$$

$$D_i(T) = D_i(60^\circ\text{C}) \times \left( \frac{60 - T_i}{T - T_i} \right) \quad (3.2)$$

siendo

$D(T)$  Demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura  $T$  elegida;

$D_i(T)$  Demanda de agua caliente sanitaria para el mes  $i$  a la temperatura  $T$  elegida;

$D_i(60^\circ\text{C})$  Demanda de agua caliente sanitaria para el mes  $i$  a la temperatura de 60 °C;

$T$  Temperatura del acumulador final;

$T_i$  Temperatura media del agua fría en el mes  $i$ .

- 3 Para otros usos se tomarán valores contrastados por la experiencia o recogidos por fuentes de reconocida solvencia.
- 4 En el uso residencial vivienda el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan a continuación:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

- 5 Adicionalmente se tendrán en cuenta las pérdidas caloríficas en distribución/recirculación del agua a los puntos de consumo.
- 6 Para el cálculo posterior de la contribución solar anual, se estimarán las demandas mensuales tomando en consideración el número de unidades (personas, camas, servicios, etc...) correspondientes a la ocupación plena, salvo instalaciones de uso residencial turístico en las que se justifique un perfil de demanda propio originado por ocupaciones parciales.
- 7 Se tomarán como perteneciente a un único edificio la suma de demandas de agua caliente sanitaria de diversos edificios ejecutados dentro de un mismo recinto, incluidos todos los servicios. Igualmente en el caso de edificios de varias viviendas o usuarios de ACS, a los efectos de esta exigencia, se considera la suma de las demandas de todos ellos.
- 8 En el caso que se justifiquen un nivel de demanda de ACS que presente diferencias de más del 50 % entre los diversos días de la semana, se considerará la correspondiente al día medio de la semana y la capacidad de acumulación será igual a la del día de la semana de mayor demanda.
- 9 Para piscinas cubiertas, los valores ambientales de temperatura y humedad deberán ser fijados en el proyecto, la temperatura seca del aire del local será entre 2 °C y 3 °C mayor que la del agua, con un mínimo de 26 °C y un máximo de 28 °C, y la humedad relativa del ambiente se mantendrá entre el 55% y el 70%, siendo recomendable escoger el valor de 60%.

### 3.1.2 Zonas climáticas

- 1 En la figura 3.1 y en la tabla 3.2 se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas, como se indica a continuación:

**Tabla 3.2 Radiación solar global**

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

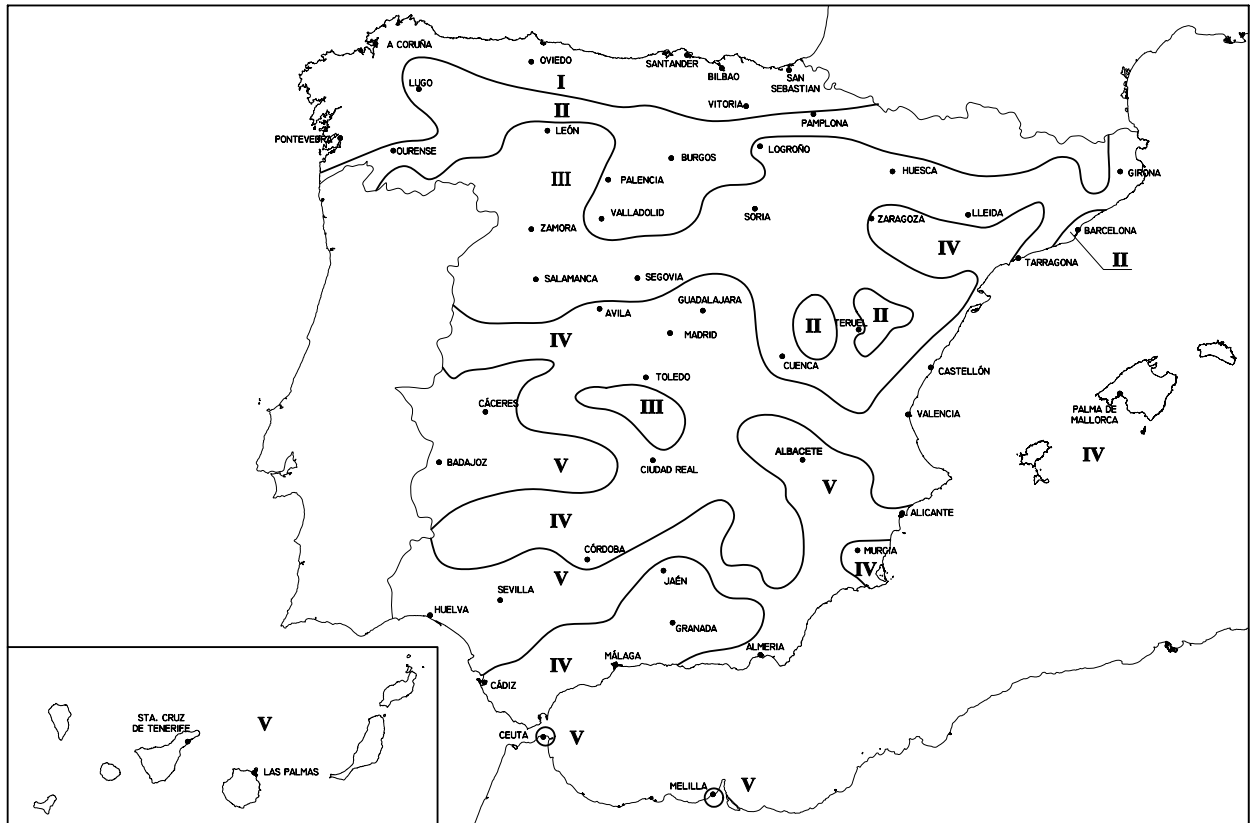


Fig. 3.1. Zonas climáticas

Tabla 3.3 Zonas climáticas

A CORUÑA	Arteixo	I	Petrer	IV	BARCELONA	Badalona	II
	Carballo	I	San Vicente del Raspeig	V		Barbera del valles	II
	A Coruña	I	Torre Vieja	V		Barcelona	II
	Ferrol	I	Villajoyosa	IV		Castelldefels	II
	Naron	I	Villena	IV		Cerdanyola del Valles	II
	Oleiros	I	ALMERIA	Adra	V	Cornella de Llobregat	II
	Riveira	I		Almería	V	Gava	II
	Santiago de compostela	I		El Ejido	V	Granollers	III
ALAVA	Vitoria-Gasteiz	I		Roquetas de mar	V	L'Hospitalet de Llobregat	II
ALBACETE	Albacete	V	ASTURIAS	Aviles	I	Igualada	IV
	Almansa	V		Castrillon	I	Manresa	III
	Hellin	V		Gijón	I	El Masnou	II
	Villarrobledo	IV		Langreo	I	Mataro	II
ALICANTE	Alcoy	IV		Mieres	I	Mollet del Valles	II
	Alicante	V		Oviedo	I	Montcada i	II
	Benidorm	IV		San Martín del rey Aurelio	I	El Prat de Llobregat	II
	Crevillent	V		Siero	I	Premia de mar	II
	Denia	IV	AVILA	Ávila	IV	Ripollet	II
	Elche	V	BADAJOS	Almendralejo	V	Rubi	II
	Elda	IV		Badajoz	V	Sabadell	III
	Ibi	IV		Don Benito	V	Sant Adria de Besos	II
	Javea	IV		Mérida	V		
	Novelda	IV		Villanueva de la Serena	V		
	Orihuela	IV					

