

Treballs beneficiaris dels ajuts per al suport a la recerca en canvi climàtic a l'AMB

Comparació de sistemes d'obtenció d'ACS mitjançant un ACV

Ignasi Herranz Lahuerta

Memoria Final

RESUMEN

Se comparan, mediante un análisis del ciclo de vida (ACV) con métodos ReCiPe Endpoint (H) y GWP 20a, tres de las tecnologías más extendidas para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) en viviendas plurifamiliares de Barcelona, dos de ellas en base a energía solar térmica. También se analizan sus impactos ambientales individualmente.

Los resultados obtenidos en el ACV muestran que, desde el punto de vista ambiental, la alternativa de solar + gas es la mejor, y la alternativa de gas tiene los mayores impactos en los dos métodos de evaluación utilizados. Dentro del análisis del Ciclo de Vida, el uso es la fase más impactante (con el 73-98% de los impactos), seguida de la fabricación (2-27%) y el fin de vida (<1%). De las alternativas solares, el gas natural como energía de apoyo genera menores impactos que la electricidad.

Posteriormente se plantean escenarios de sustitución, en los ámbitos geográficos del Área Metropolitana de Barcelona (AMB) y la ciudad de Barcelona, para analizar la incidencia ambiental con respecto al cambio climático (GWP) de la sustitución de la alternativa más extendida pero más impactante en la actualidad (gas), por la alternativa de menores impactos (solar + gas). Se obtiene que el potencial ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es de hasta el 50%. Considerando el total de emisiones de GEI de la ciudad de Barcelona, supone un ahorro de emisiones del orden del 1 al 3%, según el porcentaje de sustitución.

El análisis económico de las alternativas muestra que los mayores costes de inversión se asocian a los componentes de los sistemas solares, mientras que en los costes de uso resaltan los consumos eléctricos sobre los de gas natural, por la diferencia entre el precio unitario de estos dos tipos de energías. Esto implica que, si se calcula la amortización del sistema solar + gas respecto a la alternativa de gas, se obtiene un tiempo de amortización muy largo (42 años). El sistema instantáneo de gas, presenta ventajas respecto a sus costes, pero mayores impactos ambientales, lo que indica que la sustitución deberá ser impulsada mayormente mediante la concienciación ambiental y no por ahorro económico.

Palabras claves: energía solar térmica, agua caliente sanitaria (ACS), colectores de tubos de vacío, Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

RESUM

Es comparen, mitjançant un anàlisi del cicle de vida (ACV), amb mètodes ReCiPe Endpoint (H) i GWP 20a, tres de les tecnologies més esteses per l'obtenció d'aigua calenta sanitària (ACS) a vivendes plurifamiliars de Barcelona, dos d'elles en base a energia solar tèrmica. També s'analitzen els seus impactes ambientals individualment.

Els resultats obtinguts a l' ACV mostren que, des del punt de vista ambiental, l'alternativa solar + gas és la millor, i l'alternativa de gas té els majors impactes en els dos mètodes d'avaluació utilitzats. Dins l'anàlisi del Cicle de Vida, l'ús és la fase més impactant (amb el 73-98% dels impactes), seguida de la fabricació (2-27%) i el fi de vida (<1%). De les alternatives solars, el gas natural com energia de suport genera menors impactes que l'electricitat.

Posteriorment es plantegen escenaris de substitució, als àmbits geogràfics de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i de la ciutat de Barcelona, per analitzar la incidència ambiental respecte al canvi climàtic (GWP) de la substitució de l'alternativa més estesa però més impactant a l'actualitat (gas), per l'alternativa de menors impactes (solar + gas). S'obté que el potencial estalvi d'emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEI) és de fins el 50%. Considerant el total d'emissions de GEH de la ciutat de Barcelona, suposa un estalvi d'emissions de l'ordre del 1 al 3%, segons el percentatge de substitució.

L'Anàlisi econòmic de les alternatives mostra que els majors costos d'inversió s'associen als components dels sistemes solars, mentre als costos d'ús ressalten els consums elèctrics sobre els de gas natural, per la diferència entre el preu unitari d'aquests dos tipus d'energies. Això implica que, si es calcula l'amortització del sistema solar + gas respecte l'alternativa de gas, s'obté un temps d'amortització molt llarg (42 anys). El sistema instantani de gas presenta avantatges respecte als seus costos, però majors impactes ambientals, el que indica que la substitució haurà de ser impulsada majoritàriament mitjançant la conscienciació ambiental i no per l'estalvi econòmic.

Paraules clau: energia solar tèrmica, aigua calenta sanitària (ACS), col·lectors de tubs de buit, Anàlisi del Cicle de Vida (ACV).

ABSTRACT

It is compared through a life cycle analysis (LCA), using ReCiPe Endpoint (H) and GWP 20yr methods, three of the most widely used technologies for obtaining domestic hot water (DHW) in multi-family dwellings in Barcelona, two of them based on solar thermal energy. Its environmental impacts are also analyzed individually.

The results obtained in the LCA show that, from the environmental point of view, the solar + gas alternative is the best, and the gas alternative has the greatest impacts on the two used evaluation methods. Within the LCA, the use is the most striking stage (with 73-98% of the impacts), followed by manufacturing (2-27%) and end of life (<1%). Among the solar alternatives, natural gas as support energy generates lower impacts than electricity.

Subsequently, substitution scenarios are proposed, in the geographical areas of the Barcelona Metropolitan Area (AMB) and the city of Barcelona, to analyze the environmental impact in relation to climate change (GWP) of the substitution of the most widespread but most impactful alternative of the present (gas), by the alternative of lower impacts (solar + gas). The potential savings of GHG emissions are up to 50%. Taking into account the total GHG emissions of the city of Barcelona, it means emission savings of 1 to 3%, depending on the substitution percentage.

The economic analysis of the alternatives shows that the higher investment costs are associated to the solar systems components, while in the use costs highlight the electric consumption over natural gas, because of the difference between the unit price of these two types of energies. This implies that if the amortization of the solar + gas system is calculated, with respect to the gas alternative, a very long amortization time (42 years) is obtained. The instant gas system has advantages over its costs, but greater environmental impacts, which indicates that the replacement should be driven mainly by environmental awareness and not by economic savings.

Key words: solar thermal energy, sanitary hot water, vacuum tube collectors, Life Cycle Assessment (LCA).

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ACRÓNIMOS	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes y estado del arte	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos	6
1.4. Alcance del proyecto.....	7
II. METODOLOGÍA	9
III. MARCO TEÓRICO: Metodología de evaluación ACV	11
i. Definición de objetivos y Alcance de Estudios	11
ii. Análisis de inventario de ciclo de vida.....	11
iii. Evaluación de impacto ambiental	11
iv. Interpretación del ciclo de vida	12
IV. CASO DE ESTUDIO.....	13
4.1. Sistemas a estudio. Alternativas.....	13
i. Alternativa 1. Calentador instantáneo de gas natural	14
ii. Alternativa 2. Sistema solar con auxiliar de gas.....	14
iii. Alternativa 3. Sistema solar con auxiliar eléctrico	15
4.2. Análisis vivienda plurifamiliar Barcelona/AMB.....	17
V. RESULTADOS.....	19
5.1. Análisis del Ciclo de Vida del caso de estudio	19
i. Definición de objetivo y alcance de estudio.....	19
ii. Análisis del inventario	21
iii. Evaluación de impacto ambiental e interpretación de los resultados	25
5.2. Escenarios de sustitución	33
VI. ANÁLISIS ECONÓMICO	36
6.1. Costes de inversión.....	36
6.2. Costes de uso	38
6.3. Costes totales	40
6.4. Amortización	40
VII. COMUNICACIÓN DE RESULTADOS.....	42
VIII. CONCLUSIONES:	43
IX. Referencias.....	44
X. ANEXOS	46
Anexo 1: Funcionamiento tubos de vacío. Elaboración propia.....	47
Anexo 2: Resumen dimensionado alternativa 2 (solar con auxiliar de gas natural).....	48
Anexo 3: Resumen dimensionado alternativa 3 (solar con auxiliar de electricidad)	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquemas de alternativas de estudio. (a) Alternativa 1: Calentador de gas natural (b) Alternativa 2: Sistema solar térmico con auxiliar calentador de gas (b) Alternativa 3: Sistema solar térmico con auxiliar resistencia eléctrica. (Fuente: elaboración propia con software Polysun 2.0).....	16
Figura 2. Límites del sistema de las alternativas (a) Alternativa 1: Calentador de gas natural (b) Alternativa 2: Sistema solar térmico con auxiliar calentador de gas (b) Alternativa 3: Sistema solar térmico con auxiliar resistencia eléctrica. (Fuente: elaboración propia).....	20
Figura 3. Evaluación del daño.ReCiPe Endpoint (H).....	26
Figura 4. Puntuación única. ReCiPe Endpoint (H).	27
Figura 5. Diagrama de flujos del Ciclo de Vida de la Caldera de Gas. ReCiPe Endpoint (H).	29
Figura 6. Diagrama de flujos del Ciclo de Vida del sistema Solar +Gas. ReCiPe Endpoint (H).....	30
Figura 7. Diagrama de flujos del Ciclo de Vida del sistema Solar +Electricidad. ReCiPe Endpoint (H)....	31
Figura 8. Resultados método IPCC 2013 Global Warming Potential a 20 años.....	32
Figura 9.Emisiones de CO ₂ equivalente emitidos durante 20 años y ahorro derivado de cada escenario respecto a E0, en el AMB y Barcelona	34
Figura 10. Coste total (inversión y uso) de las alternativas analizadas, a 20 años.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de hogares principales (y habitantes equivalentes) según el número de personas que residen, 2011. Fuente: www.idescat.cat y encuesta de condicions de vida i hàbits de la població de Catalunya (Cens 2011)	17
Tabla 2. Número de hogares principales plurifamiliares con gas y sin sistema central de ACS (y habitantes equivalentes), según el número de personas que residen. Fuente: elaboración propia	18
Tabla 3. Descripción del inventario. Fuente: elaboración propia con referencias de (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2013).....	23
Tabla 4. Resumen de resultados ACV Método IPCC 2013 GWP 20a.....	33
Tabla 5. Emisiones de CO ₂ equivalente emitidos durante 20 años en el AMB y Barcelona.	34
Tabla 6. Emisiones de CO ₂ equivalente emitidas anualmente en Barcelona y ahorro respecto al total de emisiones.....	35
Tabla 7. Costes de inversión Alternativa de Gas.....	36
Tabla 8. Costes de inversión Alternativa Solar + Gas.	36
Tabla 9. Costes de inversión Alternativa Solar + Electricidad.....	37
Tabla 10. Costes de uso Alternativa de Gas	38
Tabla 11. Costes de uso Alternativa Solar + Gas.....	39
Tabla 12. Costes de uso Alternativa Solar + Electricidad.....	39
Tabla 13. Costes totales de todas las alternativas	40
Tabla 14. Amortización de la alternativa Solar + Gas	40

ACRÓNIMOS

ACS: agua caliente sanitaria

ACV: análisis de ciclo de vida

AMB: Área Metropolitana de Barcelona

RMB: Región metropolitana de Barcelona

CTE: Código Técnico de la Edificación

CTE-HE4: apartado de CTE sobre “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”

OMSTB: Ordenanza municipal de energía solar térmica de Barcelona

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes y estado del arte

El desarrollo actual depende directamente de la energía, pero la situación de estrés ambiental en la que se encuentra el Planeta, obliga a usar fuentes de producción energética más limpias, como son las renovables. En el territorio español, una de las energías renovables con mayor potencial a nivel residencial es la solar.

La energía solar es una energía renovable que no genera emisiones directas de contaminantes ni de gases de efecto invernadero, lo que supone una ventaja sustancial respecto al uso de energías convencionales. Además, su aplicación puede ser tanto a nivel de particulares, como a gran escala o nivel de empresas-administración y la industria. Se distinguen dos formas de aprovechamiento solar: energía fotovoltaica (para la generación de energía eléctrica a partir de colectores fotovoltaicos), y termosolar (para el calentamiento de un fluido a partir de colectores termosolares).

Actualmente el grueso del consumo de energía solar se concentra en el sector residencial, siendo la producción de agua caliente sanitaria (ACS) una de sus aplicaciones más comunes. En la actualidad el agua caliente sanitaria se considera un requisito de confort imprescindible. A partir de lo anterior, el calentamiento de agua mediante energía termosolar, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología “económicamente” atractiva y competitiva: los sistemas solares domésticos son una tecnología probada y utilizada para reducir la energía demandada para calentar agua y tiene un gran potencial para reducir la demanda total energética de uso doméstico (Hernandez & Kenny, 2012). Además, la reciente aprobación del impuesto sobre la fotovoltaica, posiciona a la termosolar como una energía de futuro a nivel doméstico en España y, por tanto, en el AMB.

El sector residencial es responsable del 17% del consumo energético total de España y el 28% en Barcelona, concretamente, el ACS tiene un peso considerable dentro del consumo energético doméstico; del orden del 20% (IDAE, 2014) (Observatori de l'Energia de Barcelona, 2014). La tecnología termosolar es tanto adecuada para viviendas unifamiliares, que suelen tener demandas de ACS considerables y fácil acceso al sol, como para construcciones multifamiliares. En la ciudad de Barcelona la tipología de vivienda predominante es la plurifamiliar en forma de bloques de pisos y con poca vivienda unifamiliar (2,8%), mientras en el AMB, la vivienda unifamiliar tiene más importancia (un 18,3% de media) (Institut d'Estudis Regionals: Metropolitans Barcelona, 2006).

Como resultado de todo lo expuesto anteriormente, en los últimos años se está produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica, tanto para pequeños como para grandes consumidores, a causa, por una parte, de la sensibilidad creciente de la sociedad hacia la necesidad de sustituir los combustibles fósiles y, por otra, de los avances en los sistemas (mejora de la calidad, eficiencias y reducción de costes). Este impulso reciente de la energía solar térmica ha propiciado que en el 2012, la ciudad de Barcelona, aún y no disponer de la tipología de edificio más adecuada para la instalación de placas solares, dispusiera de una superficie total de colectores solares térmicos de más de 88.000 m², con un aumento medio anual de nuevos colectores térmicos de 6.783 m² desde 1999, aún y el ralentí sufrido desde 2010 a causa de la afectación de la crisis económica en el sector de la construcción. Se estima que en 2012, se generaron 71 GWh de energía térmica, cantidad significativa que contribuyó a reducir el consumo de combustibles no renovables de origen fósil. Aún así, el sector residencial en Barcelona cubre su demanda térmica (ACS y calefacción) esencialmente con gas natural. (Observatori de l'Energia de Barcelona, 2014)

En esta misma línea, las principales normativas que regulan aspectos de la energía solar térmica se comentan a continuación:

La Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de edificios, por ejemplo, pretende promover las energías renovables e incluye determinaciones para la construcción o rehabilitación de edificios, aun así, no incluye condiciones específicas de cumplimiento para la solar térmica.

En el caso de España, el Código Técnico de la Edificación, en su sección HE 4 sobre la “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” (CTE HE 4, 2013), se establece una contribución mínima de energía solar térmica en función de la zona climática y de la demanda de ACS del edificio o piscina. Es de estricto cumplimiento para los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso, en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria mayor a 50L/día, determinadas ampliaciones o intervenciones y/o climatizaciones de piscinas cubiertas. En la misma línea trabaja el Decreto 21/2006 de adopción de criterios ambientales y ecoeficiencia en edificios.

A nivel local de Barcelona, la Ordenanza municipal solar térmica de Barcelona de 2006 regula la incorporación de sistemas de captación y utilización de energía solar activa de baja temperatura (placas solares térmicas) para la producción de ACS en edificios y construcciones dentro del término municipal de Barcelona, independientemente de que su titularidad sea pública o privada. Es de estricto cumplimiento para nuevas edificaciones o construcciones, rehabilitaciones integrales, cambios del uso de la totalidad del edificio o aquellos usos de la edificación que impliquen usar ACS, calentar el agua de piscinas climatizadas, o usarla en procesos industriales.

Las tres normativas anteriores establecen contribuciones solares mínimas según las demandas de ACS y el tipo de energía de apoyo (gas en general o electricidad; efecto Joule) o la zona climática de aplicación, siendo la OMSTB la más exigente, entendiéndose por exigente la que requiere un dimensionado solar para cumplir con una mayor contribución solar mínima, con lo que será usada para la exigencia de contribuciones mínimas en el dimensionado de las alternativas.

En cuanto al entorno normativo español referente al uso de energías renovables, el Código Técnico de la Edificación potencia el uso de estas energías, mientras que el sector eléctrico se actualiza en otro sentido^{1,2} fomentando, como se ha mencionado anteriormente, el uso de la energía termosolar sobre la fotovoltaica, sobretodo en entornos domésticos.

La línea de trabajo se centra en la aplicación de energía solar térmica, para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS). La tecnología asociada a la energía solar térmica son los captadores termosolares, además del resto de componentes del sistema como el equipo auxiliar de apoyo, acumulador, intercambiador, vaso de expansión y demás instalaciones secundarias.

Los captadores termosolares pueden ser de diferentes tipos de acuerdo a la temperatura de trabajo y de servicio. Entre los colectores de baja temperatura se encuentran las placas planas convencionales y los tubos de vacío. Estos últimos, constituyen una tecnología más innovadora y con una eficiencia y rendimiento superiores a las placas convencionales, lo que permite obtener, para una misma superficie instalada, mayor cantidad de energía calórica a lo largo del año. Esto se debe fundamentalmente al mejor aislamiento que suponen, ya que al estar sellados al vacío, las pérdidas por convección son muy bajas, mientras los colectores planos tienen pérdidas por convección importantes. La forma cilíndrica de los tubos también favorece una mayor captación de energía infrarroja, incluso en días nublados, aumentando así su rendimiento frente a los colectores planos. Otra ventaja que supone esta tecnología es su mayor flexibilidad de colocación (permite una variación de unos 20° respecto a su inclinación ideal sin pérdida de rendimiento).

Dentro de las principales tecnologías de tubos de vacío existen los de flujo directo y los de heat-pipe. En los primeros el fluido calor portador circula por el tubo expuesto al sol, calentándose a lo largo del recorrido. Mientras en los segundos, se usa un fluido con cambio de fase; se evapora al calentarse, ascendiendo hasta un intercambiador donde se enfría y vuelve a condensarse, transfiriendo el calor al fluido principal. Este sistema permite reducir el deterioro, las pérdidas durante la noche y evita el sobrecalentamiento.

El sistema heat-Pipe es un notable ejemplo del avance tecnológico en los rendimientos obtenidos en el campo de la energía solar térmica con los colectores de tubo de vacío. Tienen el mismo principio de trabajo que los colectores de plato plano: la radiación es recibida por el medio absorbente y llevada en

¹ Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética (BOE de 28 de diciembre).

² Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.

forma de calor hacia un tanque acumulador. Sin embargo, el sistema heat-pipe consigue un grado de rendimiento superior a los colectores tradicionales planos, obteniendo altas temperaturas en menor tiempo por disminuir las pérdidas de calor, y su integración arquitectónica resulta más cómoda y estética. Otras ventajas que implican el uso de este sistema son las siguientes:

- ✓ Son capaces de aprovechar la luz difusa por lo que siguen siendo útiles aun en días nublados. No están sujetos a orientaciones sur, pues al ser redondo el tubo captador el sol incide perpendicularmente prácticamente todo el día
- ✓ Ya que los captadores no conducen agua o anticongelante, no se generan problemas de calcificación ni corrosión. Además, no existe peligro de contaminación del agua de la red por fugas.
- ✓ Están libres de mantenimientos importantes, más que el chequeo del estado de vacío.
- ✓ Se disminuye sustancialmente el “efecto cometa” con los vientos excesivos en el invierno, pues al ser calado el colector y existir 4 o 5 centímetros de separación entre tubos el viento pasa con facilidad y no ofrece la resistencia de los colectores planos.

