



## **Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética con la herramienta VisorEPBD**

**Nota:**

Este es un documento preliminar de trabajo y no tiene carácter reglamentario.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>El VisorEPBD y la evaluación de la eficiencia energética</b>	<b>4</b>
2.1	La herramienta <i>VisorEPBD</i>	4
2.2	Evaluación de la eficiencia energética con <i>VisorEPBD</i>	4
2.2.1	Datos de entrada	4
2.2.2	Balance de energía final suministrada y exportada	4
2.2.3	Ponderación de la energía suministrada y exportada	5
2.2.4	Agregación y obtención de indicadores	6
<b>3</b>	<b>Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética</b>	<b>7</b>
3.1	Descripción del edificio	7
3.2	Indicadores de características de la envolvente	8
3.3	Uso de energía	10
3.4	Medidas de mejora	13
3.5	Resultados de la aplicación de paquetes de medidas de mejora	14
3.5.1	Mejoras del aislamiento térmico	14
3.5.2	Mejora del sombreado de huecos	15
3.5.3	Uso de recuperadores de calor	16
3.5.4	Cambio de sistemas y producción de energía solar térmica	16
3.5.5	Producción <i>in situ</i> de energía fotovoltaica	19
3.6	Cuadros resumen	20
3.6.1	Necesidades de energía	20
3.6.2	Consumo de energía final	20
3.6.3	Indicadores de eficiencia energética	21
	<b>Anexos</b>	<b>23</b>
	<b>Anexo A Cálculo de indicadores de envolvente térmica</b>	<b>24</b>
A.1	Transmitancia térmica global, $K$	24
A.2	Control solar, $Q_{sol,jul}/A_{util}$	24
	<b>Anexo B Uso de <i>VisorEPBD</i> como herramienta de ayuda al diseño</b>	<b>25</b>
B.1	Predimensionado de soluciones	25
B.2	Introducción de sistemas en <i>VisorEPBD</i>	25
B.2.1	Introducción de sistemas de un único vector energético	25
B.2.2	Introducción de sistemas con aportación de energía del medioambiente (bombas de calor)	25
B.2.3	Introducción de sistemas de cogeneración	26
B.2.4	Introducción de sistemas de producción de energía <i>in situ</i> (térmica y eléctrica)	26
B.3	Estimación de la energía final a partir de la demanda	27
B.3.1	Ejemplo de caldera de gas natural para calefacción	28
B.3.2	Ejemplo de bomba de calor para calefacción y refrigeración	28
B.3.3	Ejemplo de cogeneración con gas natural para calefacción y producción de electricidad	29



## 1. Introducción

Este documento muestra un ejemplo de evaluación de la eficiencia energética de los edificios usando la herramienta *VisorEPBD*. El ejemplo usa los indicadores de la propuesta de actualización del *Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)* del *Código Técnico de la Edificación (CTE)*, determinado los valores de dichos indicadores y haciendo ocasionalmente referencia a los indicadores del *DB-HE* actualmente vigente *CTE DB-HE 2013*.

Los ejemplos muestran distintas opciones de diseño que no constituyen soluciones óptimas sino meros casos útiles para la introducción de datos de las distintas medidas de mejora de la eficiencia energética y de diversas tecnologías.



## 2. El VisorEPBD y la evaluación de la eficiencia energética

### 2.1. La herramienta *VisorEPBD*

Para la evaluación de la eficiencia energética del edificio y el cálculo de indicadores se ha desarrollado la aplicación *VisorEPBD* (<http://www.codigotecnico.org/visorepbd/>). *VisorEPBD* se basa en el procedimiento de evaluación de la eficiencia energética detallado en la norma *FprEN ISO 52000-1*<sup>1</sup> y permite, a partir de las necesidades de energía final (energía producida y suministrada), obtener diversos indicadores de eficiencia energética (entre ellos, los indicadores de energía primaria) y, entre ellos, los propuestos para la actualización del *CTE DB-HE*<sup>2</sup>.

### 2.2. Evaluación de la eficiencia energética con *VisorEPBD*

#### 2.2.1. Datos de entrada

*VisorEPBD* se alimenta de entradas externas que consisten en:

- Parámetros generales (factor de resuministro, factor de exportación, factores de paso, intervalo de cálculo, paso de cálculo);
- Valores de consumo y producción de energía final en cada intervalo de cálculo, por vector energético, obtenidos mediante procedimientos de simulación energético o de mediciones.

Para la evaluación reglamentaria, los **parámetros generales** vendrán fijados por documentos reglamentarios (*CTE DB-HE*, *Certificación energética de edificios*), y las condiciones de simulación o de obtención de los datos de consumo y producción serán obtenidos en las condiciones que fijen dichos documentos.

Siguiendo la propuesta de actualización del *CTE DB-HE*, este documento adopta para un **factor de resuministro**,  $k_{rdel}$ , con valor 0,0, un **factor de exportación**,  $k_{exp}$ , también con valor 0,0, un **intervalo de cálculo** mensual y un **paso de cálculo** anual.

Los **factores de paso** oficiales pueden consultarse en el Documento reconocido del RITE **Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España** incluye los factores de paso de energía final a energía primaria y emisiones.

En el contexto del *CTE DB-HE* solamente se consideran los **consumos de energía** procedentes de los siguientes usos (denominados *EPB*): calefacción, refrigeración, ventilación, ACS y, en uso terciario, iluminación, además de la **producción de energía in situ**.

#### 2.2.2. Balance de energía final suministrada y exportada

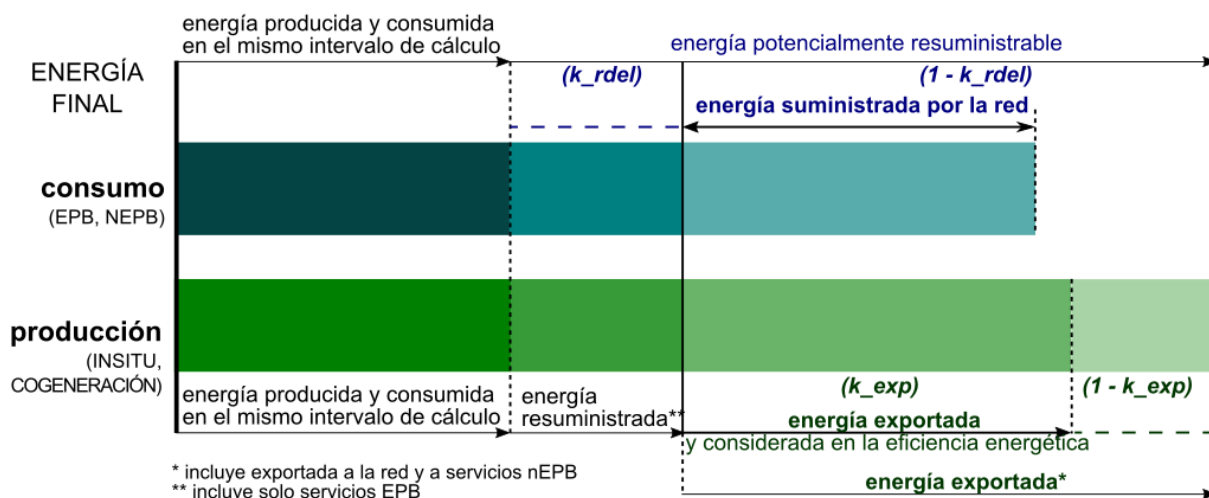
A partir de los datos de energía final consumida y producida *in situ* en cada intervalo de cálculo, *VisorEPBD* obtiene el balance de la energía suministrada (por las redes de suministro o el medioambiente) al edificio (energía importada al edificio) y de la energía exportada por el edificio.

El **factor de resuministro**,  $k_{rdel}$ , controla qué fracción de la energía producida y no consumida (exportada) en anteriores intervalos de tiempo puede resuministrarse al edificio y cuál puede ser potencialmente exportada a la red.

<sup>1</sup>La futura norma *FprEN ISO 52000-1 (ISO/FDIS 52000-1:2016)* está en fase de aprobación y posiblemente será aprobada en el año 2017. Su contenido, en relación al cálculo de los balances energéticos, es sustancialmente igual al de la vigente *EN 15603:2008* (y su propuesta de actualización *EN 15603:2014*).

<sup>2</sup>En estos momentos, la aplicación permite el uso de parámetros con valores distintos a los propuestos para los cálculos reglamentarios, aunque limita el uso de factores de paso a los oficialmente definidos en el correspondiente Documento de apoyo del RITE.

### Energía final suministrada y exportada (por vector energético y considerando cada intervalo de cálculo)



**Figura 1:** Esquema del balance energético de energía suministrada y consumida a partir de la energía consumida y producida *in situ*.

#### 2.2.3. Ponderación de la energía suministrada y exportada

En esta etapa *VisorEPBD* convierte, mediante la ponderación con *factores de paso*<sup>3</sup>, la energía final a **energía primaria**, emisiones, costes, etc, para cada intervalo de cálculo.

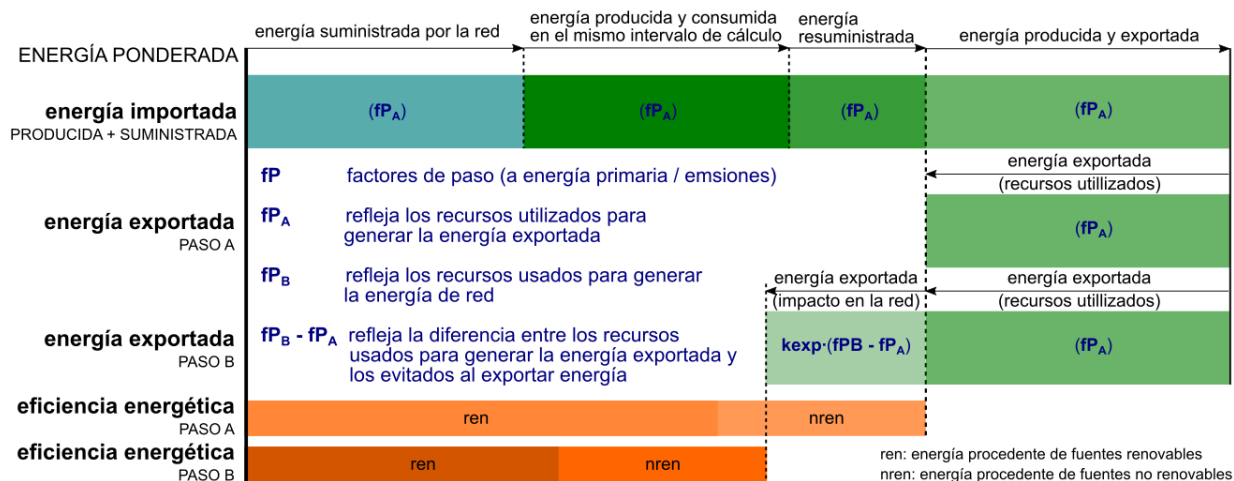
La energía exportada se pondera de dos modos, uno que tiene en cuenta los recursos utilizados para generarla (**paso A**) y otro que incluye también el impacto de la exportación de dicha energía, como recursos evitados a la red (**paso B**)<sup>4</sup>.

En la consideración del *paso B* interviene otro parámetro global, el *factor de exportación*,  $k_{exp}$ , que determina la fracción de la energía finalmente exportada que se tiene en cuenta para evaluar el impacto en la red.

<sup>3</sup>En el contexto reglamentario del *CTE DB-HE* la ponderación utilizada está orientada a la obtención de **energía primaria** y, en la Certificación energética, también de las **emisiones de CO<sub>2</sub>e**.

<sup>4</sup>En el caso en el que el factor de exportación,  $k_{exp}$ , sea igual a cero, como en así ocurre en este documento, los valores obtenidos en los pasos A y B coinciden.