	Sant Boi de Llobregat	II		Córdoba	IV		San Andres del Rabanedo	III
	Sant Cugat del Valles	II		Lucena	V	LUGO	Lugo	II
	Sant Feliu de Llobregat	II		Montilla	V	LLEIDA	Lleida	III
	Sant Joan Despi	II		Priego de Córdoba	V	MADRID	Alcalá de Henares	IV
	Sant Pere de Ribes	II	CUENCA	Cuenca	III		Alcobendas	IV
	Sant Vicenç dels Horts	II	GIRONA	Blanes	III		Alcorcón	IV
	Santa Coloma de Gramenet	II		Figueres	III		Aranjuez	IV
	Terrassa	III		Girona	III		Arganda del Rey	IV
	Vic	III		Olot	II		Colmenar Viejo	IV
	Viladecans	II		Salt	III		Collado Villalba	IV
	Vilafranca del Penedes	III	GRANADA	Almuñecar	IV		Coslada	IV
	Vilanova i la Geltru	III		Baza	V		Fuenlabrada	IV
BURGOS	Aranda de Duero	II		Granada	IV		Getafe	IV
	Burgos	II		Guadix	IV		Leganes	IV
	Miranda de Ebro	II		Loja	IV		Madrid	IV
CACERES	Cáceres	V		Motril	V		Majadahonda	IV
	Plasencia	V	GUADALAJARA	Guadalajara	IV		Mostoles	IV
CADIZ	Algeciras	IV	GUIPUZCOA	Arrasate o Mondragon	I		Parla	IV
	Arcos de la Frontera	V		Donostia-San Sebastian	I		Pinto	IV
	Barbate	IV		Eibar	I		Pozuelo de Alarcon	IV
	Cadiz	IV		Errenteria	I		Rivas-Vaciamadrid	IV
	Chiclana de la frontera	IV		Irun	I		Las Rozas de Madrid	IV
	Jerez de la Frontera	V	HUELVA	Huelva	V	MADRID	San Fernando de Henares	IV
CADIZ	La Línea de la Concepción	IV	HUESCA	Huesca	III		San Sebastian de los Reyes	IV
	El Puerto de Santa Maria	IV	ILLES	Calvia	IV		Torrejon de Ardoz	IV
	Puerto Real	IV	BALEARS	Ciudadella de Menorca	IV		Tres Cantos	IV
	Rota	V		Eivissa	IV		Valdemoro	IV
	San Fernando	IV		Inca	IV	MALAGA	Antequera	IV
	San Roque	IV		Llucmajor	IV		Benalmadena	IV
	Sanlucar de Barrameda	V		Mahon	IV		Estepona	IV
CANTABRIA	Camargo	I		Manacor	IV		Fuengirola	IV
	Santander	I		Palma de	IV		Malaga	IV
	Torrelavega	I		Santa Eulalia del Río	IV		Marbella	IV
CASTELLON	Burriana	IV	JAEN	Alcalá la Real	IV		Mijas	IV
	Castellon de la Plana	IV		Andujar	V		Rincón de la Victoria	IV
	La Vall d'uixo	IV		Jaén	IV		Ronda	IV
	Vila-Real	IV		Linares	V		Torremolinos	IV
	Vinaroz	IV		Martos	IV		Velez-Málaga	IV
CEUTA	Ceuta	V	LA RIOJA	Logroño	II	MELILLA	Melilla	V
CIUDAD REAL	Alcazar de San Juan	IV	LAS PALMAS	Arrecife	V	MURCIA	Águilas	V
	Ciudad Real	IV		Arucas	V		Alcantarilla	IV
	Puertollano	IV		Galdar	V		Caravaca de la Cruz	V
	Tomelloso	IV		Ingenio	V		Cartagena	IV
	Valdepeñas	IV		Las Palmas de Gran Canaria	V		Cieza	V
CORDOBA	Baena	V		San Bartolome de Tirajana	V		Jumilla	V
	Cabra	V		Santa Lucia	V		Lorca	V
				Telde	V		Molina de Segura	V
			LEON	León	III		Murcia	IV
				Ponferrada	II		Torre-Pacheco	IV

	Totana	V		Carmona	V		Carcaixent	IV
	Yecla	V		Coria del Río	V		Catarroja	IV
NAVARRA	Barañain	II		Dos Hermanas	V		Cullera	IV
	Pamplona	II		Ecija	V		Gandia	IV
	Tudela	III		Lebrija	V		Manises	IV
OURENSE	Ourense	II		Mairena del Aljarafe	V		Mislata	IV
PALENCIA	Palencia	II		Morón de la Frontera	V		Oliva	IV
PONTEVEDRA	Cangas	I		Los Palacios y Villafranca	V		Ontinyent	IV
	A Estrada	I		La Rinconada	V		Paterna	IV
	Lalin	I		San Juan de Aznalfarache	V		Quart de poblet	IV
	Marin	I		Sevilla	V		Sagunto	IV
	Pontevedra	I		Utrera	V		Sueca	IV
	Redondela	I					Torrent	IV
	Vigo	I					Valencia	IV
	Vilagarcía de Arousa	I	SORIA	Soria	III		Xativa	IV
SALAMANCA	Salamanca	III	TARRAGONA	Reus	IV	VALLADOLID	Xirivella	IV
SANTA CRUZ DE TENERIFE	Arona	V		Tarragona	III		Medina del Campo	III
	Icod de los Vinos	V		Tortosa	III		Valladolid	II
	La Orotava	V		Valls	IV	VIZCAYA	Barakaldo	I
	Puerto de la Cruz	V		El Vendrell	III		Basauri	I
	Los Realejos	V	TERUEL	Teruel	III		Bilbao	I
SANTA CRUZ DE TENERIFE	San Cristobal de Tenerife	V	TOLEDO	Talavera de la Reina	IV		Durango	I
	Tacoronte	V		Toledo	IV		Erandio	I
SEGOVIA	Segovia	III	VALENCIA	Alaquas	IV		Galdakao	I
				Aldaia	IV		Getxo	I
SEVILLA	Alcala de Guadaira	V		Algemesi	IV		leioa	I
	Camas	V		Alzira	IV		Portugalete	I
				Burjassot	IV		Santurtzi	I
							Sestao	I
						ZAMORA	Zamora	III
						ZARAGOZA	Zaragoza	IV

