alokabizi
sostenible

Electrificación del parque de viviendas de alquiler social

Guía resumen

Daniel Pérez González, Imanol Ruiz de Vergara Ruiz de Azúa
Grupo ENEDI de la Universidad del País Vasco UPV/EHU
Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco

2023

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
LURRALDE PLANGINTZA, ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES
PCTI 2030 RIS3EUSKADI Talentua garatuz, aurrera
alokabide

©

ALOKABIDE | Sociedad pública dependiente del Gobierno Vasco para el desarrollo de la función social de la vivienda a través de la política de alquiler

EDITA:

ALOKABIDE, Sociedad Pública de Alquiler de vivienda protegida del Gobierno Vasco

Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco

Portal de Gamarra 1A, 2ª planta (Edificio el Boulevard) 01013 Vitoria-Gasteiz

araba@alokabide.eus I bizkaia@alokabide.eus I gipuzkoa@alokabide.eus

www.alokabide.eus

www.euskadi.eus/gobierno-vasco/departamento-medio-ambiente-planificacion-territorial-vivienda/

EDICIÓN:

Diciembre 2023

CONTENIDO:

Este documento ha sido elaborado por ALOKABIDE.

Los contenidos de este documento, en la presente edición, se publican bajo la licencia: Reconocimiento – No comercial – Sin obras derivadas 3.0 Unported de Creative Commons (más información http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es_ES)

Índice

1. Contexto – Marco normativo 3

1.1 Directiva 93/76/CEE (SAVE) 4

1.2 Directiva 2002/91/CE 5

1.3 Directiva 2010/31/UE 5

1.4 Directiva 2012/27/UE 6

1.5 Directiva 2018/844/UE 6

1.6 Trasposición a los estados miembros (España) 6

1.7 Objetivos a satisfacer 7

2. Objeto de estudio 9

3. Metodología de cálculo 11

3.1 Descripción de los casos de estudio 13

3.2 Criterios considerados 22

3.2.1. Dimensionado cubierta 22

3.2.2. Generación fotovoltaica 23

3.3 Validación resultados mediante HULC 39

4. Cálculos y resultados 43

4.1 Descripción de los resultados energéticos 45

4.2 Descripción de los resultados medioambientales 49

4.3 Descripción de los resultados económicos 49

5. Conclusiones 53

6. Equipo de diseño 57

alokabizi

1. Contexto – Marco normativo

1. Contexto – Marco normativo

Los **edificios** son responsables de aproximadamente el **40% del consumo energético y 36% de las emisiones** de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía. Por lo tanto, los edificios son el mayor consumidor de energía en Europa. La calefacción, la refrigeración y el agua caliente sanitaria suponen el 80% de la energía que consume la ciudadanía.

La emisión de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera es un problema que tiene su origen hace muchos años y cuyas consecuencias son de sobra conocidas: efecto invernadero y sobrecalentamiento global con los correspondientes cambios climáticos que puede acarrear.

A principios de los años 90, la **Unión Europea**, quiso establecer las primeras **medidas para limitar el volumen de emisiones de CO2** emitidas por los edificios, y para ello elaboró y publicó:

1.1 Directiva 93/76/CEE (SAVE)

El **principal objetivo** de esta normativa es la **limitación de las emisiones** de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética. Para ello, se elabora una lista de acciones que los Estados Miembros deberían emprender para mejorar la eficiencia energética en edificios y, con ello, reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Adelanta algunos de los pilares sobre los que se sustentarán las próximas Directivas de eficiencia energética de los edificios (EPBD):

- la certificación energética de edificios
- el aislamiento térmico de los edificios nuevos
- la inspección periódica de calderas

Aunque se determinan ciertas consignas para conseguir la reducción de emisiones, el carácter de esta Directiva es más informativo que legislador, ya que propiamente dicho, no establece verdaderas obligaciones.

Ya en la década de los 2000, entra en vigor la **primera EPBD**, que esta vez sí, marca objetivos concretos a lograr con carácter obligatorio. Se trata de la principal norma europea dirigida a garantizar el cumplimiento de los objetivos de la UE, respecto a la edificación, en lo referente a **contención de emisiones** de gases de efecto invernadero, del **consumo energético** y **eficiencia energética** y de generación de energía a partir de fuentes renovables. De esta manera, se publicó:

1.2 Directiva 2002/91/CE

Entró en vigor el 4 de enero de 2003 y tuvo que ser aplicada por los Estados miembros de la Unión Europea, a más tardar el 4 de enero de 2006. Fue inspirada por el Protocolo de Kioto, que compromete a la Unión Europea para reducir las emisiones de CO2 en un 8% en 2010, en comparación con los niveles de 1990.
Para lograr una mejora en la eficiencia energética del parque edificado, la Directiva se apoya en tres herramientas concretas:

- Establecimiento de requisitos de uso de la energía en edificios nuevos, y existentes que lleven a cabo grandes obras de renovación;
- Introducción de certificados de eficiencia energética
- Inspecciones de sistemas de climatización de tamaño medio y grande.

El siguiente paso de la Unión Europea fue refundir la Directiva 2002/91/CE cuyo resultado fue:

1.3 Directiva 2010/31/UE

La Directiva introduce un nuevo concepto: Edificio de Consumo Energético Casi Nulo, como aquel edificio "[…] con un nivel de eficiencia energética muy alto […]. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno" y establece sendas fechas, el 31 de diciembre de 2018 y de 2020, para su aplicación a todos los nuevos edificios propiedad y ocupados por autoridades públicas, y para todos los edificios nuevos, respectivamente.

La definición de Edificio de Consumo Energético Casi Nulo debe incluirse en un Plan Nacional, que contendrá, así mismo, información en materia de objetivos intermedios para edificios nuevos en el año 2015; información sobre políticas o medidas financieras para su promoción, incluyendo exigencias y medidas sobre generación renovable en edificios nuevos y existentes; y políticas de estímulo para la renovación de edificios existentes a nivel de consumo energético casi nulo.

1.4 Directiva 2012/27/UE

Tiene como objetivo la creación de un marco común de medidas para el fomento de la Eficiencia Energética que permitan asegurar que los países de la Unión Europea conseguirán el 20% de ahorro energético ya comprometido con anterioridad en la Directiva “Triple 20”:

- Reducir en un 20% las emisiones de GEI respecto a las cifras de 1990.
- Ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética.
- Que el 20% de la energía consumida tenga un origen renovable

Además, la Directiva obliga a los Estados Miembros a una renovación de al menos el 3% de los edificios públicos de más de quinientos metros cuadrados.

1.5 Directiva 2018/844/UE

Continuando con lo establecido en la propuesta del Paquete de Invierno de 2016, la EPBD se ve modificada, en lugar de refundida, introduciendo como principales modificaciones medidas para la rehabilitación:

- Exige la redacción de Estrategias de Renovación (del parque edificado) a Largo Plazo, vinculando estas Estrategias con los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima.
- Define los Pasaportes de Renovación de Edificios y establece normas sobre conjuntos de edificios existentes en lugar de inmuebles aislados y revisar el funcionamiento de los Certificados de Eficiencia Energética

1.6 Trasposición a los estados miembros (España)

En España, la Directiva se traspone a través en el Documento Básico Ahorro de Energía (HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE), y el Reglamento de Instalaciones Técnicas en los Edificios (RITE).

España aplicó la EPBD 2002 en lo relativo a certificación de edificios nuevos con el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

Los requerimientos sobre inspecciones en instalaciones están traspuestos en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (España).

La trasposición de la obligación de que todos los edificios construidos desde el 31 de diciembre de 2020 (2018 para los ocupados y de titularidad pública) sean edificios de consumo de energía casi nulo, y la determinación de que los requisitos a satisfacer serán los que en ese momento determine el Código Técnico de la Edificación, se realizó a través de la Disposición Adicional Segunda del Real Decreto 235/2013, (Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, ya mencionado).

1.7 Objetivos a satisfacer

Europa quiere ser neutra en carbono en 2050.

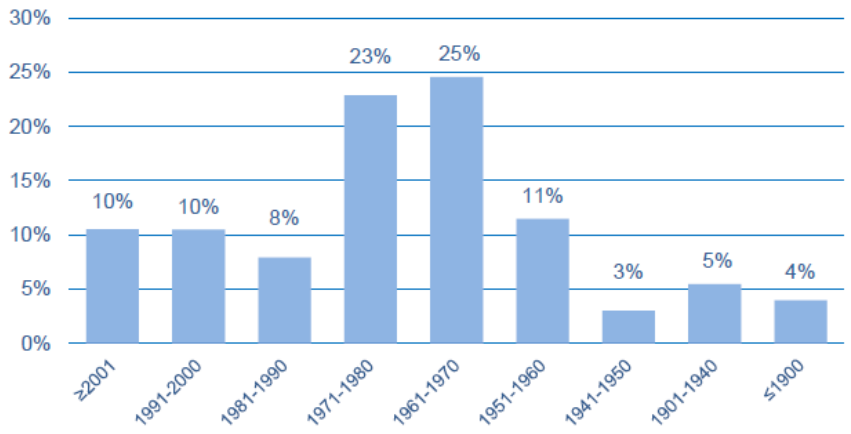
Los edificios de **nueva construcción** deberán ser **cero emisiones para el año 2030** y en el caso de los edificios públicos, el plazo es hasta 2027.

Los parámetros de eficiencia requerirán una reducción drástica de las emisiones de carbono en la fase de uso. Los **edificios antiguos** tendrán la obligación de **reducir sus emisiones en un 55% y su consumo energético en un 40% para 2030**. Por tanto, la rehabilitación integral será tan importante para la descarbonización como la construcción de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo.

En este sentido, alrededor del 35% de los edificios de la UE tienen más de 50 años y casi el 75% del parque inmobiliario es energéticamente ineficiente. A nivel local, tal y como determina el Ente Vasco de la Energía (EVE), casi el 50% de las viviendas del País Vasco han sido construidas entre 1961 y 1980, con criterios de eficiencia energética muy pobres o inexistentes.

1. Contexto – Marco normativo

Figura 1. *Distribución de las viviendas vascas según año de construcción (Fuente: EVE a partir de EUSTAT)*



alokabizi

2. Objeto de estudio

2. Objeto de estudio

Uno de los principales objetivos del **Zero Plus**, alineado completamente con los requisitos de la Unión Europea, es **conseguir la descarbonización** del parque de viviendas público de alquiler.

La descarbonización, se entiende como el proceso de **reducción de emisiones de carbono**, sobre todo de dióxido de carbono (CO2), a la atmósfera. Aplicado a los edificios, se trata de minimizar la huella de carbono durante todo el proceso, empezando por el diseño y la selección de materiales e instalaciones. Durante la vida útil del edificio, que es cuando más energía se consume y por consiguiente más emisiones se producen, es imprescindible **evitar** la emisión de gases provenientes de **combustibles fósiles**.