**Balance anual + indicadores de eficiencia energética** (energía ponderada)

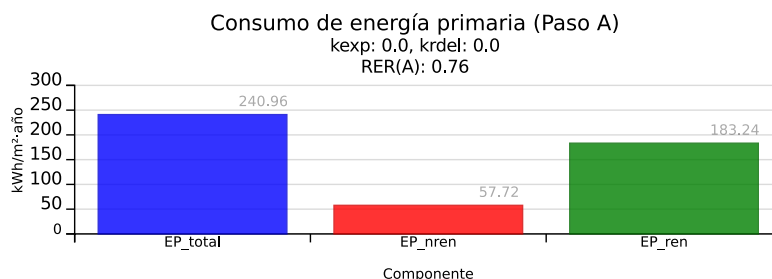


**Figura 2:** Esquema del balance global y cálculo de la eficiencia energética.

## 2.2.4. Agregación y obtención de indicadores

La **eficiencia energética** se define como la **diferencia entre la energía importada y la exportada por el sistema**, realizando el *VisorEPBD* este balance teniendo en cuenta los dos pasos anteriores, el paso A, considerando en la eficiencia energética los recursos empleados, y el paso B, teniendo en cuenta también el impacto de la energía exportada en la red.

Los indicadores de eficiencia energética (como el consumo de energía primaria,  $C_{ep,tot}$ ) pueden, a su vez, descomponerse en la fracción procedente de fuentes renovables ( $C_{ep,ren}$ ) y la procedente de fuentes no renovables ( $C_{ep,nren}$ ).

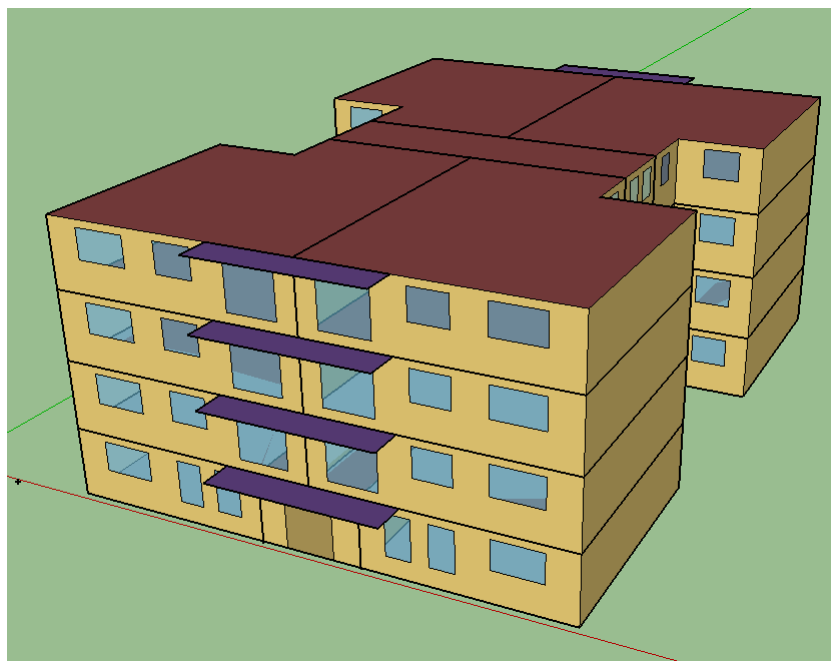


**Figura 3:** Gráfica en *VisorEPBD* del indicador de consumo de energía primaria total (paso A) y descomposición en sus partes, renovable y no renovable.

### 3. Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética

#### 3.1. Descripción del edificio

El modelo de estudio se muestra en la [Figura 4](#). Es un bloque de viviendas entre medianeras de 4 alturas (Baja + 3), con una distribución de 4 viviendas por planta (aprox.  $90 \text{ m}^2$  por vivienda) y un núcleo central de comunicaciones.



**Figura 4:** Bloque residencial 4 alturas

Los principales parámetros térmicos que caracterizan la envolvente y los sistemas del edificio en su situación base (empleando cerramientos tipo acordes al DB-HE 2006 y DB-HE 2013) se muestran en la [Tabla 1](#), [Tabla 2](#), [Tabla 3](#) y [Tabla 4](#).

**Tabla 1:** Características generales del caso de estudio

Parámetro	Valor
Zona climática	D3
Superficie acondicionada total ( $A$ )	$1674 \text{ m}^2$
Volumen de la envolvente térmica ( $V$ )	$4726,19 \text{ m}^3$
Superficie de la envolvente térmica ( $A_{env}$ )	$1923,27 \text{ m}^2$
Compacidad ( $V/A_{env}$ )	$3,69 \text{ m}^3/\text{m}^2$
Demanda ACS ( $D_{ACS}$ )	$100,8 \text{ l/viv} \cdot \text{dia}$
Ventilación ( $q_{ven}$ )	$0,63 \text{ ren/h}$

**Tabla 2:** Características de la envolvente térmica de los edificios base 2006 (EE0) y 2013 (EE0)

Elemento	DB-HE 2006 (EE0)		DB-HE 2013 (EN0)		A[m <sup>2</sup> ]
	U[W/m <sup>2</sup> K]	e[cm.XPS]	U[W/m <sup>2</sup> K]	e[cm.XPS]	
Cubierta, $U_C$	0,40	7,2 cm	0,211	14 cm	418
Fachada, $U_M$	0,74	3,1 cm	0,271	10 cm	921
Solera, $U_T$	0,540	1,0 cm	0,246	8 cm	418
Hueco, $U_H$	3,50	C2	2,728	C3	165
- marco, $U_F$ ( $F_F = 0,20$ )	3,50	RPT	3,50	RPT	
- vidrio, $U_g$ ( $g_{\perp} = 0,70$ )	3,55	4/6/4	2,61	4/6/6 + 6BE	
<b>Encuentro (PT)</b>	$\psi$ [W/mK]		$\psi$ [W/mK]		L[m]
PT forjado-fachada, $\psi_{forj-fach}$	0,10		0,10		373
PT solera-fachada, $\psi_{sol-fach}$	0,28		0,28		124
PT cubierta-fachada, $\psi_{cub-fach}$	0,24		0,24		125
PT contorno huecos, $\psi_{huecos}$	0,05		0,05		510

**Tabla 3:** Características de los sistemas térmicos del edificio base para cálculo de necesidades de energía

Sistema	Vector energético	Rendimiento	Factores de paso ( $KWh/kWh_f$ )	
			ren	nren
Generador calefacción	Red de distrito*	1,0	0,000	1,300
Generador refrigeración	Red de distrito*	1,0	0,000	1,300
Generador ACS	Red de distrito*	1,0	0,000	1,300
Ventilación	Electricidad	1,0	0,414	1,954

\* En los ejemplos, el uso del vector energético *Red de distrito* con rendimiento 1,0 permite mostrar las necesidades de energía final del caso base. No representa una red de distrito real, pero podría utilizarse para este efecto definiendo adecuadamente los rendimientos y factores de paso a energía primaria.

**Tabla 4:** Características de la instalación de iluminación del edificio base

Indicador	Valor
VEEI [W/m <sup>2</sup> · 100lx]	0,73
$P_{tot}$ Iluminación instalada [W]	3682,67

NOTA: El servicio de iluminación no se incluye en los indicadores de eficiencia energética de edificios de uso residencial.

### 3.2. Indicadores de características de la envolvente

**Tabla 5:** Indicadores de características de la envolvente

Indicador	Valor 2006	Valor 2013
$K$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,98	0,59
$Q_{sol;jul}/A_{util}$ [kWh/m <sup>2</sup> /mes]	1,16	1,04





En la [Tabla 6](#) se desglosa el cálculo de la transmitancia térmica global ( $K$ ) del edificio de ejemplo:

**Tabla 6:** Calidad de la envolvente térmica (EN0) - transmitancia térmica global ( $K$ )

Elemento	$U [W/m^2 K]$	$A [m^2]$	$b_{tr,x}$	$b_{tr,x} \cdot U \cdot A [W/K]$
Cubierta, $U_C$	0,211	418	1,0	88,19
Fachada, $U_M$	0,271	534,41	1,0	144,82
Solera, $U_T$	0,246	418	1,0	102,82
Hueco, $U_H$	2,613	157,02	1,0	410,29
Medianeras, $U_A$	—	—	0,0	—
Part. interiores, $U_U$	—	—	0,0	—
<b>SUBTOTAL (1)</b>		1528,39(a)		746,14
Encuentro (PT)	$\psi [W/mK]$	$L [m]$	$b_{tr,x}$	$b_{tr,x} \cdot \psi \cdot L [W/K]$
PT forjado-fachada, $\psi_{forj-fach}$	0,10	487,9	1,0	48,79
PT solera-fachada, $\psi_{sol-fach}$	0,28	181,7	1,0	50,87
PT cubierta-fachada, $\psi_{cub-fach}$	0,24	124,5	1,0	29,88
PT contorno huecos, $\psi_{huecos}$	0,05	468,8	1,0	23,44
<b>SUBTOTAL (2)</b>				152,98
<b>TOTAL</b>				899,13(1 + 2)
<b><math>K = \sum_x b_{tr,x} [\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k] / \sum A_i [W/m^2 K]</math></b>				<b>0,59((1 + 2)/a)</b>

En la [Tabla 7](#) se calcula el indicador de *Control Solar* del edificio *EN0* empleando los valores de irradiación del mes de julio, los factores reductores por obstáculos remotos y por protecciones móviles de cada hueco<sup>5</sup>.

$$ControlSolar = Q_{sol;jul}/A_{util}$$

$$Q_{sol;jul} = \sum_k F_{sh,obst} \cdot F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \cdot H_{sol;jul}$$

**Tabla 7:** Calidad de la envolvente térmica (EN0) - Control Solar

Elemento	$F_{sh,obst}$	$F_{sh,gl}$	$g_{gl}$	$F_F$	$A_{w,p}$ [m <sup>2</sup> ]	$H_{sol;jul}$ [kWh/m <sup>2</sup> /mes]	$Q_{sol;jul;wi}$ [kWh/mes]
N	1,00	0,40	0,67	0,20	42,38	41,85	380,26
E	0,82	0,40	0,67	0,20	17,11	128,34	386,06
S	0,67	0,40	0,67	0,20	46,83	85,25	563,48
O	0,82	0,40	0,67	0,20	17,64	128,96	399,94
<b>SUBTOTAL</b>					123,95		1739,73
$A_{util}$							1674,00
<b><math>Q_{sol;jul}</math></b>							<b>1,04</b>

**NOTAS:**

$F_{sh,obst}$ : Se consideran solo las sombras del retranqueo de huecos

$F_{sh,gl}$ : Persiana exterior semitraslúcida color pastel

$g_{gl}$ : Doble acristalamiento con vidrio BE

$F_F$ : 20 % marco

$H_{sol;jul}$ : Irradiación acumulada del mes de julio, obtenida a partir de datos diarios de *PVGIS*

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.

### 3.3. Uso de energía

Las necesidades de energía final del edificio con una envolvente similar a del edificio de referencia del DB-HE 2006 y sistemas alimentados (idealmente) con una red de distrito y eficiencia global del 100 %, son las siguientes:

**Tabla 8:** Consumo de energía final (EE0), con sistemas base (S0)

Servicio	Energía [kWh/m <sup>2</sup> an]	Vector energético	Rendimiento global
CALEFACCIÓN	42,25	Red de distrito (RED1)	1,0
REFRIGERACIÓN	9,32	Red de distrito (RED2)	1,0
ACS	19,92	Red de distrito (RED1)	1,0
VENTILACIÓN (Simple flujo), $Q_V$	4,53	Electricidad	$SFP = 0,9 \text{ kPa}(0,25 \text{ Wh/m}^3)$ $\eta_{tot} = 0,5$

<sup>5</sup>Estos valores de irradiación por orientación y clima, así como los factores reductores por sombras remotas y por protecciones móviles pueden calcularse, pero estarán disponibles de forma tabulada en el DA DB-HE/1 de parámetros característicos de la envolvente térmica, para facilitar estos cálculos.

