

## **Estudio de factibilidad para el abastecimiento energético de viviendas unifamiliares a partir de energía solar**

**Alejandro Rodríguez Andara<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Organización de Empresas. Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz. Universidad del País Vasco. Nieves Cano 12, Vitoria-Álava. 01006. alejandro.rodriguez@ehu.es.fra

### **Resumen**

*El trabajo muestra los resultados de un estudio sobre la factibilidad tecnológica y económica para el abastecimiento energético de viviendas unifamiliares a partir de la energía solar. Se parte de las necesidades energéticas de una vivienda patrón unifamiliar de cuatro individuos, ubicada en diferentes lugares geográficos del territorio español (Huelva, Zaragoza y Vitoria) para establecer comparaciones. Se evaluó el abastecimiento tanto de una instalación solar térmica como de una instalación fotovoltaica. Igualmente se tomaron en cuenta las posibles subvenciones de las administraciones gubernamentales locales. Se concluye que sólo se alcanzan rentabilidades cuando la instalación es del tipo fotovoltaico conectada a la red y se utiliza energía solar para el abastecimiento de agua caliente para las ciudades de Zaragoza y Huelva.*

**Palabras clave:** sostenibilidad, ambiente, energía, solar, viviendas.

### **1. Introducción.**

Existen dos aspectos cruciales contemporáneos que justifican el presente trabajo: uno está relacionado con el uso masivo de los combustibles fósiles, lo cual trae como consecuencia contaminación y calentamiento atmosférico. El otro aspecto está relacionado con la revolución tecnológica que han experimentado las denominadas fuentes de energía renovables. Se ha producido un cambio mundial en el panorama energético. En los últimos años éstas nuevas fuentes de energía comienzan a ser competitivas frente a las tradicionales fuentes energéticas. Además su penetración en la sociedad, desde el punto de vista del consumidor, también se ha visto incrementada.

La denominación de energías renovables se aplica a toda aquella fuente de energía cuya producción utiliza recursos naturales y son regeneradas por la propia naturaleza de forma inagotable. Las mas comunes y habituales son las eólica, hidráulica, geotermal, mare motriz biomasa y solar.

Destacamos la energía solar, que aprovecha la radiación solar como fuente primaria de energía, cuyo uso posterior puede ser la automática conversión en electricidad o el aprovechamiento de la radiación solar para calentar distintos fluidos. En la actualidad la industria fotovoltaica se ha convertido en un generador de empleo. Con una potencia instalada de 3.700 Mw/año, España se acerca al liderato mundial en este sector, Bayod Rújula, 2.009. Además, el empujón de España en las energías renovables (se calcula que para el año 2.010 se recibirán más de 5.888 millones de euros en primas) ha animado el interés empresarial en el mercado y se prevén fuertes inversiones en el campo de la energía solar fotovoltaica (Diario El País 21-12 2.009).

Por otra parte, la forma fotovoltaica de energía solar engloba usos más comerciales que el desarrollo de la térmica. Además, el panorama de producción de energía solar a nivel de comunidades autónomas es muy irregular. Constatamos que factores como la zona geográfica de la comunidad y los planes propios de estímulos a la instalación de energía solar que

desarrolla cada comunidad, repercuten en la factibilidad económica y en la eficiencia de estas instalaciones. De allí que en el presente trabajo nos planteamos como objetivos:

1. Determinar la factibilidad de satisfacer las necesidades energéticas de una vivienda unifamiliar utilizando una fuente de energía solar, desde el punto de vista de su rentabilidad económica y energética.
2. Valorar las variables ubicación geográfica y planes de estímulos para su instalación.