De esta manera, el edificio debe contar con una **electrificación proveniente 100% de energías renovables**. Por consiguiente, la energía solar fotovoltaica, en mayor medida, y otras fuentes renovables como la eólica, en menor medida, jugarán un papel de gran relevancia, por su gran potencial y por las condiciones normativas tan favorables en la actualidad para su aprovechamiento.

Por ello, desde el marco del Zero Plus, dentro del Grupo Habitar, se ha establecido una línea de trabajo LH3.3, titulada “Electrificación del parque de viviendas de alquiler social”.

Los **principales objetivos** de esta línea son:

- Explorar y analizar, tanto desde el punto de vista técnico-económico como desde el punto de vista ambiental, las diferentes modalidades de electrificación de las instalaciones de los edificios
- Determinar la “solución óptima” de instalación eléctrica para cada caso de estudio, en función de zonas climáticas donde se ubiquen los edificios y las características de los mismos.

alokabizi

3. Metodología de cálculo

3. Metodología de cálculo

El cumplimiento de los objetivos establecidos en esta línea de trabajo, es decir, analizar las diferentes tecnologías disponibles para electrificar los edificios y determinar que solución es la óptima en función de diferentes escenarios, ha requerido la realización de múltiples cálculos con gran nivel de detalle.

Para ello, se ha desarrollado una herramienta de cálculo que integra todos los parámetros que definen al edificio, pudiendo ser éstos, editables y modificables para definir y evaluar los diferentes escenarios que se quieren evaluar. Los cálculos se han definido para obtener resultados a nivel energético, medio ambiental y económicos.

Se han aplicado los criterios técnicos establecidos en la normativa vigente referente a eficiencia energética en la edificación, que se recogen en el Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico Ahorro de Energía (DB-HE).

Adicionalmente, y como método de contraste para validar los cálculos realizados, se ha utilizado la Herramienta Unificada LIDER/CALENER (HULC). Esta herramienta facilita la verificación del CTE DB-HE 2019 y emite un informe para la Certificación energética de edificios. Se ha realizado el diseño de un edificio tipo que ha servido de contraste de los resultados obtenidos mediante la herramienta de cálculo desarrollada.

Para el dimensionamiento y cálculo de producción de la energía fotovoltaica se ha utilizado el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica, **PVGIS**, que es una herramienta reconocida por la Comisión Europea. En términos generales, se trata de una calculadora online gratuita de energía solar fotovoltaica para plantas y sistemas fotovoltaicos autónomos o conectados a la red, con el que se puede obtener información sobre la radiación solar y el rendimiento del sistema para diferentes ubicaciones del mundo

Por último, toda la información relacionada con los diferentes equipos que conforman las instalaciones térmicas ha sido extraída de la documentación de los propios fabricantes (parámetros técnicos) y bases de datos de presupuestos (parámetros económicos). El funcionamiento real de cada equipo ha sido recalculado para cada zona climática definida en la herramienta.

3.1 Descripción de los casos de estudio

Tal y como se ha indicado con anterioridad, se han definido, para la realización de los cálculos, diferentes escenarios y casos de estudio en función de diversos parámetros:

- Zonas climáticas de Euskadi
- Dimensiones de las viviendas
- Demanda de calefacción
- Demanda de agua caliente sanitaria (ACS)
- Tecnologías aplicadas

Zonas climáticas de Euskadi

Las condiciones meteorológicas afectan de manera directa al consumo de energía que se hace en los hogares. Si bien, Euskadi se encuentra ubicada en el norte de la península y su extensión no es muy grande, dentro de su territorio se pueden identificar diferencias significativas en cuanto a climatología se refiere.

Por este motivo, y de acuerdo con el Anejo B del CTE DB-HE, se han considerado **3 zonas climáticas** diferentes para la realización de los cálculos: zonas C, D y E.
Su clasificación varía en función de la severidad del invierno, siendo el invierno en la zona C más suave que en la zona D y a su vez, el de la zona D más suave que el de la zona E, y la altura del municipio respecto al nivel del mar (h), considerándose que, a mayor altura, más severas son las condiciones del invierno.
De este modo:

- en la provincia de Álava existen 2 zonas climáticas: D y E
- en la provincia de Vizcaya existen 2 zonas climáticas: C y D
- en la provincia de Vizcaya existen 2 zonas climáticas: D y E

El Ente Vasco de la Energía (EVE), a su vez, también ha realizado una clasificación climática, estableciendo 3 zonas diferentes: costera, fría e intermedia. Está clasificación se ha consultado para contrastar la establecida en el CTE, guardando una relación directa entre ellas.

3. Metodología de cálculo

Figura 2. Zonas climáticas (Fuente: CTE DB-HE)

Anejo B Zonas climáticas

1 Zonas climáticas

1 La tabla a-Anejo B permite obtener la *zona climática* (Z.C.) de un emplazamiento en función de su provincia y su altitud respecto al nivel del mar (h):

Tabla a-Anejo B. Zonas climáticas

| Provincia | Altitud sobre el nivel del mar (h) | | |

Dimensiones de las viviendas

El tamaño de las viviendas condiciona de manera directa el consumo tanto de calefacción, como el de ACS. Es por ello, que, para la realización de los cálculos, se han definido **3 tamaños de vivienda diferentes** para ser utilizados en los casos de estudio.

Los tamaños de vivienda seleccionados han sido los más representativos posibles según el número de dormitorios de cada una de ellas. La selección ha sido:

- vivienda de 55 m^2: 1 dormitorio
- vivienda de 70 m^2: 2 dormitorios
- vivienda de 80 m^2: 3 dormitorios

Paralelamente, y tal y como se establece en el Anejo F del CTE DB-HE, el número de dormitorios/habitaciones que tiene la vivienda se relaciona con el número de personas que habitan en ella. Esta relación, sirve para cuantificar la demanda de ACS de las viviendas.

El procedimiento utilizado para este cálculo se explica de manera más detallada en un apartado específico del presente documento.

Figura 4. *Relación entre número de dormitorios y personas (Fuente: CTE DB-HE)*

Tabla a-Anejo F. Valores mínimos de ocupación de cálculo en *uso residencial privado*

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

El objetivo de disponer de 3 tamaños diferentes de viviendas es el poder evaluar los diferentes consumos energéticos derivados de un mayor o menor número de personas inquilinas. Cada tipología de vivienda ha sido estudiada y analizada en las 3 zonas climáticas establecidas en el apartado anterior.

Demanda de calefacción

La demanda de calefacción es otro de los parámetros escogidos para definir los diferentes casos de estudio. Se puede entender como la energía necesaria para mantener en el interior del edificio y/o vivienda/s unas condiciones de confort definidas reglamentariamente en función del uso del edificio y de la zona climática en la que se ubique.

De acuerdo con el Anejo D del CTE DB-HE, los espacios acondicionados deben de estar en unas condiciones determinadas, definidas como:

Figura 5. *Condiciones operacionales de espacios acondicionados (Fuente: CTE DB-HE)*

Tabla a-Anejo D. *Condiciones operacionales* de espacios acondicionados en *uso residencial privado*

		Horario (semana tipo)			
		0:00-6:59	7:00-14:59	15:00-22:59	23:00-23:59
Temperatura de consigna Alta (°C)	Enero a Mayo	–	–	–	–
	Junio a Septiembre	27	–	25	27
	Octubre a Diciembre	–	–	–	–
Temperatura de consigna Baja (°C)	Enero a Mayo	17	20	20	17
	Junio a Septiembre	–	–	–	–
	Octubre a Diciembre	17	20	20	17

Mencionado todo lo anterior, se han definido un total de **3 demandas de calefacción diferentes** a satisfacer en los casos de estudio. Para su definición se ha utilizado la escala integrada en los Certificados de Eficiencia Energética (CEE), según los cuales se establece unos valores para la demanda de calefacción en función de las diferentes zonas climáticas y los diferentes niveles (letras) de la escala (de la A a la F).

Los valores de demanda de calefacción escogidos como referencia para aplicarse en los casos de estudio han sido:

- valor que corresponde a calificación energética A
- valor que corresponde a calificación energética A mayorado en un 50%
- valor que corresponde a calificación energética A minorado en un 50%

El primer valor, el que corresponde a una calificación A, se considera un edificio altamente eficiente y se logra con unos sistemas pasivos (envolvente) con altas prestaciones. Es el valor de referencia al que aspirar para los edificios de nueva construcción.

Respecto a los otros dos casos, la demanda A mayorada un 50% corresponde a un edificio con sistemas pasivos peores que el caso anterior, ya sea por menor nivel de aislamiento en las partes opacas del edificio (fachadas, cubierta, forjado…) o por peores prestaciones térmicas de las carpinterías.
El caso de demanda de calefacción minorada en un 50% corresponde al ejemplo contrario, el nivel de aislamiento o prestaciones térmicas de las ventanas es sensiblemente mejor que en el caso original.

Estas variaciones de la demanda de calefacción de referencia para la letra A del CEE, se han utilizado para abarcar un mayor número en el espectro de casos y fortalecer las conclusiones extraídas de los cálculos realizados al haberse analizado una muestra más representativa como en número como en características.

Los valores de la demanda de calefacción para cada zona climática, establecidos en el CEE y, por consiguiente, los mayorados y minorados, son:

***Tabla 1**: Límites establecidos de la demanda de calefacción*

Límite de la clase	Demanda de calefaccion [kWh/m²año]		
ZONA C1	**Normal**	**Mayorada 50%**	**Minorada 50%**
A	7,7	11,55	3,75
ZONA D1	**Normal**	**Mayorada 50%**	**Minorada 50%**
A	11,7	17,55	5,85
ZONA E1	**Normal**	**Mayorada 50%**	**Minorada 50%**
A	15,7	23,55	7,85

Demanda de ACS

3. Metodología de cálculo

La demanda de ACS se calcula según establece el Anejo F del CTE DB-HE, donde considera unas necesidades de 28 litros/día para cada persona a una temperatura de 60 ºC. En función del número de personas que hay en la vivienda, se obtiene la demanda total de ACS en litros/día. Posteriormente se produce la conversión a kWh/día.

Tal y como se ha comentado en el apartado de "*dimensiones de las viviendas*", en el Anejo F del CTE DB-HE se relaciona el número de dormitorios/habitaciones que tiene la vivienda con el número de personas que habitan en ella. De manera adicional, según el número de viviendas que componen el edificio, se tiene que aplicar un factor de centralización, el cual es la unidad para edificios con 3 o menos viviendas y se va haciendo más pequeño a mayor número de viviendas.