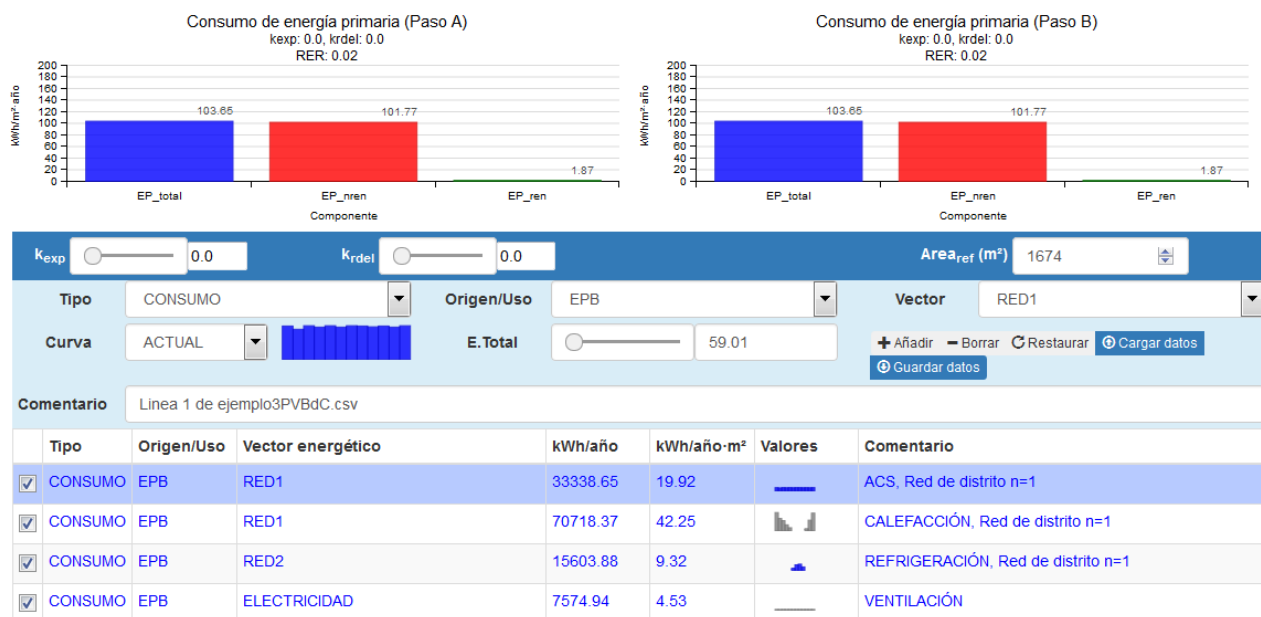


Figura 5: Indicadores (edificio 2006)

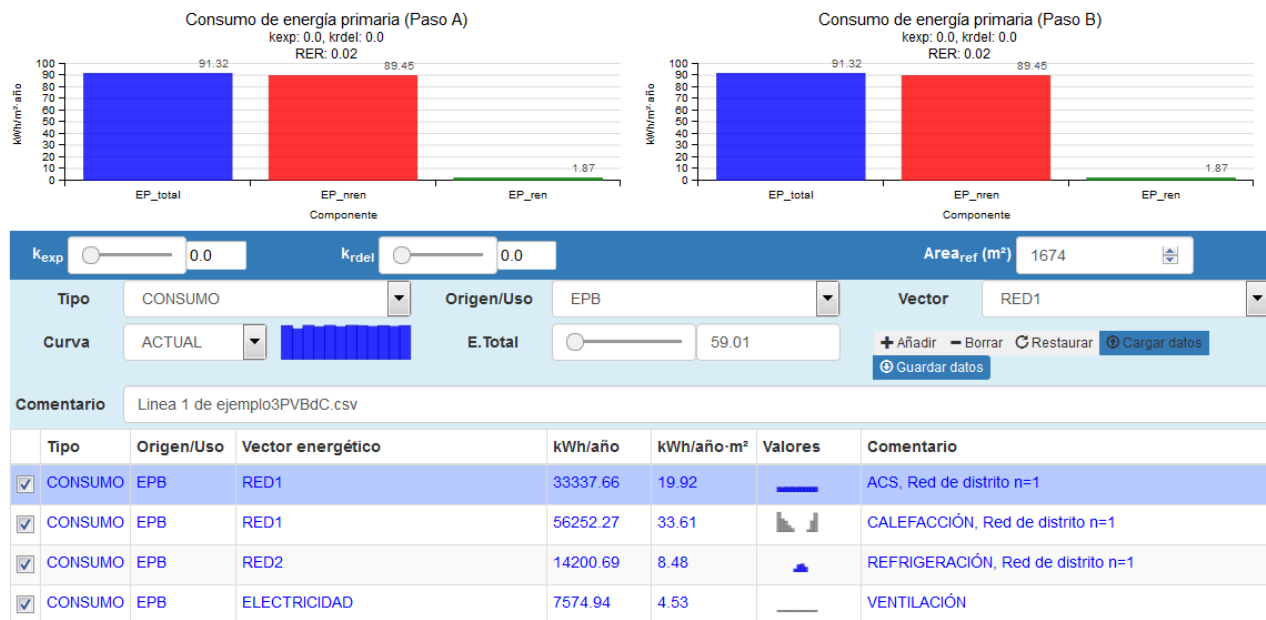
Las necesidades de energía final del edificio base, considerando una envolvente tipo DB-HE 2013 y sistemas alimentados (idealmente) con una red de distrito<sup>6</sup> y eficiencia global del 100 %, son las siguientes:

Tabla 9: Necesidades de energía (EN0), con sistemas base (S0)

Servicio	Energía [ $kWh/m^2 \text{año}$ ]	Vector energético	Rendimiento global
CALEFACCIÓN, $Q_H$	33,61	Red de distrito (RED1)	1,00
REFRIGERACIÓN, $Q_C$	8,48	Red de distrito (RED2)	1,00
ACS, $Q_W$	19,92	Red de distrito (RED1)	1,00
VENTILACIÓN (Simple flujo), $Q_V$	4,53	Electricidad	$SFP = 0,9 \text{ kPa}(0,25 \text{ Wh}/m^3)$ $\eta_{tot} = 0,5$

<sup>6</sup>Debe tenerse en cuenta el uso que se hace en estos ejemplos del vector *Red de distrito*, según aclara la nota de la Tabla 3.

En la **Figura 6** vemos los resultados de los indicadores de energía primaria total ( $EP_{total}$ ), energía primaria no renovable ( $EP_{nren}$ ) y energía primaria renovable ( $EP_{ren}$ ), así como la introducción de los consumos en la herramienta *EPBDPanel*.



**Figura 6:** Indicadores (edificio base 2013)

### 3.4. Medidas de mejora

Las tablas 10, 11, 12, 13 y 14 describen las medidas de mejora contempladas, aplicables en paquetes al edificio base:

**Tabla 10:** Medidas de mejora - envolvente

	Fachada	Cubierta	Suelo	Vidrio	Carpintería
<b>EN1</b>	14 cm	16 cm	10 cm	Vidrio BE4/15/6 ( $U_g = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ )	$U_F = 3,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
<b>EN2</b>	16 cm	20 cm	10 cm	Vidrio BE4/15/6 ( $U_g = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ )	$U_F = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Tabla 11:** Medidas de mejora - control solar de huecos

Factor de sombra estacional*	
<b>CS1</b>	$F_{sh} = 0,2$

\* Edificio base:  $F_{sh} = 0,7$

**Tabla 12:** Medidas de mejora - ventilación

Tecnología	Parámetros
<b>V1</b> Doble flujo + recup. calor	$\eta = 0,80 \rightarrow q_{eq} = 0,126 \text{ [ren/h]}$ $SFP = 1,80 \text{ kPa}(0,50 \text{ Wh/m}^3)$ $Q_v = 12,60 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an (electricidad)}$

**Tabla 13:** Medidas de mejora - sistemas

Calefacción				Refrigeración			ACS		
	Sistema	$\eta_{gen}$	$\eta_{d+e+c}$		$\eta_{gen}$	$\eta_{d+e+c}$		$\eta_{gen}$	$\eta_{d+e+c}$
<b>S1</b>	Caldera indiv. gas	0,95	0,95	BdC aire-aire	2,50	0,95	Caldera gas	0,85	0,88
<b>S2</b>	Caldera centr. biom.	0,72	0,90	BdC aire-aire	2,50	0,95	Caldera biom.	0,72	0,84
<b>S3</b>	BdC aire-aire	3,00	0,95	BdC aire-aire	2,50	0,95	BdC aire-agua	3,00	0,88
<b>S4</b>	Cogen. gas	0,55(th) 0,25(el)	0,90	BdC aire-aire	2,50	0,95	Cogen. gas	0,55(th) 0,25(el)	0,84

**Tabla 14:** Medidas de mejora - producción de energía in situ

	Descripción	Energía producida
<b>PV</b>	Paneles solares fotovoltaicos, $50 \text{ m}^2$ (5 kWp)	8130 kWh/an
<b>PT</b>	Paneles solares térmicos	Cobertura ACS 50 %

### 3.5. Resultados de la aplicación de paquetes de medidas de mejora

#### 3.5.1. Mejoras del aislamiento térmico

En la [Figura 7](#) vemos los resultados de los indicadores aplicando la medida de mejora de la envolvente EN1, que redonda en reducciones en las necesidades de calefacción y refrigeración.