## 3.2 Condiciones generales de la instalación

### 3.2.1 Definición

- 1 Una instalación solar térmica está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, transformarla directamente en energía térmica cediéndola a un fluido de trabajo y, por último almacenar dicha energía térmica de forma eficiente, bien en el mismo fluido de trabajo de los captadores, o bien transferirla a otro, para poder utilizarla después en los puntos de consumo. Dicho sistema se complementa con una producción de energía térmica por sistema convencional auxiliar que puede o no estar integrada dentro de la misma instalación.
- 2 Los sistemas que conforman la instalación solar térmica para agua caliente son los siguientes:
  - a) un sistema de captación formado por los captadores solares, encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula por ellos;
  - b) un sistema de acumulación constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precisa su uso;
  - c) un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación;
  - d) un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al agua caliente que se consume;
  - e) sistema de regulación y control que se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y, por otro, actúa como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc;
  - f) adicionalmente, se dispone de un equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior al previsto.
- 3 Se consideran sistemas solares prefabricados a los que se producen bajo condiciones que se presumen uniformes y son ofrecidos a la venta como equipos completos y listos para instalar, bajo un solo nombre comercial. Pueden ser compactos o partidos y, por otro lado constituir un sistema integrado o bien un conjunto y configuración uniforme de componentes

### 3.2.2 Condiciones generales

- 1 El objetivo básico del sistema solar es suministrar al usuario una instalación solar que:
  - a) optimice el ahorro energético global de la instalación en combinación con el resto de equipos térmicos del edificio;
  - b) garantice una durabilidad y calidad suficientes;
  - c) garantice un uso seguro de la instalación.
- 2 Las instalaciones se realizarán con un circuito primario y un circuito secundario independientes, con producto químico anticongelante, evitándose cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación.
- 3 En instalaciones que cuenten con más de 10 m<sup>2</sup> de captación correspondiendo a un solo circuito primario, éste será de circulación forzada.
- 4 Si la instalación debe permitir que el agua alcance una temperatura de 60 °C, no se admitirá la presencia de componentes de acero galvanizado.
- 5 Respecto a la protección contra descargas eléctricas, las instalaciones deben cumplir con lo fijado en la reglamentación vigente y en las normas específicas que la regulen.
- 6 Se instalarán manguitos electrolíticos entre elementos de diferentes materiales para evitar el par galvánico.

#### 3.2.2.1 Fluido de trabajo

- 1 El fluido portador se seleccionará de acuerdo con las especificaciones del fabricante de los captadores. Pueden utilizarse como fluidos en el circuito primario agua de la red, agua

desmineralizada o agua con aditivos, según las características climatológicas del lugar de instalación y de la calidad del agua empleada. En caso de utilización de otros fluidos térmicos se incluirán en el proyecto su composición y su calor específico.

- 2 El fluido de trabajo tendrá un pH a 20 °C entre 5 y 9, y un contenido en sales que se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:
  - a) la salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;
  - b) el contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l, expresados como contenido en carbonato cálcico;
  - c) el límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.
- 3 Fuera de estos valores, el agua deberá ser tratada.

### 3.2.2.2 Protección contra heladas

- 1 El fabricante, suministrador final, instalador o diseñador del sistema deberá fijar la mínima temperatura permitida en el sistema. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deben ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.
- 2 Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra las heladas.
- 3 La instalación estará protegida, con un producto químico no tóxico cuyo calor específico no será inferior a 3 kJ/kg K, en 5 °C por debajo de la mínima histórica registrada con objeto de no producir daños en el circuito primario de captadores por heladas. Adicionalmente este producto químico mantendrá todas sus propiedades físicas y químicas dentro de los intervalos mínimo y máximo de temperatura permitida por todos los componentes y materiales de la instalación.
- 4 Se podrá utilizar otro sistema de protección contra heladas que, alcanzando los mismo niveles de protección, sea aprobado por la Administración Competente

### 3.2.2.3 Sobrecalentamientos

#### 3.2.2.3.1 Protección contra sobrecalentamientos

- 1 Se debe dotar a las instalaciones solares de dispositivos de control manuales o automáticos que eviten los sobrecalentamientos de la instalación que puedan dañar los materiales o equipos y penalicen la calidad del suministro energético. En el caso de dispositivos automáticos, se evitarán de manera especial las pérdidas de fluido anticongelante, el relleno con una conexión directa a la red y el control del sobrecalentamiento mediante el gasto excesivo de agua de red. Especial cuidado se tendrá con las instalaciones de uso estacional en las que en el periodo de no utilización se tomarán medidas que eviten el sobrecalentamiento por el no uso de la instalación.
- 2 Cuando el sistema disponga de la posibilidad de drenajes como protección ante sobrecalentamientos, la construcción deberá realizarse de tal forma que el agua caliente o vapor del drenaje no supongan ningún peligro para los habitantes y no se produzcan daños en el sistema, ni en ningún otro material en el edificio o vivienda.
- 3 Cuando las aguas sean duras, es decir con una concentración en sales de calcio entre 100 y 200 mg/l, se realizarán las previsiones necesarias para que la temperatura de trabajo de cualquier punto del circuito de consumo no sea superior a 60 °C, sin perjuicio de la aplicación de los requerimientos necesarios contra la legionella. En cualquier caso, se dispondrán los medios necesarios para facilitar la limpieza de los circuitos.

#### 3.2.2.3.2 Protección contra quemaduras.

- 1 En sistemas de Agua Caliente Sanitaria, donde la temperatura de agua caliente en los puntos de consumo pueda exceder de 60 °C debe instalarse un sistema automático de mezcla u otro sistema que limite la temperatura de suministro a 60 °C, aunque en la parte solar pueda alcanzar una temperatura superior para sufragar las pérdidas. Este sistema deberá ser capaz de soportar la máxima temperatura posible de extracción del sistema solar.

#### 3.2.2.3.3 Protección de materiales contra altas temperaturas

- 1 El sistema deberá ser calculado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

### 3.2.2.4 Resistencia a presión

- 1 Los circuitos deben someterse a una prueba de presión de 1,5 veces el valor de la presión máxima de servicio. Se ensayará el sistema con esta presión durante al menos una hora no produciéndose daños permanentes ni fugas en los componentes del sistema y en sus interconexiones. Pasado este tiempo, la presión hidráulica no deberá caer más de un 10 % del valor medio medido al principio del ensayo.
- 2 El circuito de consumo deberá soportar la máxima presión requerida por las regulaciones nacionales/europeas de agua potable para instalaciones de agua de consumo abiertas o cerradas.
- 3 En caso de sistemas de consumo abiertos con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de la misma para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

### 3.2.2.5 Prevención de flujo inverso

- 1 La instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.
- 2 La circulación natural que produce el flujo inverso se puede favorecer cuando el acumulador se encuentra por debajo del captador por lo que habrá que tomar, en esos casos, las precauciones oportunas para evitarlo.
- 3 Para evitar flujos inversos es aconsejable la utilización de válvulas antirretorno, salvo que el equipo sea por circulación natural.