Figura 6. *Demanda de ACS (Fuente: CTE DB-HE)*

Anejo F Demanda de referencia de ACS

1 La demanda de referencia de ACS para edificios de *uso residencial privado* se obtendrá considerando unas necesidades de 28 litros/día·persona (a 60ºC), una ocupación al menos igual a la mínima establecida en la tabla a-Anejo F y, en el caso de viviendas multifamiliares, un factor de centralización de acuerdo a la tabla b-Anejo F, incrementadas de acuerdo con las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación.

> Las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación deben ser calculadas por el proyectista.
> Las normas UNE-EN 15316-3:2018 y UNE-EN 15316-5:2019 aportan métodos de cálculo de las pérdidas debidas a la distribución y acumulación de ACS.

Tabla a-Anejo F. Valores mínimos de ocupación de cálculo en *uso residencial privado*

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla b-Anejo F. Valor del factor de centralización en viviendas multifamiliares

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

> El factor de centralización afecta a instalaciones de ACS centralizadas, que alimentan a múltiples viviendas, reduciendo la demanda de ACS en función del número de viviendas atendidas.

3. Metodología de cálculo

De igual manera que en el apartado anterior, "*Demanda de calefacción*", se han establecido **3 escenarios diferentes para la demanda de ACS** de las viviendas.

Para poder contemplar diferentes desviaciones en la demanda de ACS debidas a los perfiles de consumo de las personas usuarias, los valores de demanda de ACS que se han considerado han sido:

- valor de ACS calculado según Anejo F del CTE DB-HE
- valor de ACS calculado según Anejo F del CTE DB-HE mayorado en un 20%
- valor de ACS calculado según Anejo F del CTE DB-HE minorado en un 20%

Tecnologías aplicadas

El último parámetro que ha sido considerado para la elaboración de los casos de estudio ha sido la tipología de la tecnología empleada para satisfacer las demandas de calefacción y de ACS.

Para ello, se han seleccionado tecnologías cuya configuración puede ser:

- completamente individual
- completamente colectiva
- mezcla entre individual y colectiva

Cada tecnología tiene unos rendimientos asociados que han sido obtenidos de información propia de los fabricantes. En algunos casos específicos (bombas de calor), ha sido necesario recalcular el rendimiento (COP) de los equipos para ajustarlos a cada ubicación de los diferentes casos de estudio.

También se han extraído los precios de las diferentes tecnologías y equipos que los componen (radiadores, bombas de calor, termos eléctricos, etc.) de bases de datos específicas (CYPE).

Un total de **5 tecnologías** han sido tenidas en cuenta para dar cobertura a las diferentes demandas de calefacción y ACS, y posteriormente para el análisis de los

casos de estudio y la realización de los cálculos de los mismos. Las tecnologías seleccionadas han sido:

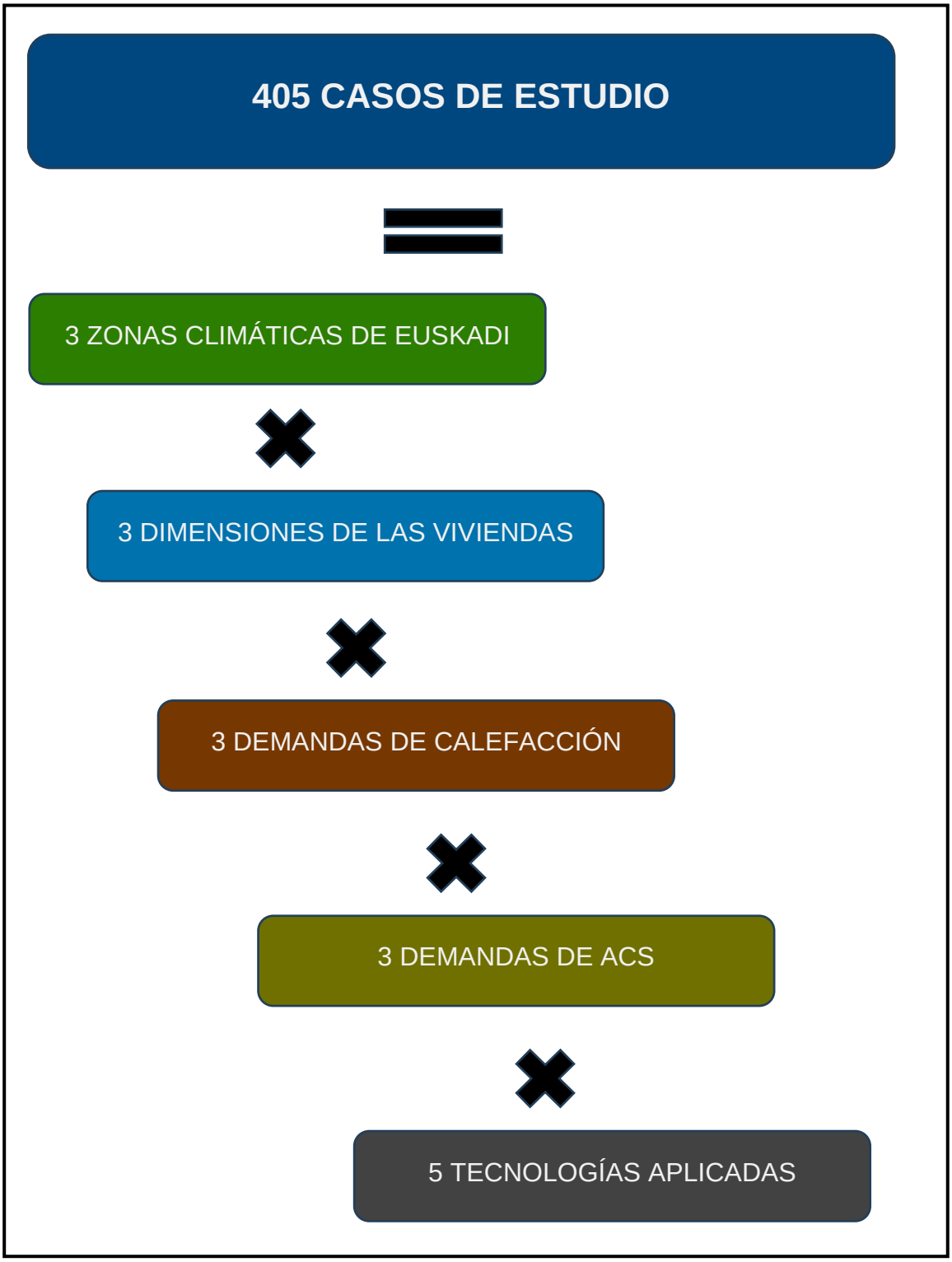
Tabla 2: Casos de instalaciones seleccionados

	TECNOLOGÍA	
CASOS	**ACS**	**Calefacción**
A	Individual: Efecto Joule	Individual: Radiadores eléctricos
B	Individual: Aerotermia	Individual: Radiadores eléctricos
C	Individual: Aerotermia	Individual: Aerotermia
D	Colectivo: Aerotermia	Individual: Radiadores eléctricos
E	Colectivo: Aerotermia	Colectivo: Aerotermia

Casos de estudio

Con los parámetros definidos en los apartados anteriores y la cantidad seleccionada de cada uno de ellos, han salido un total de **405 casos de estudio diferentes**.
Se considera una cifra más que suficiente para abarcar un gran porcentaje de las diferentes casuísticas posibles en la configuración de viviendas dentro de Euskadi.

Figura 7. Número de casos de estudio



3.2 Criterios considerados

Una vez definidos los casos de estudio, es necesario asumir una serie de criterios técnicos para asegurarse de que los cálculos se realizan de manera correcta y pueden ser considerados para extraer las conclusiones oportunas.

Instalación fotovoltaica: dimensionado y generación

3.2.1. Dimensionado cubierta

La tipología de cubierta utilizada en todos los casos de estudio es la plana. Se ha considerado este tipo de cubierta al tratarse de la más común en casos de edificios de nueva construcción. En edificios existentes, es más habitual la existencia de cubiertas inclinadas a una o más aguas.

El aprovechamiento de la instalación fotovoltaica depende en gran parte de la tipología de la cubierta ya que define la superficie útil disponible para dicha instalación. A priori, aunque pueda considerarse que una cubierta plana consta de una mayor superficie útil que una cubierta inclinada (sin importar número de aguas), hay que tener en cuenta que existen diferentes factores que minorizan esa área, tales como elementos constructivos, espacio entre filas de paneles para evitar sombreamiento, pasillos destinados a la realización del mantenimiento de los paneles, etc.

La superficie total de la cubierta de cada caso de estudio se ha calculado como la suma de las superficies de las viviendas de una planta y una parte que corresponde a las zonas comunes del edificio. Esa parte que corresponde a las zonas comunes se ha determinado como el 20% del total de la superficie de las viviendas de una planta.

Ejemplo 1: Un edificio con tamaño de viviendas de 55 m² y con distribución de 3 viviendas por planta, tendrá una superficie total de cubierta igual a:

$$Superficie\ cubierta\ = 55 * 3 + (55 * 3 * 0{,}2) = 198\ m2$$

Ejemplo 2: Un edificio con tamaño de viviendas de 80 m² y con distribución de 2 viviendas por planta, tendrá una superficie total de cubierta igual a:

$$Superficie\ cubierta\ = 80 * 2 + (80 * 2 * 0{,}2) = 192\ m2$$

3.2.2. Generación fotovoltaica

La producción de energía fotovoltaica depende de diversos factores: tamaño de la instalación, ubicación, orientación e inclinación de los paneles…. pero hay una premisa que está clara, a mayor energía solar incidente mayor producción de energía.

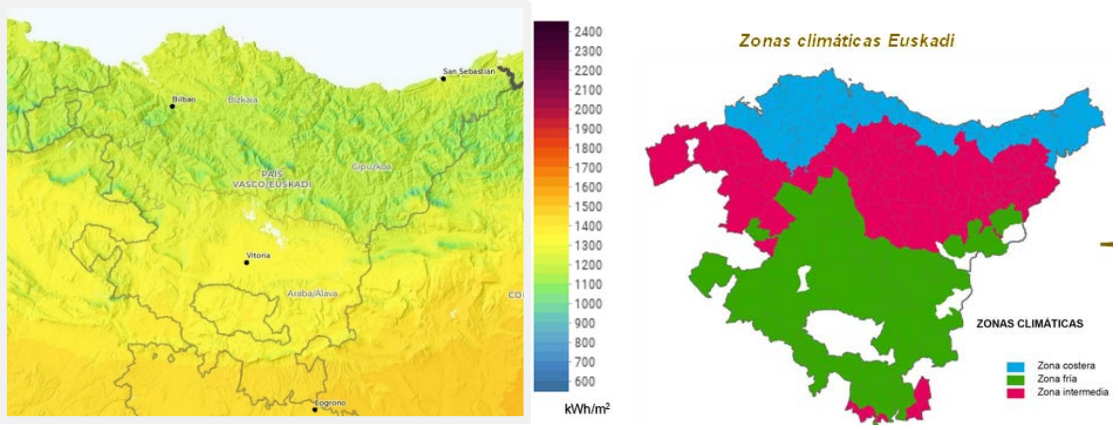
A esta energía proveniente del sol, se le conoce como irradiación solar, expresada en kWh/m2, y varía en función de la ubicación. A nivel nacional, en España, la irradiación solar anual alcanza los siguientes valores:

Figura 8. *Irradiación solar en España (Fuente: Global Solar Atlas)*

Se puede observar cómo en el norte de la península la irradiación solar es sensiblemente menor (50%) que en las zonas centro y sur. Este fenómeno se reproduce en la Comunidad Autónoma del País Vasco, aunque las diferencias entre ubicaciones geográficas no alcanzan magnitudes tan grandes.

