



Proyecto Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las agencias nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

## Caso de estudio español

### Parte III: Estudio de coste-beneficio de las medidas de eficiencia energética

#### 3.11. Presupuesto de las alternativas de mejora

##### Mejora 1: Mejora de la envolvente térmica (lana mineral de 6 cm) Ventanas de doble acristalamiento c + e

- Descripción del precio del **sistema de aislamiento de 6 cm de las fachadas del edificio para el exterior:**

Elemento	Coste (€ / m <sup>2</sup> )
Aislamiento de lana de roca (6 cm)	20
Adhesivo, anclajes, malla, perfiles	€18
Acabado de yeso (multicapa)	€1
Mano de obra (instalación)	€25
Andamios y seguridad (vivienda unifamiliar)	€9
Gestión de residuos y limpieza final	€2
<b>Coste total estimado (instalación)</b>	<b>86€ / m<sup>2</sup></b>

- Presupuesto: **aislamiento interior en tabiques, techo o losa de la planta baja con sistema de paneles de yeso**

N.	Artículo	Descripción	Unidad	Precio máximo €/m <sup>2</sup>
1	Preparación de la superficie	Limpieza y preparación de la superficie existente de la pared o el techo	m	4,0
2	Aislamiento de lana de roca (6 cm)	Suministro e instalación de paneles de lana de roca de 60 mm entre montantes metálicos	m	10,00
	Estructura de montantes metálicos	Instalación de montantes y rieles de acero galvanizado	m <sup>2</sup>	8,00
4	Revestimiento de paneles de yeso (placas de yeso)	Instalación de placas de yeso estándar de 12,5 mm sobre estructura	m	9,00
	Acabado de juntas y preparación de la superficie	Encintado, masilla para juntas, lijado	m <sup>2</sup>	5,00
6	Mano de obra (si no está incluida anteriormente)	Mano de obra cualificada general para tareas de instalación	m	12,00
7	Eliminación de residuos y limpieza del lugar	Retirada de escombros y limpieza final de la obra	m	2,00
			<b>Total (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>50,00</b>

- Descripción de las **nuevas ventanas** que se instalarán en el edificio.
  - Acristalamiento: Doble acristalamiento (2 paneles)
  - Revestimiento: Baja emisividad (Low-E) en al menos uno de los cristales



- Relleno de gas: Argón entre los cristales (para aislamiento térmico)
- Marco: PVC con rotura de puente térmico
- Instalación: Reforma en la abertura existente en la pared (incluido el sellado, los marcos y la retirada de la ventana antigua)

Presupuesto de la mejora 1:

### Mejora 1: Aislamiento térmico de la envolvente (6 cm de lana mineral) y ventanas nuevas

Unidad	Descripción	n.	medida	Precio €	cantidad €
m2	Capa aislante de lana mineral de 6 cm en fachadas con acabado en yeso instalada.	1	93,88	86,00	8.073,68
m	Capa aislante de lana mineral de 6 cm en tabique, cubierta y forjados (sistema de paneles de yeso en seco)	1	161,49	50,00	8.074,50
m	Ventanas de PVC de doble acristalamiento con gas argón y baja emisividad (U= 1,7 W/m <sup>2</sup> ·K)	1	11,32	270,00	3.056,40
ud	Sustitución de una puerta exterior en un dúplex en Ceutí (España), con una transmitancia térmica (valor U) de 1,7 W/m <sup>2</sup> ·K, incluyendo la retirada de la puerta antigua y la instalación completa.	1	1	1.200,00	1.200,00
				<b>Total</b>	<b>20.404,58</b>

### Mejora 2: Sustitución del calentador eléctrico de agua por una bomba de calor para agua caliente sanitaria (1,5 kW, 200 l)

No.	Artículo	Descripción	Unidad	Precio (€)
1	Suministro de unidad de bomba de calor para agua caliente sanitaria	Bomba de calor aerotérmica para agua caliente sanitaria, 1,5 kW, depósito de 200 l (COP ~3,0)	unidad	2.050,00
2	Retirada del calentador eléctrico existente	Desconexión y eliminación segura del antiguo calentador eléctrico de agua	unidad	80,00 €
3	Instalación de bomba de calor	Fontanería, montaje, conexión eléctrica e integración	unidad	500,00
4	Accesorios y materiales de instalación	Tuberías, accesorios, válvulas, aislamiento, soportes, fijaciones	unidad	150,00
5	Adaptación del circuito eléctrico	Actualización del disyuntor y adaptación de seguridad (si es necesario)	unidad	100,00
6	Puesta en marcha y pruebas del sistema	Puesta en servicio, pruebas funcionales, instrucciones de uso	unidad	70,00
			<b>Total</b>	<b>2.950,00</b>