Durante la fabricación del tubo, el aire es extraído del espacio entre los dos tubos de vidrio para formar el vacío, el cual elimina la pérdida de calor conductivo y convectivo. Para mantener la calidad de vacío está integrado en el proceso el elemento getter de bario, que absorbe CO, CO₂, N₂, O₂, H₂O y H₂ que van saliendo del tubo durante el proceso de fundición. De esta manera se forma el vacío. La capa de bario brinda un color plateado en el fondo del tubo señal de vacío perfecto. El tubo de vidrio que se somete al vacío suele ser de borosilicato, por sus buenas condiciones ópticas y resistencia mecánica. (en el Anexo 1 se amplía esta información)

Así, por las ventajas que presentan los tubos al vacío de tipo heat-pipe respecto a otras tecnologías termosolares, el estudio considerará esta tecnología como mejor alternativa a aplicar. Por otro lado, como alternativa de calentamiento instantáneo en calentador de gas natural, se considera como mejor tecnología el calentador de condensación de gas natural, por sus grandes rendimientos y menores emisiones que el resto de calentadores.

1.2. Justificación

Se plantea la comparación de tres sistemas de obtención de agua caliente sanitaria (ACS) para una vivienda plurifamiliar mediante el Análisis del Ciclo de Vida ACV. El presente trabajo lo desarrolla el Lic. Ignasi Herranz Lahuerta, estudiante de máster en la Universidad Politécnica de Catalunya, junto con la colaboración de Ing. Marianela Reyes y el profesor Santiago Gassó, este último en calidad de tutor universitario y profesor de la misma institución universitaria. Se desarrolla dentro de las cinco ayudas para la investigación en materia de cambio climático otorgadas por el Área Metropolitana de Barcelona, habiendo sido seleccionado en segundo lugar con una dotación total de 3.000€ y sigue las bases establecidas para estas becas de apoyo a la investigación. El trabajo se enmarca dentro en el Grup de Recerca de Ciències de la Terra, que es un grupo consolidado, contrastado y reconocido por la Generalitat de Catalunya (2014 SGR 522). Así, los resultados podrían ser útiles para escenarios de modelización de la calidad del aire, referidos a cambios hacia tecnologías renovables en el ámbito doméstico.

El interés sobre la temática surge de la concientización acerca de los aportes del sol como una fuente de energía inagotable, limpia, respetuosa con el medio ambiente y gratuita. Además, el potencial solar de España es el más alto de Europa debido a su privilegiada situación y climatología. La radiación solar global sobre superficie horizontal en España oscila entre 3,2 kWh/m²día de la zona más septentrional del territorio hasta los 5,3 kWh/m²día de la isla de Tenerife (AEMET, 2006), siendo muy adecuada para el aprovechamiento de este tipo de tecnologías. El interés y el desarrollo de la tecnología de tubos al vacío han originado que, ante la demanda de países europeos como Suiza, Italia, Francia, Inglaterra, Alemania y últimamente España, y el incremento de fábricas para la producción, los precios de este sistema se han equiparado al tradicional. Esta es la clave por la que estos colectores sustituirán con el tiempo a los colectores solares planos por su ventaja ante la relación calidad/precio, mantenimiento y rendimiento.

Hoy en día es muy importante la búsqueda de energías alternativas, no contaminantes e inagotables, que sustituyan a los combustibles fósiles, contaminantes y escasos, con el fin de preservar nuestro entorno sin perjudicar a las futuras generaciones. Las tecnologías en energía solar aplicadas a ACS parecen ofrecer entonces grandes ventajas medioambientales, sobre todo durante la etapa de uso, tales como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (tanto directas como indirectas), la prevención de gases tóxicos, reducción en la necesidad de líneas de transmisión (redes eléctricas), entre otras. Los aspectos socio-económicos relevantes son el aumento de la independencia energética, la diversificación y seguridad de la provisión de energía.

A partir de lo anterior, surgen los siguientes interrogantes: ¿Qué implican ambientalmente estas tecnologías? ¿Se ajustan al estilo de vida actual? ¿Son alternativas viables y sostenibles desde el punto de vista ambiental? Para ello se evaluará su aplicación en un ámbito de consumo doméstico, concretamente en viviendas plurifamiliares al ser la tipología predominante de vivienda en el AMB y Barcelona.

A pesar que la energía solar está considerada como una fuente de energía “limpia”, que reduce los efectos ambientales durante su etapa de uso, estudios anteriores que fueron tomados como antecedentes (Chapa, Díaz, & Padilla, 2013) (Raigosa, 2012) también han demostrado que la energía solar se encuentra relacionada directamente con importantes cantidades de materiales, procesos de manufactura, transportes, escenarios de utilización y disposición final, procesos que tienen consecuencias ambientales a considerar. Asimismo, al requerir en la mayoría de los casos un sistema auxiliar de aporte energético, los impactos ambientales de éste deben ser agregados a la configuración térmica solar. Por tanto, los sistemas solares no están exentos de la generación de impactos ambientales durante las diferentes etapas del ciclo de vida. Es por ello que se pretende descifrar las implicaciones de una tecnología poco estudiada aplicada a un ámbito concreto, que permitirá determinar a nivel global de todo su ciclo de vida los impactos indirectos que genera y si son menores que los generados por alternativas más convencionales de obtención de ACS.

De esta manera, identificando las virtudes de las alternativas en el ámbito de estudio, se conocerá la alternativa que genera menores impactos y se podría promover el uso de instalaciones más eficientes

y más respetuosas con el ambiente, donde probablemente el valor económico de la inversión se pueda ver amortizado con los demás beneficios a lo largo de su ciclo de vida. Se espera que los resultados contribuyan a mejorar la información referente a la tecnología de generación de energía solar térmica, que es una fuente renovable, y potenciar así su uso e implementación. Es decir, dar respaldo a una de las tecnologías de generación de energías renovables más innovadoras y prometedoras en el ámbito doméstico.

1.3. Objetivos

Se analizarán y compararán una tecnología convencional, y extensamente usada, como es la caldera de gas para el calentamiento instantáneo de agua, con dos tecnologías en base a energía solar térmica con tubos de vacío, una con sistema auxiliar de caldera de gas natural para calentamiento instantáneo y la otra con sistema auxiliar de resistencia eléctrica en el acumulador.

Los objetivos generales son:

- Comparar, mediante ACV, el impacto ambiental y contribución al cambio climático de distintas tecnologías de abastecimiento de agua caliente sanitaria (ACS), para una vivienda plurifamiliar ubicada en el AMB, durante el tiempo de vida útil de las instalaciones.
- Conocer la potencial de reducción de consumos y emisiones en el Área Metropolitana de Barcelona, en un supuesto de sustitución de tecnologías de calentamiento de ACS convencionales por la mejor alternativa resultante de la comparación de ACV, así como difundir y comunicar los resultados obtenidos de forma eficiente.

Para ello será necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Dimensionar las alternativas, de acuerdo a las características de la demanda y las necesidades de abastecimiento, evitando sobredimensionados, y cumpliendo con los requisitos normativos.
- Definir el inventario, con los componentes, materiales y procesos, que se ajustan a cada alternativa.
- Obtener un sistema computacional con la programación de cada sistema, a partir del inventario de cada alternativa.
- Plantear un estudio económico simplificado de las alternativas.
- Interpretar y comparar los resultados, a fin de analizar la contribución al cambio climático de cada alternativa, escogiendo los métodos de evaluación pertinentes. Así como obtener unos resultados del ACV claros y que revelen una mejor tecnología para el caso de estudio, en cuanto a sus impactos ambientales.
- Obtener datos recientes sobre la situación de la vivienda plurifamiliar en Barcelona y en el AMB, que será la base para el planteamiento de los escenarios de sustitución.
- Realizar un análisis de incidencia de la aplicación de la mejor tecnología resultante a los casos aplicables en el AMB, a partir del planteamiento de distintos escenarios.
- Difundir y comunicar los resultados finales del proyecto de forma eficiente y entendible a la población y organizaciones interesadas, indicando las limitaciones espacio-temporales resultantes de un ACV.

1.4. Alcance del proyecto

El presente proyecto se fundamenta en el análisis de tres alternativas diferentes para el calentamiento de agua para uso sanitario, mediante la metodología contemplada en la ISO 14040: Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia (2006). Aun cuando en este tipo de análisis intervienen los recursos y energías inherentes de todas las etapas ciclo de vida del objeto de estudio, entendiéndose desde la extracción de materias primas para su fabricación hasta su disposición final, se debe limitar el sistema, acortando el alcance del análisis. La delimitación del alcance del ACV se definirá más extensamente en el apartado correspondiente al caso de estudio.

Asimismo, se plantearán diferentes escenarios de sustitución de los servicios de ACS actuales por la mejor tecnología resultante del ACV, para caracterizar la influencia posible en cuanto a ahorros energéticos y más especialmente a los impactos ambientales evitados. También se propondrá un plan de comunicación e información de los resultados del proyecto, como mínimo a nivel de la provincia de Barcelona.

El caso de estudio está dirigido expresamente a su aplicación sobre el sector de viviendas plurifamiliares, el cual representa el 97% de todas las residencias de Barcelona y el 82% de las del AMB (Institut d'Estudis Regionals: Metropolitans Barcelona, 2006). Se consideran a su vez una demanda fija de ACS, a una temperatura de servicio específica, y con unas condiciones meteorológicas asociadas a la zona de influencia. Todos estos supuestos derivan en una unidad funcional definida y común para comparar las alternativas seleccionadas. Lo anterior expresa una limitación inherente al tipo de análisis aplicado, donde las condiciones espacio-tiempo deben permanecer fijas, haciendo que el resultado sea difícilmente extrapolable a otras condiciones de servicio.

El análisis se limita a la comparación de sólo tres alternativas para el ACS, de entre las cuales el uso de calentadores de gas representa tal vez la instalación más usual en los espacios urbanos, incluyéndose dentro de éstos el AMB (IDAE, 2014) (Observatori de l'Energia de Barcelona, 2014). Esto es debido a su simplicidad de uso, su carácter de instantaneidad, los costos asociados de servicio y de los equipos necesarios. Sin embargo, se comparará con otras dos alternativas que, aun cuando no están ampliamente implantadas contemplan un aporte ambiental al emplear en parte energías renovables. El calentamiento mediante únicamente termos eléctricos no se considera, ya que es un sistema poco eficiente (Fundació Bosch i Gimpera, 1997).

Siendo así, para cada alternativa será seleccionada una configuración estándar de un modelo concreto. No se considera comparaciones entre equipamientos o modelos de fabricantes diversos para una misma alternativa.

En el caso del calentamiento de agua por calentador de gas, la gran mayoría de configuraciones existentes son de tipo instantáneo. Dentro de éstas, las de operación de condensación son las que reportan mayores rendimientos. Es por esto que para esta alternativa se seleccionará un modelo de calentador de condensación instantáneo³.

Por otra parte, actualmente ya existe una amplia gama de modelos y fabricantes de colectores solares con tubos al vacío que en su mayoría trabajan en un rango estrecho de rendimientos, siendo todos de alta eficiencia. Es por ello que para el diseño de las alternativas solares en el ACV se utilizará un modelo estándar que esté incluido dentro de las bases de datos de la aplicación *SimaPro 8*, habiéndose comprobado previamente su eficiencia.

El desarrollo del proyecto se divide en seis fases principales. Las actividades concretas de cada fase se mencionan en el cronograma de actividades del Anexo 4:

- ✓ Fase preliminar de investigación (14/07/2015 - 01/10/2015).
- ✓ Planteamiento del caso de estudio (02/10/2015 - 15/12/2015).

³ Gas natural Fenosa: Consejos de eficiencia energética-Climatización eficiente-Equipos de producción de agua caliente-Calderas. (2015). Obtenido de www.gasnaturalfenosa.es

- ✓ Diseño del ACV (16/12/2015 - 02/05/2016).
- ✓ Análisis de resultados (evaluación del ACV, valoración económica y análisis global) (03/05/2016 - 15/07/2016).
- ✓ Escenarios sobre el pronóstico de sustitución por la mejor tecnología en el AMB (16/07/2016 - 15/09/2016).
- ✓ Comunicación de resultados (16/09/2016 - 15/10/2016)

A su vez, se plantean tres entregables:

- ✓ Memoria de avance: incluye las 2 primeras fases del proyecto
- ✓ Memoria resumen: incluye los cuatro primeros puntos, hasta análisis de los resultados del ACV.
- ✓ Memoria final: incluye el proyecto completo.

Los criterios de aceptación para cada uno de los entregables contemplan que se cumpla con los plazos de entrega, que sean valorados de forma positiva por el jurado de la beca e instructor por parte de la AMB y que incluyan los contenidos especificados en el calendario de trabajo para cada uno de ellos.

El único factor limitante en el desarrollo del proyecto en la actualidad es el acceso a datos sobre tipología, instalaciones y ocupación de las viviendas en Barcelona y en el AMB, que se han usado para el planteamiento de los escenarios pero en algunos casos son de hace unos años (de hasta el 2006), con lo que la situación puede haber cambiado.

II. METODOLOGÍA

En este apartado se describe a grandes rasgos la metodología que se ha seguido en el desarrollo del proyecto. Se puede dividir en distintas fases.

Investigación preliminar: se han recopilado datos e información técnica acerca de la tecnología termosolar y convencional de obtención de ACS y sobre sus requerimientos normativos, se han buscado softwares libres disponibles y datos para hacer el dimensionado de las alternativas solares, así como información teórica sobre la metodología de evaluación de ACV y los mejores métodos de evaluación de impactos a utilizar.

Planteamiento del caso de estudio: se definen las alternativas objeto de estudio a comparar mediante ACV y se describe la situación de la vivienda plurifamiliar en Barcelona y el AMB para plantear escenarios de sustitución y evaluar sus ahorros derivados.

Definición alternativas y dimensionado: se han definido las tres alternativas a partir de su dimensionado para suplir la demanda energética del ACS de una vivienda plurifamiliar durante 20 años de vida; según la unidad funcional, los límites del sistema y cumpliendo con los requisitos normativos.

En cuanto al dimensionado de las alternativas solares, se ha empleado un software libre que contiene el modelo de colector de tubos de vacío disponible en el software de ACV (Thermomax HP 200). Se dimensiona para una vivienda plurifamiliar en Barcelona de 6 personas, ya que se corresponde con la cantidad de personas necesarias para usar una unidad de sistema de colector solar con tubos de vacío. La alternativa de gas se dimensiona según un modelo estándar de calentador de gas natural. Así, se realiza una descripción detallada de cada una de las tres alternativas planteadas y se detallan las consideraciones de dimensionamiento seguidas.

Situación vivienda Barcelona/AMB: se ha realizado un breve análisis de datos sobre el número de viviendas en Barcelona y en el AMB, según su ocupación, tipología y disponibilidad o no de sistema de gas. Estos datos se usan posteriormente en el planteamiento de los escenarios de sustitución.

Análisis de ciclo de vida: se divide en la definición y diseño del ACV (dos primeras fases y programación en software) y en los resultados obtenidos, junto con su análisis e interpretación (dos últimas fases de metodología ACV).

Definición y diseño ACV: se desarrolla la primera etapa estandarizada de ACV (definición de objetivos y alcance) y se define la unidad funcional y los límites del sistema. También se realiza la segunda etapa de ACV (análisis de inventario) donde se definen los componentes y procesos de cada alternativa, que se usarán para la programación en SimaPro y realizar las modificaciones pertinentes. Los datos de inventario se obtienen de la base de datos SimaPro y se modifican en la programación de las alternativas en SimaPro según los datos del dimensionamiento y referencias externas para cumplir con los objetivos establecidos y el alcance.

Resultados: utilizando los métodos de evaluación de impactos ReCiPe Endpoint (H) y IPCC 2013 (GWP 20 años) se obtienen, para cada alternativa, los resultados de impacto. Éstos se analizan e interpretan de forma comparativa con tal de definir la mejor alternativa o tecnología desde el punto de vista ambiental. También se analizan las alternativas individualmente en forma de red de impactos, con tal de detectar las principales fuentes de impacto. Se puede decir que al completar esta etapa se habrá finalizado con las cuatro etapas estandarizadas de ACV.

Escenarios de sustitución: se plantean distintos escenarios de sustitución de sistemas de calentamiento de agua caliente por la mejor alternativa resultante del ACV, además del escenario base del 100% de viviendas con gas. Se consideran objeto de sustitución aquellas viviendas plurifamiliares con acceso a gas natural y no conectadas a un sistema central de agua caliente, tanto de la ciudad de

Barcelona como del AMB. Para cada escenario se calculan las emisiones de GEI en forma de CO₂ equivalente, a partir de los datos de viviendas y de los resultados obtenidos de evaluación de impactos de ACV mediante el método IPCC 2013 (GWP 20a). A partir de aquí se estima el ahorro respecto al escenario base y finalmente, se calcula el porcentaje de ahorro de emisiones de cada escenario respecto a las emisiones totales de GEI de Barcelona.

Análisis económico: se realiza un análisis económico simplificado de las tres alternativas, considerando como costes totales la suma entre los costes de inversión y los costes de uso durante los 20 años de vida útil. Finalmente se realiza una estimación del tiempo de retorno de la inversión (amortización) a partir del ahorro reportado por el uso de la mejor tecnología resultante del ACV respecto a las otras dos y teniendo en cuenta la cuantía de inversión necesaria.

Comunicación de resultados: se plantean los métodos de comunicación externa de los resultados del proyecto, mayoritariamente a nivel local.

III. MARCO TEÓRICO: Metodología de evaluación ACV

El impacto ambiental de las tecnologías analizadas se llevará a cabo mediante el método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y con la ayuda de la herramienta informática *Sima Pro*. Este análisis cumple a su vez con el procedimiento contemplado dentro de la 14040 (ISO 14040, 2006).

El ACV es una herramienta de gestión que sirve para evaluar los aspectos medioambientales y potenciales impactos de un producto o proceso a lo largo del ciclo de vida, considerando las entradas y salidas del sistema. A continuación se mencionan las etapas que involucra el ACV, las cuales están estandarizadas por las Normas ISO. Las fases se encuentran relacionadas entre sí, de modo que corresponden a procesos iterativos en continua revisión:

i. Definición de objetivos y Alcance de Estudios

El objetivo debe indicar la aplicación, las razones, las expectativas y los destinatarios del estudio. El alcance por su parte, se refiere tanto a la amplitud, límites y detalle del sistema del producto, como a la definición de datos de entrada e hipótesis de salida, incluyendo unidad funcional, reglas de asignación de cargas ambientales, impactos, etc.

Se realizará una búsqueda bibliográfica para definir los límites del sistema, concretando el objetivo al acotar el estudio a la unidad funcional específica.

ii. Análisis de inventario de ciclo de vida.

Obtención de datos y cálculos para cuantificar las entradas y salidas del sistema del producto. Es un proceso iterativo que permite conocer mejor el sistema e identificar nuevos requisitos, implicando la revisión de los objetivos y alcance.

A partir del dimensionado adaptado al objetivo planteado, se obtendrán los datos de entradas y salidas de cada alternativa, con los componentes, materiales y procesos implicados. Estos datos, incluidos en la base de datos Ecoinvent V3.14 se usarán para la programación del ACV en SimaPro. Esta fase involucra un proceso iterativo de cálculo, por lo cual podría implicar la revisión de los objetivos y el alcance.

iii. Evaluación de impacto ambiental

Cálculo de indicadores. Consiste en valorar (cuantificar) la importancia de las diferentes categorías de impacto ambiental, asociadas con los datos del inventario; a partir de algún método asociado a una herramienta informática. La evaluación se realiza en las siguientes etapas: clasificación, caracterización, normalización (traslado a unidad común para su comparación) y valoración (valor relativo de cada categoría para priorizar las acciones). Finalmente se obtiene un valor índice que representa la suma ponderada de los impactos ambientales.