De acuerdo con lo establecido en el apartado "*zonas climáticas de Euskadi*" del presente documento, en la clasificación realizada por EVE de zonas climáticas, las denominadas como costera e intermedia, que corresponden al norte y centro del territorio, hay menor irradiación solar que en la zona fría (sur). Esto quiere decir que, **una instalación** con las mismas características tanto en número de paneles (potencia pico instalada) como en orientación e inclinación de los mismos, **generará más energía fotovoltaica cuanto más al sur se encuentre**.

Figura 9. Irradiación solar en Euskadi (Fuente: Elaboración propia)



a) Superficie disponible para la instalación de paneles

El espacio que se disponga para ubicar la instalación fotovoltaica también es un factor determinante para obtener realizar el dimensionado de la misma. En la mayoría de los casos, la instalación solar fotovoltaica irá ubicada en las cubiertas de los edificios, ya sean planas o inclinadas. Hay ocasiones, aunque es bastante menos habitual, que los paneles puedan colocarse en elementos verticales como tramos de fachada, balcones o en estructuras colindantes al edificio como pueden ser aparcamientos de coche cubiertos con tejavana, patios interiores o exteriores.

Conocida la ubicación de la instalación, considerando que será la cubierta, ya se ha comentado como se calcula el valor de superficie total de la cubierta. El siguiente paso es determinar el valor de la superficie útil de la misma.

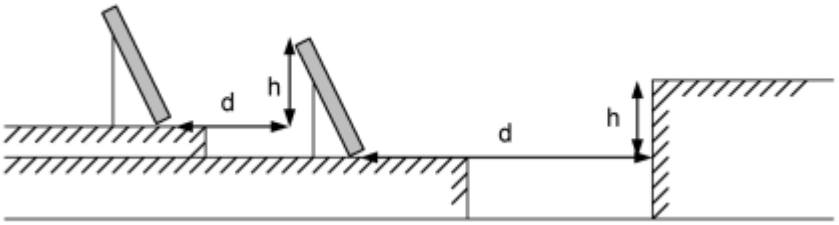
Por este motivo, a la hora de realizar los cálculos pertinentes, **se aplicará un factor minorante**, sobre la superficie total de la cubierta para obtener el área útil de la misma. Dicho factor contemplará:

- Existencia de obstáculos, tales como chimeneas, antenas, casetones, etc.
- Espacio entre filas de paneles para realizar el mantenimiento
- Ubicación del cableado
- Distancia mínima con los linderos/petos de la cubierta

En las cubiertas planas, que es la seleccionada para los casos de estudio calculados, tiene que haber una separación mínima entre las filas de los paneles para evitar posibles sombreamientos entre ellas que afecten al rendimiento de la instalación.

Para el cálculo de la distancia mínima entre filas, se utiliza el método descrito en los pliegos de condiciones técnicas de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red del IDAE.

Figura 10. *Cálculo de distancia mínima entre filas para evitar sombras*



La distancia d, medida sobre la horizontal, entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura h que pueda proyectar sombras, se recomienda que sea tal que se garanticen al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. En cualquier caso, d ha de ser como mínimo igual a h*k, siendo k un factor adimensional al que, en este caso, se le asigna el valor 1/tan(61° – latitud).

b) Orientación e inclinación posibles para la instalación de los paneles fotovoltaicos

La orientación (Figura 11) e inclinación de los paneles son otras dos variables que afectan a la producción de energía por parte de los paneles fotovoltaicos.

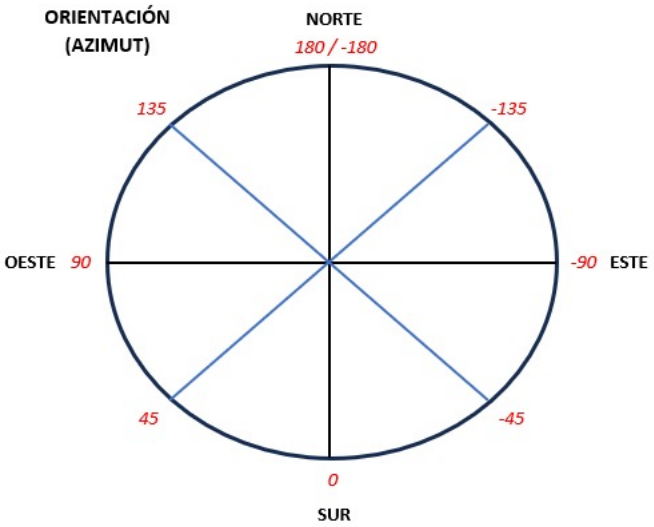
De acuerdo con la trayectoria que realiza el sol, **la orientación óptima es la sur** (0º), dado que, por ángulo de incidencia de la radiación solar, es en la que se genera mayor cantidad de energía por tener mayor número de horas al año de radiación solar.

La eficacia de la instalación baja cuanto más se aleje la orientación sur, siendo la orientación norte la peor de todos los posibles casos (por debajo de un 30% de aprovechamiento solar en el peor de los casos).

3. Metodología de cálculo

Una instalación fotovoltaica orientada al este tendrá mayor producción fotovoltaica en las primeras horas de la campana de radiación solar, es decir por la mañana-mediodía, mientras que en las últimas horas (la tarde) su producción será sensiblemente menor. De manera contraria, una instalación orientada al oeste generará mayor energía en las últimas horas de la radiación solar mientras que en las primeras la generación será menor.

Figura 11. *Relación entre grados y puntos cardinales (Fuente: propia)*



La inclinación de los paneles es otro parámetro que afecta a la eficacia de la instalación. De hecho, la combinación de la inclinación con la orientación, determinan el porcentaje final de aprovechamiento solar del panel. Suele venir definida por la propia inclinación de la cubierta del edificio, en caso de que los paneles vayan a montarse de manera integrada, o, de la estructura portante de los mismos, en caso de que se monten en una cubierta plana.

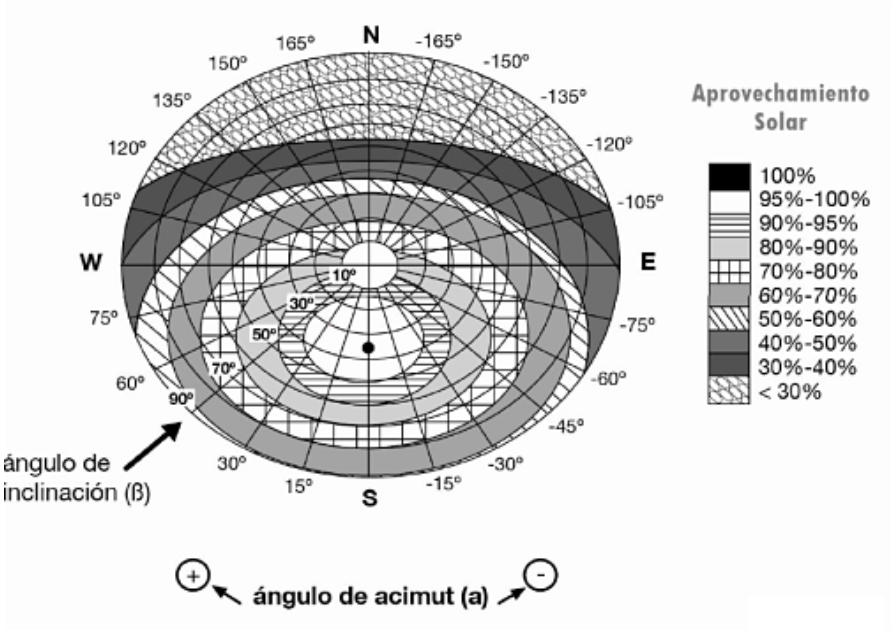
No existe una inclinación perfecta, ya que, en periodo invernal el ángulo de incidencia de la radiación solar a los paneles es totalmente distinto que en periodo de verano. Por este motivo, si se quisiera optimizar la instalación para los meses de invierno, los paneles deberían tener una inclinación igual a la latitud (º) de la ubicación de la instalación más 10-15º. Por el contrario, si se quiere sacar el máximo provecho en los meses de verano, la inclinación deberá ser igual a latitud (º) menos 10 - 15º.

Si finalmente, y como suele ser en la mayoría de los casos, se quiere sacar el mayor provecho a la instalación a lo largo del año, esto es, en sus 12 meses, la inclinación

óptima para una orientación sur es de 30º. Si la orientación es diferente a la sur, entonces la inclinación debería de ser lo más parecida a la latitud (º) de la ubicación de la instalación.

A modo resumen de los últimos dos parámetros mencionados, orientación e inclinación, en el documento del IDAE y en el Código Técnico de la Edificación (CTE) cuantifican el aprovechamiento solar en función de la orientación e inclinación con la siguiente figura:

Figura 12. *Relación entre grados y puntos cardinales (Fuente: propia) Aprovechamiento solar en función de la orientación e inclinación (Fuente: IDAE)*



*Para los casos de estudio se ha considerado que la instalación fotovoltaica tiene una **orientación al sur (0º)** y una **inclinación de 35º**.*

c) Cálculo de la producción solar fotovoltaica

Una vez definidas todas las variables que determinan el dimensionado de la instalación fotovoltaica, el siguiente paso es el **cálculo de la producción de energía** que se obtiene de la misma.

El método escogido para esta finalidad es el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica, **PVGIS**[12], que es una herramienta reconocida por la Comisión Europea.

En términos generales, se trata de una calculadora online gratuita de energía solar fotovoltaica para plantas y sistemas fotovoltaicos autónomos o conectados a la red, con

el que se puede obtener información sobre la radiación solar y el rendimiento del sistema para diferentes ubicaciones del mundo.