## 3.3 Criterios generales de cálculo

### 3.3.1 Dimensionado básico

- 1 En la memoria del proyecto se establecerá el método de cálculo, especificando, al menos en base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y de la contribución solar. Asimismo el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:
  - a) la demanda de energía térmica;
  - b) la energía solar térmica aportada;
  - c) las fracciones solares mensuales y anual;
  - d) el rendimiento medio anual.
- 2 Se deberá comprobar si existe algún mes del año en el cual la energía producida teóricamente por la instalación solar supera la demanda correspondiente a la ocupación real o algún otro periodo de tiempo en el cual puedan darse las condiciones de sobrecalentamiento, tomándose en estos casos las medidas de protección de la instalación correspondientes. Durante ese periodo de tiempo se intensificarán los trabajos de vigilancia descritos en el apartado de mantenimiento. En una instalación de energía solar, el rendimiento del captador, independientemente de la aplicación y la tecnología usada, debe ser siempre igual o superior al 40%..  
Adicionalmente se deberá cumplir que el rendimiento medio dentro del periodo al año en el que se utilice la instalación, deberá ser mayor que el 20 %.

### 3.3.2 Sistema de captación

#### 3.3.2.1 Generalidades

- 1 El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por el organismo competente en la materia según lo regulado en el RD 891/1980 de 14 de Abril, sobre homologación de los captadores solares y en la Orden de 28 de Julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los captadores solares, o la certificación o condiciones que considere la reglamentación que lo sustituya.
- 2 Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.
- 3 En las instalaciones destinadas exclusivamente a la producción de agua caliente sanitaria mediante energía solar, se recomienda que los captadores tengan un coeficiente global de pérdidas, referido a la curva de rendimiento en función de la temperatura ambiente y temperatura de entrada, menor de  $10 \text{ Wm}^2/\text{°C}$ , según los coeficientes definidos en la normativa en vigor.



### 3.3.2.2 Conexionado

- 1 Se debe prestar especial atención en la estanqueidad y durabilidad de las conexiones del captador.
- 2 Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie ó en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre, en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc. Además se instalará una válvula de seguridad por fila con el fin de proteger la instalación.
- 3 Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie ó en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. En el caso de que la aplicación sea exclusivamente de ACS se podrán conectar en serie hasta 10 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas I y II, hasta 8 m<sup>2</sup> en la zona climática III y hasta 6 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas IV y V.
- 4 La conexión entre captadores y entre filas se realizará de manera que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente recomendándose el retorno invertido frente a la instalación de válvulas de equilibrado.

### 3.3.2.3 Estructura soporte

- 1 Se aplicará a la estructura soporte las exigencias del Código Técnico de la Edificación en cuanto a seguridad.
- 2 El cálculo y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transferir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.
- 3 Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y posición relativa adecuadas, de forma que no se produzcan flexiones en el captador, superiores a las permitidas por el fabricante.
- 4 Los topes de sujeción de captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre los captadores.
- 5 En el caso de instalaciones integradas en cubierta que hagan las veces de la cubierta del edificio, la estructura y la estanqueidad entre captadores se ajustará a las exigencias indicadas en la parte correspondiente del Código Técnico de la Edificación y demás normativa de aplicación.

### 3.3.3 Sistema de acumulación solar

#### 3.3.3.1 Generalidades

- 1 El sistema solar se debe concebir en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser ésta simultánea con la generación.
- 2 Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (3.3)$$

siendo

A la suma de las áreas de los captadores [m<sup>2</sup>];

V el volumen del depósito de acumulación solar [litros].

- 3 Preferentemente, el sistema de acumulación solar estará constituido por un solo depósito, será de configuración vertical y estará ubicado en zonas interiores. El volumen de acumulación podrá fraccionarse en dos o más depósitos, que se conectarán, preferentemente, en serie invertida en el circuito de consumo ó en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados.
- 4 Para instalaciones prefabricadas según se definen en el apartado 3.2.1, a efectos de prevención de la legionelosis se alcanzarán los niveles térmicos necesarios según normativa mediante el no uso de la instalación. Para el resto de las instalaciones y únicamente con el fin y con la periodicidad que contemple la legislación vigente referente a la prevención y control de la legionelosis, es admisible prever un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el acumulador solar, de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar. En ambos casos deberá ubicarse un termómetro cuya

lectura sea fácilmente visible por el usuario. No obstante, se podrán realizar otros métodos de tratamiento antilegionela permitidos por la legislación vigente.

- 5 Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 2 m<sup>3</sup> deben llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.
- 6 Para instalaciones de climatización de piscinas exclusivamente, no se podrá usar ningún volumen de acumulación, aunque se podrá utilizar un pequeño almacenamiento de inercia en el primario.

### 3.3.3.2 Situación de las conexiones

- 1 Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido y, además:
  - a) la conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al interacumulador se realizará, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo;
  - b) la conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste;
  - c) la conexión de retorno de consumo al acumulador y agua fría de red se realizarán por la parte inferior;
  - d) la extracción de agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior.
- 2 En los casos en los debidamente justificados en los que sea necesario instalar depósitos horizontales las tomas de agua caliente y fría estarán situadas en extremos diagonalmente opuestos.
- 3 La conexión de los acumuladores permitirá la desconexión individual de los mismos sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.
- 4 No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones. Para los equipos de instalaciones solares que vengan preparados de fábrica para albergar un sistema auxiliar eléctrico, se deberá anular esta posibilidad de forma permanente, mediante sellado irreversible u otro medio.

### 3.3.4 Sistema de intercambio

- 1 Para el caso de intercambiador independiente, la potencia mínima del intercambiador P, se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup> y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50 %, cumpliéndose la condición:

$$P \geq 500 \cdot A \quad (3.4)$$

siendo

P potencia mínima del intercambiador [W];

A el área de captadores [m<sup>2</sup>].

- 2 Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.
- 3 En cada una de las tuberías de entrada y salida de agua del intercambiador de calor se instalará una válvula de cierre próxima al manguito correspondiente.
- 4 Se puede utilizar el circuito de consumo con un segundo intercambiador (circuito terciario).

### 3.3.5 Circuito hidráulico

#### 3.3.5.1 Generalidades

- 1 Debe concebirse inicialmente un circuito hidráulico de por sí equilibrado. Si no fuera posible, el flujo debe ser controlado por válvulas de equilibrado.
- 2 El caudal del fluido portador se determinará de acuerdo con las especificaciones del fabricante como consecuencia del diseño de su producto. En su defecto su valor estará comprendido entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100 m<sup>2</sup> de red de captadores. En las instalaciones en las que los captadores

estén conectados en serie, el caudal de la instalación se obtendrá aplicando el criterio anterior y dividiendo el resultado por el número de captadores conectados en serie.”