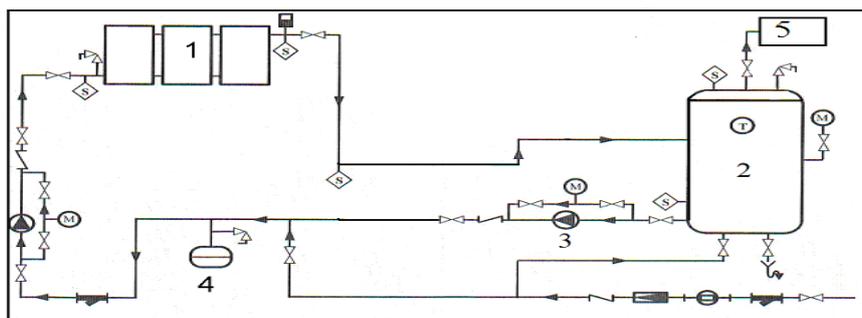
El presente trabajo plantea la dotación energética de una vivienda unifamiliar, debido a que los paneles solares ubicados en viviendas multifamiliares o edificios tienen una muy limitada eficiencia para abastecer las demandas energéticas de una amplia comunidad. De igual manera, para las demandas energéticas se tomó como base una vivienda patrón unifamiliar, con una media de cuatro individuos cuyas necesidades energéticas se agrupan en: dotación de agua caliente sanitaria, calefacción y abastecimiento eléctrico. Parte de estas necesidades como calefacción se verán afectadas por la ubicación geográfica. De allí que para estudiar éste efecto y el relativo a los planes de estímulos y hacer un análisis comparativo, se eligieron tres zonas geográficas del territorio español de diferentes características, según las posibles subvenciones y según las clasificaciones por zonas de radiación establecidas por el Código Técnico de Edificación (2009). Estas ciudades son: Huelva correspondiente a la zona V (zona geográfica de alta radiación y menor demanda energética, ya que no necesita calefacción en los hogares), Zaragoza correspondiente a la zona IV (zona con una demanda media alta de energía y alta radiación) y Vitoria-Gasteiz correspondiente a la zona I (con una demanda alta de energía y baja radiación).

## 2. La tecnología solar.

En el presente estudio se han tomado en cuenta dos tipos de tecnologías: instalaciones solares térmicas e instalaciones fotovoltaicas.

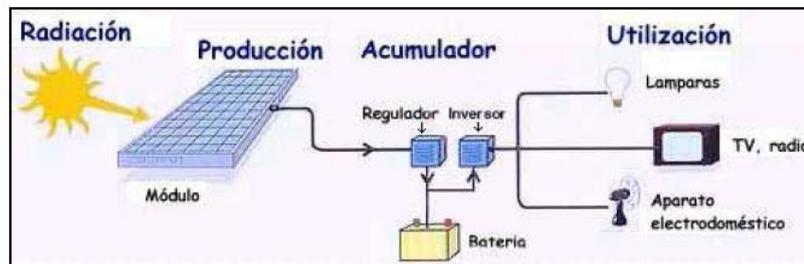
Las instalaciones solares térmicas utilizan una tecnología sencilla. El sistema está formado por dos circuitos separados por un fluido que los recorre. El primero de ellos está bañado por un fluido que transporta el calor, mientras que el segundo lo hace por agua corriente. La figura 1 muestra un esquema de una instalación simple para una vivienda. Los elementos señalados en el gráfico representan las partes fundamentales del proyecto.

Las instalaciones fotovoltaicas permiten la conversión de la energía solar en energía eléctrica. Para ello utiliza unas células fotovoltaicas constituidas de un material semiconductor, generalmente silicio. Este dispone de bandas de conducción y valencia, cuando la radiación incide se produce una carga eléctrica debido al movimiento de los electrones.



**Figura 1.** Instalación solar térmica. Leyenda: (1) paneles solares. (2) Inter acumulador. (3) bomba de impulsión. (4) vasos de expansión. (5) salida agua caliente.

El esquema de una instalación fotovoltaica varía en gran medida dependiendo de la necesidad del usuario. En el caso de estar destinado al abastecimiento de una vivienda, tiene elementos tales como las baterías o reguladores que sirven para gestionar su funcionamiento. Las investigaciones en nuevos materiales basados en la nanotecnología, permitirá el uso de baterías con una alta acumulación de energía en poco espacio a precios competitivos. Éste hecho, promete aportar un gran salto tecnológico en un futuro inmediato. La figura 2 muestra un esquema de una instalación fotovoltaica de este tipo.



**Figura 1.** Instalación fotovoltaica. Fuente: Bayod Rújula, 2009.

Un sistema destinado únicamente a la venta de electricidad puede prescindir de estos elementos, con lo que abarata el coste total de instalación, así como la dificultad en el diseño. En este caso los paneles convierten la radiación en energía eléctrica continua. Ésta se transforma en alterna para adecuarla a una determinada tensión, se contabiliza y se vierte a la red eléctrica.