Sus principales características son:

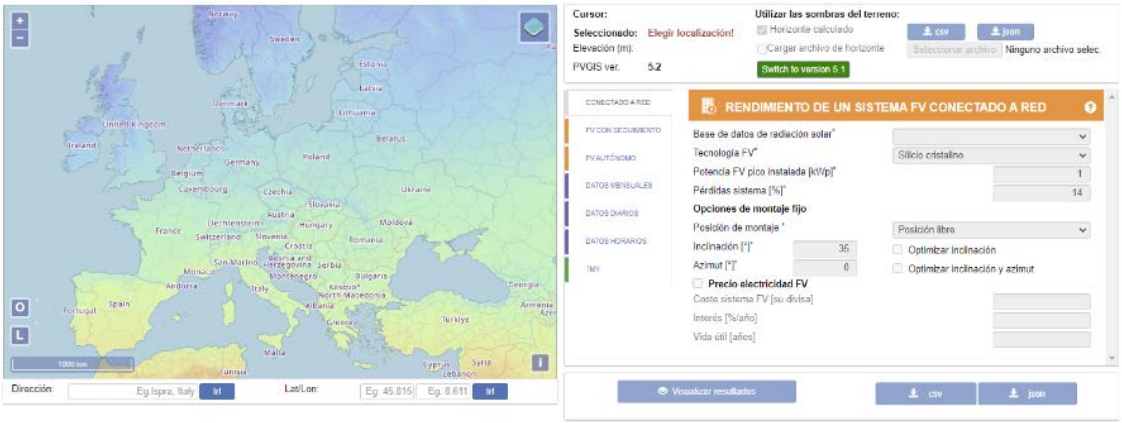
- Potencial de generación de electricidad para diferentes tecnologías y configuraciones fotovoltaicas
- Radiación solar y temperatura, como medias mensuales o perfiles diarios
- Serie temporal completa de valores horarios de radiación solar y rendimiento fotovoltaico
- Datos TMY para nueve variables climáticas, formateados para herramientas de cálculo de energía de edificios

Adicionalmente, PVGIS utiliza datos de alta calidad y resolución espacial y temporal de la radiación solar obtenidos a partir de imágenes de satélite, así como la temperatura ambiente y la velocidad del viento a partir de modelos de reanálisis climático.

Otra de las ventajas que ofrece esta herramienta es, que, se puede introducir un concepto de pérdidas del sistema, que por defecto está fijado en 14%.

Los resultados se pueden obtener de manera anual, mensual, diario o en detalle horario, lo cual permite realizar análisis pormenorizados de cualquier tipología de instalación.

Figura 13. *Interface de la herramienta PVGIS (Fuente: internet PVGIS)*



d) Pérdidas

Ya se han comentado las pérdidas asociadas a una instalación fotovoltaica, que son debidas a diferentes motivos:

- Por un lado, se ha considerado que un **35%** de la superficie total de la cubierta no se puede aprovechar para dimensionar la instalación fotovoltaica. Este factor incluye la existencia de elementos constructivos tales como chimeneas, casetones o equipos de climatización. También tiene en cuenta la altura de los dinteles y la separación mínima entre filas para evitar sombreamiento.
- En la herramienta de cálculo de la producción eléctrica, se ha fijado en un **21%** las pérdidas denominadas del sistema. Incluyen las pérdidas por conducciones, elementos que arrojen sombra a los paneles, etc.

e) Ratio autoconsumo-excedentes

La publicación del **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, trae consigo un nuevo escenario en el cual, la energía solar fotovoltaica tiene un gran potencial de uso y aprovechamiento, mucho mayor del que tenía hasta la fecha.

Establece el concepto de autoconsumo colectivo, cuya definición es *"Se dice que un sujeto consumidor participa en un autoconsumo colectivo cuando pertenece a un grupo de varios consumidores que se alimentan, de forma acordada, de energía eléctrica que es proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos*". Adicionalmente, habilita diferentes modalidades de autoconsumo e individual, que son:

- Autoconsumo sin excedentes: cuando existe un acuerdo entre los participantes para que la instalación fotovoltaica cuente con un sistema anti vertido, que impedirá que los excedentes vayan a la red eléctrica.
- Autoconsumo con excedentes acogido a compensación: una modalidad mediante la cual los participantes reciben una compensación económica en forma de descuento en su factura final (con periodo de un mes).

- Autoconsumo con excedentes no acogida a compensación: no permite que los participantes obtengan el descuento en la factura, pero sí que se venden los excedentes al mercado eléctrico.

Para los casos de estudio se ha considerado que la modalidad escogida ha sido **autoconsumo con excedentes acogido a compensación.** En este mecanismo de compensación, la energía procedente de la instalación de autoconsumo que no sea consumida instantáneamente o almacenada por las personas consumidoras asociadas se inyecta a la red; cuando las personas consumidoras precisen más energía de la que les proporciona la instalación de autoconsumo, comprarán la energía a la red al precio estipulado en su contrato de suministro (PVPC o de mercado libre pactado con la comercializadora).

Al final del periodo de facturación (que no podrá ser superior a un mes) se realiza la compensación entre el coste de la energía comprada de la red y el valor de la energía excedentaria inyectada a la red (valorada a precio medio horario de mercado menos el coste de los desvíos o al precio acordado entre las partes, según sea el contrato de suministro a PVPC o de mercado libre respectivamente).

E**l ratio utilizado de autoconsumo frente a excedentes es de un 40% frente a un 60%**. No se ha considerado la instalación de baterías, por lo que el autoconsumo no es muy elevado, al producirse la generación de energía en las horas centrales del día (campana solar), y previsiblemente, la mayor parte del consumo energético en las horas de la mañana y tarde-noche.

A efectos de cálculo, la totalidad de la producción fotovoltaica (100%) se ha tenido en cuenta para el cumplimiento de los límites establecidos en el CTE. Sin embargo, a la hora de evaluar los ahorros económicos, en facturas, solo se descuenta la parte que se ha considerado como excedentes (60%).

Instalaciones

f) Características

Como se ha comentado en el punto *3.1 Metodología de cálculo* en el apartado "*instalaciones*" del presente documento, **5 tipologías de instalaciones han sido seleccionadas** para ser analizadas en esta línea de trabajo de electrificación.

Se han descartado de manera directa las tecnologías que utilizan gas natural u otros **combustibles fósiles**, tales como calderas y sistemas de cogeneración.
También se han descartado instalaciones que requieran de **sistemas hidráulicos**, tales como los paneles solares térmicos, como directriz comunicada desde ALOKABIDE, dado que el mantenimiento es sensiblemente mayor frente a otras alternativas y sus averías acarrean grandes perjuicios.

Tampoco se ha considerado la **biomasa**, dado que, aunque se considere una fuente renovable, no termina de encajar en la filosofía de electrificación del edificio al 100%.
Por último, se ha descartado la **geotermia** por su elevado coste y por las condiciones tan particulares que necesita para su aplicación (espacio en el solar).

Con estos criterios, se ha conseguido reducir el abanico de opciones de las instalaciones, de más de 40 posibilidades a las 5 elegidas.

En los casos en los que las instalaciones tienen una configuración individual, se han considerado unos equipos de las siguientes características, en función del tamaño de las viviendas:

- Termo eléctrico para ACS: Con potencia nominal de entre 1,2 y 2,6 kW y acumulación de 100-150 litros.
- Radiadores eléctricos: Potencia por vivienda entre 1,8 a 3 kW.
- Aerotermo para ACS: Potencia nominal entre 0,7 y 2,5 kW y acumulación de 100-150 litros

Para los casos de instalaciones colectivas o comunitarias, el factor determinante es el número total de viviendas. El edificio tipo con el que se han realizado todos los cálculos consta de planta baja y **5 plantas en altura** con una distribución de 5 viviendas por planta. En total, el edificio tiene **15 viviendas**. En este caso:

- Aerotermia para ACS y calefacción: Potencia nominal entre 18 y 25 kW en función del tamaño de las viviendas.

g) Pérdidas en instalaciones (individuales y centralizadas)

El funcionamiento teórico de las instalaciones no suele coincidir con el funcionamiento real de las mismas. Uno de los principales factores de este motivo son las pérdidas que tiene asociadas la propia instalación. Estas pérdidas, hacen que, en la realidad, se consume mayor cantidad de energía que lo que marca la teoría.

En un edificio con **instalaciones individuales**, uno de los elementos críticos es el termo de agua caliente sanitaria y su acumulación. Los termos suelen tener cierto nivel de aislamiento (UA ≈ 0,9 - 1,8 W/m2K) lo que no evita que se produzcan pérdidas. Para los casos de estudio se ha considerado que un **33%** de la energía demandada para ACS se pierde.

En un edificio con instalaciones centralizadas para ACS y calefacción, dependiendo de la configuración del mismo, el tamaño y la ubicación de las instalaciones, las pérdidas asociadas a la distribución pueden alcanzar valores que han de ser tenidos en cuenta. Los casos más críticos son los edificios con muchas alturas, con grandes distancias a recorrer entre el punto de generación de la energía (sala de calderas) y el punto de consumo de la misma, o simplemente aquellos que no disponen de un nivel de aislamiento en las conducciones adecuado.

Por este motivo, se ha considerado un **30% de pérdidas de energía** en esta tipología de instalaciones centralizadas.

h) Dimensionado de las instalaciones

Ha sido necesario dimensionar correctamente las instalaciones para que éstas se ajusten a cada caso de estudio analizado. En el apartado anterior *"Características*" del presente documento se han indicado ordenes de magnitud de las potencias de los equipos para cada configuración de instalación.

Las potencias térmicas de los equipos se han dimensionado en función de la demanda base (ACS + calefacción) a satisfacer. La demanda conjunta de ACS y calefacción varía en función de diferentes factores:

- Zona climática C-D-E según CTE o costera, intermedia y fría según EVE
- Número de viviendas totales del edificio
- Superficie de las viviendas

- Configuración de la instalación (individual o colectiva)
- Pérdidas asociadas a cada tipología de instalación o equipo generador de energía

i) Modo de operación

Debido a lo condicionante de las temperaturas de impulsión para el cálculo del rendimiento de la aerotermia, se han declarado consigas para cada servicio y según su nivel de centralización.