### **3.3.5.2 Tuberías**

- 1 El sistema de tuberías y sus materiales deben ser tales que no exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal para las condiciones de trabajo.
- 2 Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible y evitar al máximo los codos y pérdidas de carga en general. Los tramos horizontales tendrán siempre una pendiente mínima del 1% en el sentido de la circulación.
- 3 El aislamiento de las tuberías de intemperie deberá llevar una protección externa que asegure la durabilidad ante las acciones climatológicas admitiéndose revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas. El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

### **3.3.5.3 Bombas**

- 1 Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito.
- 2 Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.
- 3 En instalaciones superiores a 50 m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se preverá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.
- 4 En instalaciones de climatización de piscinas la disposición de los elementos será la siguiente: el filtro ha de colocarse siempre entre la bomba y los captadores, y el sentido de la corriente ha de ser bomba-filtro-captadores; para evitar que la resistencia de este provoque una sobrepresión perjudicial para los captadores, prestando especial atención a su mantenimiento. La impulsión del agua caliente deberá hacerse por la parte inferior de la piscina, quedando la impulsión de agua filtrada en superficie.

### **3.3.5.4 Vasos de expansión**

- 1 Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba. La altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario.

### **3.3.5.5 Purga de aire**

- 1 En los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm<sup>3</sup>. Este volumen podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.
- 2 En el caso de utilizar purgadores automáticos, adicionalmente, se colocarán los dispositivos necesarios para la purga manual.

### **3.3.5.6 Drenaje**

- 1 Los conductos de drenaje de las baterías de captadores se diseñarán en lo posible de forma que no puedan congelarse.

### **3.3.6 Sistema de energía convencional auxiliar**

- 1 Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía convencional auxiliar.
- 2 Queda prohibido el uso de sistemas de energía convencional auxiliar en el circuito primario de captadores.
- 3 El sistema convencional auxiliar se diseñara para cubrir el servicio como si no se dispusiera del sistema solar. Sólo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación.

- 4 El sistema de aporte de energía convencional auxiliar con acumulación o en línea, siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con la legislación vigente en cada momento referente a la prevención y control de la legionelosis.
- 5 En el caso de que el sistema de energía convencional auxiliar no disponga de acumulación, es decir sea una fuente instantánea, el equipo será modulante, es decir, capaz de regular su potencia de forma que se obtenga la temperatura de manera permanente con independencia de cual sea la temperatura del agua de entrada al citado equipo.
- 6 En el caso de climatización de piscinas, para el control de la temperatura del agua se dispondrá una sonda de temperatura en el retorno de agua al intercambiador de calor y un termostato de seguridad dotado de rearme manual en la impulsión que enclave el sistema de generación de calor. La temperatura de tarado del termostato de seguridad será, como máximo, 10 °C mayor que la temperatura máxima de impulsión.

### 3.3.7 Sistema de control

- 1 El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas etc.
- 2 En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C.
- 3 Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.
- 4 El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
- 5 El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.
- 6 Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.
- 7 Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

### 3.3.8 Sistema de medida

- 1 Además de los aparatos de medida de presión y temperatura que permitan la correcta operación, para el caso de instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup> se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida local y registro de datos que indique como mínimo las siguientes variables:
  - a) temperatura de entrada agua fría de red;
  - b) temperatura de salida acumulador solar;
  - c) caudal de agua fría de red.
- 2 El tratamiento de los datos proporcionará al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

## 3.4 Componentes

### 3.4.1 Captadores solares

- 1 Los captadores con absorbente de hierro no pueden ser utilizados bajo ningún concepto.
- 2 Cuando se utilicen captadores con absorbente de aluminio, obligatoriamente se utilizarán fluidos de trabajo con un tratamiento inhibidor de los iones de cobre e hierro.
- 3 El captador llevará, preferentemente, un orificio de ventilación de diámetro no inferior a 4 mm situado en la parte inferior de forma que puedan eliminarse acumulaciones de agua en el captador. El orificio se realizará de forma que el agua pueda drenarse en su totalidad sin afectar al aislamiento.
- 4 Se montará el captador, entre los diferentes tipos existentes en el mercado, que mejor se adapte a las características y condiciones de trabajo de la instalación, siguiendo siempre las especificaciones y recomendaciones dadas por el fabricante.
- 5 Las características ópticas del tratamiento superficial aplicado al absorbedor, no deben quedar modificadas substancialmente en el transcurso del periodo de vida previsto por el fabricante, incluso en condiciones de temperaturas máximas del captador.
- 6 La carcasa del captador debe asegurar que en la cubierta se eviten tensiones inadmisibles, incluso bajo condiciones de temperatura máxima alcanzable por el captador.
- 7 El captador llevará en lugar visible una placa en la que consten, como mínimo, los siguientes datos:
  - a) nombre y domicilio de la empresa fabricante, y eventualmente su anagrama;
  - b) modelo, tipo, año de producción;
  - c) número de serie de fabricación;
  - d) área total del captador;
  - e) peso del captador vacío, capacidad de líquido;
  - f) presión máxima de servicio.
- 8 Esta placa estará redactada como mínimo en castellano y podrá ser impresa o grabada con la condición que asegure que los caracteres permanecen indelebles.

### 3.4.2 Acumuladores

- 1 Cuando el intercambiador esté incorporado al acumulador, la placa de identificación indicará además, los siguientes datos:
  - a) superficie de intercambio térmico en m<sup>2</sup>;
  - b) presión máxima de trabajo, del circuito primario.
- 2 Cada acumulador vendrá equipado de fábrica de los necesarios manguitos de acoplamiento, soldados antes del tratamiento de protección, para las siguientes funciones:
  - a) manguitos roscados para la entrada de agua fría y la salida de agua caliente;
  - b) registro embrizado para inspección del interior del acumulador y eventual acoplamiento del serpentín;
  - c) manguitos roscados para la entrada y salida del fluido primario;
  - d) manguitos roscados para accesorios como termómetro y termostato;
  - e) manguito para el vaciado.
- 3 En cualquier caso la placa característica del acumulador indicará la pérdida de carga del mismo.
- 4 Los depósitos mayores de 750 l dispondrán de una boca de hombre con un diámetro mínimo de 400 mm, fácilmente accesible, situada en uno de los laterales del acumulador y cerca del suelo, que permita la entrada de una persona en el interior del depósito de modo sencillo, sin necesidad de desmontar tubos ni accesorios;
- 5 El acumulador estará enteramente recubierto con material aislante y, es recomendable disponer una protección mecánica en chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástica.
- 6 Podrán utilizarse acumuladores de las características y tratamientos descritos a continuación:
  - a) acumuladores de acero vitrificado con protección catódica;
  - b) acumuladores de acero con un tratamiento que asegure la resistencia a temperatura y corrosión con un sistema de protección catódica;

- c) acumuladores de acero inoxidable adecuado al tipo de agua y temperatura de trabajo.
- d) acumuladores de cobre;
- e) acumuladores no metálicos que soporten la temperatura máxima del circuito y esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable;
- f) acumuladores de acero negro (sólo en circuitos cerrados, cuando el agua de consumo pertenezca a un circuito terciario);
- g) los acumuladores se ubicarán en lugares adecuados que permitan su sustitución por envejecimiento o averías.