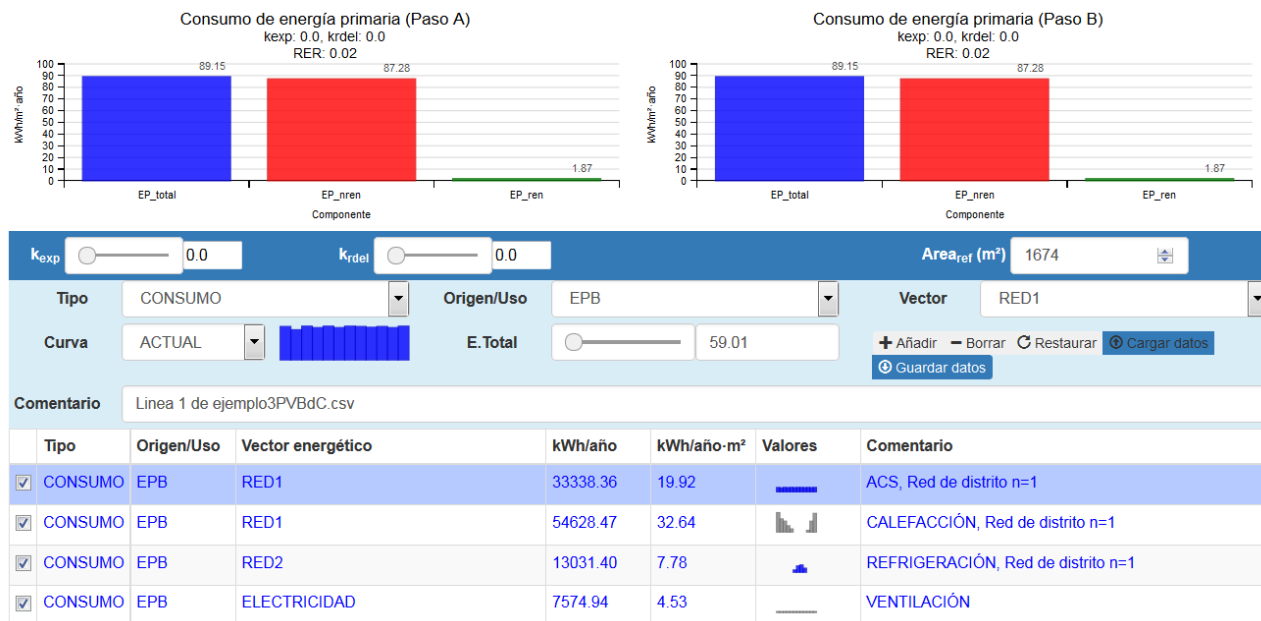
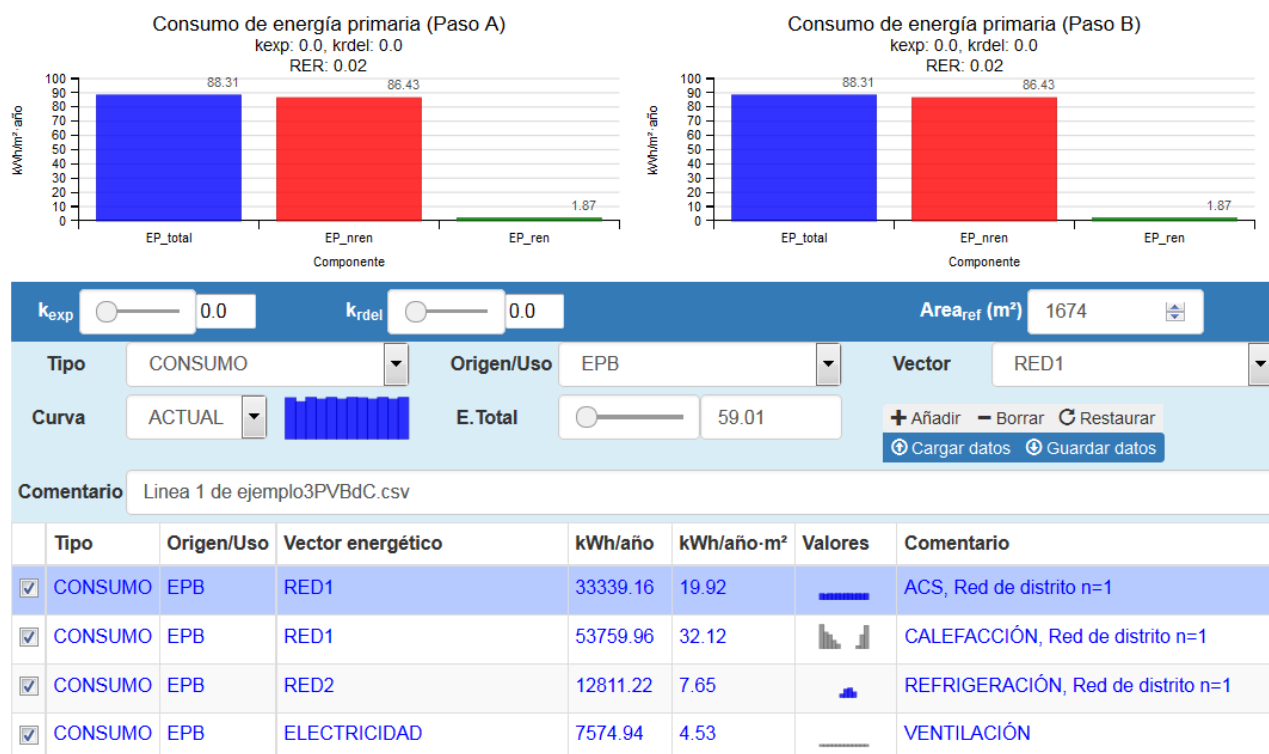


Figura 7: Indicadores para el edificio base 2013 + EN1

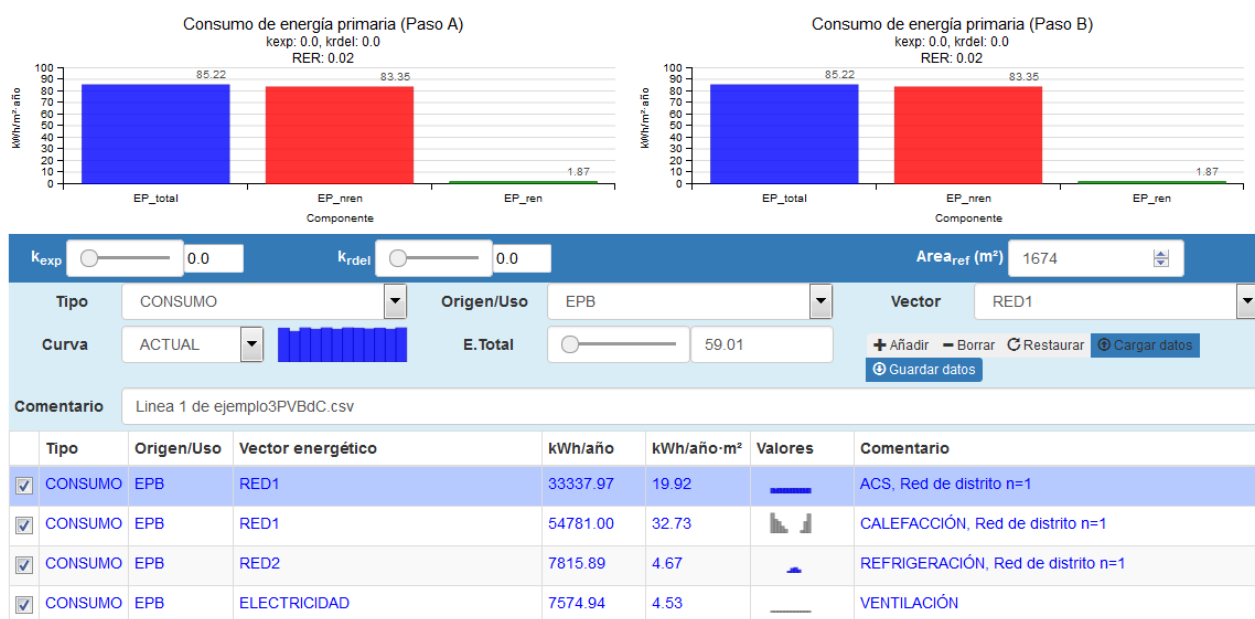
En la **Figura 8** vemos los resultados de los indicadores aplicando la medida de mejora de la envolvente EN2, que incrementa la reducción respecto a la medida EN1 (aunque escasamente).



**Figura 8:** Indicadores para el edificio base 2013 + EN2

### 3.5.2. Mejora del sombreado de huecos

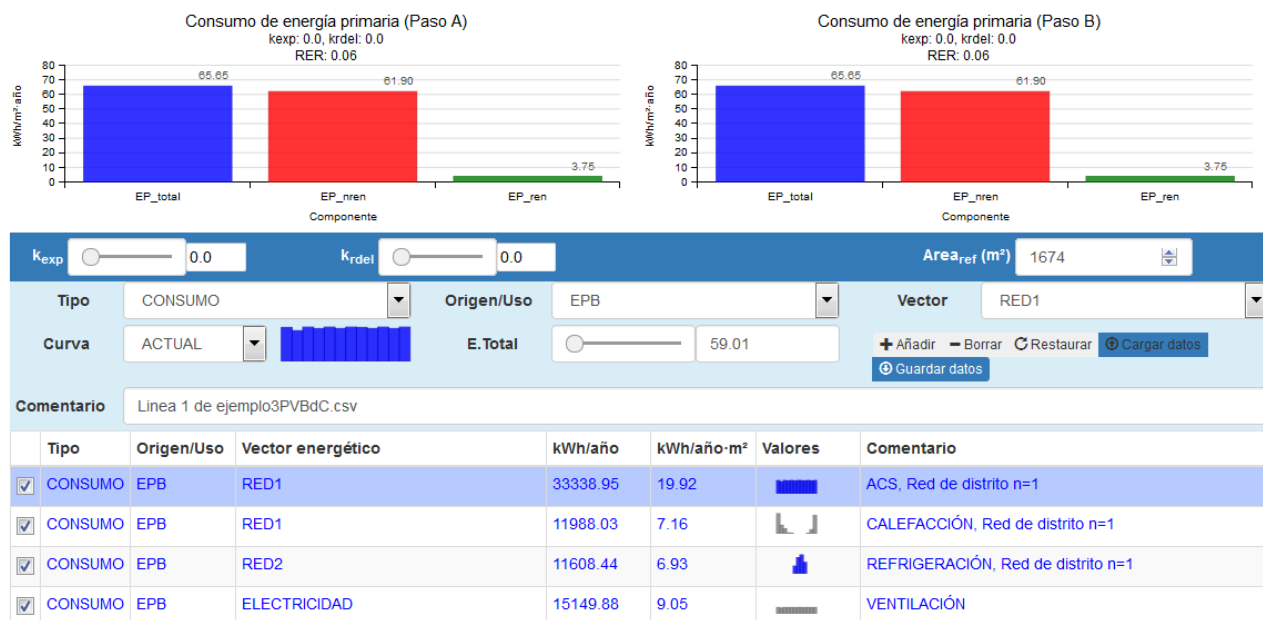
En la **Figura 9** vemos los resultados de los indicadores aplicando la medida de mejora de la envolvente EN1 + CS1, que supone una mejora de las necesidades de refrigeración y un leve aumento de las necesidades de calefacción, por la menor captación solar.



**Figura 9:** Indicadores para el edificio base 2013 + EN1 + CS1

### 3.5.3. Uso de recuperadores de calor

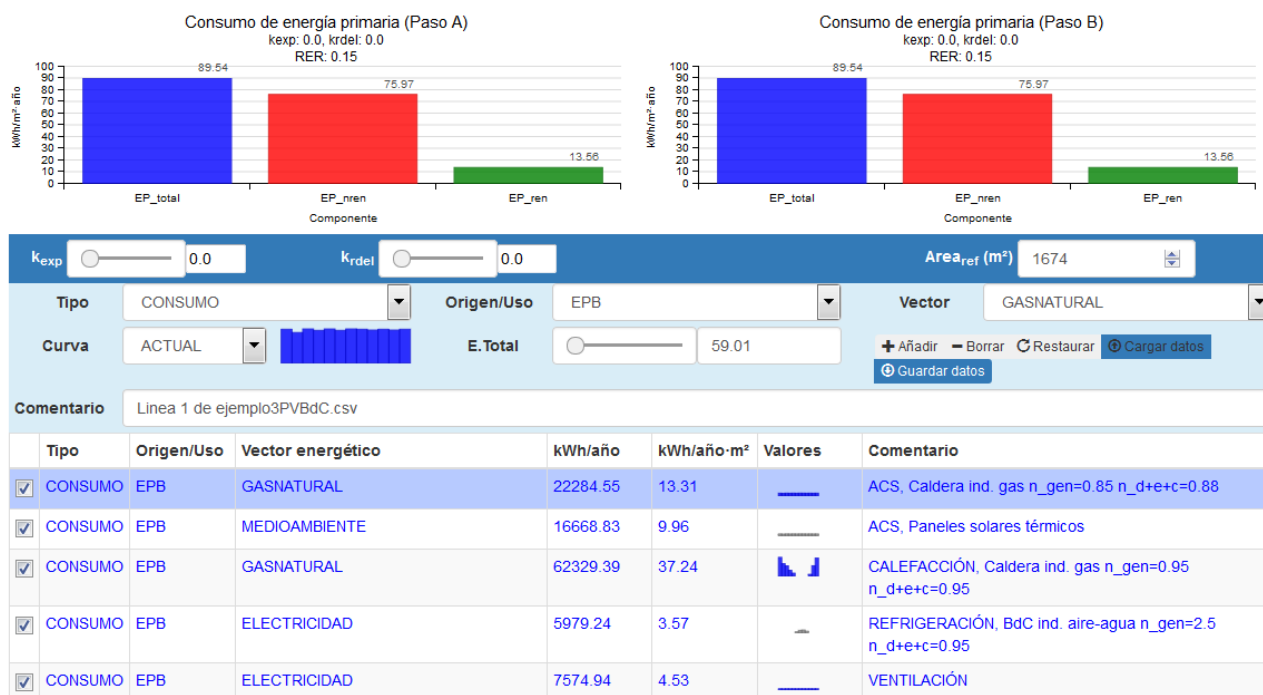
En la [Figura 10](#) vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base la medida V1, de recuperación de calor. Supone una reducción significativa de las necesidades de calefacción y un aumento de las necesidades de refrigeración (no se contempla free-cooling en el caso), además de un aumento en el consumo por ventilación al emplear un sistema con doble flujo y mayor pérdida de carga.