Tabla 3: *Modos de operación de las instalaciones*

Centralización	Temperaturas de impulsión [ºC]	
	Calefacción	ACS
Individual	45	60
Colectivo	55	60

Se ha considerado una temperatura de impulsión de seguridad de 60 ºC para al ACS al tratarse de equipos con acumulación y no de producción instantánea. En cambio, para la calefacción, se ha diferenciado entre sistema centralizado e individual, con mayor temperatura para el primero por las posibles pérdidas por distribución. En ambos casos, son consignas de baja temperatura porque su destino es un suelo radiante.

j) Curvas de rendimiento según text Temperaturas de impulsión (aerotermia)

Ha sido necesario calcular las curvas de rendimiento de los equipos de aerotermia en función de:

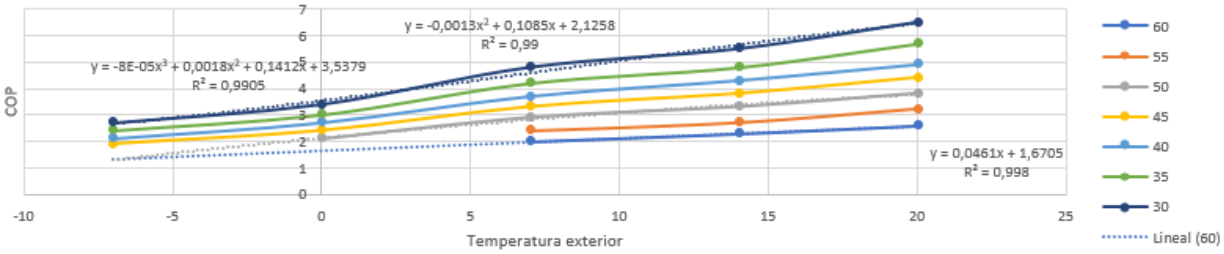
- Temperatura media estacional de invierno según zona climática para calefacción.
- Temperatura media estacional anual según zona climática para ACS.
- Las zonas climáticas han sido representadas por los registros medios de las siguientes poblaciones intentando abarcar el abanico de temperaturas posibles de la geografía vasca:
    - Bilbao – Zona C
    - Arrasate – Zona D (Arrasate posee un clima más severo que Donosti siendo ambos D1 y siendo la capital un clima más similar a Bilbao)

- Vitoria-Gasteiz – Zona E (en el CTE aparece como zona D pero por condiciones climatológicas y a efectos de cálculo se ha considerado zona E)

- Temperatura de impulsión o servicio previamente declarada.

Determinadas estas variables y tomando los valores medios nominales de equipos reales, las curvas de rendimiento que se han obtenido son las siguientes:

Figura 14. *Curvas de rendimiento de la aerotermia (Fuente: propia)*



Concretando valores, los rendimientos estacionales teóricos aproximados para los equipos de aerotermia analizados son los siguientes:

Tabla 4: *rendimientos para calefacción según centralización y clima*

CLIMA	SPF para calefacción	
	Individual	**Colectivo**
C1 - Bilbao	3,63	2,62
D1 - Arrasate	3,34	2,45
E1 – Vitoria – Gasteiz *	3,25	2,40

Tabla 5: Tabla de rendimientos para ACS según centralización y clima

CLIMA	SPF para ACS	
	Individual	Colectivo
C1 - Bilbao	2,19	2,19
D1 - Arrasate	2,06	2,06
E1 – Vitoria – Gasteiz *	2,02	2,02

*No siendo oficialmente Vitoria – Gasteiz un clima E1, por proximidad y representatividad se considera a nivel de estudio como tal.

Factores económicos

Para poder calcular costes, cuantificar ahorros y determinar que solución es más económico que otras, se ha tenido que disponer de una serie de precios y valores económicos. Se han utilizado precios reales de mercado, extraídos de bases de datos de precios (CYPE), catálogos de fabricantes y facturas del año natural 2023, para que los valores se ajusten al máximo a la realidad y estén lo más actualizados posibles. De esta manera, se ha determinado:

- Precio de compensación de excedentes: 0,12 €/kWh
- Tarifas de consumo:
  - Modalidad tarifa plana (P1): 0,20 €/kWh

Cálculo de Energía Primaria (Renovable y no Renovable) y emisiones

Para poder comparar diferentes casos de estudio, es necesario que los resultados se expresen en las mismas unidades o términos. El CTE define algunos de estos términos, que son:

- **Energía primaria:** energía suministrada al edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras

fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc. Energía primaria (total): puede descomponerse en energía primaria procedente de fuentes renovables, o energía primaria renovable, y en energía primaria procedente de fuentes no renovables, o energía primaria no renovable, de acuerdo con la Directiva de Energías Renovables (2009/28/CE).

- **Energía final**: energía tal y como se utiliza en los puntos de consumo. Es la suministrada a los sistemas del edificio para proveer los servicios; normalmente este suministro se realiza a través de combustibles, generación in situ o redes específicas (electricidad, gas, calor o frío de distrito, etc.).
- **Demanda (energética): energía útil** necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente. Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS), de ventilación, de control de la humedad y de iluminación, y se expresa en kWh/m^{2}año.
- **Emisiones de CO_2:** Cantidad de dióxido de carbono causante de efecto invernadero que se emite a la atmosfera equivalente a la energía primaria consumida. Se expresa en kgCO_2/m^{2}año

De forma simplificada, la relación entre energía final y primaria se puede expresar con un coeficiente de paso, que refleja, para una zona geográfica determinada, el efecto de las pérdidas en transformación y transporte en cada una de las partes de la energía primaria (renovable y no renovable) de cada vector energético.

El paso de los diferentes términos de energía viene reflejado en la siguiente imagen:

Figura 15. *Equivalencia entre términos de energía (CTE DB-HE)*

Siempre que se habla de energía primaria ya se ha tenido en cuenta los rendimientos de los equipos y los factores de paso por los procesos de transporte y transformación.

Es especialmente útil para comparar diferentes tecnologías (combustibles fósiles, biomasa, etc.), y no solamente eléctricas como es el caso de este estudio.

Los factores de paso a energía primaria total, energía primaria no renovable y emisiones de CO_2, están publicados en Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y tienen los siguientes valores en función del vector energético de origen:

Figura 16. *Factores de paso a energía primaria y emisiones de CO_2 (RITE-IDAE)*

Factores de paso de Energía Final

Energético	a Energía Primaria Total (kWhEP/kWhEF)	a Energía Primaria No Renovable (kWhEPNR/kWhEF)	a Emisiones de CO2 (kgCO2/kWhEF)
Electricidad	2,368	1,954	0,331
Gasoleo calefaccion / Fuel-oil	1,182	1,179	0,311
GLP	1,204	1,201	0,254
Gas Natural	1,195	1,190	0,252
Carbon	1,084	1,082	0,472
Biomasa no densificada	1,037	0,034	0,018
Biomasa densificada (pelets)	1,113	0,085	0,018

Los límites que establece el CTE para el consumo de energía primaria no renovable y para el consumo de energía primaria total, en función de la zona climática son:

Figura 17. Límites de consumo de energía primaria no renovable y total (CTE DB-HE)

3.1 Consumo de energía primaria no renovable

1 El *consumo de energía primaria no renovable* ($C_{ep,nren}$) de los espacios contenidos en el interior de la *envolvente térmica* del edificio o, en su caso, de la parte del edificio considerada, no superará el valor límite ($C_{ep,nren,lim}$) obtenido de la tabla 3.1.a-HE0 o la tabla 3.1.b-HE0:

Documento Básico HE Ahorro de energía
HE 0. Limitación del consumo energético

Tabla 3.1.a - HE0
Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kW·h/m²·año] para *uso residencial privado*

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25

3.2 Consumo de energía primaria total

1 El *consumo de energía primaria total* ($C_{ep,tot}$) de los espacios contenidos en el interior de la *envolvente térmica* del edificio o, en su caso, de la parte del edificio considerada, no superará el valor límite ($C_{ep,tot,lim}$) obtenido de la tabla 3.2.a-HE0 o de la tabla 3.2.b-HE0:

Tabla 3.2.a - HE0
Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kW·h/m²·año] para *uso residencial privado*

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15

En lo referente a las emisiones de CO_2, los límites establecidos en el CEE para la letra A, en función de las zonas climáticas, son:

Tabla 6: Límites de emisiones de CO_2 en función de la zona climática

Límite de la clase	Emisiones de CO_2 [$kgCO_2/m^2$año]		
ZONA C1	**Calefacción**	**ACS**	**Total**
A	3,3	2,4	5,7
ZONA D1	**Normal**	**Mayorada 50%**	**Minorada 50%**
A	11,7	17,55	5,85
ZONA E1	**Normal**	**Mayorada 50%**	**Minorada 50%**
A	15,7	23,55	7,85

3.3 Validación resultados mediante HULC

Se ha utilizado, como método de validación y contraste a la herramienta de cálculo empleada, la Herramienta Unificada Lider Calener (HULC).

El HULC facilita la verificación del CTE DB-HE 2019 y emite un informe para la Certificación energética de edificios. Además, permite la modelización 3D de los edificios, poder definir y crear todas las soluciones de la envolvente y configurar las instalaciones.

Los apartados del DB-HE 2019 que permite comprobar la herramienta son:

- HE 0 - 3.1: Consumo de energía no renovable (CEPNR)
- HE 0 - 3.2: Consumo de energía primaria total (CEPT)
- HE 1 – 3.1.1: Transmitancias límites de la envolvente
- HE 4 - 3.1: Contribución renovable mínima para ACS y/o climatización de piscina
- HE 5 - 3.1: Cuantificación de la exigencia

3. Metodología de cálculo

La Herramienta Unificada Lider Calener incluye la unificación en una sola plataforma de los anteriores programas generales oficiales empleados para la evaluación de la demanda energética y del consumo energético y de los Procedimientos Generales para la Certificación energética de Edificios (LIDER-CALENER), así como los cambios necesarios para la convergencia de la certificación energética con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).