El método de cálculo de los impactos que sigue el software se resume a continuación: a partir de los extensos datos de inventario (recursos y emisiones), mediante clasificación, se asocian a las distintas categorías de impacto, y mediante factores de caracterización, se cuantifican estas categorías de impacto. Si se quiere obtener valores de Endpoint, se utilizan factores de normalización sobre los valores obtenidos de caracterización, para trasladar a unidad común cada categoría. Finalmente, mediante factores de ponderación con la importancia relativa de cada categoría, se obtiene el valor único de impacto.

Independientemente, si se tienen los valores de caracterización de Midpoint, se pueden convertir a valores de caracterización de Endpoint mediante factores de Mid-to-Endpoint.

⁴ Swiss Centre for Life Cycle Inventories. (2013). The Ecoinvent Life Cycle Inventory Data Version 3.1.

En la metodología de evaluación de impacto ambiental, se introducen valores subjetivos en la asociación de datos del inventario con potenciales impactos ambientales, lo cual se considera una limitación. Las metodologías pueden ser *endpoint* (buscan identificar el daño último causado al hombre y sistemas naturales) o *midpoint* (a partir de emisiones y consumos de recursos y energía, permiten cuantificar el efecto ambiental sobre diversas categorías y efectos indirectos sobre el ser humano).

Se utilizarán dos métodos de análisis internos de la herramienta SimaPro para cuantificar el impacto ambiental asociado a cada alternativa. Concretamente, se piensa utilizar el método *Global Warming Potential del IPCC 2013* para evaluar la contribución al cambio climático en un período determinado, junto con una metodología *endpoint*, como el ReCiPe Endpoint (H), para obtener un índice global del impacto ambiental de cada alternativa y facilitar la comparación.

iv. Interpretación del ciclo de vida

Análisis de resultados. Se analizarán los resultados del inventario y de la evaluación de forma comparativa, para detectar puntos críticos y valorar las alternativas. Se pretenden establecer conclusiones y recomendaciones que promuevan un uso sostenible de estas tecnologías.

IV. CASO DE ESTUDIO

Se presenta en el primer apartado la definición de las alternativas de estudio y consideraciones de dimensionado que se usarán en el ACV comparativo. En el apartado 4.2. se incluyen datos y un breve análisis sobre la vivienda plurifamiliar en Barcelona y en la AMB, con tal de plantear posteriormente los escenarios de sustitución.

4.1. Sistemas a estudio. Alternativas

Para el dimensionado de las alternativas se asumen los siguientes parámetros:

De manera general:

- Vivienda tipo plurifamiliar.
- Habitantes: 6 personas.
- Demanda diaria por persona (según la CTE): 28L/persona a 60°C.
- Temperatura de utilización de ACS: 60°C.
- Zona climática (según el CTE): Zona climática III (para la provincia de Barcelona).

Para las alternativas con aporte solar:

- Modelo de captación: tubos al vacío tipo *heat pipe* (Thermomax HP20)
- Ausencia de sombras sobre el área de captación por obstáculos en los alrededores.
- Orientación de las placas: 0° sur (óptima para la región geográfica).
- Ángulo de inclinación respecto a la horizontal: 40° (41° la óptima para la región geográfica).
- Contribución solar mínima (según la OMSTB): 60% (para energía auxiliar por gas o por efecto joule).
- Volumen de acumulación (según CTE): similar al volumen total de autonomía para un día.

Primeramente, con ayuda del software de dimensionado se calcula la demanda energética, equivalente a la cantidad de energía térmica para suplir las necesidades de ACS, de acuerdo al salto térmico entre la temperatura del agua de red (definida mensualmente para la zona climática en el CTE) y la temperatura de utilización, considerando la demanda definida en el CTE (L/persona x año) a 60°C, según la tipología de edificio.

Para la alternativa en que se sule el 100% de la demanda mediante calentador de gas natural instantáneo, se considera como mejor tecnología el calentador de condensación de gas natural, por sus grandes rendimientos y menores emisiones que el resto de calentadores. La potencia necesaria del calentador se estima a partir del salto térmico entre el agua de red y la temperatura de uso (aproximadamente 50°C, de 10°C a 60°C) y del caudal másico a calentar, suponiendo un caudal instantáneo máximo de 20L/min, correspondiente a dos duchas funcionando simultáneamente⁵. Así, se obtiene una potencia necesaria máxima de unos 25kW.

Para las dos alternativas con aporte solar, se debe calcular la producción energética mensual mediante la contribución solar y compararla con la demanda energética total necesaria (obtenida del dimensionado). El porcentaje resultante es función del modelo del captador, la radiación solar incidente

⁵ Guía del Instalador de Agua Caliente Sanitaria (2006). Junkers, Grupo Bosch

para la zona climática, los parámetros de disposición espacial del colector. Las demandas no cubiertas con energía solar deberán ser suplidas mediante gas natural o electricidad. El volumen de acumulación de los dos sistemas solares se supone de 180 litros, para asegurar una autonomía solar de 1 día, y la temperatura de acumulación se ha definido igual a la temperatura de utilización (60°C).

El dimensionado de los sistemas solares se realiza mediante el software libre, disponible en *konstruir.com*, que incorpora los criterios limitantes de dimensionado de acuerdo a la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria estipulada en el CTE-DB-HE-4. A manera de comprobación, también se usa el software CENSOL v.5.0⁶. Introduciendo los mismos parámetros más las constantes del modelo de captador escogido, se calcula la demanda de ACS, producción térmica y contribución solar de la alternativa, comprobando así que los resultados obtenidos son correctos y se corresponden entre ambos softwares. Los resultados de este dimensionado se presentan en el Anexo 2 (Solar + Gas) y Anexo 3 (Solar + Electricidad).

Asimismo, en los dimensionados solares se comprueba el cumplimiento de las alternativas con los requisitos normativos sobre contribución solar mínima (OMSTB, que es la más restrictiva), y sobre limitaciones impuestas por el CTE-HE4 contra sobrecalentamientos. En la Ordenanza Municipal se establece una contribución solar mínima anual de los dos sistemas objeto de estudio que incluyen energía termosolar del 60%. El CTE establece limitaciones para evitar sobrecalentamientos (contribución solar mensual < 110% y mayor al 100% un máximo de 3 meses).

Los detalles específicos de cada unidad de la configuración se presentarán en el apartado sobre el Análisis del inventario.

i. *Alternativa 1. Calentador instantáneo de gas natural*

Figura 1 (a)

Calentador de gas natural de condensación (sistema de producción instantánea), con una eficiencia del 96%, dimensionada para satisfacer el 100% de la demanda anual de ACS (3395 kWh). Presentan la ventaja de la disponibilidad inmediata y continua de agua caliente sanitaria, el fluido recibe el aporte de calor por la acción directa de la llama sobre un serpentín por cuyo interior circula el agua. Asimismo, ocupan menos espacio debido a que no precisan del espacio correspondiente para el acumulador y, al ser de condensación, tienen altos rendimientos y bajas emisiones en comparación a los calentadores convencionales. Para el caso de estudio, se requiere una potencia nominal máxima de 25 KW, que es el modelo más usual dentro de las gamas domésticas comerciales.

ii. *Alternativa 2. Sistema solar con auxiliar de gas*

Figura 1 (b)

Sistema solar térmico de circulación indirecta y forzada (acumulación externa con intercambiador incorporado) con colector de tubos de vacío tipo heat-pipe, para satisfacer como mínimo el 60% de la demanda anual de ACS (según lo establecido en la OMSTB), y con sistema auxiliar basado en un calentador de gas natural, en serie a la salida del depósito de acumulación. En este tipo de sistemas se calienta el agua previamente a la demanda, por aporte de la energía solar térmica, el tiempo de preparación depende del volumen acumulado y de la temperatura de almacenamiento. La bomba de circulación impulsa el fluido caloportador entre la placa y el intercambiador.

Para el caso de estudio se requiere un colector de 20 tubos (2m²) del modelo de captador solar Thermomax HP20, un acumulador de 180 L (autonomía de 1 día) y un calentador de gas instantáneo de 25 KW.

Con una demanda energética anual de 3.395 kWh y una producción energética solar de 2.171 kWh, la contribución solar es del 64%, cumpliendo con lo establecido en la OMSTB.

⁶© ProgenSA (1998-2005)

iii. Alternativa 3. Sistema solar con auxiliar eléctrico

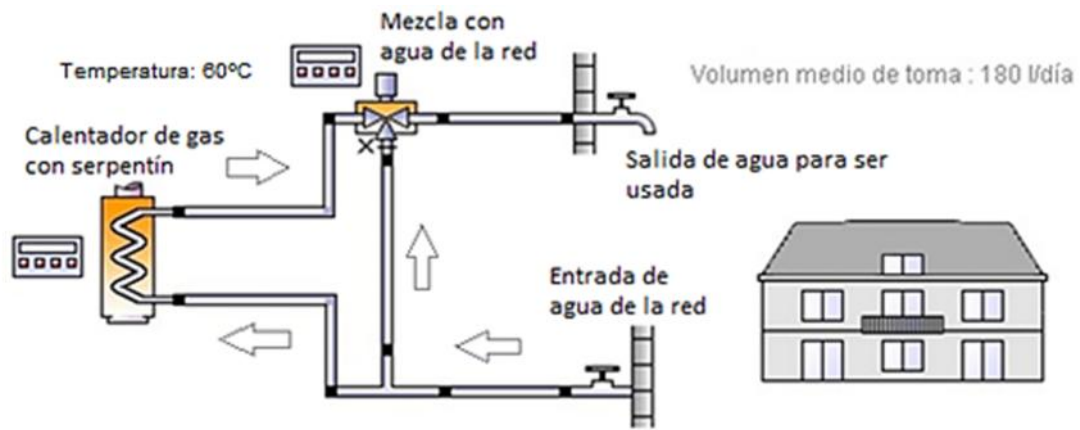
Figura 1 (c)

Sistema solar térmico de circulación indirecta y forzada (acumulación externa con intercambiador incorporado) con colector de tubos de vacío tipo heat-pipe, para satisfacer como mínimo el 60% de la demanda anual de ACS (según lo establecido en la OMSTB), con complemento de resistencia eléctrica en el depósito de acumulación. A diferencia del sistema anterior, utiliza como fuente de energía adicional la electricidad y calienta el agua dentro del acumulador mediante una serie de resistencias que producen el calor por efecto Joule. Tiene la ventaja de que no se requiere ventilación, ni se desperdicia calor en los humos, por lo que pueden llegar a ser más eficientes.

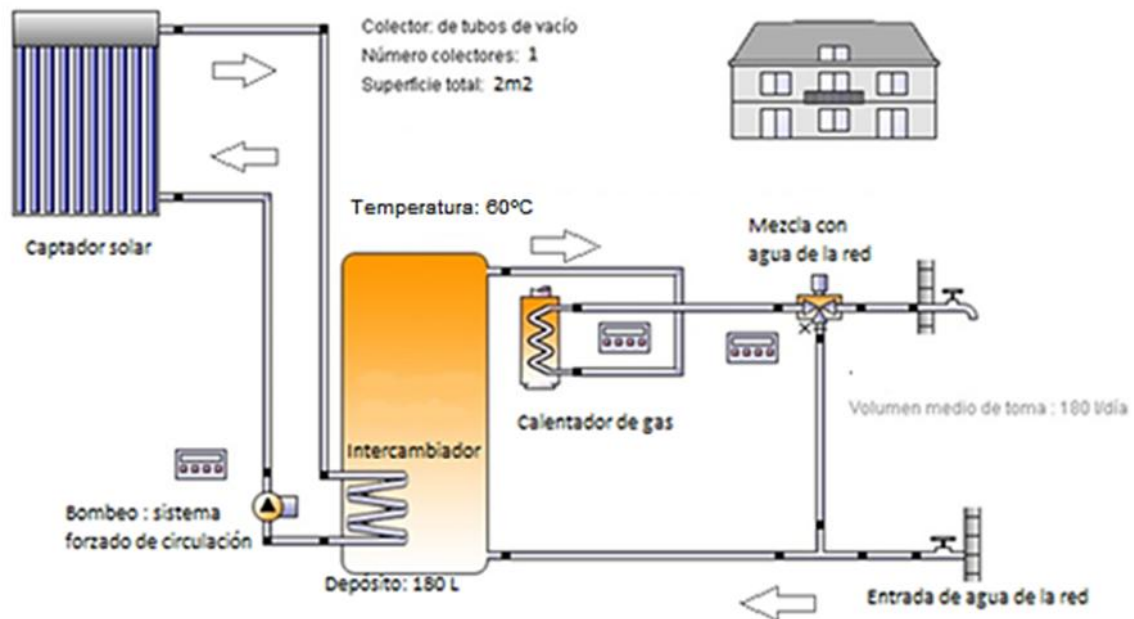
Para el caso de estudio se requiere un colector de 20 tubos (2m²) del modelo de captador solar Thermomax HP20, un acumulador de 180 L (autonomía de 1 día) y una resistencia eléctrica de 5 KW.

Con una demanda energética anual de 3.395 KWh y una producción energética solar de 2.171 KWh, la contribución solar es del 64%, cumpliendo con lo establecido en la OMSTB.

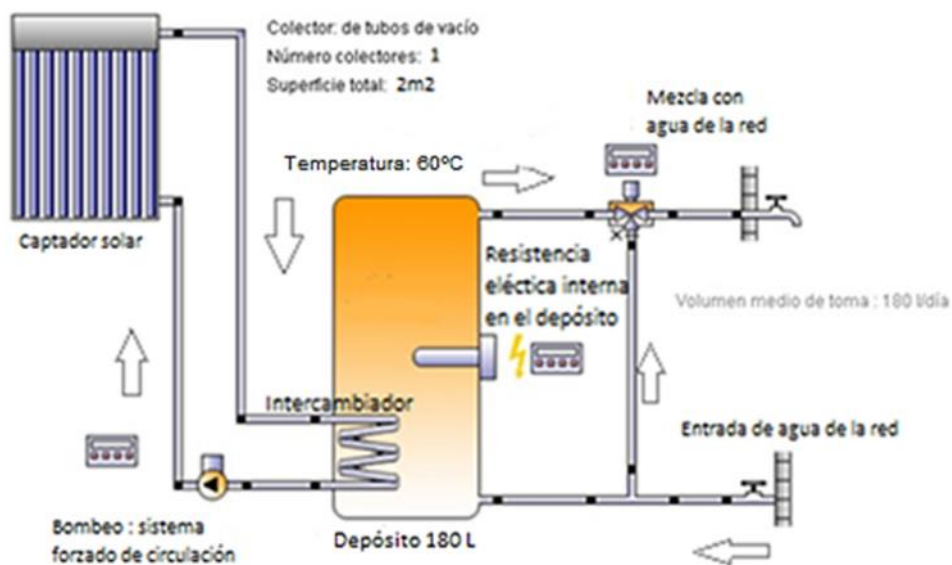
Los siguientes esquemas reflejan los equipos que componen las instalaciones de producción de ACS de cada una de las tres alternativas planteadas:



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Esquemas de alternativas de estudio. (a) Alternativa 1: Calentador de gas natural (b) Alternativa 2: Sistema solar térmico con auxiliar calentador de gas (c) Alternativa 3: Sistema solar térmico con auxiliar resistencia eléctrica. (Fuente: elaboración propia con software Polysun 2.0)

4.2. Análisis vivienda plurifamiliar Barcelona/AMB

Como paso previo al planteamiento de los escenarios, se debe realizar un breve análisis de la situación de la vivienda plurifamiliar en el AMB y en la ciudad de Barcelona, así como de su ocupación y forma de abastecimiento de agua caliente. A continuación se adjunta el número total de viviendas familiares principales según el número de habitantes residentes, y el número de habitantes a los que equivalen.

Tabla 1. Número de hogares principales (y habitantes equivalentes) según el número de personas que residen, 2011. Fuente: www.idescat.cat y encuesta de condicions de vida i hàbits de la població de Catalunya (Cens 2011)

Número personas por vivienda	Viviendas		Habitantes	
	Barcelona	Total AMB	Barcelona	Total AMB
<i>Una</i>	139100	221000	139100	221000
<i>Dos</i>	274900	481000	549800	962000
<i>Tres</i>	113300	245100	339900	735300
<i>Cuatro</i>	109800	232800	439200	931200
<i>Cinco o más</i>	26000	68100	130000	340500
TOTAL (viviendas/habitantes)	663000	1249200	1598000	3190000

En el AMB, en 2011, el 76,2% de las viviendas disponen de instalación de gas, mientras en la ciudad de Barcelona el porcentaje es mayor; el 87,3% (IDESCAT, Cens 2011)

Se considerará que un piso tiene agua caliente central cuando dispone de una instalación fija y común que suministra agua caliente a todas o la mayor parte de las viviendas que contiene. En el AMB, en 2001, el 16,3% de las viviendas disponen de sistema de agua caliente central mientras el 83,7% corresponde a instalaciones no centralizadas (IDESCAT, Cens 2001). Aunque es un dato antiguo que puede haber variado bastante, se usará como factor de corrección sobre el total de pisos con gas, al ser imposible plantear escenarios de sustitución sobre el 100% de pisos, ya que influyen diversos motivos técnicos, económicos o sociales.

En cuanto a la tipología de habitaje más habitual, se usan datos de 2006, por dificultad de acceso a datos más recientes, aun así, se supone que la variación no será relevante. Tanto en el AMB como en Barcelona la tipología de piso predomina claramente sobre la unifamiliar, siendo en Barcelona el 97% de las viviendas principales y en el AMB el 82% (IDESCAT, Cens 2006).

Así, se recalcula el número de habitajes principales según los factores expuestos en los tres párrafos anteriores, y se obtiene el número de habitajes principales que son pisos multifamiliares con instalación de gas y que disponen de un sistema de agua caliente individual (no centralizado), tanto en el AMB como en Barcelona. A partir del número de viviendas principales plurifamiliares con gas y sin sistema central de agua caliente, y del número de habitantes por vivienda, se calcula el número de habitantes en cada tipología de vivienda (habitante de vivienda plurifamiliar).

Tabla 2. Número de hogares principales plurifamiliares con gas y sin sistema central de ACS (y habitantes equivalentes), según el número de personas que residen. Fuente: elaboración propia

Número personas por vivienda	Viviendas		Habitantes	
	Barcelona	Total AMB	Barcelona	Total AMB
<i>Una</i>	98591	114876	98591	114876
<i>Dos</i>	194844	250025	389687	500050
<i>Tres</i>	80305	127403	240914	382211
<i>Cuatro</i>	77824	121010	311296	484040
<i>Cinco o más</i>	18428	35399	92141	176993
TOTAL (viviendas/población)	469992	648713	1132630	1658169

A modo de resumen decir que gran parte de las viviendas disponen de instalación de gas (con un mayor porcentaje en Barcelona que en el AMB), y que la mayoría no disponen de sistema central de agua caliente. La tipología de vivienda más habitual es el piso plurifamiliar (mayor parte en Barcelona). En la ciudad de Barcelona dominan las viviendas de 2 o de 1 persona respecto al resto del AMB, donde hay más viviendas de más de 3 personas, aunque la tipología de vivienda más habitual es también la de 2 personas.

V. RESULTADOS

5.1. Análisis del Ciclo de Vida del caso de estudio

Se busca evaluar y comparar el impacto ambiental del ciclo de vida de tres alternativas planteadas para el abastecimiento de ACS. En esta entrega, únicamente se incluye

i. Definición de objetivo y alcance de estudio

El objetivo del ACV es obtener unos resultados comparativos entre las tres alternativas, claros y entendibles, de aplicación en una vivienda plurifamiliar, con tal de conocer los principales impactos ambientales asociados a cada una de ellas. Se espera que los menores impactos correspondan a la alternativa termosolar con auxiliar de gas, ya que, a priori, es la que parece más sostenible en cuanto al uso de energía, aún así, es imprescindible analizar el ciclo de vida completo. Los principales destinatarios del estudio se limitan a las organizaciones y entidades asociadas al AMB y los ciudadanos de la AMB, por las limitaciones espacio-temporales inherentes a la mayoría de ACV.