**Figura 10:** Indicadores para el edificio base 2013 + V1

### 3.5.4. Cambio de sistemas y producción de energía solar térmica

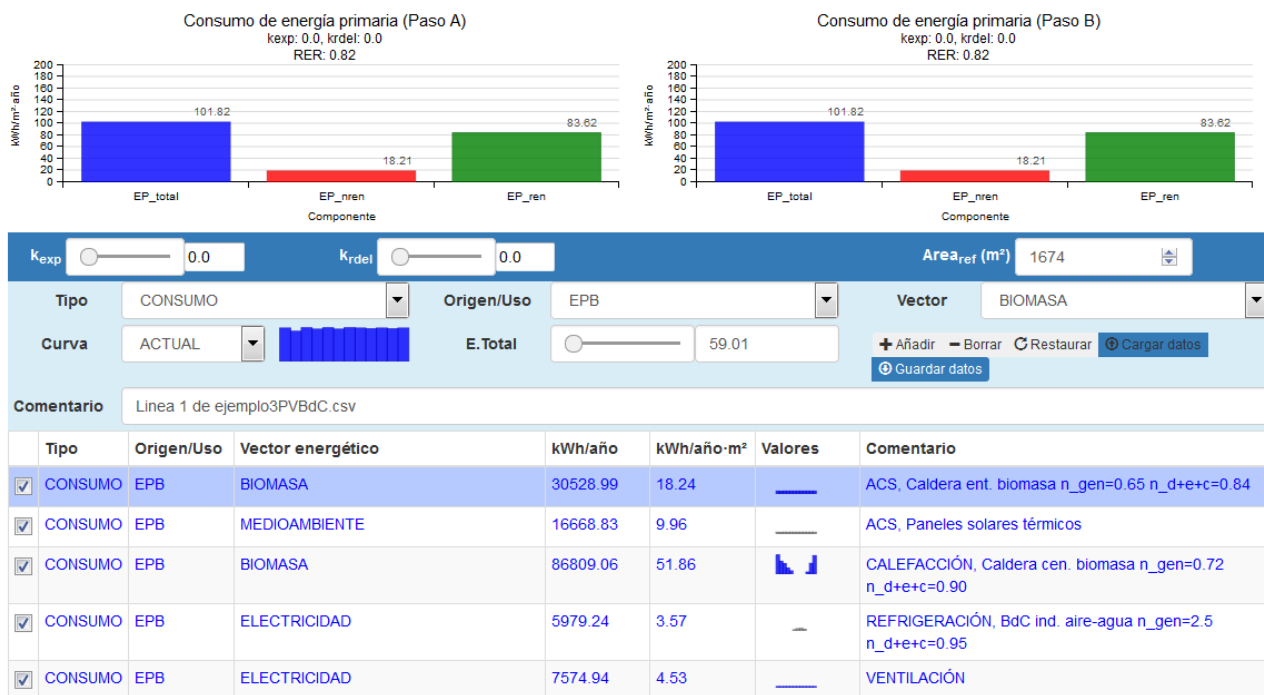
En la [Figura 11](#) vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base la medida S1 (caldera de gas natural + BdC), de sistemas. En este caso cabe señalar la aportación energética realizada por el medio ambiente con la producción solar térmica y que se refleja en un consumo de energía del medioambiente.



**Figura 11:** Indicadores para el edificio base 2013 + S1 + PT

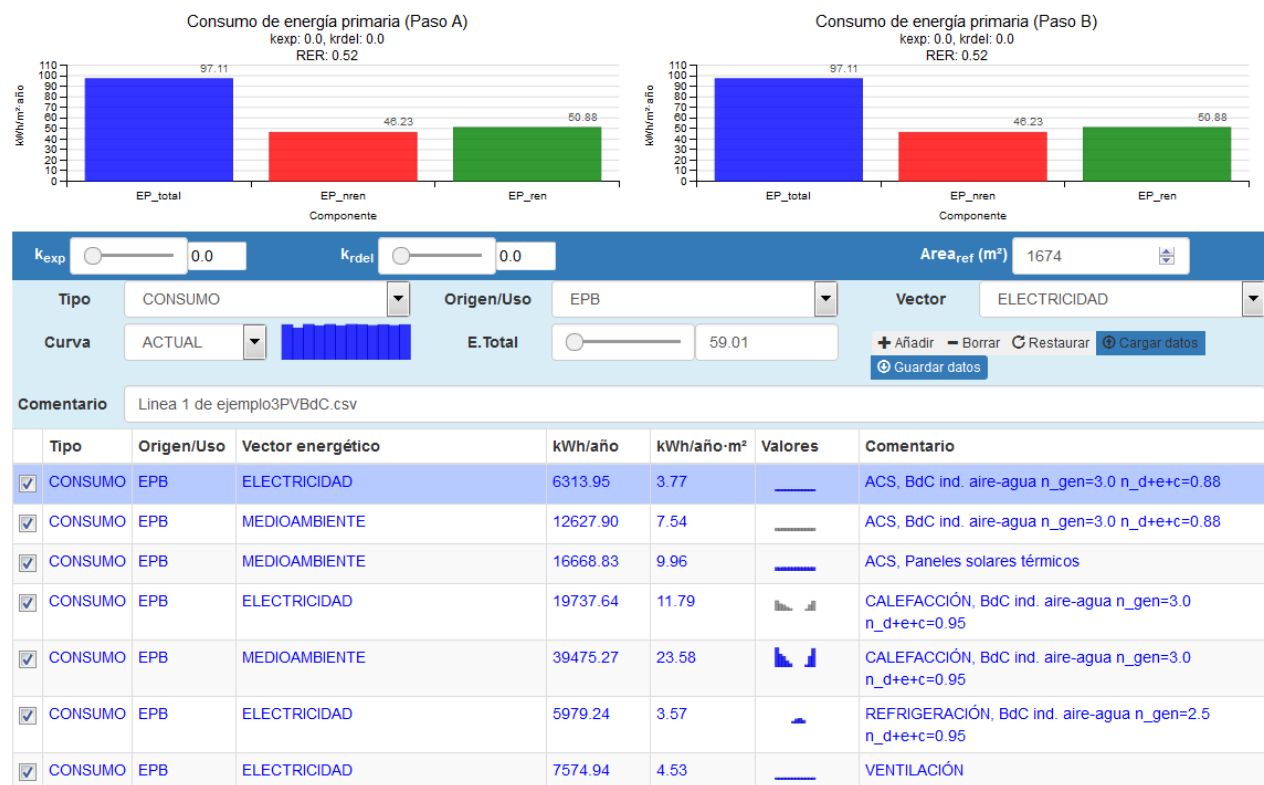


En la **Figura 12** vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base la medida S2 (caldera de biomasa + BdC), de sistemas.



**Figura 12:** Indicadores para el edificio base 2013 + S2 + PT

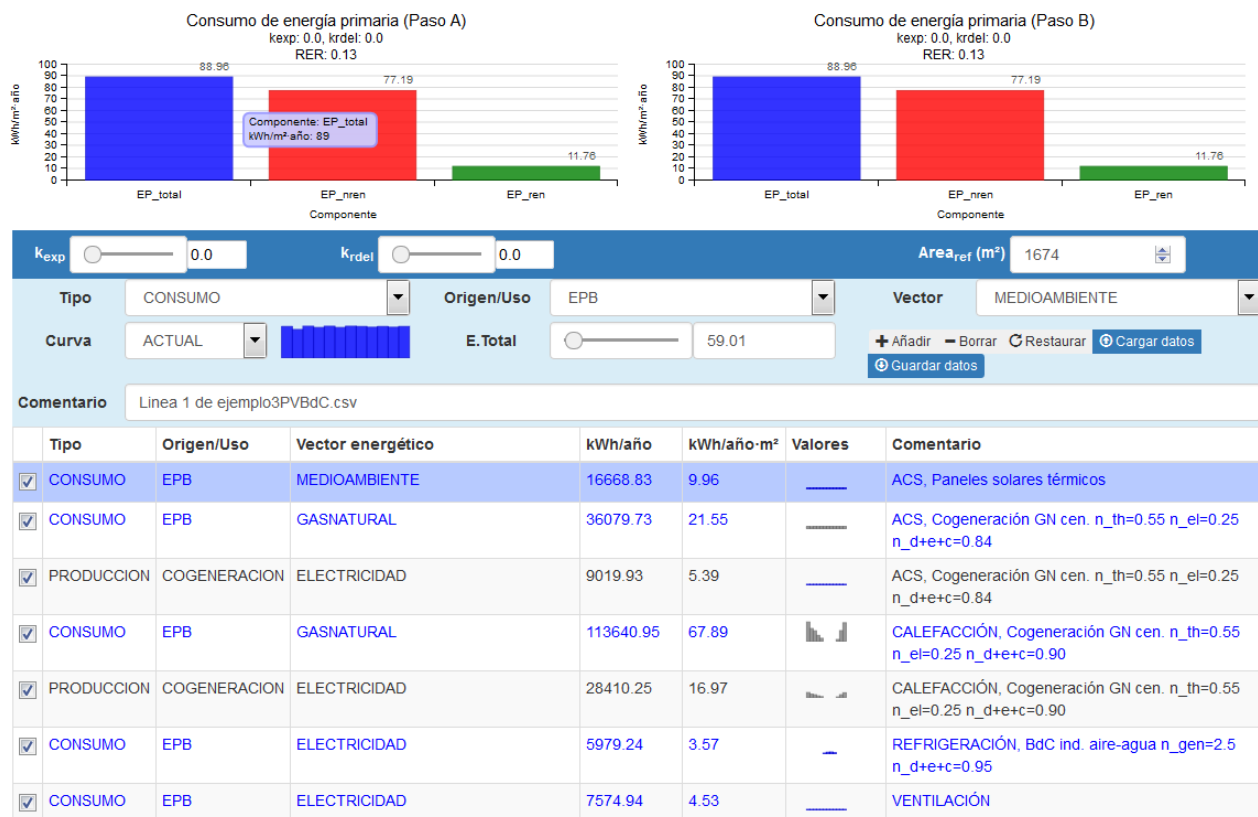
En la **Figura 13** vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base la medida S3 (BdC), de sistemas. En este caso, la bomba de calor aporta un suministro de energía del medioambiente en el modo de calefacción (la energía rechazada en el modo de refrigeración no es un suministro de energía).