### 3.4.3 Intercambiador de calor

- 1 Cualquier intercambiador de calor existente entre el circuito de captadores y el sistema de suministro al consumo no debería reducir la eficiencia del captador debido a un incremento en la temperatura de funcionamiento de captadores.
- 2 Si en una instalación a medida sólo se usa un intercambiador entre el circuito de captadores y el acumulador, la transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no debería ser menor que  $40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

### 3.4.4 Bombas de circulación

- 1 Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.
- 2 Cuando las conexiones de los captadores son en paralelo, el caudal nominal será el igual caudal unitario de diseño multiplicado por la superficie total de captadores en paralelo.
- 3 La potencia eléctrica parásita para la bomba no debería exceder los valores dados en tabla 3.4:

**Tabla 3.4 Potencia eléctrica máxima de la bomba**

Sistema	Potencia eléctrica de la bomba
Sistema pequeño	50 W o 2% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores
Sistemas grandes	1 % de la mayor potencia calorífica que puede suministrar el grupo de captadores

- 4 La potencia máxima de la bomba especificada anteriormente excluye la potencia de las bombas de los sistemas de drenaje con recuperación, que sólo es necesaria para rellenar el sistema después de un drenaje.
- 5 La bomba permitirá efectuar de forma simple la operación de desaireación o purga.

### 3.4.5 Tuberías

- 1 En las tuberías del circuito primario podrán utilizarse como materiales el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embreadas y protección exterior con pintura anticorrosiva.
- 2 En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria, podrá utilizarse cobre y acero inoxidable. Podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito y que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable.

### 3.4.6 Válvulas

- 1 La elección de las válvulas se realizará, de acuerdo con la función que desempeñen y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura) siguiendo preferentemente los criterios que a continuación se citan:
  - a) para aislamiento: válvulas de esfera;
  - b) para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento;
  - c) para vaciado: válvulas de esfera o de macho;
  - d) para llenado: válvulas de esfera;
  - e) para purga de aire: válvulas de esfera o de macho;
  - f) para seguridad: válvula de resorte;

- g) para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.
- 2 Las válvulas de seguridad, por su importante función, deben ser capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso sobrepase la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

### 3.4.7 Vasos de expansión

#### 3.4.7.1 Vasos de expansión abiertos

- 1 Los vasos de expansión abiertos, cuando se utilicen como sistemas de llenado o de rellenado, dispondrán de una línea de alimentación, mediante sistemas tipo flotador o similar.

#### 3.4.7.2 Vasos de expansión cerrados

- 1 El dispositivo de expansión cerrada del circuito de captadores deberá estar dimensionado de tal forma que, incluso después de una interrupción del suministro de potencia a la bomba de circulación del circuito de captadores, justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer la operación automáticamente cuando la potencia esté disponible de nuevo.
- 2 Cuando el medio de transferencia de calor pueda evaporarse bajo condiciones de estancamiento, hay que realizar un dimensionado especial del volumen de expansión: Además de dimensionarlo como es usual en sistemas de calefacción cerrados (la expansión del medio de transferencia de calor completo), el depósito de expansión deberá ser capaz de compensar el volumen del medio de transferencia de calor en todo el grupo de captadores completo incluyendo todas las tuberías de conexión entre captadores más un 10 %.
- 3 El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes. Los aislamientos empleados serán resistentes a los efectos de la intemperie, pájaros y roedores.

### 3.4.8 Purgadores

- 1 Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Los purgadores automáticos deben soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador y en cualquier caso hasta 130 °C en las zonas climáticas I, II y III, y de 150 °C en las zonas climáticas IV y V.

### 3.4.9 Sistema de llenado

- 1 Los circuitos con vaso de expansión cerrado deben incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. En general, es muy recomendable la adopción de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga u otro dispositivo, de forma que nunca se utilice directamente un fluido para el circuito primario cuyas características incumplan esta Sección del Código Técnico o con una concentración de anticongelante más baja. Será obligatorio cuando, por el emplazamiento de la instalación, en alguna época del año pueda existir riesgo de heladas o cuando la fuente habitual de suministro de agua incumpla las condiciones de pH y pureza requeridas en esta Sección del Código Técnico.
- 2 En cualquier caso, nunca podrá rellenarse el circuito primario con agua de red si sus características pueden dar lugar a incrustaciones, deposiciones o ataques en el circuito, o si este circuito necesita anticongelante por riesgo de heladas o cualquier otro aditivo para su correcto funcionamiento.
- 3 Las instalaciones que requieran anticongelante deben incluir un sistema que permita el relleno manual del mismo.
- 4 Para disminuir los riesgos de fallos se evitarán los aportes incontrolados de agua de reposición a los circuitos cerrados y la entrada de aire que pueda aumentar los riesgos de corrosión originados por el oxígeno del aire. Es aconsejable no usar válvulas de llenado automáticas.

### 3.4.10 Sistema eléctrico y de control

- 1 La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte en la cual hay que medir la temperatura, para conseguirlo en el caso de las de inmersión se instalarán en contra corriente con el fluido. Los sensores de temperatura deben estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean.
- 2 La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que éstas midan exactamente las temperaturas que se desean controlar, instalándose los sensores en el interior de vainas y

evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento en los depósitos.

- 3 Preferentemente las sondas serán de inmersión. Se tendrá especial cuidado en asegurar una adecuada unión entre las sondas de contactos y la superficie metálica.

### 3.5 Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación

#### 3.5.1 Introducción

- 1 El objeto de este apartado es determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.
- 2 Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:
  - a) ángulo de inclinación,  $\beta$  definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos horizontales y 90° para verticales;
  - b) ángulo de acimut,  $\alpha$  definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.