### 3. Necesidades energéticas.

La contribución solar mínima resulta de la mezcla de dos variables: zona climática y demanda total de energía del edificio. Es decir, cuanto mayor sea la radiación incidente mayor contribución deberá aportar y cuanto mayor sea la cantidad de agua caliente sanitaria demandada mayor deberá ser su contribución. Otro factor que determina el nivel de la contribución es el combustible de la fuente energética de apoyo, el cual es una exigencia de obligado requisito según el Código Técnico de Edificación (2009).

El presente estudio toma como base la cantidad de 50 litros la dotación diaria de agua potable por persona, a una temperatura de acumulación de 60° C, por lo que la demanda total será de 200 l/d de agua caliente sanitaria.

La demanda de energía eléctrica de la vivienda puede considerarse independientemente de la ubicación de la vivienda. Se ha tomado como base una demanda energética de 3.500 w diarios por vivienda. La instalación fotovoltaica conectada parte del mismo diseño que las aisladas, es decir, tienen la misma potencia instalada pero su producción se destina a la venta de electricidad producida.

### 4. Diseño de las instalaciones según zonas geográficas.

El diseño de las instalaciones comprende la instalación térmica y la fotovoltaica aislada, es decir, para el abastecimiento de energía de una vivienda y fotovoltaica conectada a la red de abastecimiento eléctrico, según las regiones seleccionadas.

#### 4.1. Instalación térmica.

Para el dimensionamiento de estas instalaciones se usó un programa basado en el método F-Chart reconocido mundialmente como pionero en el diseño de este tipo de instalaciones desarrollado en la Universidad de Wisconsin - Madison. Se usó una variación de este modelo introducido por el manual: Energía solar térmica: manual del proyectista, (2002). La tabla 1 muestra los parámetros de cálculo más importantes en el diseño según zonas geográficas.

Observamos que la tabla incluye parámetros como necesidades energéticas (en función de la localización de las viviendas), paneles solares determinados en función de la demanda y las restricciones del Código Técnico de Edificación, intercambiadores de calor, tuberías, bombas para la impulsión del fluido, vasos de expansión para absorber la dilatación que sufre el fluido por los cambios de temperatura. De igual modo, se separa el sistema para dotar de agua caliente sanitaria en las viviendas (ACS) y el que incluye tanto el servicio de ACS y el sistema de calefacción de la vivienda (ACS-C), que el caso de la ciudad de Huelva no es necesario. De igual forma se diferencia en algunos cálculos, el sistema primario que incluye el circuito que suministra fluido caliente, del sistema secundario que incluye el circuito del fluido frío.

**Tabla 1.** Parámetros de diseño de la instalación térmica según zonas geográficas.

Parámetros de diseño	Tipo de sistema	Vitoria	Zaragoza	Huelva
Necesidades energéticas por vivienda	ACS (l/año)	2.400	2400	2400
	ACS-C (termias/año)	18.526	11.122	0
Paneles	ACS (m2)	3,8	3,8	3,8
	ACS-C (m2)	41	27	0
Sistema de acumulación-intercambio	ACS (volumen)	200	200	200
	ACS-C (volumen)	2.000	1.000	0
Bombas de impulsión	ACS (unidades X potencia)	2-25Kw	2-25Kw	2-25Kw
	ACS-C (unidades X potencia)	1-35Kw y 2-60Kw	3-40Kw	0

#### 4.2. Instalación solar fotovoltaica.

Para su dimensionamiento nos basamos en el manual: Energía solar fotovoltaica: manual del proyectista, (2004). Para ello se necesitan conocer los parámetros demanda anual de energía y las horas solar pico (HSP). Lo determinamos utilizando la siguiente ecuación:

$$HSP_B = R_B / I_{B(CEM)} \quad (1)$$

Donde:  $HSP_B$  = hora solar pico, es decir, tiempo en horas en los que se disfruta de una radiación de 1.000 w por metro cuadrado de superficie. ( $Kw-h/m^2$ , para una inclinación dada B)

$R_B$  = radiación media diaria ( $Kw-h/m^2$ -día, para una inclinación dada B)

$I_{B(CEM)}$  = potencia de la radiación incidente ( $(Kw-h./m^2)$ , para condiciones estándar su valor es de 1  $Kwh./m^2$ ).

A continuación la tabla 2 muestra los parámetros mas importantes de una instalación fotovoltaica para las tres ciudades objeto de estudio.