**Figura 13:** Indicadores para el edificio base 2013 + S3 + PT



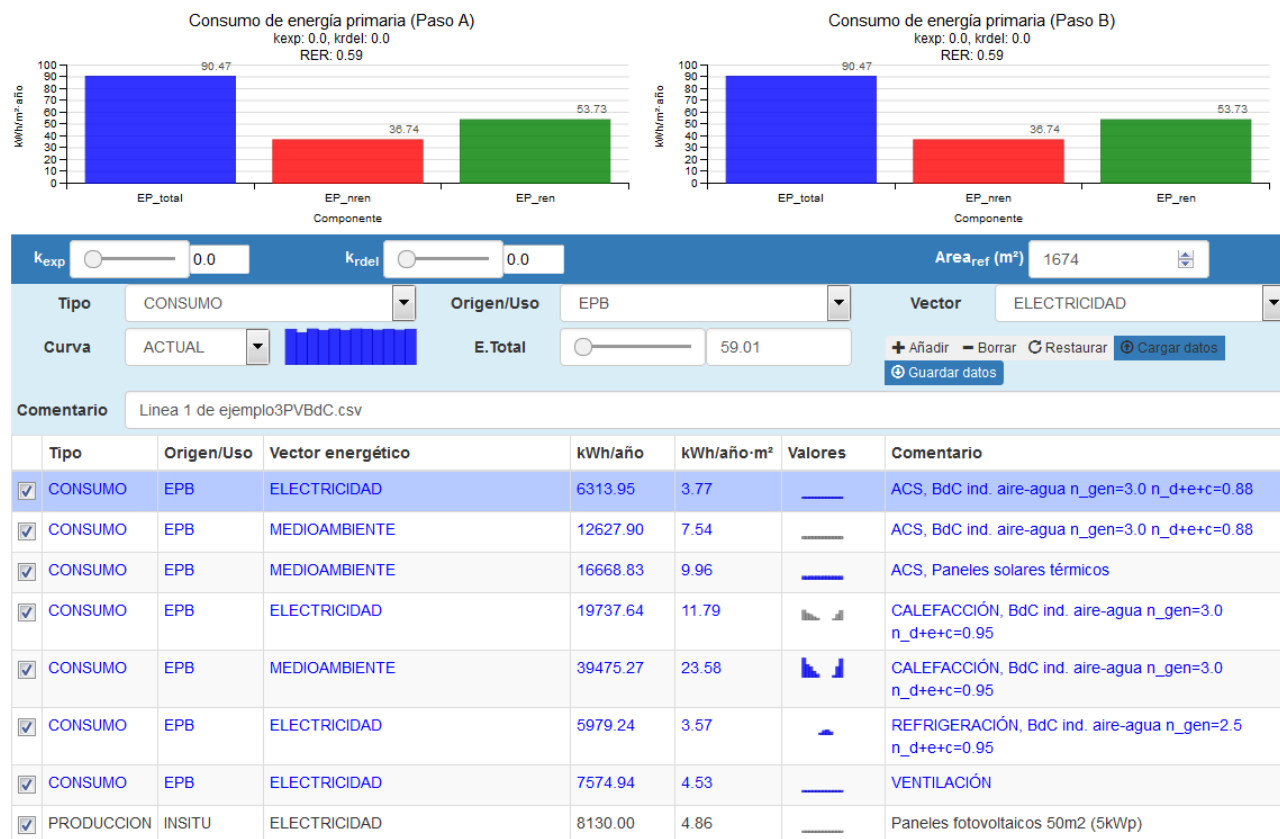
En la **Figura 14** vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base la medida S4 (cogeneración + BdC), de sistemas. En ese caso cabe señalar la producción eléctrica resultante de la cogeneración.



**Figura 14:** Indicadores para el edificio base 2013 + S4 + PT

### 3.5.5. Producción *in situ* de energía fotovoltaica

En la [Figura 15](#) vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base la medida S3, PT y PV, de sistemas. Este caso muestra el uso de paneles fotovoltaicos, que se muestra como una producción *in situ* de ELECTRICIDAD.



**Figura 15:** Indicadores para el edificio base 2013 + S3 + PT + PV



### 3.6. Cuadros resumen

#### 3.6.1. Necesidades de energía

**Tabla 15:** Necesidades de energía por componentes [ $kWh/m^2a$ ]

**(a) Componentes de la demanda energética**

Variante	Paredes ext.		Paredes terr.		Paredes int.		Cubiertas		Suelos aire		Suelos terreno		P. térmicos	
	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.
EE0	-7,86	1,66	0	0	0	0	-3,7	-2,22	0	0	-2,64	-2,22	-5,67	-0,97
EN0	-3,57	0,73	0	0	0	0	-2,23	1,13	0	0	-2,18	-1,74	-5,81	-0,96
EN1	-2,7	0,57	0	0	0	0	-1,960	1,2	0	0	-1,93	-1,54	-5,78	-0,93
EN2	-2,41	0,52	0	0	0	0	-1,63	1,0	0	0	-1,93	-1,54	-5,79	-0,93
EN1+CS1	-2,69	0,72	0	0	0	0	-2,0	1,35	0	0	-1,93	-1,41	-5,77	-0,76
EN0+V1	-4,24	0,75	0	0	0	0	-2,72	1,42	0	0	-2,77	-1,69	-6,42	-0,95

**(b) Componentes de la demanda energética**

Variante	Solar Vent.		Transm. Vent.		Fuentes internas		Vent.+Inf.		Total nec.de energía			Vent.+Inf. [ren/h]
	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Cal.	Ref.	Total	
EE0	20,28	9,24	-15,79	-0,25	27,33	13,79	-47,29	-12,79	-35,4	10,71	46,11	0,98
EN0	20,21	9,35	-12,71	0,06	27,33	13,79	-47,51	-12,58	-26,55	9,88	36,43	0,98
EN1	16,38	7,97	-9,56	0,43	27,33	13,79	-47,34	-12,27	-25,61	9,26	34,87	0,98
EN2	16,38	7,97	-9,58	0,45	27,33	13,79	-47,38	-12,16	-25,06	9,13	34,19	0,98
EN1+CS1	16,38	2,41	-9,53	0,07	27,33	13,79	-47,26	-9,93	-25,54	6,28	31,82	0,98
EN0+V1	20,21	9,35	-14,57	-0,04	27,33	13,79	-16,9	-14,42	-0,19	8,28	8,47	0,61

#### 3.6.2. Consumo de energía final

**Tabla 16:** Consumo de energía final [ $kWh/m^2a$ ]

Variante	Total	Cal	Ref	ACS	Vent. (aux)	Ilum.+Eq.	ACS (aux)	Total
	EPB	EPB	EPB	EPB	EPB	nEPB	nEPB	EPB + nEPB
EE0	76,60	42,2	9,30	19,90	4,50	19,30	0,66	95,90
EN0	67,10	33,60	8,50	19,90	4,50	19,30	0,66	86,40
EN1	65,50	32,60	7,80	19,90	4,50	19,30	0,66	84,70
EN2	64,80	32,10	7,70	19,90	4,50	19,30	0,66	84,10
EN1+CS1	62,40	32,70	4,70	19,90	4,50	19,30	0,66	81,70
EN0+V1	43,70	7,20	6,90	19,90	9,10	19,30	0,66	62,90

### 3.6.3. Indicadores de eficiencia energética

**Tabla 17:** Indicadores de eficiencia energética por variante [ $kWh/m^2 a$ ]

(a) Sistemas: Base, 1, 2

	Sistema Base			Sistema 1			Sistema 2		
	$EP_{total}$	$EP_{nren}$	$EP_{ren}$	$EP_{total}$	$EP_{nren}$	$EP_{ren}$	$EP_{total}$	$EP_{nren}$	$EP_{ren}$
<b>EE0</b>	103,65	101,77	1,87	101,82	88,06	13,76	116,49	19,35	97,14
<b>EN0</b>	91,38	89,45	1,87	89,54	75,97	13,56	101,82	18,21	83,62
<b>EN1</b>	89,15	87,28	1,87	87,56	74,12	13,44	99,58	17,58	82,00
<b>EN2</b>	88,31	86,43	1,87	86,74	73,33	13,41	98,61	17,44	81,17
<b>EN1+CS1</b>	85,22	83,35	1,87	84,57	71,68	12,89	96,61	15,02	81,59
<b>EN0+V1</b>	65,65	61,9	3,75	63,7	48,68	15,02	68,68	24,39	44,29

(b) Sistemas: 3, 3+PV, 4

	Sistema 3			Sistema 3+PV			Sistema 4		
	$EP_{total}$	$EP_{nren}$	$EP_{ren}$	$EP_{total}$	$EP_{nren}$	$EP_{ren}$	$EP_{total}$	$EP_{nren}$	$EP_{ren}$
<b>EE0</b>	111,19	52,85	58,35	104,55	43,36	61,19	100,63	88,63	12,00
<b>EN0</b>	97,11	46,23	50,88	90,47	36,74	53,73	88,96	77,19	11,76
<b>EN1</b>	94,93	44,99	49,94	88,29	35,5	52,78	86,41	74,77	11,63
<b>EN2</b>	94,00	44,53	49,47	87,36	35,04	52,32	85,55	73,94	11,61
<b>EN1+CS1</b>	91,96	42,49	49,47	85,32	33,00	52,32	80,13	69,04	11,09
<b>EN0+V1</b>	65,76	35,67	30,09	59,11	26,18	32,93	65,12	52,87	12,26

**Tabla 18:** Indicadores de eficiencia energética de la variante EE0, por sistemas [ $kWh/m^2 a$ ]

	EP total	EP nren	EP ren
<b>Sistema Base (Sist. Ideales)</b>	103,65	101,77	1,87
<b>S1 (Caldera Gas + BdC)</b>	101,82	88,06	13,76
<b>S2 (Biomasa+ BdC)</b>	116,49	19,35	97,14
<b>S3 (BdC + BdC)</b>	111,19	52,85	58,35
<b>S3 (BdC + BdC) + Fotovoltaica</b>	104,55	43,36	61,19
<b>S4 (Cogeneración + BdC)</b>	100,63	88,63	12,00

**Tabla 19:** Indicadores de eficiencia energética de la variante EN0, por sistemas [ $kWh/m^2 a$ ]

	EP total	EP nren	EP ren
<b>Sistema Base (Sist. Ideales)</b>	91,38	89,45	1,87
<b>S1 (Caldera Gas + BdC)</b>	89,54	75,97	13,56
<b>S2 (Biomasa+ BdC)</b>	101,82	18,21	83,62
<b>S3 (BdC + BdC)</b>	97,11	46,23	50,88
<b>S3 (BdC + BdC) + Fotovoltaica</b>	90,47	36,74	53,73
<b>S4 (Cogeneración + BdC)</b>	88,96	77,19	11,76

**Tabla 20:** Indicadores de eficiencia energética de la variante EN1, por sistemas [ $kWh/m^2 a$ ]

	EP total	EP nren	EP ren
<b>Sistema Base (Sist. Ideales)</b>	89,15	87,28	1,87
<b>S1 (Caldera Gas + BdC)</b>	87,56	74,12	13,44
<b>S2 (Biomasa+ BdC)</b>	99,58	17,58	82,00
<b>S3 (BdC + BdC)</b>	94,93	44,99	49,94
<b>S3 (BdC + BdC) + Fotovoltaica</b>	88,29	35,5	52,78
<b>S4 (Cogeneración + BdC)</b>	86,41	74,77	11,63



**Tabla 21:** Indicadores de eficiencia energética de la variante EN2, por sistemas [ $kWh/m^2a$ ]

	EP total	EP nren	EP ren
<b>Sistema Base (Sist. Ideales)</b>	88,31	86,43	1,87
<b>S1 (Caldera Gas + BdC)</b>	86,74	73,33	13,41
<b>S2 (Biomasa+ BdC)</b>	98,61	17,44	81,17
<b>S3 (BdC + BdC)</b>	94,00	44,53	49,47
<b>S3 (BdC + BdC) + Fotovoltaica</b>	87,36	35,04	52,32
<b>S4 (Cogeneración + BdC)</b>	85,55	73,94	11,61

**Tabla 22:** Indicadores de eficiencia energética de la variante EN1 + CS1, por sistemas [ $kWh/m^2a$ ]

	EP total	EP nren	EP ren
<b>Sistema Base (Sist. Ideales)</b>	85,22	83,35	1,87
<b>S1 (Caldera Gas + BdC)</b>	84,57	71,68	12,89
<b>S2 (Biomasa+ BdC)</b>	96,61	15,02	81,59
<b>S3 (BdC + BdC)</b>	91,96	42,49	49,47
<b>S3 (BdC + BdC) + Fotovoltaica</b>	85,32	33,00	52,32
<b>S4 (Cogeneración + BdC)</b>	80,13	69,04	11,09

**Tabla 23:** Indicadores de eficiencia energética de la variante EN0 + V1, por sistemas [ $kWh/m^2a$ ]

	EP total	EP nren	EP ren
<b>Sistema Base (Sist. Ideales)</b>	65,65	61,9	3,75
<b>S1 (Caldera Gas + BdC)</b>	63,7	48,68	15,02
<b>S2 (Biomasa+ BdC)</b>	68,68	24,39	44,29
<b>S3 (BdC + BdC)</b>	65,76	35,67	30,09
<b>S3 (BdC + BdC) + Fotovoltaica</b>	59,11	26,18	32,93
<b>S4 (Cogeneración + BdC)</b>	65,12	52,87	12,26