En cuanto al alcance, se define a continuación la unidad funcional y los límites del sistema.

Unidad funcional.

Se evaluará el ciclo de vida (en las etapas de fabricación, uso y desmantelamiento y disposición final) de tres sistemas de componentes variables, diseñados para suplir los kWh de energía asociada a la demanda total anual de agua caliente sanitaria de una persona, residente en vivienda plurifamiliar de seis personas, ubicada en la ciudad de Barcelona (España), durante 20 años.

Límites del sistema

A modo de reducir la incertidumbre, se desprecian ciertas fases del ciclo de vida por la no disponibilidad de información precisa. Sin embargo, se considera que las fases no incluidas no son discriminatorias como para invalidar las conclusiones del estudio. En los esquemas siguientes (Figura 2) se muestran los posibles límites de los tres sistemas planteados, que abarcan: la etapa de fabricación de componentes, donde se considera la extracción de materias primas, ensamblaje de los sistemas y transporte al punto de instalación, la etapa de uso y la etapa de desmantelamiento y disposición final, que incluye únicamente el transporte de las partes hasta su punto de reciclaje o vertedero.

La etapa de instalación es una fase importante para el 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 (Raigosa, 2012). 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.

En cuando a la etapa de fin de vida, queda restringida en los límites del sistema analizado debido a que existe muy poca información tanto del desmantelamiento de estos sistemas como del reciclaje/reuso de los materiales de los sistemas solares. Específicamente, para el presente caso de estudio, que trata un sistema forzado con sistema auxiliar de 20 años de vida útil, existe poca experiencia de los procesos involucrados porque en la mayoría de los casos estas nuevas tecnologías no han llegado a su fin de vida.

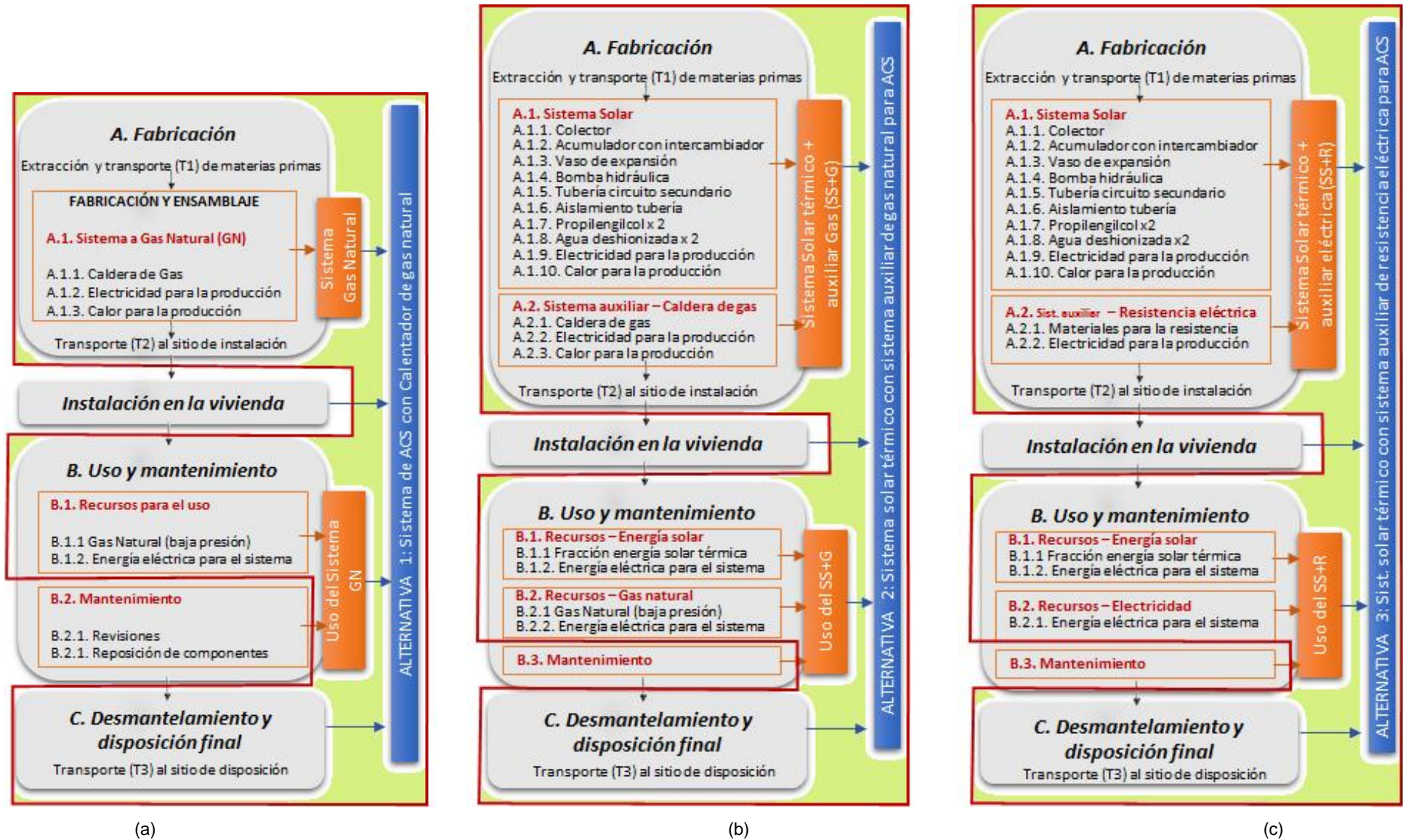


Figura 2. Límites del sistema de las alternativas (a) Alternativa 1: Calentador de gas natural (b) Alternativa 2: Sistema solar térmico con auxiliar calentador de gas (b) Alternativa 3: Sistema solar térmico con auxiliar resistencia eléctrica. (Fuente: elaboración propia)

Tipos y fuentes de datos - calidad

A manera de agilizar el planteamiento del ACV, todos los procesos y componentes fueron tomados de la base de datos *Ecoinvent* v.3.1 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2013), y modificados según la conveniencia, para ajustar el análisis al dimensionado de las alternativas y al lugar de uso del sistema (Barcelona, España). En concreto, el estudio se apoya en las recomendaciones del manual de la base de datos, referido a instalaciones de paneles solares (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007), por el cual se definen las materias primas, unidades de instalación y energías asociadas al proceso de obtención de calor para el ACS. Según el manual, los resultados de calor de los sistemas individuales se basan en cálculos con el programa de simulación Polysun 3.3 (Polysun, 2002).

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) siendo la base de datos más completa actualmente en el mercado. Tienen como objetivo estratégico proporcionar los datos de ACV más relevantes, confiables, transparentes y accesibles para los usuarios en todo el mundo, a fin de apoyar la evaluación del impacto ambiental y socioeconómico de las decisiones. Esta base cuenta con cierto prestigio que le otorga credibilidad de aceptación a los resultados. La calidad de los datos se mantiene gracias a un sistema de validación y revisión rigurosa. Algunas características claves son:

- Cubre una gran variedad de datos.
- Está bien documentado (disponibilidad de extensos informes de fondo).
- Especificación constante de datos inciertos como distribución logarítmica normal con desviación estándar.

ii. Análisis del inventario

Se consideran todos los recursos consumidos en las etapas del ciclo de vida de: (A) fabricación y transporte a sitio de instalación (B) Uso y (C) transporte a disposición final.

Los productos y procesos tomados de la base de datos *Ecoinvent* fueron modificados para adaptarlos lo más posible al caso de estudio. En todos los procesos y etapas donde se involucre un consumo de energía eléctrica, éste está referido al mix eléctrico español (salvo el caso de la fabricación del colector de tubos al vacío que se realiza en Irlanda con el mix eléctrico de Gran Bretaña). En el caso de los consumos de energía térmica (tanto los asociados a gas natural como a otras fuentes), se han referido en todos los casos a la categoría *Europe without Switzerland* (excepto nuevamente para la fabricación de los tubos al vacío).

Para la fabricación, el análisis de impactos incluye la extracción de materias primas, el transporte hasta su punto de transformación (T1), la fabricación de los componentes, el ensamblaje del sistema y el transporte del sistema al punto de instalación (T2). Se excluye el procedimiento de instalación del sistema en la vivienda. Las válvulas y aparato para controlar el circuito, así como la línea de distribución de agua desde la red al sistema de calentamiento y de éste hacia el punto de consumo fueron despreciados, por considerarse equivalentes entre las tres alternativas, por lo cual no son determinantes de la decisión. El tiempo de vida útil del ensamblaje es de 20 años, para todas las unidades, excepto el fluido caloportador (propilenglicol más agua desionizada) que debe ser sustituido a los 10 años de funcionamiento del sistema; por lo cual se considera por duplicado en el ensamblaje de los sistemas solares (alternativa 2 y alternativa 3).

La etapa de uso se refiere netamente a la producción de la energía térmica necesaria para la demanda de agua caliente sanitaria (excluyendo mantenimiento), por lo cual se considera el consumo de gas natural (alternativa 1 y 2), el consumo eléctrico (alternativa 3). Durante esta etapa se considera a su vez la energía global del sistema para su funcionamiento (asociado a todas las alternativas), que se refiere tanto al funcionamiento de la bomba y el control del sistema. Para este consumo energético, se

mantuvo la referencia de la base de datos, en cuanto a los kWh necesarios en cada sistema. Ésta demanda es referenciada en la [Tabla 3](#).

En cuanto a la etapa de desmantelamiento y disposición final, se considera únicamente el transporte de los materiales, asumiendo una distancia local estándar de 50km desde el punto de instalación hasta el punto de disposición final, independientemente si éste es a vertedero o a reciclaje.

En la [Tabla 3](#) se mencionan las especificaciones del inventario, referenciando el proceso/producto seleccionado de la base de datos y comentando las modificaciones realizadas para una mejor adaptación al caso de estudios.

Tabla 3. Descripción del inventario. Fuente: elaboración propia con referencias de (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2013)

		Sub-Proceso/Sub-Producto	Ref. Ecoinvent)	Ref. propia	Cant.	Und.	Comentario / modificación
1. Calentador instantáneo de gas natural	A. Fabricación: Caldera de gas natural	Materias primas + electricidad y calor de ensamblaje	Gas boiler, 10kW {RER} production Alloc Def, U	Caldera gas , 10kW {ES}	2,5	p	Una unidad de gas boiler se corresponde con una unidad de oil boiler. Por lo cual, se modifica el oil boiler al mix eléctrico español y se incluyen 2,5 unidades, ya que se requiere una potencia de 25kW.
		Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	2,5	tkm	Transporte de 50 kg de caldera gas, distancia local estándar (50 km)
	B. Uso Consumos de caldera	Gas natural + Electricidad del sistema + Emisiones de combustión	Heat, central or small-scale, natural gas {CH} heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW Alloc Def, U	B. Uso: Calor por gas natural {ES} at boiler modulating <100kW	67900	kWh	Se cambia el consumo de gas de CH a RoW, el mix eléctrico a España y se elimina la fracción del equipo aportada. Compuesto por: → Gas Natural, low pressure (0,0266m³/MJ) → Funcionamiento del sistema: Electricity, low voltage {ES} (2,891E-3 kWh/MJ) → B.3. Otras emisiones de la combustión del Gas natural
	C. final T3	Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	2,5	kWh	Transporte de 50 kg de caldera gas, distancia local estándar (50 km)
2. Sistema solar térmico con auxiliar caldera de gas	A. Fabricación: Sistema solar + caldera gas						
	A.1. Sistema solar - para aux. Gas (2m²)	Sistema solar (2m² colector y 180L acumulación + componentes)	Solar collector system, Cu flat plate collector, one-family house, hot water {RoW} solar collector system installation, Cu flat plate collector, one-family house, hot water Alloc Def, U	Sistema solar tubos vacío (2m² - 180 L) {ES}	1	p	Cambio del colector plano por tubos al vacío (definido en el sistema, 2m²), cambio cantidades de propilenglicol y agua desionizada según el tiempo de vida y adaptación del depósito de 600 L a 180 L. Adaptación de los siguientes componentes al mix eléctrico español: vaso de expansión, bomba, tanque acumulador.
		Mantenimiento y desgaste del barco + + combustible	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for Alloc Def, U	Transporte marítimo	105	tkm	Transporte colector de Kingspan Renewables Ltd.(Irlanda Norte) a Bilbao en barco (1260 km) [83,4 kg]
	A.2. Caldera gas	Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	50 + 14,4	tkm	→ Transporte colector de Bilbao a Barcelona en camión (600 km) [83,4 kg] → Transporte resto componentes (bomba, vaso expansión, depósito, tuberías de cobre, propilenglicol, agua desionizada, aislamiento tubería) a distancia local estándar (50km) [288,3 kg]
		Materias primas + electricidad y calor de ensamblaje	Gas boiler, 10kW {RER} production Alloc Def, U	Caldera gas, 10 kW {ES}	2,5	p	Una unidad de gas boiler se corresponde con una unidad de oil boiler. Por lo cual, se modifica el oil boiler al mix eléctrico español y se incluyen 2,5 unidades, ya que se requiere una potencia de 25kW.
Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible		Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	2,5	tkm	Transporte de 50 kg de caldera gas, distancia local estándar (50 km)	

	B. Uso	solar+ consumo caldera	Energía solar + Gas natural + Electricidad del sistema	Heat, solar+gas, one-family house, for hot water {CH} heat production, at hot water tank, solar+gas, flat plate, one-family house Alloc Def, U	B. Uso: Calor, solar+gas {ES}	67900	kWh	<p>Se adapta la relación entre el aporte solar y el aporte por gas natural según el dimensionado de cada sistema. Se cambia el consumo de gas de CH a RoW, el mix eléctrico a España y se elimina la fracción del equipo aportada.</p> <p>Contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Energy, solar, converted (0,64MJ/MJ) → B. Uso: Calor por gas natural {ES} at boiler modulating <100kW (0,36MJ/MJ) → Funcionamiento del sistema: Electricity, low voltage {ES} (0,0098 kWh/MJ)
	C. final	T3	Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	17,51	tkm	Transporte de 350,2 kg de sistema, distancia local estándar (50 km)
3. Sistema solar térmico con auxiliar resistencia eléctrica	A. Fabricación: Sistema solar + caldera gas		Sistema solar (2m ² colector y 180l acumulación + componentes)					
	A.1. Sistema solar - para aux. Elect. (2m ²)		Solar collector system, Cu flat plate collector, one-family house, hot water {RoW} solar collector system installation, Cu flat plate collector, one-family house, hot water Alloc Def, U					
	A.2. Resistencia		Sistema solar tubos vacío (2m ² - 180) {ES}					
	Resistencia		Mantenimiento y desgaste del barco + + combustible					
	Resistencia		Transporte marítimo					
	Resistencia		Transporte colector de Kingspan Renewables Ltd.(Irlanda Norte) a Bilbao en barco (1260 km) [83,4 kg]					
B. Uso		solar+consumo eléctrico	Energía solar + Energía para calentar + Electricidad del sistema	Heat, solar+electric, multiple-dwelling, for hot water {CH} heat production, at hot water tank, solar+electric, flat plate, multiple dwelling Alloc Def, U	B. Uso: Calor, solar+electric {ES}	67900	kWh	<p>Cambio del colector plano por tubos al vacío (definido en el sistema, 2m²), cambio cantidades de propilenglicol y agua desionizada según el tiempo de vida y adaptación del depósito de 600 L a 180 L.</p> <p>Adaptación de los siguientes componentes al mix eléctrico español: vaso de expansión, bomba, tanque acumulador.</p> <ul style="list-style-type: none"> → Transporte colector de Bilbao a Barcelona en camión (600 km) [83,4 kg] → Transporte resto componentes (bomba, vaso expansión, depósito, tuberías de cobre ,propilenglicol, agua desionizada, aislamiento tubería) a distancia local estándar (50km) [288,3 kg]
C. final	T3	Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	Resistencia eléctrica auxiliar, 5kW {ES}	1	p	Se modifica la energía de ensamblaje al mix eléctrico español.
B. Uso		solar+consumo eléctrico	Energía solar + Energía para calentar + Electricidad del sistema	Heat, solar+electric, multiple-dwelling, for hot water {CH} heat production, at hot water tank, solar+electric, flat plate, multiple dwelling Alloc Def, U	B. Uso: Calor, solar+electric {ES}	67900	kWh	<p>Se adapta la relación entre el aporte solar y el aporte por electricidad. Se cambia el consumo de energía al mix eléctrico de España y se elimina la fracción del equipo aportada. Contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Energy, solar, converted (0,64 MJ/MJ) → Electricidad para producir calor {ES} (0,36 MJ/MJ) → Funcionamiento del sistema: Electricity, low voltage {ES} (0,0098 kWh/MJ)
C. final	T3	Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	Resistencia eléctrica auxiliar, 5kW {ES}	1	p	Transporte local estándar resistencia (50 km) [1,6 kg]
B. Uso		solar+consumo eléctrico	Energía solar + Energía para calentar + Electricidad del sistema	Heat, solar+electric, multiple-dwelling, for hot water {CH} heat production, at hot water tank, solar+electric, flat plate, multiple dwelling Alloc Def, U	B. Uso: Calor, solar+electric {ES}	67900	kWh	<p>Se adapta la relación entre el aporte solar y el aporte por electricidad. Se cambia el consumo de energía al mix eléctrico de España y se elimina la fracción del equipo aportada. Contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Energy, solar, converted (0,64 MJ/MJ) → Electricidad para producir calor {ES} (0,36 MJ/MJ) → Funcionamiento del sistema: Electricity, low voltage {ES} (0,0098 kWh/MJ)
C. final	T3	Mantenimiento y desgaste del vehículo + desgaste de la vía + combustible	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Alloc Def, U	Transporte por carretera 3.5-7.0 mton - EURO6	Resistencia eléctrica auxiliar, 5kW {ES}	0,08	tkm	Transporte local estándar resistencia (50 km) [1,6 kg]

iii. *Evaluación de impacto ambiental e interpretación de los resultados*

Con tal de determinar y analizar los impactos de cada alternativa se usarán los métodos de evaluación de impactos IPPC 2013 y ReCiPe Endpoint (H), disponibles ambos en el software SimaPro, y siguiendo las etapas estandarizadas de ACV de la ISO 14040. El dimensionado de cada alternativa se ha realizado para abastecer de ACS de una vivienda plurifamiliar de 6 personas (con 4 dormitorios), pero los resultados de impacto se expresan por habitante de vivienda plurifamiliar.

ReCiPe Endpoint (H)

En cuanto al método ReCiPe, es el sucesor de los métodos Eco-indicador 99 y CML-IA, e integra el enfoque orientado a daños (Endpoint) del primero y el enfoque orientado a los problemas (Midpoint) del segundo. Así, tiene categorías de impacto de Midpoint y de Endpoint, aunque en el presente proyecto se usará la de Endpoint. En el Midpoint la incertidumbre de los resultados es relativamente baja, pero se extraen numerosas categorías de impacto, lo que puede dificultar la interpretación de los resultados.

Este método presenta 17 categorías de impacto a nivel de Midpoint, que a nivel de Endpoint se agrupan en 3 categorías de impacto final (salud humana, ecosistemas y costos de excedentes de recursos). Los factores de caracterización del Midpoint se multiplican por factores de daño, para obtener los valores de caracterización de Endpoint. Estas 3 categorías de punto final, se normalizan, ponderan y agregan en una puntuación única. La normalización se basa en el informe de Sleeswijk et al. (2007) y los valores se calculan por ciudadano (en la Unión europea de 25+3 se usan 464.036.294 ciudadanos y en el mundo 6.055.000.000 ciudadanos). La ponderación de las tres categorías de impacto del Endpoint la realiza un grupo de expertos, para cada una de las tres perspectivas culturales (escenarios).