### Mejora 3: Instalación fotovoltaica de 4 paneles (1,94 kWp, tejado plano, Ceutí)

Especificaciones técnicas del sistema de paneles fotovoltaicos:

Ubicación: Ceutí (España)  
Edificio: Vivienda unifamiliar  
Especificaciones del sistema:



- Número de paneles de silicio de vidrio: 4 (3 m2 cada panel)
- Capacidad de los paneles: 480 W cada uno
- Capacidad total: 1,94 kWp

N.	Artículo	Descripción	Unidad	Precio unitario (€)	Cantidad	Subtotal (€)
1	Paneles fotovoltaicos (485 Wp)	Paneles monocristalinos de alta eficiencia con encapsulado de vidrio-silicio	panel	280	4	1.120,00 €
2	Estructura de montaje (techo plano)	Estructura de soporte de aluminio (con lastre o fija)	panel	75	4	300,00 €
3	Inversor (2-3 kW)	Inversor conectado a red dimensionado para un sistema de 2 kWp, con monitorización básica.	Unidad	700	1	700,00
4	Instalación eléctrica	Cableado (CC/CA), protecciones, caja combinadora, contador de generación	Sistema	500	1	500,00 €
5	Mano de obra y puesta en marcha	Montaje, cableado, configuración del inversor, pruebas de puesta en marcha	sistema	600	1	600,00 €
6	Legalización y trámites (opcional)	Documentación, conexión a la red, CIE, BOE, etc.	servicio	300	1	300,00 €
					<b>Total</b>	<b>3.520,00</b>

#### Mejora 4: Sistema aerotérmico Vaillant (calefacción + refrigeración + ACS con fan coils)

##### Resumen técnico:

- **Capacidad del sistema:**
  - Calefacción: 7,37 kW (COP 4,42)
  - Refrigeración: 7,2 kW (EER ~2,7)
  - Aguas calientes: depósito de 200 l con serpentín integrado (uniSTOR)
- **Agua caliente** generada directamente desde el sistema aerotérmico
- **Ahorro** frente a un calentador eléctrico tradicional: hasta un 65 %
- **Espacio necesario:** depósito de ACS + acumulador en cuarto de servicio o lavadero

##### Presupuesto:

N.º	Artículo	Descripción	Unidad	Unidad Precio (€)	Cantidad	Subtotal (€)
1	Vaillant aroTHERM Plus Unidad exterior	Bomba de calor aire-agua, 7,37 kW de calefacción / 7,2 kW de refrigeración (COP 4,42), monobloque	unidad	3.740,00	1	3.740,00
2	Depósito de agua caliente sanitaria Vaillant uniSTOR (200 l)	Depósito de agua caliente con serpentín para sistemas aerotérmicos	unidad	1.375,00 €	1	1.375,00
3	Unidades de ventilconvector (Vaillant o compatibles)	Fan coils hidrónicos, ultra silenciosos, controlados por termostato	unidad	638,00 €	4	2.552,00
4	Circuito hidráulico + integración de ACS	Tuberías, válvulas, bomba de circulación, para calefacción, refrigeración y agua caliente	sistema	935,00 €	1	935,00
5	Adaptación del cuadro eléctrico	Interruptores de seguridad, cableado de control, configuración compatible con ACS	unidad	440,00	1	440,00
6	Retirada de aire acondicionado antiguo y calentador de agua	Desinstalación de aire acondicionado multisplit + calentador de agua eléctrico, con eliminación legal	servicio	220,00	1	220,00



7	Instalación y puesta en marcha	Instalación completa del sistema, configuración hidráulica, pruebas, llenado, configuración	sistema	1.320,00	1	1.320,00
8	Termostatos / Controles de zonificación	Termostatos con cable o inalámbricos o interfaces digitales	unidad	110,00	4	440,00
					<b>Total</b>	<b>11.022,00 €</b>

### - Mejora 5: Sistema de calefacción aerotérmica y agua caliente sanitaria (para radiadores)

#### Características técnicas:

- Aplicación: Calefacción + ACS únicamente
- Radiadores y tuberías de distribución no incluidos
- Ideal para viviendas que desean renovar sus sistemas de gas o electricidad
- Unidad exterior: monobloque (sin manipulación de refrigerante in situ)
- COP de alta eficiencia > 4: hasta un 70 % de ahorro energético en comparación con el gas