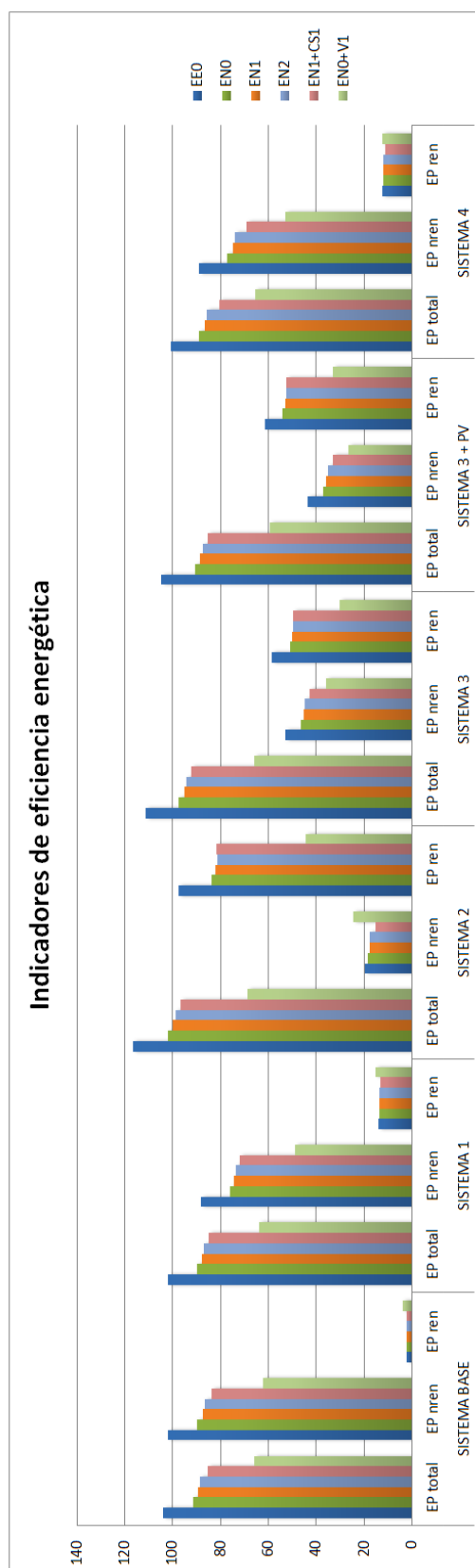


Figura 16: Indicadores de  $EP_{total}$ ,  $EP_{nren}$  y  $EP_{ren}$



## Anexo A Cálculo de indicadores de envolvente térmica

### A.1 Transmitancia térmica global, $K$

El indicador  $K$  se calcula a partir del *coeficiente de transferencia de calor por transmisión* ( $H_{adj,tr}$ ), descrito en la *UNE-EN ISO 13790:2008*, y el *área de intercambio térmico* de la envolvente ( $\sum_i A_i$ ):

$$K = H'_{tr,adj} / \sum_i A_i = \sum_x H_x / \sum_i A_i$$

$$K = \sum_x b_{tr,x} [\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi_j] / \sum_i A_i$$

donde:

- $\sum_i A_i$  es el área de intercambio de la envolvente térmica obtenida como suma de los distintos componentes considerados en la transmisión de calor;
- $H_x$  corresponde a los coeficientes estacionarios de transferencia de calor:
  - al ambiente exterior ( $H_D$ ),
  - al terreno ( $H_g$ ),
  - a espacios no acondicionados ( $H_U$ ),
  - a edificios adyacentes ( $H_A$ )

de modo que  $H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$ ;

- $b_{tr,x} = 0$  para los elementos en contacto con edificios o espacios adyacentes y  $b_{tr,x} = 1$  para el resto de los casos, de modo que  $H'_T = H'_{tr,adj} = H_D + H_g$ ;
- los valores de  $U$  y  $\psi$  de los elementos de la envolvente térmica y sus encuentros se pueden obtener del *Documento de Apoyo de parámetros característicos de la envolvente* o de normas UNE-EN ISO relacionadas (UNE-EN ISO 13789:2007, etc).

### A.2 Control solar, $Q_{sol,jul}/A_{util}$

El indicador  $Q_{sol,jul}/A_{util}$  se calcula a partir del flujo de calor por ganancias solares (sin descontar la energía reirradiada al cielo), para el mes de julio, de todos los huecos de la envolvente térmica, y del área útil acondicionada del edificio ( $A_{util}$ ).

$$Q_{sol,jul} = \sum_k F_{sh,obst} \cdot F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \cdot H_{sol,jul}$$

donde:

- $F_{sh,obst}$  es el factor reductor por sombreado por obstáculos externos<sup>7</sup> del hueco  $k$ ;
- $F_{sh,gl}$  es el factor reductor por sombreado para los dispositivos de sombra móviles<sup>8</sup>, en posición activada y para el mes de julio del hueco  $k$ ;
- $g_{gl}$  es la transmitancia total de energía solar de la parte transparente del hueco  $k$ ;
- $F_F$  es la fracción de marco del hueco  $k$  ( $F_F = 0,2$ );
- $A_{w,p}$  [ $m^2$ ] es la superficie proyectada del hueco  $k$ ;
- $H_{sol,jul}$  [ $kWh/m^2/mes$ ] es la irradiación (acumulada) del mes de julio para el clima considerado y la orientación del hueco  $k$ <sup>9</sup>;

<sup>7</sup>Comprende todos los elementos exteriores al hueco como voladizos, aletas laterales, retranqueos, obstáculos remotos, etc.

<sup>8</sup>Comprende cortinas, persianas, lamas, etc.

<sup>9</sup>Este valor se podrá calcular u obtener de tablas con entrada por orientación y clima (latitud, radiación)





## Anexo B Uso de *VisorEPBD* como herramienta de ayuda al diseño

### B.1 Predimensionado de soluciones

Además de la evaluación energética de un edificio o proyecto particular, *VisorEPBD* puede usarse como herramienta de ayuda al diseño, usando valores de demanda energética para evaluar el impacto de:

- el uso de sistemas con diferentes rendimientos;
- los cambios en los vectores energéticos suministrados;
- la producción *in situ* de energía renovable.

### B.2 Introducción de sistemas en *VisorEPBD*

#### B.2.1 Introducción de sistemas de un único vector energético

Los sistemas alimentados por un único vector energético (combustible o electricidad) se aparecen en el *VisorEPBD* como una única línea de valores de consumo del vector energético y, dependiendo del servicio producido, se tratará de un consumo de tipo EPB o no EPB.

La [Figura 17](#) muestra la línea de valores en la interfaz de *VisorEPBD* correspondiente a la producción de un servicio EPB por un sistema alimentado con un único vector energético.

<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	GASNATURAL	22284.55	13.31	ACS, Caldera ind. gas n_gen=0.85 n_d+e+c=0.88
-------------------------------------	---------	-----	------------	----------	-------	-----------------------------------------------

**Figura 17:** Línea de valores correspondiente a un sistema de producción de ACS usando una caldera alimentada por gas natural.

Esta línea figuraría del siguiente modo en un archivo de *VisorEPBD*:

```
GASNATURAL, CONSUMO, EPB, 1886.32, 1702.37, 1901.76, 1824.69, 1901.93, 1824.97, 1902.28, 1886.36,  
1840.89, 1885.9, 1840.88, 1886.2 # ACS, Caldera ind. gas n_gen=0.85 n_d+e+c=0.88
```

La interfaz de *VisorEPBD* permite consultar los valores individuales de consumo de cada intervalo de cálculo y modificarlos de forma global, pero actualmente es necesario acudir a la edición manual de la línea correspondiente del archivo de valores para hacer la edición individual de valores.

#### B.2.2 Introducción de sistemas con aportación de energía del medioambiente (bombas de calor)

Algunos sistemas, como las bombas de calor, obtienen energía térmica procedente del medioambiente que el edificio consume para proporcionar servicios.

Por tanto, esa energía puede entenderse bien como una producción *in situ* del vector MEDIOAMBIENTE o de un consumo del edificio de dicho vector. Dado que *VisorEPBD* realiza un suministro de la red para aquella energía consumida y no producida *in situ*, es posible omitir la producción de energía si el factor de paso del suministro de ese vector desde la red<sup>10</sup> es igual al de su producción<sup>11</sup>.

De ese modo, una bomba de calor que aporte calor al edificio (por ejemplo, para el servicio de calefacción o de ACS) se reflejaría en el *VisorEPBD* mediante dos líneas de valores de consumo, una del vector energético MEDIOAMBIENTE y otra del combustible o electricidad que use el sistema. En el caso de que el equipo operase en el modo de enfriamiento no se realiza aportación del vector MEDIOAMBIENTE, sino que se vierte calor del edificio al medioambiente, y únicamente figuraría en *VisorEPBD* el consumo de otro vector energético.

<sup>10</sup>Esta es, evidentemente, una red de suministro ficticia.

<sup>11</sup>Este criterio es el que se ha adoptado en los ejemplos, y por ello no se refleja la producción de energía del vector MEDIOAMBIENTE.



La **Figura 18** muestra las líneas de valores en la interfaz de *VisorEPBD* correspondientes a la producción de calefacción y refrigeración (servicios EPB) por una bomba de calor, alimentada con los vectores energéticos ELECTRICIDAD y MEDIOAMBIENTE en modo calefacción y ELECTRICIDAD en el modo refrigeración.

<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	ELECTRICIDAD	19737.64	11.79		CALEFACCIÓN, BdC ind. aire-agua n_gen=3.0 n_d+e+c=0.95
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	MEDIOAMBIENTE	39475.27	23.58		CALEFACCIÓN, BdC ind. aire-agua n_gen=3.0 n_d+e+c=0.95
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	ELECTRICIDAD	5979.24	3.57		REFRIGERACIÓN, BdC ind. aire-agua n_gen=2.5 n_d+e+c=0.95

**Figura 18:** Líneas de valores correspondientes a una bomba de calor eléctrica para calefacción y refrigeración.

Las líneas del archivo de *VisorEPBD* correspondientes son:

```
ELECTRICIDAD, CONSUMO, EPB, 4663.17, 3068.75, 2511.55, 1397.64, 682.09, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 380.84,
2550.76, 4482.84 # CALEFACCIÓN, BdC ind. aire-agua n_gen=3.0 n_d+e+c=0.95
MEDIOAMBIENTE, CONSUMO, EPB, 9326.34, 6137.5, 5023.1, 2795.28, 1364.18, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 761.68,
5101.52, 8965.67 # CALEFACCIÓN, BdC ind. aire-agua n_gen=3.0 n_d+e+c=0.95
ELECTRICIDAD, CONSUMO, EPB, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 710.32, 1894.66, 2156.5, 1217.76, 0.0, 0.0, 0.0
# REFRIGERACIÓN, BdC ind. aire-agua n_gen=2.5 n_d+e+c=0.95
```

### B.2.3 Introducción de sistemas de cogeneración

Los sistemas de cogeneración suponen el consumo de un vector energético (un combustible, normalmente) para producir energía térmica y, simultáneamente, electricidad.

Estos sistemas se reflejan en el *VisorEPBD* mediante dos líneas de valores, una de consumo de combustible y otra de producción de electricidad.

La producción de electricidad usa el vector ELECTRICIDAD o sus variantes, y, a diferencia de otras producciones *in situ*, cuyo origen es del tipo INSITU, su origen es del tipo COGENERACION.

La energía térmica producida en la cogeneración no figura directamente en las líneas de valores puesto que no es un suministro al edificio, aunque se emplee en la producción de un servicio o se vierta al medioambiente.

La **Figura 19** muestra las líneas de valores en la interfaz de *VisorEPBD* correspondientes al servicio de calefacción (EPB) con un equipo al que se le suministra el vector energético GASNATURAL, con cogeneración de ELECTRICIDAD.