En el método se agrupan las distintas fuentes de incertidumbre y diferentes decisiones (valor) en un número limitado de perspectivas o escenarios, de acuerdo con la "Teoría Cultural" de Thompson 1990. En ésta se plantean 3 perspectivas culturales, que representan un conjunto de decisiones e hipótesis sobre cuestiones como el tiempo o las expectativas de que el manejo adecuado o el futuro desarrollo tecnológico pueden evitar daños futuros y son:

- Individualista (I): a corto plazo, el optimismo de que la tecnología puede evitar muchos problemas en el futuro.
- Jerárquica (H): modelo de consenso, ya que suele encontrarse en los modelos científicos, con lo que se suele considerar el modelo por defecto.
- Igualitaria (E): a largo plazo, basada en el pensamiento del principio de precaución.

Se usa el enfoque de Endpoint ya que, aunque su incertidumbre es mayor, permite obtener unos resultados de puntuación única, que son fáciles de entender e interpretar y permiten la comparativa entre las distintas alternativas. Se sigue el enfoque cultural jerárquico ya que consiste en un modelo de consenso a medio plazo, y en general, está aceptado científicamente como el modelo por defecto.

A continuación se adjuntan los resultados de evaluación del daño y de puntuación única de cada alternativa mediante el método ReCiPe Endpoint (H), que considera diversos impactos ambientales además del cambio climático.

En la Figura 3 se representa, en forma de porcentaje, los resultados de evaluación del daño de cada alternativa.

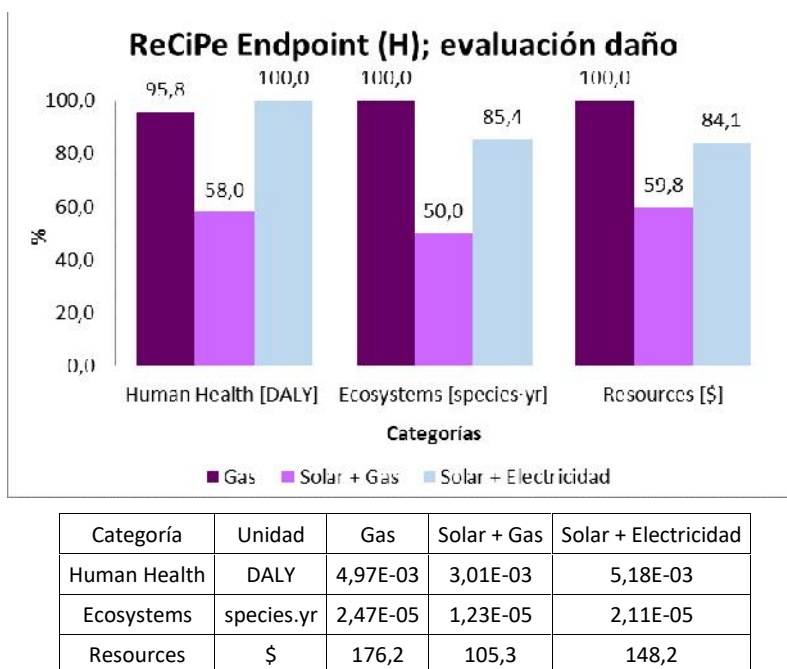


Figura 3. Evaluación del daño.ReCiPe Endpoint (H).

En cuanto a los resultados de evaluación del daño, se obtiene que en las tres categorías de impacto, la mejor alternativa según sus impactos es la de solar con gas, con casi la mitad de los impactos que las otras alternativas. En las categorías de ecosistemas y recursos, la alternativa de mayores impactos es la de gas, mientras en la categoría de salud humana, es la alternativa de solar con electricidad la que tiene los mayores impactos, pero bastante parecidos a los de la de la alternativa de gas.

Estos resultados se corresponden con lo que se esperaba, ya que el aporte solar reduce el consumo de las otras energías durante el uso (gas en este caso), lo que reduce sus impactos en el ciclo de vida. Aun así, se esperaba que la alternativa solar con electricidad fuese mucho mejor que la alternativa de gas, por el mencionado aporte solar, pero únicamente se diferencian en hasta en un 15%. Entre las alternativas solares, la que usa electricidad como energía de apoyo tiene unos impactos superiores (58%) que la que usa gas natural, con lo que el tipo de energía que se usa tiene un peso considerable. Ésto confirma que el mix eléctrico español implica unas emisiones e impactos considerables, lo que hace más sostenible el uso de gas frente la electricidad para suplir una misma demanda energética.

En la Figura 4 se representan los resultados de puntuación única según sus puntos de impacto.

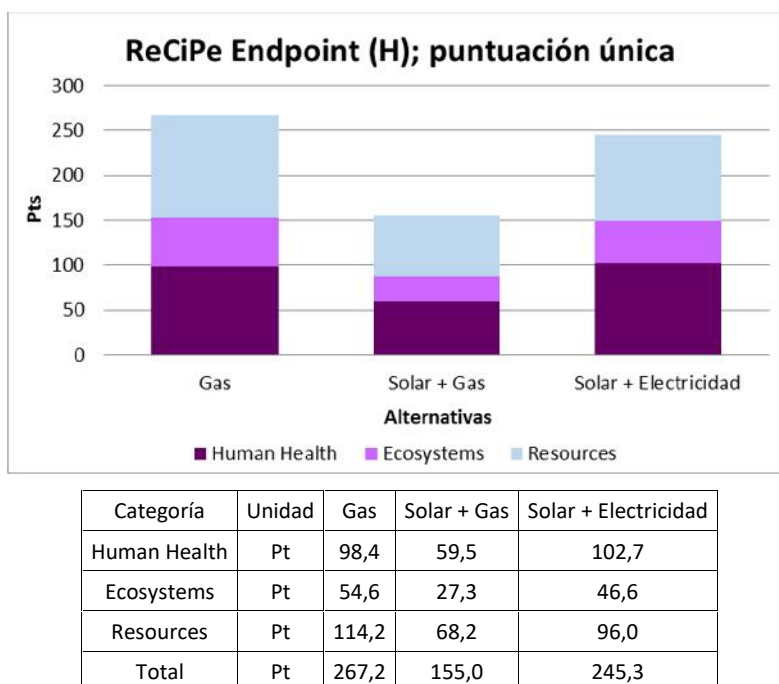


Figura 4. Puntuación única. ReCiPe Endpoint (H).

En cuanto a los resultados de puntuación única, confirman los resultados anteriormente comentados de evaluación del daño, ya que la alternativa con menores impactos totales es la de solar con gas (155 Pts), seguida de la de solar con electricidad (245 Pts) y finalmente, la que presenta unos impactos mayores es la alternativa de gas (267 Pts). La interpretación de estos resultados se puede hacer de forma análoga a los anteriormente comentados; el aporte solar reduce los impactos globales y entre la energía de apoyo de electricidad o de gas natural, el uso de electricidad implica unos impactos considerablemente mayores que el de gas natural.

A continuación se adjuntan los resultados de impacto del ciclo de vida en forma de red de flujo para cada una de las alternativas individualmente (Figura 5, Figura 6 y Figura 7), con tal de analizar dónde se localizan los principales impactos de los distintos materiales o consumos y de las distintas etapas del ciclo de vida. Así se podrá localizar y determinar el peso de las principales fuentes de impacto, ya sean componentes o procesos.

De acuerdo a la Figura 5 referente a la alternativa de gas, durante todo su ciclo de vida, el 98% del impacto es generado por el uso del sistema, es decir, por el uso de energías del calentador, siendo la mayor parte de esta contribución el gas natural (55,4%) y, en menor medida, otras emisiones derivadas de la combustión (40,6%) y la electricidad necesaria para el funcionamiento del sistema (2%). El impacto de la fabricación de la caldera de gas es notablemente bajo (<2%), su impacto más significativo es el del acero (1%), aunque su reciclaje reporta un ahorro del 0,3%. El transporte a fin de vida es despreciable.

En cuanto a la alternativa de solar + gas (Figura 6), el 73% de los impactos se corresponden con el uso y el 27% se atribuyen a la fabricación del sistema solar con soporte de caldera de gas.

Dentro del uso, el mayor impacto se corresponde con el uso de gas natural para generar calor (61%), mientras la electricidad necesaria para el funcionamiento del sistema corresponde al 12% de los impactos. De la fabricación, la mayoría de los impactos se derivan del sistema solar (24%), mientras la caldera de gas supone menores impactos (3% aproximadamente). Los impactos del sistema solar se centran principalmente en el acero del depósito de acumulación (11%), en el cobre y acero del sistema de tubos de vacío (6%) y en el cobre de las tuberías (5%). Se evitan parte de los impactos mediante el reciclaje de acero y hierro. Los impactos del acumulador se centran en el acero (12,3%) pero su reciclaje reporta un ahorro del 3%. Del colector, el impacto se centra en el cobre (3,4%). De la caldera, como se ha comentado anteriormente, los mayores impactos se asocian al acero y al cobre para su fabricación.

Respecto a la red de flujo de la alternativa de gas, el peso del uso sobre los impactos se reduce, al reducirse el consumo de energía, y la fabricación toma un peso más grande; pasando del 2 al 27%.

En cuanto a la alternativa de solar + electricidad (Figura 7), el 85% de los impactos se corresponden con el uso y únicamente el 15% se atribuyen a la fabricación del sistema solar con soporte de electricidad.

Dentro del uso, el mayor impacto se corresponde con el uso de electricidad para generar calor (77,2%), mientras la electricidad necesaria para el funcionamiento del sistema supone el 7,6% de los impactos. De la fabricación, prácticamente la totalidad de los impactos se derivan del sistema solar, la resistencia eléctrica tiene un impacto ínfimo. Los impactos del sistema solar se centran principalmente en el acero del depósito de acumulación (7%), en el cobre y acero del sistema de tubos de vacío (4%) y en el cobre de las tuberías (3%). Se evitan parte de los impactos mediante el reciclaje de acero y hierro.

Respecto a la red de flujo de la alternativa solar con soporte de gas, el peso del uso sobre los impactos es mayor, con lo que la fabricación pierde peso; pasando del 27 al 15%. Esto confirma que el uso de electricidad implica mayores impactos que el uso de gas natural como energía de apoyo.

A modo de resumen, decir que de manera general, la etapa de uso es la que representa mayor impacto en las tres alternativas, aunque con distintas contribuciones. La contribución al impacto de la fase de fabricación es mayor en la alternativa 3 que en la 2 y los impactos de la fase de uso son mayores en la 3 que en la 2. Esto es debido al mayor impacto que reporta el uso de electricidad respecto al de gas natural para cubrir una misma demanda de calor, además de que el sistema 2 tiene unas dimensiones mayores, ya que incorpora tanto el sistema solar como la caldera, con lo que su consumo de materiales y energía para la fabricación deberán ser mayores. La etapa de fin de vida en todas las alternativas no aporta más del 0,5%. Sin embargo, de acuerdo a los límites del sistema, sólo se considera el transporte hasta el sitio de disposición, además del reciclaje de metales (el acero y el cobre) que viene predeterminado. Habría que evaluar cuál sería el impacto al considerar procesos de reciclado y/o re-uso de otros materiales, como el vidrio de los tubos al vacío, pero no se dispone de experiencias contrastadas. De todas formas, considerando que la etapa de uso es relevante para los tres casos (del 73 al 98%) debido al período de vida útil considerado (20 años), lo más probable es que los procesos requeridos para la transformación de los materiales una vez usados, no sean más relevantes que los mismos procesos de obtención de la materia prima, en la etapa de fabricación.

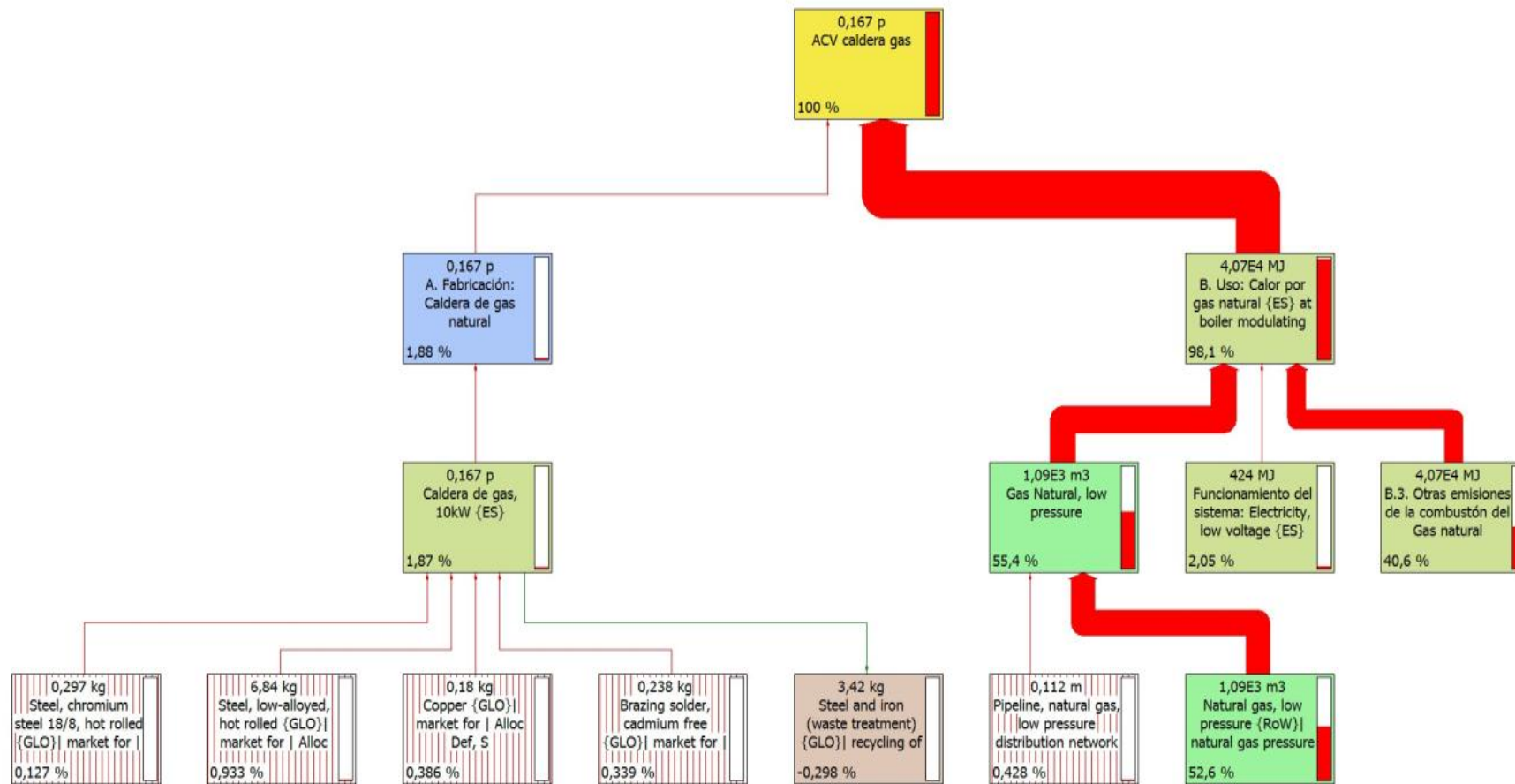


Figura 5. Diagrama de flujos del Ciclo de Vida de la Caldera de Gas. ReCiPe Endpoint (H).

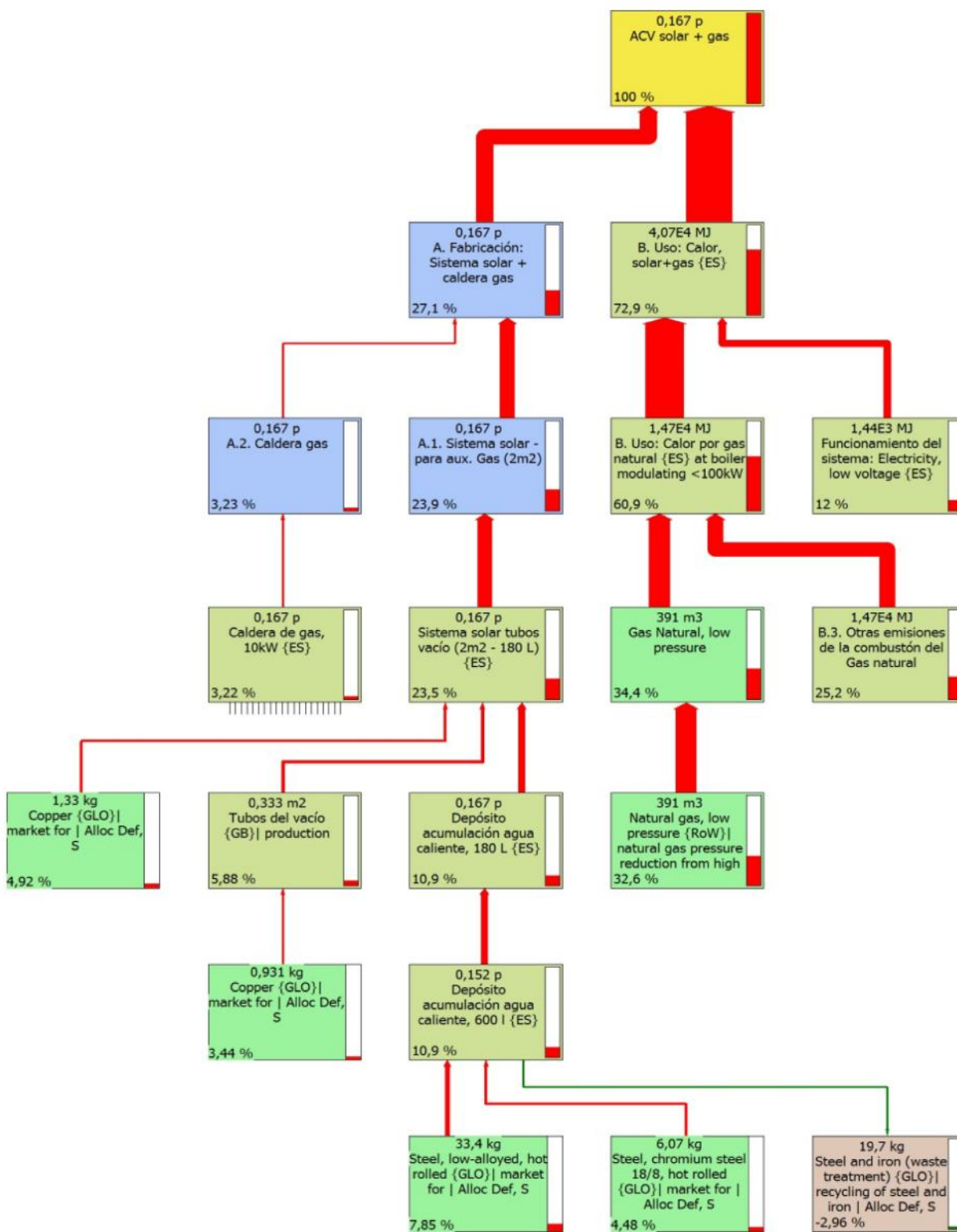


Figura 6. Diagrama de flujos del Ciclo de Vida del sistema Solar +Gas. ReCiPe Endpoint (H).