**Tabla 2.** Parámetros de diseño para una instalación solar fotovoltaica según ciudades.

Parámetros	Vitoria-Gasteiz	Zaragoza	Huelva
Consumo energético (Kwh.)	106,8	106,8	106,8
Numero de paneles	16	12	12
Radiación (H.S.P.)	3,59	4,18	5,13
Numero de baterías acumuladoras	20	20	20

Con estos parámetros de dimensionamiento las instalaciones térmicas de agua caliente consiguen generar del 78% de las necesidades de Huelva, de Vitoria-Gasteiz el 47 % y de Zaragoza el 69 %, siendo estas aportaciones superiores a las exigidas por el Código Técnico de Edificación.

En la aplicación destinada a la calefacción y agua caliente sanitaria, de modo conjunto, se satisfacen el 58% en Zaragoza y el 53 % en Vitoria-Gasteiz de las necesidades totales. El aporte de calefacción a lo largo del año para ambas ciudades, esta entorno al 50%, y el de suministro de agua caliente alcanzan cuotas superiores al 70%.

Por otra parte, la producción fotovoltaica, en sus dos vertientes, conectada a la red y aislada, superan en todos los casos la demanda de la vivienda patrón considerada.

En cuanto al ahorro de emisiones de  $CO_2$  generadas por el uso de estas instalaciones a lo largo de 25 años de vida útil, se resumen en la tabla 3.

**Tabla 3.** Emisiones  $CO_2$  evitadas al medio ambiente por el uso de las diferentes instalaciones solares a lo largo de su vida útil según regiones.

Ciudad	Sistema Térmico A.C.S. (kg)	Sistema Térmico A.C.S. + C. (kg)	Fotovoltaica (kg)
Vitoria-Gasteiz	12.443,2	83.714,4	7786,9
Zaragoza	18.233,6	61476,8	7918,6
Huelva	19.588,8	-	8636,1

## 5. Análisis de costes.

Para la evaluación económica se plantearon diversas alternativas. La tabla 4 muestra los costes totales de las diferentes instalaciones solares por región. Se presentan los costes de las instalaciones para los casos de una instalación térmica para el suministro de agua caliente, de agua caliente y calefacción, costes referidos a una estación fotovoltaica conectada a la red y fotovoltaica aislada.

Para la estimación de estos cálculos se siguieron los criterios del Coste Normalizado de Inversión, Gallardo Vicente y José María Fernández (2003). El cual es un método que permite relacionar el precio de los materiales involucrados con el coste de los captadores o potencias instaladas. Además los componentes principales como paneles térmicos, inter acumuladores, bombas de impulsión, paneles fotovoltaicos, reguladores, baterías, etc. tienen precios facilitados por fabricantes.

**Tabla 4.** Costes totales de las instalaciones solares. Leyenda: A.C.S.=agua caliente sanitaria. A.C.S.-C= Agua caliente sanitaria y calefacción.

Región	Instalación térmica de A.C.S. (€)	Instalación térmica de A.C.S.- C (€)	Instalación fotovoltaica aislada (€)	Instalación fotovoltaica conectada a la red (€)
Vitoria-Gasteiz	4.037,28	37.409,79	20.673,13	15046,13
Zaragoza	4.037,28	25.768,00	17.260,66	11.633,66
Huelva	4037,28		17.260,66	11.633,66

Por otra parte, cada región objeto de este estudio tiene su propia política de subvención de estas instalaciones, lo que repercute en su viabilidad económica. La tabla 5 muestra el importe total subvencionable para cada instalación según región, el coste de referencia que es el indicador que sirve para calcular la subvención en función de los metros cuadrados instalados o los vatios picos y finalmente el máximo subvencionable dependiendo del coste total.

**Tabla 5.** Subvenciones otorgadas para las diferentes instalaciones solares según región. Leyenda: A.C.S.=agua caliente sanitaria. A.C.S.-C= Agua caliente sanitaria y calefacción. F-aislada= instalación fotovoltaica aislada. F-conectada= Instalación fotovoltaica conectada.

	Vitoria-Gasteiz		Zaragoza		Huelva	
	Importe (€)	Coste referencia y máximo subvencionable	Importe (€)	Coste referencia y máximo subvencionable	Importe (€)	Coste referencia y máximo subvencionable
A.C.S.					1.816	45%-70%
A.C.S.-C	9.981,8	812 €/m <sup>2</sup> -35%	7.034,8	812 €/m <sup>2</sup> -37%		
F-aislada	7.280,0	10 €/Wp-35%	6.240,0	10 €/Wp-40%	6.900,0	40%-70%
F-conectada	3.127,5					

Resulta importante destacar, que el ahorro estipulado para cada instalación será el generado en función del combustible dejado de utilizar. Para realizar este cálculo se han tomado como referencia los precios vigentes durante el mes de Junio de 2.009, suministrados por las

compañías Gas Natural e Iberdrola. En la tabla 6 se muestra el ahorro económico en euros por sustituir las instalaciones solares por gas natural, que es la fuente de energía más común usada para los servicios que plantea el estudio.