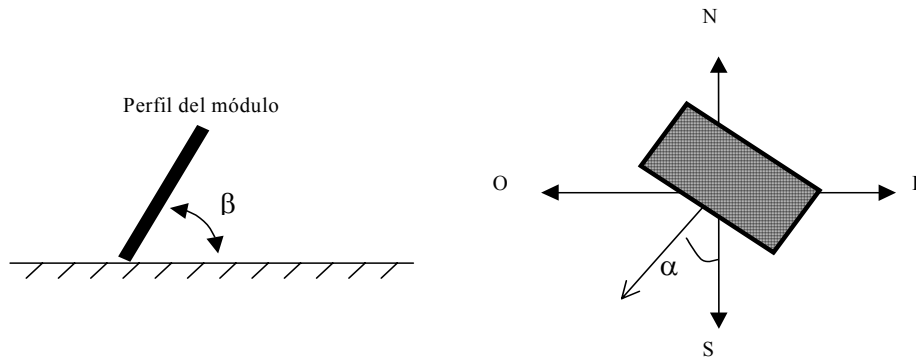


Figura 3.2 Orientación e inclinación de los módulos

#### 3.5.2 Procedimiento

- 1 Determinado el ángulo de acimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecidas con la figura 3.3, válida para una latitud ( $\phi$ ) de 41°, de la siguiente forma:
  - a) conocido el acimut, determinamos en la figura 3.3 los límites para la inclinación en el caso ( $\phi$ ) = 41°. Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición del 20 % y para integración arquitectónica del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima;
  - b) si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud ( $\phi$ ) = 41° y se corrigen de acuerdo a lo indicado a continuación;
- 2 Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41°, de acuerdo a las siguientes fórmulas:
  - a) inclinación máxima = inclinación ( $\phi = 41^\circ$ ) - ( $41^\circ$  - latitud);
  - b) inclinación mínima = inclinación ( $\phi = 41^\circ$ ) - ( $41^\circ$  - latitud); siendo 5° su valor mínimo.
- 3 En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left[ 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2 \right] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \quad (3.5)$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left[ 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 \right] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ \quad (3.6)$$

Nota:  $\alpha$  y  $\beta$  se expresan en grados sexagesimales.



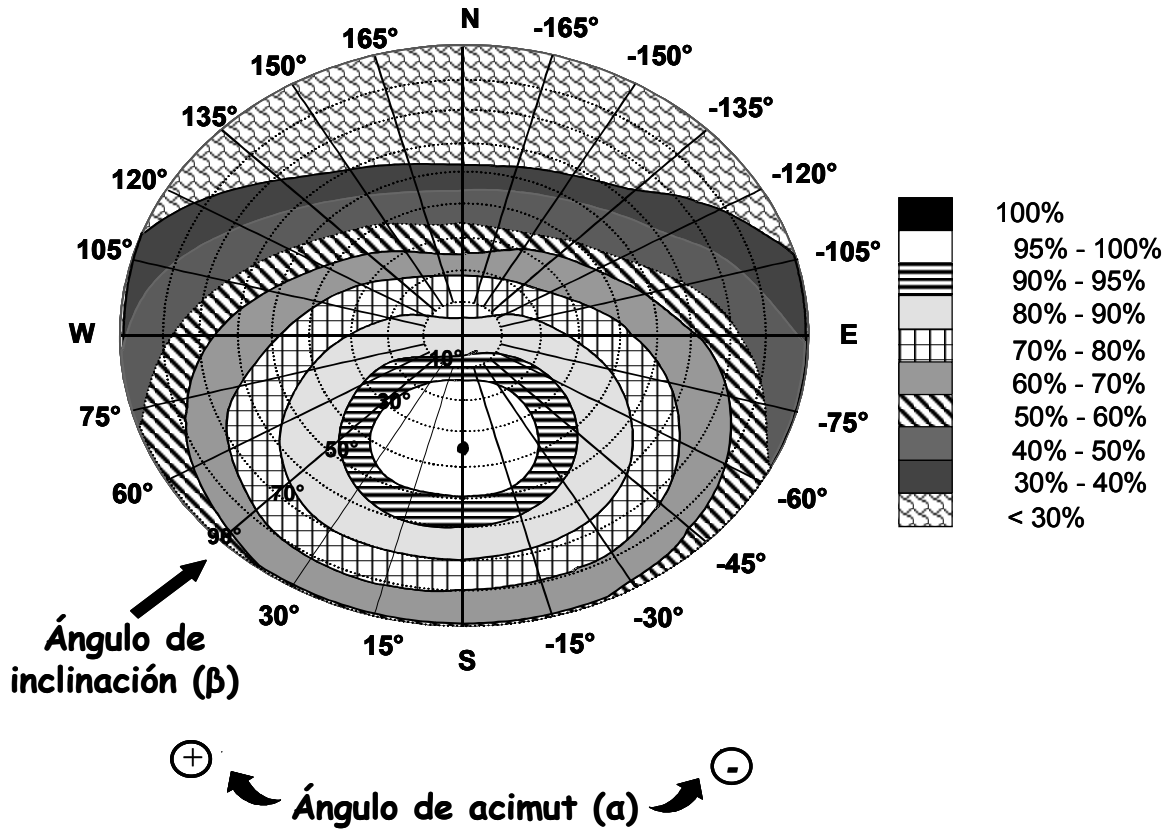


Figura 3.3

Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

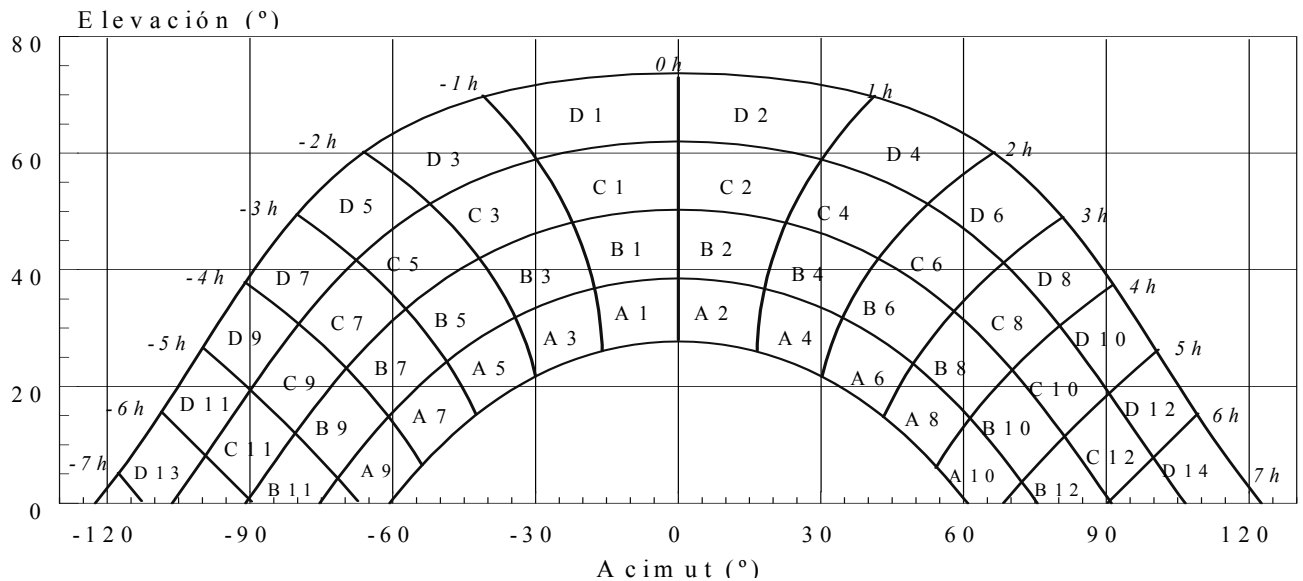
## 3.6 Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras

### 3.6.1 Introducción

- 1 El presente apartado describe un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

### 3.6.2 Procedimiento

- 1 El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Los pasos a seguir son los siguientes:
- 2 Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición acimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal). Para ello puede utilizarse un teodolito.
- 3 Representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la figura 3.4, en el que se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse  $12^\circ$  en sentido vertical ascendente). Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2, ..., D14).