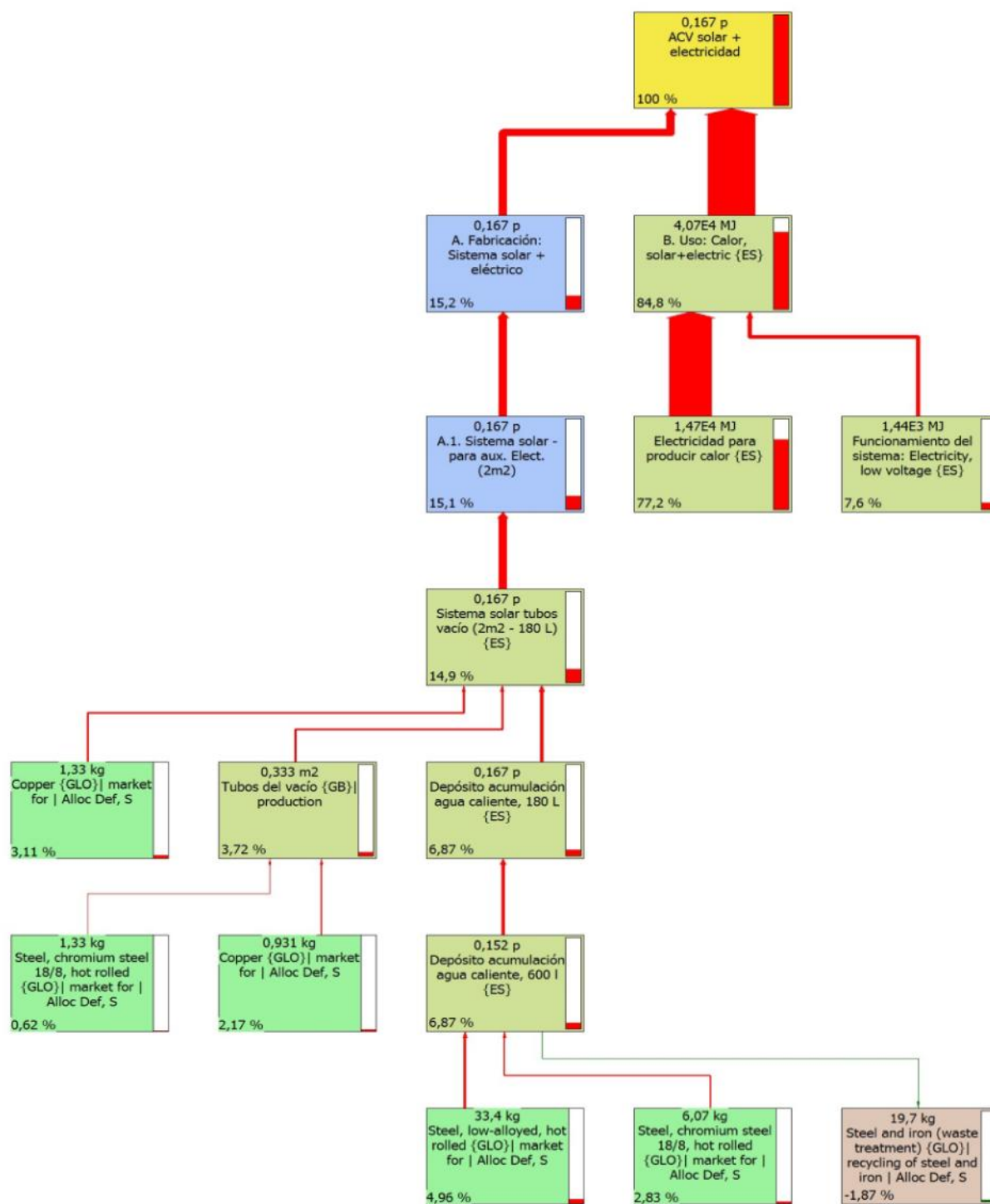


Figura 7. Diagrama de flujos del Ciclo de Vida del sistema Solar +Electricidad. ReCiPe Endpoint (H).

IPCC 2013 (GWP 20a)

El IPCC 2013 lo desarrolla el Panel Internacional sobre el Cambio Climático y establece tres posibles horizontes temporales (GWP 20 años, GWP 100 años y GWP 500 años), con escala espacial global. Los factores de caracterización del IPCC para el potencial de calentamiento global directo de las emisiones gaseosas no incluyen las emisiones indirectas (o secundarias) de GEI, pero consideran la absorción de CO₂ biogénica. Los resultados de impacto sobre el calentamiento global se expresan como kg (ó T) de CO₂ equivalente, con lo que son fáciles de interpretar. Este método tiene enfoque midpoint, con lo que no presenta normalización ni ponderación, y sus resultados tienen menor incertidumbre que los de los métodos de endpoint.

A continuación se adjuntan los resultados obtenidos a partir de los métodos GWP 20 años, en kg de CO₂ equivalente, lo que permitirá obtener valores únicos para cada alternativa que se usarán en los escenarios de sustitución posteriores.

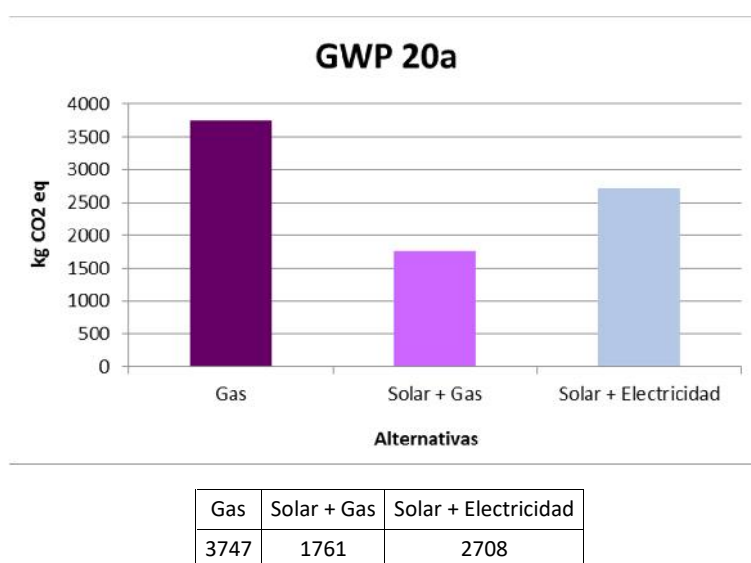


Figura 8. Resultados método IPCC 2013 Global Warming Potential a 20 años..

Se puede observar que la alternativa de gas tiene unos impactos sobre el cambio climático a 20 años superiores a las otras dos alternativas; el doble de impactos que la alternativa de solar con gas (que es la que presenta menores impactos sobre el cambio climático). La alternativa de solar con electricidad presenta unos impactos intermedios entre las otras dos alternativas, no siendo la mejor ni la peor en cuanto a sus impactos. Éstos resultados comparativos son equivalentes a los obtenidos mediante el método ReCiPe, y los impactos se centran básicamente en la etapa de uso, concretamente dependen sobretudo del tipo de energía que se utiliza para generar el calentamiento, con lo que la interpretación de dichos resultados es equivalente a la expuesta anteriormente.

5.2. Escenarios de sustitución

Se plantean distintos escenarios de sustitución de la tecnología convencional de calentador de gas natural por la tecnología solar térmica con uso de calentador de gas natural como energía de apoyo (mejor tecnología resultante del análisis comparativo de ACV), respecto a un escenario base de no sustitución. Los escenarios son:

- Escenario 0: No sustitución (100% pisos con gas)
- Escenario 1: Sustitución gas- solar + gas (pisos 2 personas)
- Escenario 2: Sustitución gas- solar + gas (pisos 1-2 personas)
- Escenario 3: Sustitución gas- solar + gas (pisos 1-3 personas)
- Escenario 4: Sustitución gas- solar + gas (pisos >3 personas)
- Escenario 5: Sustitución gas- solar + gas (30% pisos)
- Escenario 6: Sustitución gas- solar + gas (60% pisos)
- Escenario 7: Sustitución gas- solar + gas (90% pisos)
- Escenario 8: Sustitución gas- solar + gas (100% pisos)

Para cada escenario, se determinarán las emisiones de GEI asociadas a partir de los resultados obtenidos con el método IPCC 2013 de cambio climático GWP 20a (Tabla 4). También se calculará el potencial ahorro de emisiones respecto al escenario base.

Tabla 4. Resumen de resultados ACV Método IPCC 2013 GWP 20a

GWP 20 a (kg CO₂ eq/ persona piso)		
Gas	Solar + Gas	Solar + Electricidad
3746,78	1761,11	2708,34

Como se ha comentado anteriormente, como la unidad funcional está definida para determinar los impactos de cada alternativa durante 20 años de vida útil por habitante de vivienda plurifamiliar, en los escenarios de sustitución solo se considerarán los habitantes de aquellas viviendas principales que sean pisos (97% en Barcelona y 82% en el AMB). De éstos, se toman aquellos que no disponen de sistema de agua caliente central (83,7%) pero que disponen de instalación de gas (87% en Barcelona y 76% en el AMB). No tiene sentido plantear la sustitución en edificios con sistema central de agua caliente, ya que, a priori, ya disponen de sistema de captación solar térmico o de un sistema centralizado de distribución de calor.

Se ha asumido que el consumo por persona y sus impactos derivados serán muy parecidos, independiente al número de personas que habitan en la vivienda, ya que los mayores impactos se derivan del uso de energía y no de la instalación. Así, los resultados obtenidos en el análisis de ciclo de vida referidos a los impactos por habitante de vivienda plurifamiliar de 6 personas serán extrapolados directamente a las otras ocupaciones de los habitajes, sin aplicar factor de corrección.

A partir de los impactos obtenidos de GWP 20 años, expresados como kg CO₂ equivalente/habitante plurifamiliar (Tabla 4) y del número total de habitantes en viviendas plurifamiliares con gas y sin sistema central de ACS (Tabla 2), se calculan los kg de CO₂ equivalentes emitidos en total durante los 20 años en el AMB y en Barcelona, según las hipótesis de cada escenario. Los resultados obtenidos son:

Tabla 5. Emisiones de CO₂ equivalente emitidos durante 20 años en el AMB y Barcelona.

Escenarios	Emisiones (T CO ₂ eq)		Ahorro (%)	
	Barcelona	AMB	Barcelona	AMB
E0	4243714	6212789	-	-
E1	3469925	5219857	18,2	16,0
E2	3274156	4991752	22,8	19,7
E3	2795780	4232809	34,1	31,9
E4	3442622	4900200	18,9	21,1
E5	3569006	5225018	15,9	15,9
E6	2894298	4237247	31,8	31,8
E7	2219590	3249476	47,7	47,7
E8	1994688	2920219	53,0	53,0

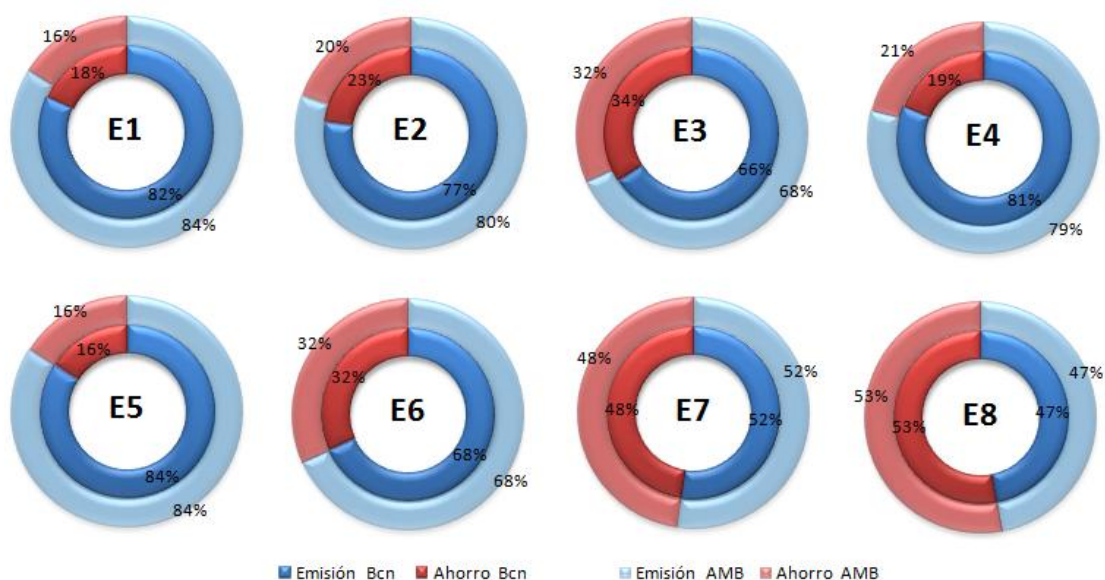
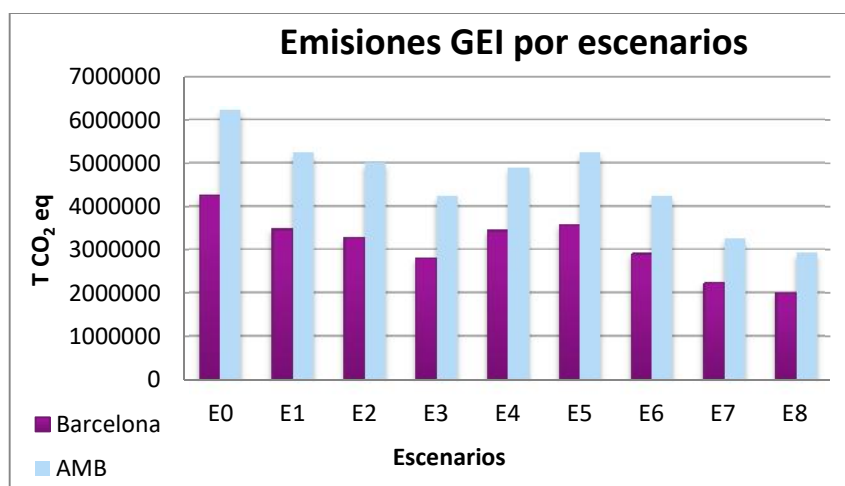


Figura 9. Emisiones de CO₂ equivalente emitidos durante 20 años y ahorro derivado de cada escenario respecto a E0, en el AMB y Barcelona

Como es lógico, el escenario 0 (base) y sobre el que se calcula el ahorro de emisiones de GEI, es el que tiene unas mayores emisiones, al usarse en la totalidad de pisos calentador de gas; unas 4200000 t de CO₂ eq en Barcelona y 6200000 t de CO₂ en el AMB.

Se puede observar que, como era de esperar, en los escenarios con mayor porcentaje de sustitución las emisiones se reducen en mayor grado, al aumentarse la contribución solar y reducirse el consumo de gas. El escenario 8, que equivaldría a substituir el 100% de los pisos con gas y sin sistema central de ACS, reduciría las emisiones respecto al escenario base en hasta un 53%. La sustitución del 90% de pisos (escenario 7) generaría un ahorro del 48%, la sustitución del 60% de pisos (escenario 6) conlleva un ahorro del 32% y la del 30% de pisos (escenario 5) un ahorro del 16%.

En cuanto a los escenarios en que se realiza la sustitución según el número de personas por vivienda, el mayor ahorro se obtiene al sustituir los pisos de 1 a 3 personas (escenario 3 con el 32-34%), y dentro de estos, la que reporta el mayor ahorro es la sustitución en los pisos de 2 personas (escenario 1, con el 16-18%), al ser la tipología de vivienda dominante según la ocupación. La sustitución en los de más de 3 personas implica un ahorro muy parecido a la sustitución en los de 2 personas (19-21%).

Finalmente se comparan los ahorros obtenidos mediante los distintos escenarios respecto a las emisiones totales de CO₂ en Barcelona. La emisión de GEI por cápita en Barcelona en 2011 fueron 2,36 toneladas de CO₂ equivalente, aunque en los últimos años se ha estado reduciendo (Anuario Estadístico de la Ciudad de Barcelona, 2016). Multiplicando este factor por el número de habitantes de Barcelona (1598000 habitantes) se extrae que se emiten unas 3771280 toneladas de CO₂ anuales, que en los 20 años de estudio supondrían 75425600 t de CO₂ equivalente.

Por tanto, a partir del ahorro en las emisiones de CO₂ de cada escenario a 20 años se calcula el ahorro anual. Este ahorro se compara con la emisión anual de CO₂ en Barcelona para conocer qué porcentaje de las emisiones totales de GEI en Barcelona se puede llegar a reducir mediante cada escenario.

Tabla 6. Emisiones de CO₂ equivalente emitidas anualmente en Barcelona y ahorro respecto al total de emisiones

Barcelona	Emisiones anuales (t CO₂ eq)	Ahorro anual (t CO₂ eq) respecto escenario base	Ahorro total (%) respecto total emisiones Barcelona
<i>E0</i>	212185,7	0,0	0,00
<i>E1</i>	173496,3	38689,4	1,03
<i>E2</i>	163707,8	48477,9	1,29
<i>E3</i>	139789,0	72396,7	1,92
<i>E4</i>	172131,1	40054,6	1,06
<i>E5</i>	178450,3	33735,4	0,89
<i>E6</i>	144714,9	67470,8	1,79
<i>E7</i>	110979,5	101206,2	2,68
<i>E8</i>	99734,4	112451,3	2,98

Por ejemplo, el escenario 8 en que se sustituyen todos los pisos con gas por sistema solar con apoyo de gas, implicaría un ahorro de 112451,3 t de CO₂ eq anuales, lo que supondría una reducción de las emisiones totales de CO₂ de Barcelona de casi un 3% (2,98%). La mayoría de escenarios, como el 1, 2, 4 o 5 implican un ahorro del orden del 1% de las emisiones totales de GEI de la ciudad, mientras los escenarios 3, 6 y 7 se acercan al 2-2,5% de ahorro de emisiones anuales.

VI. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se realizará un análisis económico simplificado de cada alternativa, considerando los costes iniciales de inversión y los costes del uso de energía durante 20 años de cada una. Finalmente se calcula el ahorro potencial del uso de sistema solar con gas en lugar de únicamente con gas (o en lugar del sistema solar con electricidad) y se extrae la amortización o tiempo de retorno de la inversión.

6.1. Costes de inversión

Como costes de inversión se consideran todas las adquisiciones que implica cada una de las tres alternativas, incluyendo la instalación. A continuación se adjunta una tabla para cada alternativa detallando los costes de inversión.

Alternativa Gas

Tabla 7. Costes de inversión Alternativa de Gas.

Material/Componente	Cant.	Precio total sin IVA (€)	Precio total con IVA	Fuente/ Proveedor
Calentador gas natural de condensación modulante de 25 KW Saunier Duval	1	243	294,03	ITEC (Instituto de Tecnología de la construcción)
TOTAL			294,03	

Alternativa solar + Gas

Tabla 8. Costes de inversión Alternativa Solar + Gas.