**Tabla 6.** Ahorro energético en euros en función de la sustitución de una fuente de energía solar por gas natural.

Región	Agua caliente sanitaria			Agua caliente sanitaria-calefacción			Instalación fotovoltaica aislada		
	Producción (Kw-h)	Coste (€)	Ahorro (€)	Producción (Kw-h)	Coste (€)	Ahorro (€)	Producción (Kw-h)	Coste (€)	Ahorro (€)
Vitoria	2.020	0,0432	109,8	13.590	0,0432	734	1.281	0,1147	146,7
Zaragoza	2.960	0,0432	159,38	9.980	0,0432	539	1.281	0,1147	146,7
Huelva	3.180	0,0432	171,72				1.281	0,1147	146,7

## 6. Viabilidad económica del proyecto.

Para evaluar la viabilidad económica de este tipo de instalaciones, con vidas útiles estimadas en 25 años, el ahorro generado proviene del ahorro de combustible. Por tanto, es necesario actualizar los precios para valorar el interés económico de la inversión. Aguer Mario, et al. (2.004).

Con el fin de hacer más realista el estudio nos planteamos dos escenarios económicos posibles. En el primero, la inflación y los precios de los combustibles se actualizan de igual manera al 3%. El segundo escenario, se basa en el encarecimiento de los combustibles por encima de la inflación, en este caso los primeros subirán un 5% anual frente al 3% de la inflación.

El otro parámetro a fijar es la exigencia de rentabilidad en las instalaciones. Aquí aparece un punto de discusión que posteriormente será analizado. Se valoran dos cifras en la rentabilidad económica planteada para las instalaciones de abastecimiento (Instalaciones solares térmicas y fotovoltaica aislada): una del 3% y otra del 6%. Finalmente para las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red la rentabilidad económica será mayor, el 7%, ya que el propósito de la inversión percibe un fin lucrativo.

Para el caso de la fotovoltaica conectada a red, como se muestra en la tabla 6, el beneficio obtenido es el derivado de la venta de la electricidad generada a las compañías eléctricas. Este aspecto está regulado por el Real Decreto 661/2007, donde se cifra el precio para un Kw-h en 47,01 céntimos durante los primeros 25 años de vida de la instalación.

Por otra parte, como se muestra en la tabla 5, un aspecto muy influyente en la rentabilidad de las instalaciones es la posibilidad de subvenciones.

A partir de esta información, podemos determinar la viabilidad económica del proyecto utilizando dos herramientas financieras, procedentes de las matemáticas financieras, que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Estas herramientas son el Valor Actual Neto (VAN), que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable, si es negativo significa que la inversión no se recuperará en el tiempo previsto. Igualmente, la Tasa Interna de Retorno (TIR), el cual determina la rentabilidad que obtendrá la inversión a lo largo de los 25 años de vida útil y finalmente el periodo de recuperación (PR), el cual determinará el número de años

necesarios para que la instalación genere energía de modo gratuito. Para el cálculo del VAN podemos utilizar la ecuación:

$$\text{VAN} = - \text{Inversión} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujos de caja}}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Donde:  $n = 1$  a  $n$  períodos.

Y donde el flujo de caja es: + (ingresos estimados del proyecto) – (Costos variables y fijos estimados del proyecto).

Para el cálculo del TIR, se utilizó el método de interpolación lineal:

$$y = m \cdot x + c \quad (3)$$

Donde:

$$y = \text{TIR}$$

$$x = \text{VAN}$$

$m$  = Pendiente de la recta, el “ $m$ ” nos permite determinar a qué tasa el VAN se hace cero, o dicho de otra forma, en qué parte la recta corta el eje  $y$  (tasa%), ya que es ahí donde el VAN se hace cero.