Para llevar a cabo la validación y contraste de los cálculos realizados, se ha procedido a diseñar un edificio tipo en HULC. Dicho edificio, ha sido definido con los siguientes parámetros:

- Ubicación C1 (CTE), zona costera (EVE)
- Planta sótano, planta baja y 5 plantas en altura
- 3 fachadas exteriores y 1 medianera
- 2 viviendas por planta, de 55 m^2 cada una de ellas
- Cubierta plana con una superficie total de cubierta 142 m^2
- Transmitancias de los cerramientos y elementos de la envolvente térmica:
  - Fachada: U = 0,22 W/m^2K
  - Cubierta: U = 0,26 W/m^2K
  - Carpinterías: U = 1,68 W/m^2K
- Demanda de calefacción: 7,65 kWh/m^2año (Calificación A)
- Generación fotovoltaica anual de 14.241 kWh/año
- Instalaciones
  - ACS: termo eléctrico de potencia 1,5 kW y acumulación de 100 litros
  - Calefacción: Radiadores eléctricos con potencia total de 1,7 kW por vivienda

3. Metodología de cálculo

Figura 18. *Modelizado 3D del edificio tipo creado en HULC*

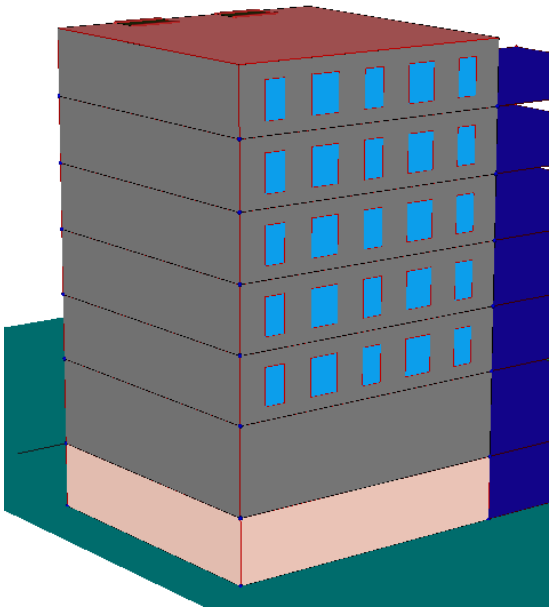


Figura 19. *Cuantificación de la demanda de calefacción (HULC)*

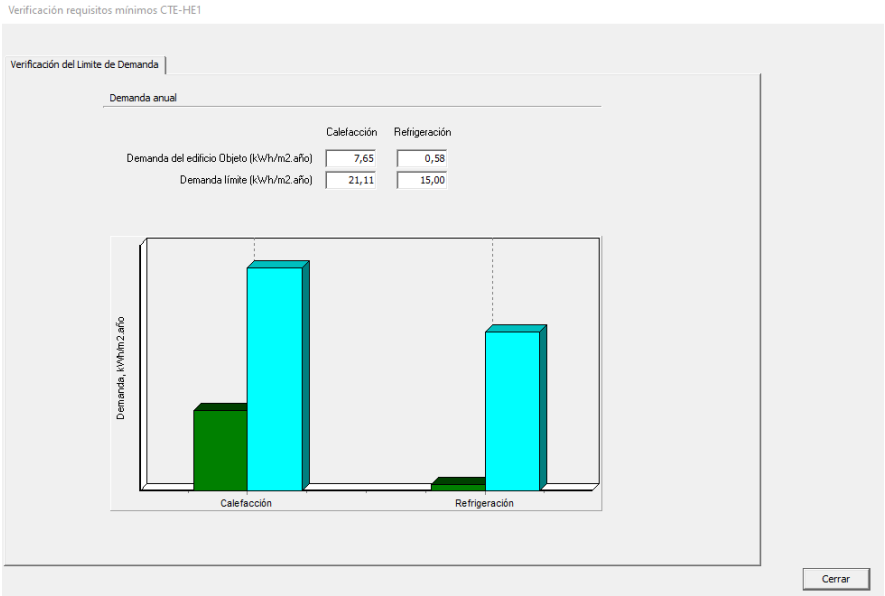


Figura 20. Definición de los elementos de la envolvente térmica (HULC)

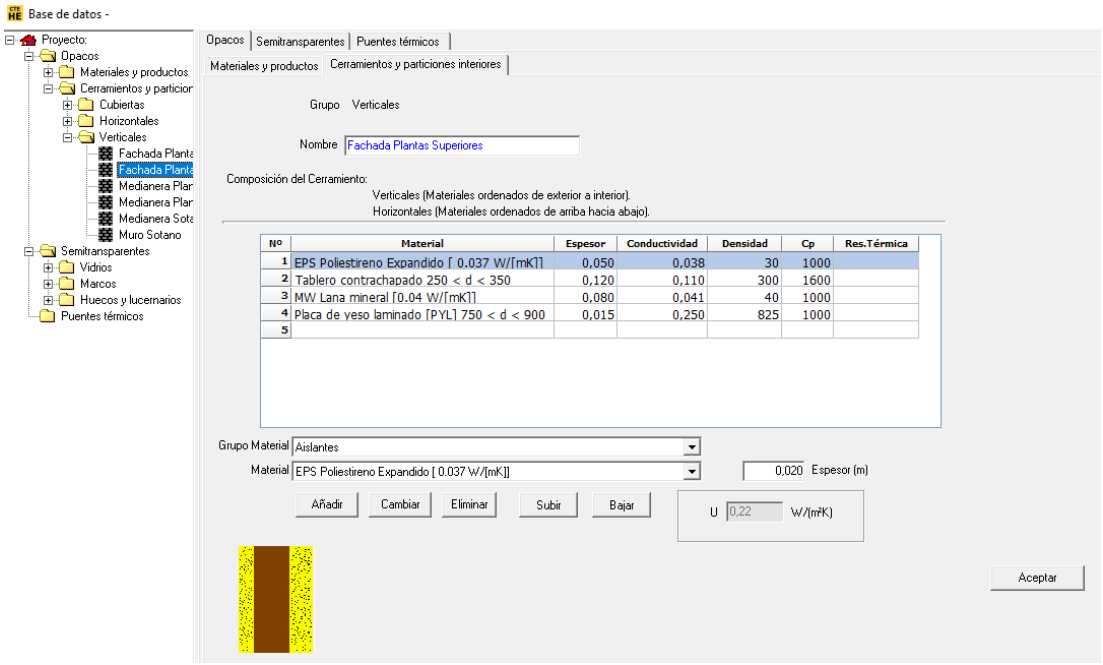
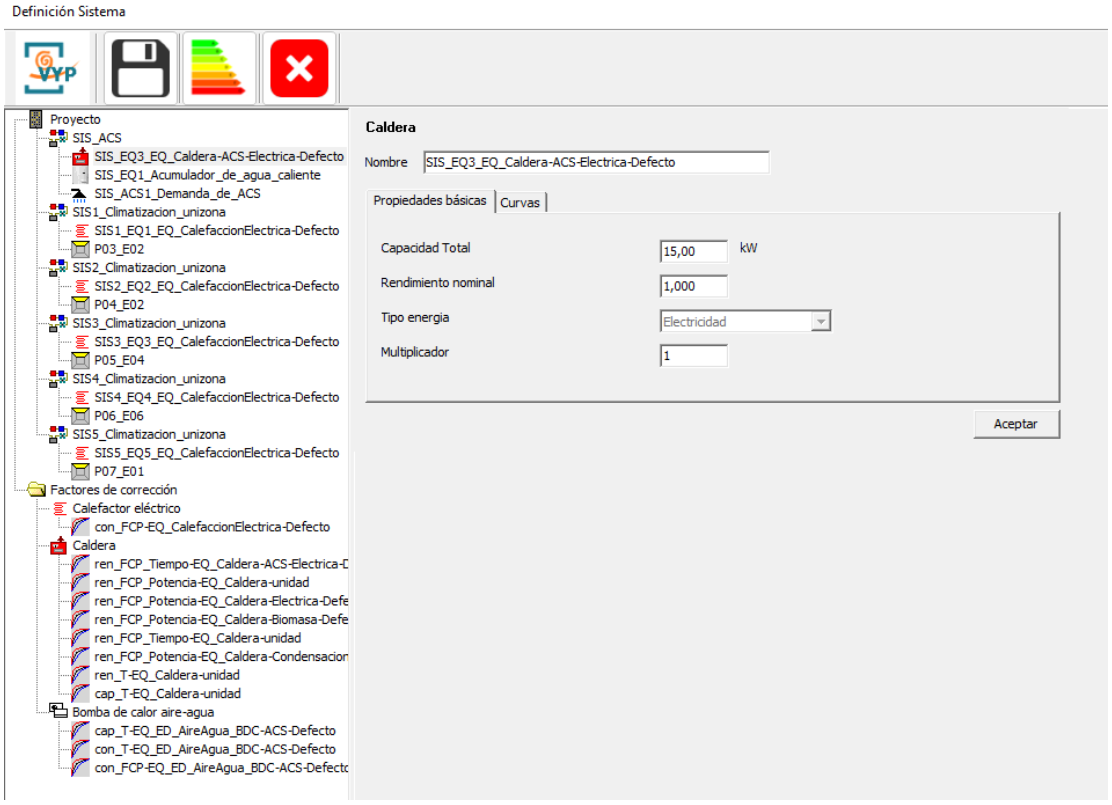


Figura 21. Definición de las instalaciones de ACS y calefacción (HULC)



alokabizi

4. Cálculos y resultados

4. Cálculos y resultados

Como se indica en el apartado 3.1 "*Descripción de los casos de estudio*" del presente documento, una vez definidas las 81 opciones pasivas y cruzadas con las 5 tipologías de instalaciones seleccionadas, se obtienen 405 casos de estudio totales. A la hora de realizar el análisis de los resultados, estos se enfocan desde 3 puntos de vista diferentes según el objetivo de los mismos: análisis energético, medioambiental (emisiones de CO_2) y económico.

De esta manera, se logra una visión multidisciplinar de cada una de las opciones, la cual, a su vez, sirve de guía en la identificación, no solo de los puntos fuertes, sino también de las limitaciones que tienen.

Las 5 tipologías de instalaciones que se han tenido en cuenta se han denominado casos A, B, C, D y E. En los apartados siguientes de descripción de los resultados y conclusiones, se hará referencia a esta **identificación de los 5 casos**, que son:

Tabla 7: *Casos de instalaciones seleccionados*

	TECNOLOGÍA	
CASOS	**ACS**	**Calefacción**
A	Individual: Efecto Joule	Individual: Radiadores eléctricos
B	Individual: Aerotermia	Individual: Radiadores eléctricos
C	Individual: Aerotermia	Individual: Aerotermia
D	Colectivo: Aerotermia	Individual: Radiadores eléctricos
E	Colectivo: Aerotermia	Colectivo: Aerotermia

4.1 Descripción de los resultados energéticos

Cumplimiento de los indicadores CEPnr y CEP total

Una de las mayores **limitaciones** de todos los escenarios es **normativa** y, más concretamente, el cumplimento del DB – HE0, donde se recogen los límites de consumo de energía primaria (energía final y normalizada para su comparación) que el edificio en cuestión no debe superar. Estos límites han sido descritos en el apartado 3.2 *Criterios considerados* en el punto "*Cálculo de Energía Primaria (Renovable y no Renovable) y emisiones*" del presente documento.

Teniendo en mente el objetivo principal que es conseguir la electrificación de las instalaciones térmicas, cabe destacar como en este escenario normativo, la electricidad es un combustible alternativo muy penalizado en sus factores de paso y que, prácticamente, requiere de un origen renovable para ser aceptado.