Material/Componente	Cant.	Precio total sin IVA (€)	Precio total con IVA	Fuente/ Proveedor
Conjunto colector 20 tubos vacío HP200-20, de 2,01 m ²	1	1955	2365,55	Kingspan solar y Lumelco
Soporte superficie plana elevación 35-55°	1	377	456,17	
2 tubos flexibles 22 m	2	94	227,48	
kit hidráulico conexión colector	1	69	83,49	
2 purgadores automáticos solar 1/2" m	2	84,5 (x 2)	204,49	
Anticongelante Tyfocor 20 L	3	117 (x3)	424,71	
Grupo solar (bomba) 1 vía 2-12 lts/min	1	320	387,2	
Vaso expansión 25 L	1	79,6	96,32	
Latiguillo vaso expansión	1	14,5	17,54	
Soporte vaso expansión	1	10,5	12,7	
Regulación electrónica SC400 con 5 sondas temperatura y 3 salidas relé	1	230	278,3	
Válvulas seguridad 6 bar 1/2" x 3/4"	3	15,5 (x 3)	56,26	
Termómetros horizontales 0-120 80x50mm	2	13,5 (x 2)	32,67	
Manómetro 0-10 bar	2	5 (x 2)	12,1	
Interacumulador suelo 200L (con resistencia de 2,5 kw)	1	699	845,79	
Calentador gas natural de condensación modulante de 25 KW Saunier Duval	1	243	294,03	ITEC (Instituto de Tecnología de la construcción)
TOTAL			5795,03	

Alternativa solar + Electricidad

Tabla 9. Costes de inversión Alternativa Solar + Electricidad

Material/Componente	Cant.	Precio total sin IVA (€)	Precio total con IVA	Fuente/ Proveedor
Conjunto colector 20 tubos vacío HP200-20, de 2,01 m2	1	1955	2365,55	Kingspan solar y Lumelco
Soporte superficie plana elevación 35-55°	1	377	456,17	
2 tubos flexibles 22 m	2	94	227,48	
kit hidráulico conexión colector	1	69	83,49	
2 purgadores automáticos solar 1/2" m	2	84,5 (x 2)	204,49	
Anticongelante Tyfocor 20 L	3	117 (x3)	424,71	
Grupo solar (bomba) 1 vía 2-12 lts/min	1	320	387,2	
Vaso expansión 25 L	1	79,6	96,32	
Latiguillo vaso expansión	1	14,5	17,54	
Soporte vaso expansión	1	10,5	12,7	
Regulación electrónica SC400 con 5 sondas temperatura y 3 salidas relé	1	230	278,3	
Válvulas seguridad 6 bar 1/2" x 3/4"	3	15,5 (x 3)	56,26	
Termómetros horizontales 0-120 80x50mm	2	13,5 (x 2)	32,67	
Manómetro 0-10 bar	2	5 (x 2)	12,1	
Interacumulador suelo 200L (con resistencia de 2,5 kw)	1	699	845,79	
Resistencia 2,5 kw (salvadorescoda)	1	83	100,43	
Termostato	1	30	36,3	
TOTAL			5638,03	

En las alternativas solares, como el anticongelante (propilenglicol) tiene densidad de 1,036 kg/L, en cada recipiente vienen 20L y la cantidad necesaria para el funcionamiento del sistema durante 10 años es de 26,2L (tiempo tras el cual se reemplazará por otros 26,2 L), se requieren un mínimo de 50,6 L, con lo que se adquieren 3 recipientes de 20 L.

El acumulador que se selecciona es de 200L en lugar de 180L por falta de disponibilidad del producto por parte del proveedor.

En la alternativa con apoyo de electricidad, hay una resistencia de 2,5kw incorporada en acumulador más otra de 2,5kw para llegar a los 5kw necesarios.

6.2. Costes de uso

Como costes de uso de cada alternativa se consideran los derivados del consumo de energía, ya sea gas o electricidad, durante los 20 años de vida útil. No se consideran los costes de mantenimiento.

La demanda energética total para aportar calor al agua durante 20 años es de 244440 MJ y el aporte solar es de 156312 MJ, con lo que mediante las energías de apoyo se deben suplir unos 88128 MJ. En la alternativa 1 se suplirán los 244440 MJ (67900 kwh) mediante gas natural y en las alternativas 2 y 3 se suplirán 88128 MJ (24480 kwh) mediante gas natural y electricidad respectivamente. Además de los términos de consumo, se consideran los impuestos sobre la electricidad o sobre los hidrocarburos (gas natural) y el alquiler de contador. Como potencia eléctrica contratada en el hogar se toman 5,75 kw. Para calcular el coste de la electricidad consumida para el funcionamiento del sistema (2544 MJ o 707 kwh en la alternativa de gas, 8640 MJ o 2400 kwh en las alternativas solares) al ser una pequeña parte del consumo total, solo se considerará el término energía.

A continuación se adjunta una tabla para cada alternativa detallando los costes de uso de energía durante los 20 años objeto de estudio.

Alternativa Gas

Tabla 10. Costes de uso Alternativa de Gas

Alternativa Gas		Precio	Factor	Total (€)	Fuente
Producción calor: Gas	Término fijo	4,62€/mes	240 meses	1108,8	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
	Término variable	0,05570€/kwh	67900 kwh	3782,03	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
	Impuestos hidrocarburos	0,00°234€/kwh	67900 kwh	158,9	Iberdrola.es (Ley 15/2012, de Medidas Fiscales para la Sostenibilidad Energética)
	Alquiler contador	1,51€/mes	240 meses	362,4	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
Funcionamiento o sistema: Electricidad	Término energía	0,135854 €/kwh	707 kwh	96	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
TOTAL				5508	
TOTAL con IVA				6664,8	

Alternativa solar + Gas

Tabla 11. Costes de uso Alternativa Solar + Gas

Alternativa Solar + Gas		Precio	Factor	Total (€)	Fuente
Producción calor: Gas	Término fijo	4,62€/mes	240 meses	1108,8	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
	Término variable	0,05570€/kwh	24480 kwh	1363,5	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
	Impuestos hidrocarburos	0,00234€/kwh	24480 kwh	57,3	Iberdrola.es (Ley 15/2012, de Medidas Fiscales para la Sostenibilidad Energética)
	Alquiler contador	1,51€/mes	240 meses	362,4	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
Funcionamiento o sistema: Electricidad	Término energía	0,135854 €/kwh	2400 kwh	326	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
	TOTAL			3218,0	
TOTAL con IVA				3893,8	

Alternativa solar + Electricidad

Tabla 12. Costes de uso Alternativa Solar + Electricidad

Alternativa Solar+ Electricidad		Precio	Factor	TOTAL (€)	Fuente
Producción calor y funcionamiento sistema: Electricidad	Término potencia	41,2934€/kw*año	5,75 kw* 20 años	4748,7	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
	Término energía	0,135854€/kwh	24480	3651,7	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
	Impuestos electricidad	4,864% + (x1,05113) t. energía y potencia	2400 kwh	859,1	Iberdrola.es (Ley 15/2012, de Medidas Fiscales para la Sostenibilidad Energética)
	Alquiler contador	0,81€/mes	240 meses	194,4	endesacientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas
TOTAL				9453,9	
TOTAL con IVA				11439,0	

6.3. Costes totales

Si se suman los costes de inversión y los de uso de cada alternativa se obtienen los costes totales, que se pueden observar en la tabla que sigue.

Tabla 13. Costes totales de todas las alternativas

Costes	Gas	Solar + Gas	Solar + Electricidad
<i>Inversión</i>	294,4	5795	5638
<i>Uso</i>	6664	3893	11439
<i>Total</i>	6958	9688	17077

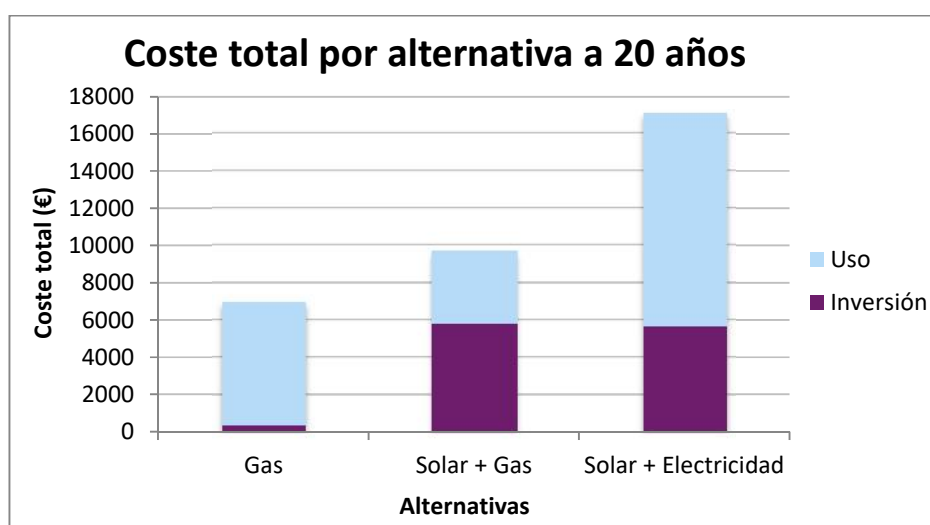


Figura 10. Coste total (inversión y uso) de las alternativas analizadas, a 20 años.

6.4. Amortización

Finalmente, para calcular el tiempo necesario para amortizar la inversión del sistema solar con apoyo de gas (tiempo de retorno de la inversión), se estima el ahorro potencial del uso del sistema respecto al uso de gas natural para satisfacer el 100% de la demanda. Con el valor de ahorro, dividiendo a la inversión inicial, y multiplicándose por los 20 años de estudio, se obtienen los años necesarios para amortizar la inversión.

A continuación se exponen los tiempos de amortización obtenidos para la mejor tecnología resultante del ACV (solar + gas), en relación a la tecnología más extendida en la actualidad (calentador de gas).

Tabla 14. Amortización de la alternativa Solar + Gas

Solar + Gas vs Gas	
Ahorro uso(€)	Amortización inversión(años)
2772	42

Los costes de uso de la alternativa de gas son 6664€, mientras los de la alternativa de solar con gas son 3893€, con lo que el ahorro total del uso de la alternativa solar en lugar de la alternativa convencional de gas en los 20 años de vida útil es de 2771€. Así, serían necesarios unos 42 años para amortizar la inversión de 5795€ (tiempo de retorno de la inversión), tiempo muy dilatado. Esto se debe a la importante inversión inicial que requiere el sistema solar y a los bajos precios actuales del gas natural.

Si la amortización se calculase respecto a un sistema convencional de calentamiento de agua mediante termo eléctrico, seguramente el tiempo de retorno de la inversión sería mucho menor a 42 años, debido a que el coste unitario de la energía eléctrica es superior al coste del gas natural por unidad energética aportada. Sin embargo, ésta no es una de las alternativas que se estudia en esta comparativa por lo que el cálculo de su amortización no será presentado.

VII. COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

En el presente apartado se describirán brevemente las opciones existentes, y al alcance de los autores del proyecto, para la comunicación externa de los resultados obtenidos. El enfoque de la comunicación se centrará a nivel local, ya que las alternativas, diseños y resultados se basan en el ámbito geográfico de Barcelona, lo que le resta interés a una divulgación más global.

La divulgación de los resultados se realizará básicamente a través de la entidad del Área Metropolitana de Barcelona, a partir de la **publicación de un artículo web** en el portal de la entidad. También existe la posibilidad que surjan jornadas de exposición o grupos de trabajo conjuntos entre distintos departamentos, vinculados a la entidad, y donde se podría exponer el proyecto realizado. Como requisito propio de la entidad, también se incluye un **resumen ejecutivo** del cual se podrá disponer para la promulgación del trabajo de forma concisa.

Independientemente, existen **jornadas o congresos** del sector, donde se podría exponer el proyecto, sobre todo aquellos relacionados con eficiencia energética o energías renovables. Se citan algunos con periodicidad anual y otros que han sido puntuales (con posibilidad que se repitan en el futuro próximo).

La jornada "Barcelona, cap a la transició energètica. Jornada Internacional d'Intercanvi", de Barcelona del 10 de noviembre de 2016, organizada por la Fundación Renovables, en colaboración con el Ayuntamiento de Barcelona y Energy Cities. El encuentro persigue acelerar la transición hacia la reducción de emisiones, hacia un sistema energético más eficiente, democrático y justo y hacia la generación de más oportunidades de desarrollo económico y local. Es el caso del Ayuntamiento de Barcelona el cual, tiene la intención de garantizar el acceso a la energía justa para todos, acelerando las inversiones en eficiencia energética y rehabilitación y multiplicando la generación eléctrica con fuentes renovables mediante una comercializadora municipal.

El "III Congreso Edificios Energía Casi Nula", de Madrid del 21-22 de junio de 2016, organizado por el Grupo Tecma Red y el Ministerio de Fomento. Es el principal foro de encuentro en el que abordar el estado actual de los Edificios de Alta Eficiencia y las implicaciones que representan para el sector de la edificación, la construcción, la arquitectura y los servicios relacionados la adopción total de las Directivas europeas relativas a la Eficiencia Energética de los Edificios y la adopción de energías renovables.

La "I Jornadas sobre situación, presente y futuro de la rehabilitación energética de edificios en España" de Madrid del 21 enero de 2016, organizada por el Comité de Edificación del Instituto de la Ingeniería de España, ATECYR y AEDIC. Se analiza la situación actual del parque edificatorio de viviendas y se incide en las opciones de rehabilitación energética existentes.

Se podría plantear participar de forma conjunta a algún stand ya contratado es la "Feria Internacional de Energía y Medio Ambiente (GENERA 2017)": 20ª edición del 28 de febrero de 2017 al 3 de marzo de 2017, en el IFEMA (Feria de Madrid). Contemplará novedades en equipos y servicios relacionados con las distintas fuentes energéticas (cogeneración y micro-cogeneración, solar térmica, solar fotovoltaica y termosolar, biomasa, eólica y mini eólica, hidrógeno y pila, geotermia y otras energías). Por otra parte, se realizará una selección de propuestas de proyectos innovadores en materia de energías renovables, eficiencia energética y medioambiente, que se exponen en la Galería de Innovación.

Finalmente, se puede plantear la posibilidad de utilizar la entidad de la **Fàbrica del Sol de Barcelona**, para divulgar los resultados del presente proyecto. Sus instalaciones disponen de un edificio demostrativo de estrategias de eficiencia energética, sostenibilidad y energías renovables (donde hay un sistema de tubos de vacío), así como de un espacio de exposición de información relacionada y educación, donde se podría colgar un póster con el resumen ejecutivo del presente proyecto. También se utilizará el contacto con el **Col·legi d'Ambientòlegs de Catalunya (COAMB)** para estar informados respecto a futuras jornadas de exposición o educación donde pueda incluirse las principales conclusiones del presente proyecto.

VIII. CONCLUSIONES:

- Se plantean y dimensionan 3 alternativas de obtención de ACS a nivel residencial, según los requisitos normativos del CTE-HE4 y con datos de consumo, radiación solar y otros parámetros estandarizados de una vivienda plurifamiliar de la ciudad de Barcelona durante 20 años. Se dimensionan las alternativas solares y se evalúa su cumplimiento con el aporte solar mínimo establecido en la Ordenanza municipal solar térmica de Barcelona.
- Se han analizado los impactos durante las etapas de fabricación, uso y fin de vida de las 3 alternativas, de forma comparativa y de forma individual. Se ha utilizado metodología ACV basada en las etapas estandarizadas de la ISO 14040, con métodos ReCiPe Endpoint (H) y GWP 20a.
- Desde el punto de vista ambiental, la alternativa de solar + gas es la mejor, y la alternativa de gas tiene los mayores impactos, en los dos métodos utilizados y en casi todas las categorías de impacto. El aporte solar reduce el consumo de las otras energías durante el uso (gas en este caso), lo que reduce sus impactos en el ciclo de vida completo. Aun así, se esperaba que la alternativa de solar con electricidad fuera mucho mejor que la alternativa de gas, por el mencionado aporte solar, pero únicamente se diferencian en hasta en un 15%. En cuanto a las energías de apoyo de los sistemas solares, la electricidad genera mayores impactos que el gas natural (un 58% superiores). Esto confirma que el mix eléctrico español implica unas emisiones e impactos considerables, lo que hace más sostenible el uso de gas que el de electricidad para suplir una misma demanda energética.
- El uso es la fase más impactante (73-98%), seguida de la fabricación, y el fin de vida tiene unos impactos menores al 1% en todas las alternativas. El peso del uso se reduce en las alternativas solares, por el mayor aporte a los impactos de los componentes de los sistemas solares (fabricación) respecto al calentador instantáneo de gas.
- Como etapa de fin de vida únicamente se considera el transporte hasta el sitio de disposición, además del reciclaje de metales (el acero y el cobre) que viene predeterminado. Así, una vez se disponga de experiencias contrastadas y mayor información, sería interesante evaluar el impacto considerando procesos de reciclado y/o re-uso de otros materiales, como el vidrio de los tubos al vacío. De todas formas, considerando que la etapa de uso es la más relevante para los tres casos y según el período de vida útil considerado (20 años), lo más probable es que los procesos requeridos para la transformación de los materiales una vez usados, no sean más relevantes que los mismos procesos de obtención de la materia prima, en la etapa de fabricación.
- A partir de los resultados obtenidos, se han planteado escenarios de sustitución para analizar el potencial ahorro de emisiones de GEI y también se ha realizado un breve análisis económico.
- En cuanto a los escenarios, el ahorro potencial de emisiones respecto al escenario base (100% de pisos con calentador instantáneo de gas natural), es de entre el 16 y el 53%. Lo que comparándolo con el total de emisiones de GEI de la ciudad de Barcelona es del orden del 1 al 3 %, según el porcentaje de sustitución.
- El análisis económico refleja que el coste de inversión de los sistemas solares es muy elevado en relación al sistema de gas. En cuanto al coste de uso, es muy superior en la alternativa que utiliza electricidad, por el elevado coste de ésta respecto al gas natural. Esto resulta unos costes totales según los cuales la alternativa más económica en los 20 años considerados es la de gas natural, seguida por la solar + gas y finalmente la solar + electricidad, que es la más costosa en todo el ciclo de vida. Por tanto, la amortización de la inversión del sistema solar + gas, que es la mejor tecnología resultante del ACV comparativo, respecto a la alternativa convencional de gas es muy elevada (42 años), por el elevado coste de inversión de los componentes solares respecto al calentador de gas i al reducido coste del gas natural respecto al de la electricidad. Así, la sustitución se deberá impulsar desde la concienciación de la población en relación a la sostenibilidad y reducción de impactos más que por el factor económico. Aun así, se espera que la administración potencie o financie este tipo de medidas y las haga más competitivas económicamente.

IX. Referencias

- AEMET. (2006). *Atlas de radiación solar en España utilizando datos del Saf de clima de EUMETSAT*.
- Anuario Estadístico de la Ciudad de Barcelona*. (2016). Obtenido de Medioambiente, energía y cambio climático. 2009-2013: <http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuari/index.htm>
- Aplicación de Cálculo On-Line CTE DB-HE-4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*. (s.f.). Obtenido de www.konstruir.com
- Barcelona, O. d. (2013). *L'energia a Barcelona 2013, Balanç de ciutat i municipal*.
- Butlletí Oficial de la Província de Barcelona. (2006). Modificació integral d l'annex sobre Captació Solar Tèrmica de l'Ordenança General de Medi Ambient Urbà i dels Títols VI i IX. *Núm. 62 del 14/3/2006 p.16-p.22*.
- Chaffoteaux. (2014). *Lista de Precios. Versión 06/2014*.
- Chapa, I., Díaz, R., & Padilla, N. (2013). *Evaluación de la sostenibilidad de un KWh consumido en un entorno doméstico*.
- CTE HE 4. (2009). *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*. Sección HE 4.
- CTE HE 4. (2013). *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*. Sección HE 4.
- de Laborderie, A., Puech, C., Adra, N., Blanc, I., Beloin-Saint-Pierre, D., Padey, P., . . . Jacquin, P. (2011). *Environmental Impacts of Solar Thermal Systems with Life Cycle Assessment*. Linköping, Suecia: World Renewable Energy Congress.
- Diario Oficial de la Unión Europea. (19 de mayo de 2010). DIRECTIVA 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios. *DO L 153 de 18.6.2010, pp. 13-35*.
- Fundació Bosch i Gimpera. (1997). *Impacto Ambiental del gas natural respecto al de otras energías*. Universitat de Barcelona.
- Gas natural Fenosa: Consejos de eficiencia energética-Climatización eficiente-Equipos de producción de agua caliente-Calderas*. (2015). Obtenido de www.gasnaturalfenosa.es
- Goedkoop, M. J., Heijungs, R., & et al. (2009). *A life cycle impact assessment method wich comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. First Edición Report: Characterization. . Obtenido de <http://www.lcia-recipe.net>
- Govern de la Generalitat de Catalunya. (2006). Decret 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis. *DOG 4574 – 16.2.2006*.
- Hernandez, P., & Kenny, P. (2012). Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 170-177. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003911>
- IDAE / MINETUR. (2010). *Guía Técnica Agua Caliente Sanitaria Central*. Gobierno de España, Madrid.
- IDAE. (2009). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. Instalaciones de Energía Solar Térmica, Madrid.
- IDAE. (2014). *Consumos del sector residencial en España*. Obtenido de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_documentacion_basica_residencial_unido_c93da537.pdf
- IDAE. (2015). *Informe de precios energéticos regulados. Datos abril de 2015*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- IDESCAT. (Cens 2001). *Habitatges familiars principals segons abastament d'aigua corrent i aigua calenta central de l'edifici*. Obtenido de www.idescat.cat.