No.	Artículo	Descripción	Unidad	Precio unitario (€)	Cantidad	Subtotal (€)
1	Vaillant aroTHERM Plus	Unidad monobloque exterior, 7,37 kW de calefacción (COP 4,42)	unidad	3.400,00	1	3.400,00
2	Vaillant uniTOWER 200 L	Torre hidráulica interior (módulo hidráulico + depósito de agua caliente sanitaria de 200 l + válvula de 3 vías, bomba, sensores)	unidad	2.750,00	1	2.750,00
3	Cuadro eléctrico y protecciones	Adaptación del cuadro eléctrico y cableado de control	unidad	400,00 €	1	400,00
4	Desinstalación de caldera de gas	Desconexión y eliminación segura	unidad	180,00 €	1	180,00
5	Desmontaje de calentador eléctrico de agua	Desconexión y eliminación seguras	unidad	120,00	1	120,00
6	Instalación y puesta en marcha	Conexiones hidráulicas y eléctricas, puesta en marcha del sistema, pruebas	unidad	950,00 €	1	950,00 €
					<b>Total</b>	<b>7.800,00</b>

### Mejora 6: Mejora de la envolvente térmica con 10 cm de capa aislante + ventanas de doble acristalamiento

#### Mejora 6: Aislamiento de la envolvente térmica (10 cm de lana mineral) y ventanas nuevas

Unidad	Descripción	n.	medida	Precio €	cantidad €
m2	Capa aislante de lana mineral de 10 cm en fachadas con acabado en yeso instalada.	1	93,88	114,00	10.702,32
m	Capa aislante de lana mineral de 10 cm en tabique, cubierta y forjados (sistema de paneles de yeso en interiores)	1	161,49	66 400	10.722,94
m	Ventanas de PVC de doble acristalamiento de baja emisividad con gas argón (U= 1,7 W/m <sup>2</sup> ·K)	1	11,32	270,00	3.056,40
ud	Sustitución de una puerta exterior en un dúplex en Ceutí (España), con una transmitancia térmica (valor U) de 1,7 W/m <sup>2</sup> ·K, incluyendo la retirada de la puerta antigua y la instalación completa.	1	1	1.200,00	1.200,00
				<b>Total</b>	<b>25.681,66 €</b>



### 3.12. Estudio de coste-beneficio de medidas de eficiencia energética

Un análisis coste-beneficio (ACB) en el contexto de la renovación energética de edificios es una evaluación estructurada que se utiliza para determinar si la inversión en la mejora del rendimiento energético de un edificio está justificada desde el punto de vista económico. Compara todos los costes previstos de la renovación con los beneficios financieros y no financieros que generará a lo largo del ciclo de vida del edificio.

En este caso práctico, se ha utilizado el software *CypeTherm Impromevent plus* para realizar este análisis. En este estudio se han utilizado dos métodos para llevar a cabo este análisis:

- Período de recuperación simple (SPP)
- Valor actual neto (VAN)

**Método 1:** El **periodo de amortización simple** es uno de los métodos más sencillos para evaluar el rendimiento financiero de una inversión en eficiencia energética, como la renovación energética de un edificio.

El periodo de recuperación simple (PPS) es el tiempo (normalmente expresado en años) que tarda el ahorro energético acumulado generado por una inversión en igualar el coste inicial de dicha inversión.

$$SPP = \frac{\text{Initial Investment Cost}}{\text{Annual Energy Savings}}$$

**Método 2:** El método **del valor actual neto** es una de las herramientas financieras más utilizadas y sólidas para evaluar la rentabilidad de una inversión a lo largo del tiempo. En el contexto de la renovación energética de edificios, el VAN ayuda a determinar si el ahorro energético a largo plazo y otros beneficios compensan los costes iniciales de la rehabilitación.

El VAN es la suma de todos los flujos de caja futuros (como el ahorro energético, el ahorro en mantenimiento o las subvenciones), descontados a su valor actual, menos el coste de la inversión inicial.