<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	GASNATURAL	113640.95	67.89		CALEFACCIÓN, Cogeneración GN cen. n_th=0.55 n_el=0.25 n_d+e+c=0.90
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCCION	COGENERACION	ELECTRICIDAD	28410.25	16.97		CALEFACCIÓN, Cogeneración GN cen. n_th=0.55 n_el=0.25 n_d+e+c=0.90

**Figura 19:** Líneas de valores correspondientes a un equipo de cogeneración alimentado por gas natural.


Las líneas del archivo de *VisorEPBD* correspondientes son:

```
GASNATURAL, CONSUMO, EPB, 26848.55, 17668.57, 14460.44, 8047.03, 3927.19, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
2192.71, 14686.2, 25810.26 # CALEFACCIÓN, Cogeneración GN cen. n_th=0.55 n_el=0.25 n_d+e+c=0.90
ELECTRICIDAD, PRODUCCION, COGENERACION, 6712.14, 4417.14, 3615.11, 2011.76, 981.8, 0.0, 0.0, 0.0,
0.0, 548.18, 3671.55, 6452.57 # CALEFACCIÓN, Cogeneración GN cen. n_th=0.55 n_el=0.25 n_d+e+c=0.90
```

### B.2.4 Introducción de sistemas de producción de energía *in situ* (térmica y eléctrica)

Los sistemas de producción de energía *in situ*, aparecen en *VisorEPBD* como líneas del tipo PRODUCCION en lugar del tipo CONSUMO, según su origen sea la cogeneración y otro origen, tendrán subtipo COGENERACION o INSITU.

Las **producciones de energía térmica** (en principio, no exportables), pueden, con el uso de factores de paso adecuados, representarse solamente mediante su consumo, sustituyendo la producción por un suministro de una red virtual de suministro cuyos factores de paso son iguales a los que resultarían de la producción por el medioambiente. Este caso, se mostró en el ejemplo de introducción de una bomba de calor, correspondería también al de la [Figura 20](#), de uso de paneles solares térmicos, representado también en *VisorEPBD* como un consumo, dejando implícita la producción necesaria para dicho consumo.

<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	MEDIOAMBIENTE	16668.83	9.96		ACS, Paneles solares térmicos
-------------------------------------	---------	-----	---------------	----------	------	-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------


**Figura 20:** Línea de valores correspondiente a la introducción de paneles solares térmicos para el servicio de ACS.

La línea del archivo de *VisorEPBD* correspondiente es:

MEDIOAMBIENTE, CONSUMO, EPB, 1410.97, 1273.37, 1422.52, 1364.87, 1422.64, 1365.08, 1422.9, 1411.0, 1376.98, 1410.65, 1376.97, 1410.88 # ACS, Paneles solares térmicos

En relación a la **producción de energía eléctrica**, la [Figura 21](#) muestra la introducción de paneles solares fotovoltaicos. Esta se representa como una producción del vector ELECTRICIDAD, que podrá ser consumida por los diversos servicios del edificio que precisen consumo de electricidad, o exportada a la red.

A diferencia de lo que ocurre con la energía térmica procedente del medioambiente, cuando esta no se considere exportable<sup>12</sup>, no es posible omitir la definición explícita de la producción *in situ* de energía eléctrica, dado que los consumos de electricidad que se abastezcan con suministros desde la red se consideran con ponderaciones (factores de paso a energía primaria o emisiones) distintas a las de la producción de electricidad *in situ*.

<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCCION	INSITU	ELECTRICIDAD	8130.00	4.86		Paneles fotovoltaicos 50m2 (5kWp)
-------------------------------------	------------	--------	--------------	---------	------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------

**Figura 21:** Línea de valores correspondiente a la producción de electricidad con paneles solares fotovoltaicos.

La línea del archivo de *VisorEPBD* correspondiente es:

MEDIOAMBIENTE, CONSUMO, EPB, 1410.97, 1273.37, 1422.52, 1364.87, 1422.64, 1365.08, 1422.9, 1411.0, 1376.98, 1410.65, 1376.97, 1410.88 # ACS, Paneles solares térmicos

### B.3 Estimación de la energía final a partir de la demanda

Aunque para evaluar un edificio concreto es posible obtener datos de energía final mediante medición o simulación energética, resulta interesante poder evaluar distintas alternativas de diseño en fases previas de diseño y, específicamente, la **estimación de los consumos de energía final a partir de datos de demanda** y el **rendimiento medio de los sistemas**.

Aunque el rendimiento global de los sistemas se descompone habitualmente en tres factores: rendimiento en la generación ( $\eta_{gen}$ ), rendimiento en la distribución ( $\eta_{dis}$ ), rendimiento en la emisión ( $\eta_{em}$ ) y rendimiento en el control o regulación ( $\eta_{con}$ ), para los ejemplos de este documento se ha considerado suficiente diferenciar dos factores, el rendimiento en generación ( $\eta_{gen}$ ) y el combinado de distribución, emisión y control ( $\eta_{d+e+c} = \eta_{dis} \cdot \eta_{em} \cdot \eta_{con}$ ).

Así, calculamos el consumo de energía final teniendo en cuenta el principio de conservación de la energía (la demanda total se abastece mediante las aportaciones procedentes de distintos vectores energéticos) y la relación del consumo,  $C$ , con la demanda,  $D$ , y los rendimientos,  $\eta$ :

$$C_{ef} = D / (\eta_{gen} \cdot \eta_{dis} \cdot \eta_{em} \cdot \eta_{con}).$$

<sup>12</sup>Cuando no se considere una red real<sup>12</sup> de vector MEDIOAMBIENTE de la que importar energía térmica, es posible definir una red virtual cuyo suministro tenga la misma ponderación que la producción *in situ* del vector MEDIOAMBIENTE y, por tanto, equivalente en términos energéticos. Al mismo tiempo, si se considera nula (ponderar a 0) la energía exportable, basta con un suministro que atienda estrictamente los consumos.

En *VisorEPBD* se han definido dos vectores energéticos genéricos RED1 y RED2 que permiten, entre otras posibilidades, modelar redes de calor o frío.

Dado que *VisorEPBD* permite duplicar líneas de valores y escalar dichos valores<sup>13</sup>, podemos con este modelo simplificado evaluar distintas alternativas de diseño ligadas a introducción de distintos sistemas. A continuación se describen las operaciones necesarias para introducir algunos sistemas tipo.

### B.3.1 Ejemplo de caldera de gas natural para calefacción

A partir de la línea de valores de demanda obtenida, por ejemplo, por simulación con sistemas ideales, a la que habremos asignado el vector RED1:

	Tipo	Origen/Uso	Vector energético	kWh/año	kWh/año·m²	Valores	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	RED1	41496.24	24.79		CALEFACCIÓN, Red de distrito n=1

**Figura 22:** Demanda asociada al servicio de calefacción.

El consumo de energía final, de vector GASNATURAL, se obtiene considerando un rendimiento en generación del 95 % ( $\eta_{gen} = 0,95$ ) y del 81 % en distribución emisión y control ( $\eta_{d+e+c} = 0,81$ ), que corresponde a escalar los valores de demanda por el factor ( $1/\eta_{gen} \cdot \eta_{d+e+c} = 1/(0,95 \cdot 0,81)$ )

	Tipo	Origen/Uso	Vector energético	kWh/año	kWh/año·m²	Valores	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	GASNATURAL	53926.24	32.22		CALEFACCIÓN, Caldera gas n_gen=0.95 n_dist+em=0.81

**Figura 23:** Consumo obtenido a partir de la demanda de calefacción.

El consumo total de gas natural es:

$$C_{GASNATURAL} = D/(\eta_{gen} \cdot \eta_{d+e+c}) = 24,79/(0,95 \cdot 0,81) = 32,22 \text{ kWh}/(m^2 \text{ an})$$

### B.3.2 Ejemplo de bomba de calor para calefacción y refrigeración




Partimos también de la línea de valores de demanda de calefacción y refrigeración:

	Tipo	Origen/Uso	Vector energético	kWh/año	kWh/año·m²	Valores	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	RED1	41496.24	24.79		CALEFACCIÓN, Red de distrito n=1
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	RED2	24739.26	14.78		REFRIGERACIÓN, Red de distrito n=1

**Figura 24:** Demandas asociadas al servicio de calefacción y refrigeración.

El consumo de energía final está compuesto por consumos de los vectores ELECTRICIDAD y MEDIOAMBIENTE, que se obtienen considerando un rendimiento eléctrico en generación de calor del 300 % ( $\eta_{gen} = COP = 3,00$ ) y del 250 % en refrigeración ( $\eta_{gen,el} = EER = 2,50$ ), así como del 83 % en distribución emisión y control ( $\eta_{d+e+c} = 0,83$ ). El rendimiento para el vector medioambiente en calefacción es, por conservación de la energía ( $\eta_{gen,ma} = COP/(COP - 1)$ ), no existiendo aportación de energía por el medioambiente en el modo de refrigeración.

<sup>13</sup>Consúltense en la ayuda del programa la edición de líneas usando expresiones matemáticas simples (operación, multiplicación).

	Tipo	Origen/Us	Vector energético	kWh/año	kWh/año·m²	Valores	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	ELECTRICIDAD	16665.15	9.96		CALEFACCIÓN, BdC aire-aire n_gen=3.0 n_dist+em=0.83
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	MEDIOAMBIENTE	33330.32	19.91		CALEFACCIÓN, BdC aire-aire n_gen=3.0 n_dist+em=0.83
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	ELECTRICIDAD	11922.54	7.12		REFRIGERACIÓN, BdC aire-aire n_gen=2.5 n_dist+em=0.83

**Figura 25:** Consumos obtenidos a partir de las demandas de calefacción y refrigeración.

Así, obtenemos los consumos en modo calefacción escalando la demanda de calefacción para obtener un consumo del vector ELECTRICIDAD y del vector MEDIOAMBIENTE:

$$C_{ELECTRICIDAD,cal} = D / (COP \cdot \eta_{d+e+c}) = 9,96 \text{ kWh}/(m^2an)$$

$$C_{MEDIOAMBIENTE,cal} = D(COP - 1) / (COP \cdot \eta_{d+e+c}) = 19,91 \text{ kWh}/(m^2an)$$

y la demanda de refrigeración para obtener el consumo del vector ELECTRICIDAD:

$$C_{ELECTRICIDAD,cal} = D / (EER \cdot \eta_{d+e+c}) = 7,12 \text{ kWh}/(m^2an)$$



### B.3.3 Ejemplo de cogeneración con gas natural para calefacción y producción de electricidad

Partimos de la línea de valores de demanda de calefacción, suponiendo que dimensionamos la cogeneración para atender dicho servicio:

	Tipo	Origen/Us	Vector energético	kWh/año	kWh/año·m²	Valores	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	RED1	41496.24	24.79		CALEFACCIÓN, Red de distrito n=1

**Figura 26:** Demanda asociada al servicio de calefacción.

El consumo de energía final está compuesto por un consumo del vector GASNATURAL y una producción de ELECTRICIDAD con origen COGENERACION, que se obtienen considerando un rendimiento térmico en generación de calor del 55 % ( $\eta_{gen,th} = 0,55$ ) y del 25 % eléctrico ( $\eta_{gen,el} = 0,25$ ), así como del 83 % en distribución emisión y control ( $\eta_{d+e+c} = 0,83$ ).

	Tipo	Origen/Us	Vector energético	kWh/año	kWh/año·m²	Valores	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	CONSUMO	EPB	GASNATURAL	90900.85	54.30		CALEFACCIÓN, Cogeneración n_th=0.55 n_el=0.25 n_dist=0.83
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCCION	COGENERACION	ELECTRICIDAD	22725.21	13.58		CALEFACCIÓN, Cogeneración n_th=0.55 n_el=0.25 n_dist=0.83

**Figura 27:** Consumo y producción obtenidos a partir de la demanda de calefacción.

Así, obtenemos el consumo de gas (vector GASNATURAL) que alimenta el equipo de cogeneración escalando la demanda de calefacción:

$$C_{GASNATURAL} = D / (\eta_{gen,th} \cdot \eta_{d+e+c}) = 24,79 / (0,55 \cdot 0,83) = 54,30 \text{ kWh}/(m^2an)$$

La producción eléctrica se obtiene escalando el consumo de GASNATURAL:

$$P_{ELECTRICIDAD} = C_{GASNATURAL} \cdot \eta_{gen,el} = 54,30 \cdot 0,25 = 13,58 \text{ kWh}/(m^2an)$$