- IDESCAT. (Cens 2006). *Enquesta de condicions de vida i hàbits de la població de Catalunya*. Obtenido de www.idescat.cat
- IDESCAT. (Cens 2011). *Edificis destinats a habitatges segons les instal·lacions*. www.amb.cat; www.idescat.cat. Obtenido de www.amb.cat; www.idescat.cat
- Institut d'Estudis Regionals: Metropolitans Barcelona. (2006). *L'Habitatge en la regió metropolitana de Barcelona. 1995-2006*.
- International Energy Agency. (2008). *World Energy Outlook*. Obtenido de <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2008-1994/weo2008.pdf>
- ISO 14040. (2006). Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006).
- MINETUR / IDAE. (2014). *Balace de energí final (1990-2013)*. Gobierno de España. Obtenido de <http://www.idae.es/index.php/idpag.802/recategoria.1368/re/menu.363/mod.pags/mem.detalle>
- MINETUR / IDAE. (2014). *Informe Estadístico de Energías Renovables 2013*. Gobierno de España. Obtenido de <http://informeestadistico.idae.es/>
- Observatori de l'Energía de Barcelona. (2012). *Balanç energètic de Barcelona de 2012*.
- Observatori de l'Energia de Barcelona. (2014). *L'energia a Barcelona 2013 Balanç de la ciutat i municipal*.
- Polysun. (2002). Polysun programa de simulación V3.3 para aplicación en paneles solares. (I. d. Rapperswil, Ed.)
- PRé CONSULTANTS. (2014). *SimaPro. Life Cycle Assessment Software 8.0*. Obtenido de <http://www.pre.nl./simapro>
- PRé, various authors. (2014). *SimaPro Database Manual. Methods Library. 2002-2014 PRé*.
- Proyecto de instalación ACS solar en vivienda unifamiliar*. (s.f.). Obtenido de Sitio solar. Portal de energías renovables: www.sitiosolar.com/proyecto.pdf
- Raigosa, J. (2012). *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*. Proyecto Final de Master (PFM), UPC, Barcelona.
- Raluy, R., & et al. (2013). *Análisis del Ciclo de Vida de Sistemas Solares Térmicos centralizados con acumulación estacional*. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica, Burgos.
- Swiss Centre for Life Cycle Inventories. (2007). *Sonnenkollektor-Anlagen (Instalación de paneles solares)*. Dübendorf, CH.
- Swiss Centre for Life Cycle Inventories. (2013). *The Ecoinvent Life Cycle Inventory Data Version 3.1*.
- UPC - UDC. (2009). Modelo Integrado del Valor para una Evaluación Sostenible. *Versión 2.1.0*.
www.bcn.cat
www.endesaclientes.com
www.iberdrola.es
www.itec.es
www.kingspansolar.ie
www.lumelco.es
www.salvadorescoda.com

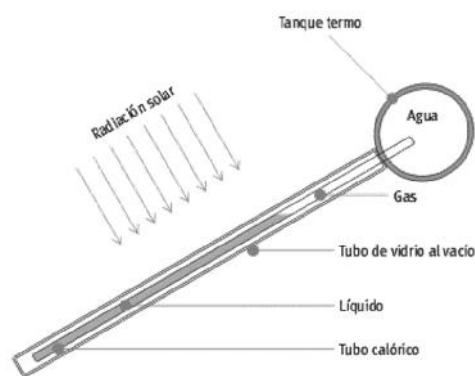
X. ANEXOS

- Anexo 1: Funcionamiento tubos de vacío. Elaboración propia
- Anexo 2: Resumen dimensionado alternativa 2 (solar con auxiliar de gas natural)
- Anexo 3: Resumen dimensionado alternativa 3 (solar con auxiliar de electricidad)
- Anexo 4: Calendario de trabajo del proyecto

Anexo 1: Funcionamiento tubos de vacío. Elaboración propia

En este apartado se describe el funcionamiento del sistema de captación solar para calentar ACS mediante tubos de vacío (sistema térmico solar con captador de tubos al vacío tipo heat-pipe con circulación forzada), ya que es el que presenta un funcionamiento más complejo y puede no ser conocido por todos los lectores.

La característica principal de este sistema, es el empleo de colectores de tubos de vidrio al vacío en cuyo interior se aloja un tubo superconductor, conocido como "Heat Pipe" o tubo de calor, que forma un circuito cerrado de evaporación-condensación, y contiene una mezcla de componentes líquidos, inocuos, en equilibrio con su vapor (gas) a una determinada presión y temperatura. Este líquido al calentarse con muy poca energía, se evapora y asciende hacia el ánodo transmisor de calor. Una vez cedido el calor cae en forma de líquido condensado, repitiéndose este ciclo continuamente (circulación natural). La temperatura de cambio de fase (líquido-gas-líquido) depende de la presión, la cual cambia directamente proporcional al cambio de temperatura. La presión (vacío) dentro del tubo se selecciona de tal forma que la evaporación empiece a 25 °C, lo que garantiza el funcionamiento del colector solar aún con baja radiación.



Sistema cerrado de evaporación-condensación en tubos al vacío.

La parte superior del tubo calórico va introducida en el agua del tanque-termo o cabezal. De esta forma, cuando la parte que está expuesta a la radiación solar (dentro del tubo de vidrio al vacío) se calienta, genera vapor y éste sube. Cuando este vapor se pone en contacto con el agua del tanque-termo, la cual está más fría, se condensa, y baja en forma líquida a la parte baja del tubo calórico. De esta forma se completa el ciclo.

En la aplicación de este sistema para el ACS, constituye entonces un método indirecto de calentamiento, ya que el calentamiento del agua se logra por medio de un fluido que es calentado en el interior del colector y luego pasa por el intercambiador de calor que transfiere este calor al agua de uso doméstico. Cuando el fluido transmisor del calor no es transportado hacia el intercambiador por circulación natural (convección) sino por el aporte energético externo de una bomba o ventilador, la circulación se define como forzada.

En la aplicación del sistema, el almacenamiento o acumulador de agua puede estar integrado o aislado al colector, y es controlado mediante el uso de termostatos.

Anexo 2: Resumen dimensionado alternativa 2 (solar con auxiliar de gas natural)

Cálculos de superficie de captación para la producción de agua caliente sanitaria, con el objetivo de cumplir con la contribución marcada por la fracción solar mínima establecida en el CTE y OMSTB, y la prevención contra sobrecalentamientos. Mediante software libre construir CTE-HE4.

DATOS DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONSUMO.

La tipología de edificio es : **Viviendas multifamiliares**

El edificio tiene : 1 viviendas con 4 dormitorios, el CTE establece 6 personas por vivienda.

Con lo que nos resulta un número de 6 personas.

Con un consumo previsto de 28 litros por persona.

La Temperatura de utilización prevista 60 °C.

Consumo total = 168 litros por día.

DATOS GEOGRÁFICOS

Provincia: **BARCELONA**

Latitud de cálculo: **41°**

Zona Climática: **III**



Los porcentajes de utilización a lo largo del año previstos son:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
% de ocupación:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ENERGIA

CÁLCULO ENERGÉTICO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Consumo agua [L/día]:	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168
Tª. media agua red [°C]:	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
Incremento Ta. [°C]:	52	51	49	47	46	45	44	45	46	47	49	52
Demanda Ener. [KWh]:	314	278	296	275	278	263	266	272	269	284	286	314

Total demanda energética anual: 3.395 KWh

DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

DATOS DEL CAPTADOR SELECCIONADO		Factor de eficiencia óptica	0,804
Modelo	THERMOMAX HPIPE20	Coefficiente global de pérdidas	1,150 W/(m²·°C)
Dimensiones:	1,500 m x 2,02 m.	Área Útil	2,00 m².

**1 captadores con un área útil de captación de 2 m².
Volumen de acumulación ACS de 180 l**

Datos de posición	
Inclinación:	40 °
Desorientación con el sur:	0 °

Pérdidas en el caso General	
Pérdidas por inclinación. (óptima 40°)	0,00%
Pérdidas por desorientación con el sur:	0,00%
Pérdidas por sombras	0 %

Se hace un cálculo de pérdida por orientación con respecto a Sur a través de la fórmula $por = 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot a^2$.

Se hace un cálculo del valor de pérdidas por inclinación del captador, diferente a la óptima (la latitud 40°), a partir de una media ponderada de los valores de pérdida por inclinación comparados con la orientación óptima. Los datos de pérdida por inclinación sobre una superficie horizontal se han extraído de las tablas Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE. Contienen datos en intervalos de 5°, por ello nos calculan pérdidas en función a ese incremento.

Constantes consideradas en el cálculo	
Factor corrector conjunto captador-intercambiador	0.95
Modificador del ángulo de incidencia	1.15
Temperatura mínima ACS	45°

CALCULO ENERGÉTICO MEDIANTE EL METODO F-CHART

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Rad. horiz. [kWh/m ² ·mes]:	56,11	73,92	110,98	134,10	160,27	169,20	186,00	155,93	121,80	93,00	60,00	49,91
Coef. K. incl[40°] lat[41°]	1,40	1,30	1,18	1,05	0,95	0,93	0,96	1,06	1,22	1,40	1,52	1,50
Rad. inclin. [kWh/m ² ·mes]:	78,55	96,10	130,96	140,81	152,26	157,36	178,56	165,29	148,60	130,20	91,20	74,87
Demam. Ener. [KWh]:	314	278	296	275	278	263	266	272	269	284	286	314
Ener. Ac. Cap. [KWh/mes]:	138	169	230	247	267	276	314	290	261	229	160	132
D1=EA/DE	0,44	0,61	0,78	0,90	0,96	1,05	1,18	1,07	0,97	0,81	0,56	0,42
K1	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
K2	0,82	0,85	0,90	0,94	0,94	0,92	0,93	0,88	0,87	0,91	0,89	0,80
Ener. Per. Cap. [KWh/mes]:	116	107	123	120	120	108	110	104	102	117	116	112
D2=EP/DE	0,37	0,38	0,42	0,44	0,43	0,41	0,41	0,38	0,38	0,41	0,40	0,36
f	0,38	0,51	0,64	0,72	0,75	0,81	0,88	0,82	0,76	0,65	0,48	0,37
EU=f*DE	120	143	188	197	210	213	234	223	205	186	137	115

Total producción energética útil anual: 2.171 KWh

RESULTADOS

RESULTADO OBTENIDOS	
Total demanda energética anual:	3.395 KWh
Total producción energética útil anual:	2.171 KWh
Factor F anual aportado de:	64%

EXIGENCIAS DEL CTE	
Zona climática tipo:	III
Sistema de energía de apoyo tipo:	General: gasóleo, propano, gas natural, u otras
Contribución Solar Mínima:	60%

CUMPLE LAS EXIGENCIAS DEL CTE Y DE LA OMSTB

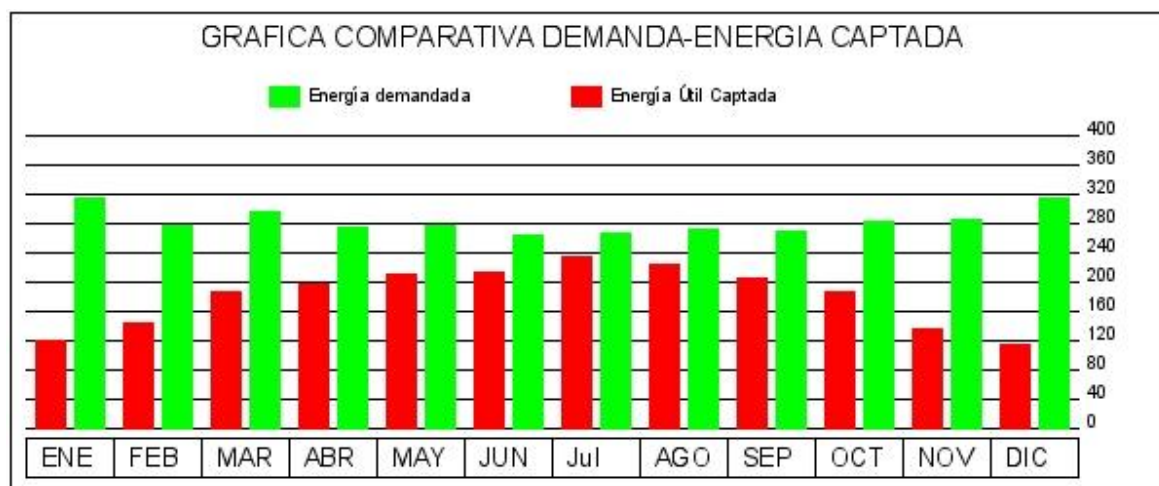
EXIGENCIAS DEL CTE Respecto al límite de pérdidas por orientación o inclinación			
	Orien. e incl.	Sombras.	Total
Pérdida permitidas en CTE. Caso General	10%	10%	15%
Pérdida en el proyecto	0,00%	0,00%	0,00%

CUMPLE LAS EXIGENCIAS DEL CTE Y DE LA OSMTB

CÁLCULO ENERGÉTICO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Deman. Ener.[kWh/mes]:	314	278	296	275	278	263	266	272	269	284	286	314
Ener. Util cap.[kWh/mes]:	120	143	188	197	210	213	234	223	205	186	137	115
% ENERGIA APORTADA	38%	51%	64%	72%	75%	81%	88%	82%	76%	65%	48%	37%

Cumple la condición del CTE, no existe ningún mes que se produzca más del 110% de la energía demandada.
Cumple la condición del CTE, no existen 3 meses consecutivos que se produzca más de un 100% de la energía demandada.



Anexo 3: Resumen dimensionado alternativa 3 (solar con auxiliar de electricidad)

Cálculos de superficie de captación para la producción de agua caliente sanitarias, con el objetivo de cumplir con la contribución marcada por la fracción solar mínima establecida en el CTE y OMSTB, y la prevención contra sobrecalentamientos. Mediante software libre konstruir CTE-HE4.

DATOS DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONSUMO.

La tipología de edificio es : **Viviendas multifamiliares**

El edificio tiene :1 viviendas con 4 dormitorios, el CTE establece 6 personas por vivienda. Con lo que nos resulta un número de 6 personas.

Con un consumo previsto de 28 litros por persona.

La Temperatura de utilización prevista 60 °C.

Consumo total = 168 litros por día.

DATOS GEOGRÁFICOS

Provincia: **BARCELONA**

Latitud de cálculo: **41°**

Zona Climática: **III**



Los porcentajes de utilización a lo largo del año previstos son:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
% de ocupación:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ENERGIA

CÁLCULO ENERGÉTICO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Consumo agua [L/día]:	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168
Tª. media agua red [°C]:	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
Incremento Ta. [°C]:	52	51	49	47	46	45	44	45	46	47	49	52
Demanda Ener. [KWh]:	314	278	296	275	278	263	266	272	269	284	286	314

Total demanda energética anual: 3.395 KWh

DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

DATOS DEL CAPTADOR SELECCIONADO		Factor de eficiencia óptica	0,804
Modelo	THERMOMAX HPIPE20	Coeficiente global de pérdidas	1,150 W/(m ² .°C)
Dimensiones:	1,500 m x 2,02 m.	Área Útil	2,00 m ² .

1 captadores con un área útil de captación de 2 m². Volumen de acumulación ACS de 180 l

Datos de posición	
Inclinación:	40 °
Desorientación con el sur:	0 °

Pérdidas en el caso General	
Pérdidas por inclinación. (optima 40°)	0,00%
Pérdidas por desorientación con el sur:	0,00%
Pérdidas por sombras	0 %

Se hace un cálculo de pérdida por orientación con respecto a Sur a través de la formula $por = 3,5 * 10^{-5} * a^2$.

Se hace un cálculo del valor de pérdidas por inclinación del captador, diferente a la óptima (la latitud 40°), a partir de una media ponderada de los valores de pérdida por inclinación comparados con la orientación óptima. Los datos de pérdida por inclinación sobre una superficie horizontal se han extraído de las tablas Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE. Contienen datos en intervalos de 5°, por ello nos calculan pérdidas en función a ese incremento.

Constantes consideradas en el cálculo	
Factor corrector conjunto captador-intercambiador	0.95
Modificador del ángulo de incidencia	1.15
Temperatura mínima ACS	45°

CALCULO ENERGÉTICO MEDIANTE EL METODO F-CHART

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Rad. horiz. [kWh/m ² ·mes]:	56,11	73,92	110,98	134,10	160,27	169,20	186,00	155,93	121,80	93,00	60,00	49,91
Coef. K. incl[40°] lat[41°]	1,40	1,30	1,18	1,05	0,95	0,93	0,96	1,06	1,22	1,40	1,52	1,50
Rad. inclin. [kWh/m ² ·mes]:	78,55	96,10	130,96	140,81	152,26	157,36	178,56	165,29	148,60	130,20	91,20	74,87
Demam. Ener. [KWh]:	314	278	296	275	278	263	266	272	269	284	286	314
Ener. Ac. Cap. [KWh/mes]:	138	169	230	247	267	276	314	290	261	229	160	132
D1=EA/DE	0,44	0,61	0,78	0,90	0,96	1,05	1,18	1,07	0,97	0,81	0,56	0,42
K1	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
K2	0,82	0,85	0,90	0,94	0,94	0,92	0,93	0,88	0,87	0,91	0,89	0,80
Ener. Per. Cap. [KWh/mes]:	116	107	123	120	120	108	110	104	102	117	116	112
D2=EP/DE	0,37	0,38	0,42	0,44	0,43	0,41	0,41	0,38	0,38	0,41	0,40	0,36
f	0,38	0,51	0,64	0,72	0,75	0,81	0,88	0,82	0,76	0,65	0,48	0,37
EU=f*DE	120	143	188	197	210	213	234	223	205	186	137	115

Total producción energética útil anual: 2.171 KWh

RESULTADOS

RESULTADO OBTENIDOS	
Total demanda energética anual:	3.395 KWh
Total producción energética útil anual:	2.171 KWh
Factor F anual aportado de:	64%

EXIGENCIAS DEL CTE	
Zona climática tipo:	III
Sistema de energía de apoyo tipo:	Efecto Joule: electricidad mediante efecto Joule.
Contribución Solar Mínima:	60%

CUMPLE LAS EXIGENCIAS DEL CTE Y DE LA OMSTB

EXIGENCIAS DEL CTE Respecto al límite de pérdidas por orientación o inclinación			
	Orien. e incl.	Sombras.	Total
Pérdida permitidas en CTE. Caso General	10%	10%	15%
Pérdida en el proyecto	0,00%	0,00%	0,00%

CUMPLE LAS EXIGENCIAS DEL CTE Y DE LA OMSTB

CÁLCULO ENERGÉTICO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Deman. Ener.[kWh/mes]:	314	278	296	275	278	263	266	272	269	284	286	314
Ener. Util cap.[kWh/mes]:	120	143	188	197	210	213	234	223	205	186	137	115
% ENERGIA APORTADA	38%	51%	64%	72%	75%	81%	88%	82%	76%	65%	48%	37%

Cumple la condición del CTE, no existe ningún mes que se produzca más del 110% de la energía demandada.

Cumple la condición del CTE, no existen 3 meses consecutivos que se produzca más de un 100% de la energía demandada.