Tiene en cuenta el valor temporal del dinero, reconociendo que el dinero recibido (o ahorrado) en el futuro vale menos que el dinero actual.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - I$$

Donde:

- $B_t$  = Beneficios (por ejemplo, ahorro energético) en el año  $t$
- $C_t$  = Costes operativos o de mantenimiento en el año  $t$
- $r$  = Tasa de descuento (tasa de interés o coste del capital)
- $t$  = Año (1 a  $n$ )
- $I$  = Coste de la inversión inicial
- $n$  = Periodo de análisis (en años)

Si  $NPV > 0$  → La inversión es rentable

Si  $NPV = 0$  → La inversión alcanza el punto de equilibrio

Si  $NPV < 0$  → La inversión no es viable financieramente

Coste energético considerado:

Energy cost		
Energy vector		
Electrical grid energy	0.30	EUR/kWh
Natural gas	0.11	EUR/kWh
Diesel	0.10	EUR/kWh
LPG	0.15	EUR/kWh
Carbon	0.05	EUR/kWh
Solid biomass	0.11	EUR/kWh
Biomass	0.11	EUR/kWh
Thermal solar energy	0.00	EUR/kWh
Electrical energy produced by photovoltaic panels, small wind turbines and small hydro turbines	0.00	EUR/kWh

Parámetros para el método del valor actual neto:

Net Present Value	
<input checked="" type="checkbox"/> NCV calculation method	
The program uses the static analysis method to calculate the investment recovery period. By activating this option, the dynamic analysis will be included in the calculation process.	
Annual energy cost increase	<input type="text" value="3.00"/> %
<input checked="" type="checkbox"/> Discount fee	<input type="text" value="4.50"/> %
Foreseen inflation	<input type="text" value="1.20"/> %
Nominal interest type	<input type="text" value="0.00"/> %
Analysis period	<input type="text" value="45"/> Years

**Resumen de los resultados del estudio de coste-beneficio de las medidas de eficiencia energética:**

	Coste neto de la inversión (EUR)	Coste energético anual (EUR)	Ahorro neto anual (EUR)	Amortización (años)	NCV (años)	Consumo anual de energía primaria no renovable (kWh/m <sup>2</sup> )	Emisiones (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Situación inicial 1 (Caso 1)	0,00	1642,32	0	0	0	162,20	27,48
Caso 3: Aislamiento de 6 cm y bomba de calor para agua caliente sanitaria	23354,58	225,15	1417,17	16,48	18,09	22,23	3,77
Caso 4: Aislamiento de 6 cm + bomba de calor DHW + paneles fotovoltaicos	26874,58	0	1642,32	16,36	17,9	0,00	0
Caso 5: Aislamiento de 10 cm + bomba de calor para agua caliente sanitaria + paneles fotovoltaicos	32151,66	0,00	1642,32	19,58	21,62	0,00	0,00
Caso 6: 6 cm de aislamiento + H&AC y ACS aerotérmico con fan coil + paneles fotovoltaicos	34946,58	0,00	1642,32	21,28	23,5	0,00	0,00



	Coste neto de la inversión (EUR)	Coste energético anual (EUR)	Ahorro neto anual (EUR)	Amortización (años)	NCV (años)	Consumo anual de energía primaria no renovable (kWh/m <sup>2</sup> )	Emisiones (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Situación inicial 2 (Caso 2)	0,00	1067,51	0	0	0	119,73	24,93
Caso 7: 6 cm de aislamiento + aerotérmica con radiadores para calefacción y agua caliente sanitaria	28204,58	183,40	884,10	31,9	42,3	18,12	3,08
Caso 8: 6 cm de insolación Aerotérmica para calefacción central y agua caliente sanitaria y paneles fotovoltaicos	31724,58	0,0	1067,51	29,72	38,47	0,00	0

En las tablas anteriores, la columna «NCV» responde a la siguiente pregunta: ¿Cuántos años se tardará en recuperar la inversión, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero?

	Coste neto de la inversión				Ahorro neto anual				Período de recuperación de la inversión (años)
	Coste (EUR)	Subvenciones (EUR)	Coste neto resultante (EUR)	Diferencia (EUR)	Coste energético (EUR/año)	Ahorro energético (EUR/año)	Mantenimiento (EUR/año)	Ahorro neto (EUR/año)	
Situación inicial 1 (Caso 1)	0	0	0	0	1642,32	0,00	0,00	0,00	0,00
Caso 3: Aislamiento de 6 cm y bomba de calor para agua caliente sanitaria	23354,58	0	23354,58	23354,58	225,15	1417,17	0,00	1417,17	16,48
Caso 4: Aislamiento de 6 cm + bomba de calor DHW + paneles fotovoltaicos	26874,58	0,00	26874,58	26874,58	0	1642,32	0,00	1642,32	16,36
Caso 5: 10 cm de aislamiento + bomba de calor para agua caliente sanitaria + paneles fotovoltaicos	32151,66	0,00	32151,66	32151,66	0	1642,32	0,00	1642,32	19,58
Caso 6: 6 cm de aislamiento + H&AC y ACS aerotérmico con fan coil + paneles fotovoltaicos	34946,58	0,00	34946,58	34946,58	0	1642,32	0,00	1642,32	21,28