Calculando los indicadores descritos obtenemos: en el primer escenario, inflación y precios al 3%, exigiendo una rentabilidad del mismo 3%. En el campo solar térmico, sólo la instalación de suministro de agua caliente sanitaria en la ciudad de Huelva obtiene un VAN positivo recuperándose la inversión en 13 años, alcanzando una rentabilidad del 5,9%. Por el contrario las instalaciones con calefacción se ven lastradas por su gran coste teniendo periodos de recuperación de entre 35 y 38 años.

El campo fotovoltaico muestra dos vertientes bien distintas. En una de ellas las instalaciones aisladas necesitan más de 50 años para amortizarse, independientemente de su localización. Resultando económicamente poco interesantes frente a las conectadas a la red. Éstas recuperan la inversión a los 16 años en Huelva y a los 21 en Vitoria-Gasteiz y sus rentabilidades oscilan entre el 9,5 % en Huelva y el 7,9% en Vitoria-Gasteiz.

En el segundo escenario, en el que los precios de los combustibles crecen al 5% frente al 3% de la inflación, los resultados obtenidos son mejores, ya que el ahorro generado que se convierte en los flujos de caja anuales es superior. En este marco casi todas las instalaciones de agua caliente sanitaria son rentables, aumentando la rentabilidad en Huelva hasta el 11,4% y recuperándose la inversión en Zaragoza en 21 años. El cambio en los precios de los combustibles hace que instalaciones anteriormente poco viables como las térmicas de calefacción, ahora sean más interesantes, ya que los periodos de recuperación de 28 y 27 años para Vitoria-Gasteiz y Zaragoza respectivamente se acercan cada vez más a los 25 años de vida útil.

En todos los datos aportados se han valorado los resultados obtenidos exigiendo una rentabilidad del 3%. En el caso propuesto del 6% todas las instalaciones salvo las fotovoltaicas conectadas a red y el agua caliente sanitaria en Huelva se desaconsejan desde el punto de vista económico.

## 7. Conclusiones.

El presente estudio demuestra que es factible cubrir todas las necesidades energéticas de una vivienda unifamiliar a partir de la tecnología solar, aunque con notables diferencias con relación a la rentabilidad económica. Sólo se alcanzan rentabilidades cuando la instalación es del tipo fotovoltaica conectada a la red y se utiliza energía solar para el abastecimiento de agua caliente en las ciudades de Zaragoza y Huelva. En la ciudad de Vitoria-Gasteiz las

instalaciones ofrecen un plazo de recuperación tan elevado que no constituyen una buena opción económica.

La ubicación geográfica determina la rentabilidad de estas instalaciones. No sólo por la radiación recibida sino por las políticas regionales de subvención a este tipo de alternativas energéticas. De allí que se recomienda la instalación de estos equipos en el momento de construir la vivienda y se asignen desgravaciones en el costo total de las mismas. De esta forma se puede ayudar con la viabilidad económica de esta tecnología.

Dada la actual coyuntura mundial, derivada del problema del calentamiento de la atmósfera por el uso de combustibles fósiles, la energía solar debe ser una fuente de suministro energético cuyo uso debería justificarse por encima de consideraciones económicas. Este planteamiento se ve reforzado por el avance tecnológico que ha experimentado el sector solar, por encima de cualquier otro campo de generación de energía.

## **8. Referencias**

Bayod Rújula Ángel Antonio (2009). "Energías renovables". Edit. Prensas Universitarias de Zaragoza. España.

EL PAÍS.(2009): "Godia y el fundador de Naturhouse invertirán 140 millones en renovables". Diario El País 21 dic.

Código Técnico de Edificación (2009). Orden VIV/989/2009. BOE 23/09/2009. Ahorro Energía DB-. HE. Editado por el Ministerio de la Vivienda. España.

"Energía solar térmica: manual del proyectista", (2002). Edita: Castilla y León. Consejería de Economía y Hacienda; Ente Regional de la Energía de Castilla y León. Consejería de Educación y Cultura. 1 E.

"Energía solar fotovoltaica: manual del proyectista", (2004). Edita: Junta de Castilla y León – Ente Regional de la Energía de Castilla y León. Consejería de Educación y Cultura y Hacienda. 1 E. España.

Gallardo Vicente y José María Fernández (2003). "Integración de los sistemas solares térmicos en la edificación". El Instalador. N° Extra. 4. 44-50.

Aguer Mario, Jutglar Luís, Miranda Ángel y Rufes Pedro (2004). "El ahorro energético. Estudios de viabilidad económica". 1 E. Edit. Díaz de Santos S.A. Madrid. España.