**Figura 3.4 Diagrama de trayectorias del sol**

Nota: los grados de ambas escalas son sexagesimales

- 4 Cada una de las porciones de la figura 3.4 representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquella que resulte interceptada por el obstáculo. Debe escogerse para el cálculo la tabla de referencia más adecuada de entre las que se incluyen en el anejo B.
- 5 La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

### 3.6.3 Tablas de referencia

- 1 Las tablas incluidas en esta Sección se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación ( $\beta$  y  $\alpha$ , respectivamente). Debe escogerse aquella que resulte más parecida a la superficie en estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

## 4 Mantenimiento

- 1 Sin perjuicio de aquellas operaciones de mantenimiento derivadas de otras normativas, para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:
  - a) plan de vigilancia;
  - b) plan de mantenimiento preventivo.

### 4.1 Plan de vigilancia

- 1 El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Tendrá el alcance descrito en la tabla 4.1:

Tabla 4.1

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día.
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones.
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas.
CIRCUITO PRIMARIO	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
CIRCUITO SECUNDARIO	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

<sup>(1)</sup> IV: inspección visual

## 4.2 Plan de mantenimiento

- 1 Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.
- 2 El mantenimiento implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie de captación inferior a 20 m<sup>2</sup> y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m<sup>2</sup>.
- 3 El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.
- 4 El mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.
- 5 A continuación se desarrollan de forma detallada las operaciones de mantenimiento que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

Tabla 4.2 Sistema de captación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original. IV diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV condensaciones y suciedad
Juntas	6	IV agrietamientos, deformaciones
Absorbedor	6	IV corrosión, deformaciones
Carcasa	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Conexiones	6	IV aparición de fugas
Estructura	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores*	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Llenado parcial del campo de captadores

\* Operaciones a realizar en el caso de optar por las medidas b) o c) del apartado 2.1.

<sup>(1)</sup> IV: inspección visual

Tabla 4.3 Sistema de acumulación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación del desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Tabla 4.4 Sistema de intercambio

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

<sup>(1)</sup> CF: control de funcionamiento

Tabla 4.5 Circuito hidráulico

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

<sup>(1)</sup> IV: inspección visual

<sup>(2)</sup> CF: control de funcionamiento

Tabla 4.6 Sistema eléctrico y de control

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

<sup>(1)</sup> CF: control de funcionamiento

Tabla 4.7 Sistema de energía auxiliar

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

<sup>(1)</sup> CF: control de funcionamiento

Nota: Para las instalaciones menores de 20 m<sup>2</sup> se realizarán conjuntamente en la inspección anual las labores del plan de mantenimiento que tienen una frecuencia de 6 y 12 meses.

No se incluyen los trabajos propios del mantenimiento del sistema auxiliar.

## ANEXO 4

### Tablas para normalización de escenarios y gráficos (ACV)

#### Normalización interna (Referencia: escenario base=1)

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	Esc BASE	ESC 1.	Valor para escenario 1
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,86E-06	1,82E-06	0,98
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	1,20E+00	1,22E+00	1,01
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,50E-04	2,35E-04	0,94
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	4,00E-05	4,02E-05	1,01
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	9,24E-02	9,32E-02	1,01
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	1,25E-08	1,25E-08	1,00
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	3,60E-05	3,57E-05	0,99

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	ESC BASE	ESC 2	Valor para escenario 2
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,86E-06	2,06E-06	1,11
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	1,20E+00	1,50E+00	1,25
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,50E-04	2,83E-04	1,13
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	4,00E-05	4,49E-05	1,12
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	9,24E-02	1,16E-01	1,25
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	1,25E-08	1,57E-08	1,26
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	3,60E-05	4,28E-05	1,19

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	ESC. BASE	ESC 3	Valor para escenario 3
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,86E-06	1,87E-06	1,00
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	1,20E+00	1,18E+00	0,98
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,50E-04	2,38E-04	0,95
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	4,00E-05	3,86E-05	0,97
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	9,24E-02	8,99E-02	0,97
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	1,25E-08	1,23E-08	0,99
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	3,60E-05	3,47E-05	0,96

**Normalización externa (Referencia: Sistema tradicional 100% a Gas Natural=1)**

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	Comparación de sistemas		Valor para escenario 1
		Sistema GN	ESC 1	
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,14E-07	1,82E-06	15,97
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	3,35E+00	1,22E+00	0,36
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,35E-04	2,35E-04	1,00
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	2,48E-05	4,02E-05	1,62
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	2,64E-01	9,32E-02	0,35
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	4,07E-08	1,25E-08	0,31
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	6,06E-05	3,57E-05	0,59

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	Comparación de sistemas		Valor para escenario 2
		Sistema GN	ESC 2.	
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,14E-07	2,06E-06	18,07
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	3,35E+00	1,50E+00	0,45
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,35E-04	2,83E-04	1,20
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	2,48E-05	4,49E-05	1,81
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	2,64E-01	1,16E-01	0,44
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	4,07E-08	1,57E-08	0,39
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	6,06E-05	4,28E-05	0,71

Parámetro evaluado	Unidad por kWh generado	Comparación de sistemas		Valor para escenario 3
		Sistema GN	ESC 3.	
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (elementos ADP)	kg de Sb eq.	1,14E-07	1,87E-06	16,36
Potencial de agotamiento de Recursos abióticos (combustibles fósiles)	MJ	3,35E+00	1,18E+00	0,35
Potencial de Acidificación	kg de SO2 eq.	2,35E-04	2,38E-04	1,01
Potencial de Eutrofización	kg de PO4 eq.	2,48E-05	3,86E-05	1,56
Potencial de calentamiento Global	kg de CO2 eq.	2,64E-01	8,99E-02	0,34
Potencial de agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de CFC11 eq.	4,07E-08	1,23E-08	0,30
Potencial de formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	6,06E-05	3,47E-05	0,57