	Coste neto de la inversión				Ahorro neto anual				Período de recuperación de la inversión (años)
	Coste (EUR)	Subvenciones (EUR)	Coste neto resultante (EUR)	Diferencia (EUR)	Coste energético (EUR/año)	Ahorro energético (EUR/año)	Mantenimiento (EUR/año)	Ahorro neto (EUR/año)	
Situación inicial 2. (Caso 2)	0	0	0	0	1067,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Caso 7: 6 cm de aislamiento + aerotérmica con radiadores para calefacción y agua caliente sanitaria	28204,58	0,00	28204,58	28204,58	183,4	884,10	0,00	884,10	31,90



	Coste neto de la inversión				Ahorro neto anual				Periodo de recuperación de la inversión (años)
	Coste (EUR)	Subvenciones (EUR)	Coste neto resultante (EUR)	Diferencia (EUR)	Coste energético (EUR/año)	Ahorro energético (EUR/año)	Mantenimiento (EUR/año)	Ahorro neto (EUR/año)	
Caso 8: 6 cm de insulación Aerotérmica para HS y ACS y paneles fotovoltaicos	31724,58	0,00	31724,58	31724,58	0,00	1067,51	0,00	1067,51	29,72

#### 4. Conclusiones

De este estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- **Evaluación integral del edificio completada.** El estudio de caso evaluó exhaustivamente el rendimiento energético actual de una vivienda unifamiliar independiente en Ceutí (España), utilizando tecnologías BIM, e identificó las principales ineficiencias en el aislamiento de la envolvente, el rendimiento de las ventanas, los sistemas de agua caliente sanitaria y el sistema de calefacción. El edificio se caracterizaba por un alto consumo energético y un confort térmico deficiente, especialmente durante la temporada de calefacción.
- **Medidas de eficiencia energética identificadas y modelizadas.** Se propusieron y simularon una amplia gama de medidas de renovación energética, entre las que se incluyen:
  - Aislamiento de las paredes exteriores y del tejado.
  - Sustitución de ventanas.
  - Modernización del sistema de agua caliente sanitaria (mediante un sistema de bomba de calor).
  - Modernización del sistema de calefacción y refrigeración (mediante sistemas aerotérmicos).
  - Integración de paneles fotovoltaicos (PV) en el tejado.
- **Potencial sustancial de ahorro de energía y CO<sub>2</sub>.** El análisis mostró que la implementación de una combinación de medidas pasivas y activas podría reducir el consumo de energía primaria no renovable en un 100 % y las emisiones de CO<sub>2</sub> también en un 100 %.
- **Los resultados de la relación coste-beneficio varían según la medida.** La evaluación financiera reveló que:
  - Las estrategias de renovación profunda (aislamiento, sustitución de ventanas) requieren una mayor inversión, pero ofrecen beneficios a largo plazo.
  - La modernización de los sistemas de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria reduce considerablemente el consumo de energía y las emisiones de gases.
  - Los paneles fotovoltaicos contribuyen de manera significativa a los objetivos de descarbonización.
  - Si se aplican todas las medidas consideradas en el estudio, el periodo de amortización se reduce considerablemente (18 años), ya que se consigue un ahorro energético.
- **La combinación de medidas ofrece los mejores resultados.** El resultado más equilibrado y sostenible se consigue combinando mejoras pasivas (aislamiento, hermeticidad) con sistemas activos (sistema moderno de bomba de calor para agua caliente sanitaria y paneles fotovoltaicos). Esta sinergia maximiza el ahorro energético manteniendo el confort interior y aumenta el valor global del edificio.
- **Viabilidad técnica y económica confirmada.** A pesar de las barreras iniciales de inversión, el estudio confirma que la renovación energética es técnicamente viable y económicamente beneficiosa para la



vivienda unifamiliar. Utilizando métricas como el VAN y el SPP, todas las medidas muestran un rendimiento económico aceptable, especialmente si se aplican al mismo tiempo.

- **Apoya los objetivos nacionales y de la UE en materia de renovación.** El caso se ajusta al Pacto Verde Europeo y a la estrategia «Ola de Renovación» de la UE, contribuyendo a los objetivos de neutralidad en carbono, eficiencia energética y entornos interiores más saludables en los edificios públicos y residenciales.