En esta restricción, son los conceptos "Consumo de Energía Primaria no renovable" y "Consumo de Energía Primaria total" quienes referencian esa frontera. Así el primero, señala cual es el límite de energía de origen no renovable que nuestra edificación puede gastar, y el segundo, el máximo total entre renovable y no renovable. Estos conceptos, introducidos en la última actualización del CTE (2017), tienen como objetivo el poner tope al consumo total y, de lo que se deba consumir, que gran parte tenga un origen renovable.

Volviendo al análisis actual, se ha buscado **identificar** las casuísticas donde cada tipología de **instalaciones** puede tener **ámbito de aplicación** cumpliendo los límites exigidos por el CTE o, por el contrario, tendría un evidente **riesgo de no cumplir** las exigencias normativas establecidas.

Para ello, en la herramienta de cálculo se ha desarrollado un patrón de visualización rápida con una escala de colores. Dicha escala permite identificar los casos en los que se cumple (verde) o no se cumple (rojo) con los límites establecidos para cada variable en el CTE. También facilita la visualización de la proximidad en valor absoluto de las diferentes variables respecto al valor exigido (paleta de colores amarillo, naranja, rojo y diferentes tonalidades de verde).

4. Cálculos y resultados

En la siguiente figura se muestran una serie de casos en los que, según que tipología de instalación tengan, no cumplen los requisitos de EPnr o EP total.

Figura 22. *Casos de estudio con riesgo de no cumplir con las limitaciones de EPnr y EP total según CTE DB-HE*

| | | |

Tabla 8: Resumen de riesgo de cumplimiento del DB-HE em CEPnR

Clima	Casos frontera para cumplimiento de CEPnr.		
	Tamaño 1 Hab.	Tamaño 2 Hab.	Tamaño 3 Hab.
C1	Existe margen de sobredemanda sobre calif. A (CEE) en calefacción y ACS.	Existe margen excepto en ciertos casos de sobredemanda en Calif. A de calefacción o ACS.	Demanda Calef <= Calif. A Dem. ACS =< 28 l/día per.
D1	Existe margen de sobredemanda sobre calif. A en calefacción y ACS.	Existe margen excepto en ciertos casos de sobredemanda en Cal A de calefacción o ACS.	Existe riesgo en muchos casos. Se deben reducir demandas al máximo Cal <<A.
E1	Existe margen excepto en ciertos casos de sobredemanda en Calif. A de calefacción o ACS.	Existe riesgo en muchos casos. Se debe reducir demandas al máximo Cal <<A.	Existe riesgo en muchos casos. Se debe reducir demandas al máximo Cal <<A.

Igualmente, el límite EP total también se ve condicionado en los casos que se tiene grandes demandas, ya sea por tamaño de vivienda o escenarios de sobredemanda.

En otros escenarios donde entra en juego la aerotermia, ya sea en uno o en los dos servicios (calefacción y ACS), individual o centralizado, el consumo de energía y las exigencias normativa se reducen paralelamente. No obstante, se aprecia que para los **casos B y D** (radiadores eléctricos y ACS con BC), cabe la posibilidad de haber **riesgo** en **escenarios de gran sobredemanda**.

Es fundamental hacer hincapié en como la **energía renovable** aportada por los paneles **fotovoltaicos es imprescindible** en esta parte del análisis. Instalaciones de radiadores y termos basados en **efecto Joule** requieren, junto con edificios de **demandas muy bajas**, de este tipo **de energía renovable** para su validación. Otro parámetro que tiene incidencia directa en esta tipología de instalación es el **número de plantas** del edificio.

Sin variar la superficie de cubierta del edificio, se pueden tener mayor o menor número de viviendas según el número de plantas que compongan el mismo. O lo que es lo mimo, el potencial de la cubierta para instalar una determinada potencia FV se puede ver más o menos repartida por cada vivienda. En edificios de gran altura, el reparto será más distribuido, con lo que, para una misma demanda, una vivienda tendrá menos aporte renovable y, consecuentemente, mayores dificultades en satisfacer los límites normativos.

En este sentido, en la siguiente tabla se muestra la incidencia del número de plantas del edificio y su repercusión en el reparto de la energía fotovoltaica producida, en el cumplimiento de las exigencias normativas

Tabla 9: Resumen cumplimiento demanda en función del número de plantas del edificio.

Plantas del edificio	Tipología de Vivienda		
	Instalaciones todo Joule (Caso A)	Mix Joule y aerotermia (Casos B y D)	Todo Aerotermia (Casos C y E)
Hasta 3	La demanda debe ser controlada en torno a la Calif. A. o inferior.	Gran margen de sobredemandas en torno a la Calif. A.	Gran margen de sobredemandas en torno a la Calif. A.
De 3 a 8	Viviendas pequeñas. Otras viviendas con demandas Calif. A o inferior.	Cumple con cierto margen aunque no admiten gran sobre demanda.	Cumple con margen
Más de 8	Viviendas pequeñas y con demandas muy bajas (Calif <A)	Demandas Calif. A. No admite mucho margen de sobredemanda. Riesgo en viv. grandes.	Cumple con cierto margen.

Calificaciones de demanda de calefacción y CEPnr

Uno de los criterios adoptados a la hora de definir los casos de estudio fue el de determinar la demanda de calefaccion base, que corresponde al límite de la calificación A del CEE. Una vez aplicados los escenarios de demanda minorada y mayorada, para estos casos la calificación energética es:

- Demanda A - 50%: Calificación A
- Demanda A: Calificación A
- Demanda A + 50%: Calificación B

Por otro lado, la calificación energética de CEPnr mantiene una relación con lo expuesto en el punto anterior en lo referente al cumplimiento de los límites. De esta manera, para un edificio tipo de 6 plantas como referencia, **casi todos los casos** y escenarios consiguen una **letra A** excepto en los que utilizan efecto Joule (Caso A), donde **aparecen calificaciones B** vinculadas mayoritariamente **zonas climáticas** más **severas** en invierno y tamaños de **viviendas mayores** (3 dormitorios).

En escenarios extremos de sobredemanda, la calificación podría subir a C.

Por el contrario, instalaciones con mix (**casos B y D**) o totalidad de aerotermia (**casos C y E**), se mantienen estables en parte baja de la escala (**calificación A**) hasta que acontece un **menor aporte de energía renovable** (edificios con número de plantas

superior a 8), donde aparecen **calificaciones B** y su consecuente riesgo de incumplimiento normativo.

4.2 Descripción de los resultados medioambientales

Calificaciones en emisiones de CO2

Las **calificaciones en emisiones de CO_2** mantienen una relación directa a las del apartado anterior siendo iguales en la **mayoría de los escenarios**, es decir, **calificación A**, pero con un ligero aumento de los casos con calificación B (y C en el caso A – efecto Joule).

Comparando entre diferentes tipologías de instalaciones, es posible observar cómo, los casos de instalaciones mixtas Joule-aerotermia (**casos B y D**) **generan** 1**,5 – 2 veces menos de CO_2** que las basadas en tecnología puramente de resistencia eléctrica (**caso A**) y entre **3 y 4 veces menos** en los sistemas con generación total por aerotermia (**casos C y E**). Esto coincide con la comparación entre rendimientos de ambas tecnologías.

También hay que destacar como existen combinatorias de edificios con bajas demandas, gran proporción de energía renovable de paneles FV por vivienda y tecnología de alta eficiencia (aerotermia) que resultan en valores nulos de consumo de energía no renovable y, por tanto, de emisiones nulas.

4.3 Descripción de los resultados económicos

Una vez realizado un análisis energético y medioambiental de los resultados, es necesario e imprescindible un cambio de perspectiva y analizar los cálculos de los casos de estudio desde un punto de vista económico.

Factores como el precio de los equipos, el coste de la instalación de los mismos, la realización del mantenimiento y la tipología del combustible necesario para abastecerlos, componen la estructura del análisis económico de los resultados.

Como referencia de tipología de edificio tipo, se ha considerado un bloque de viviendas de 6 plantas y 3 viviendas por planta, con un total de 18 viviendas.

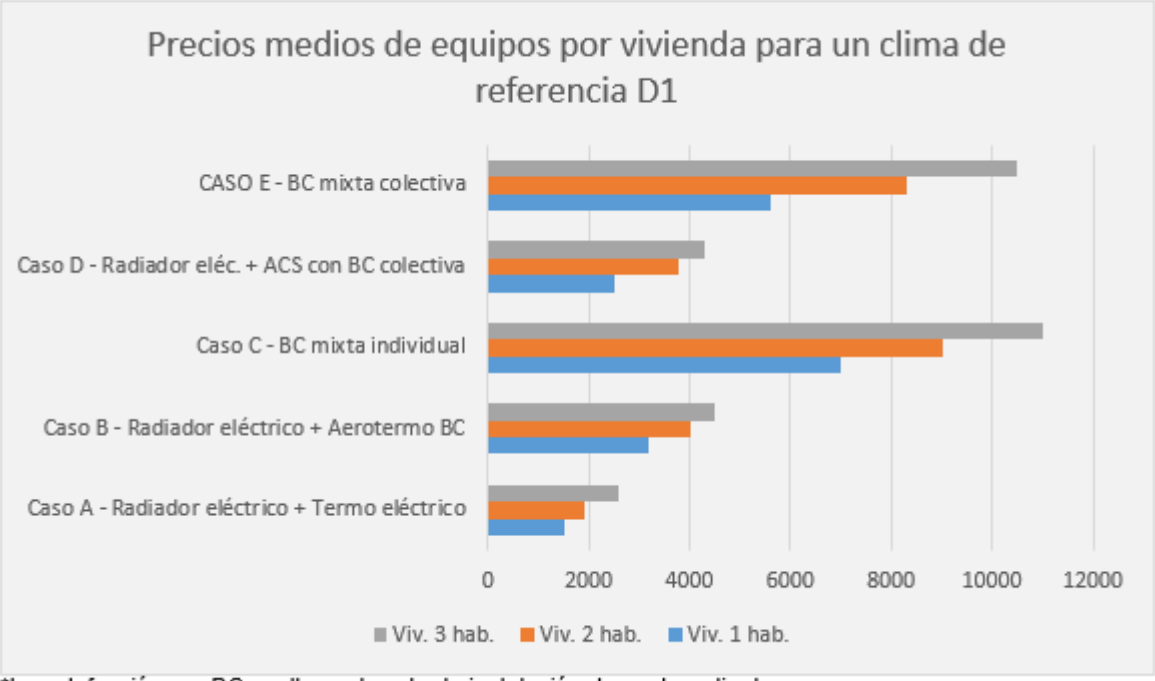
Inversión inicial

Como punto de partida del estudio económico, se realiza un presupuesto aproximado de costes de cada uno de los casos de instalaciones.

Desde un principio es visible como los sistemas basados en resistencias eléctricas (**casos A, B y D**) tienen un **coste notablemente inferior** a tecnologías más complejas como la aerotermia (casos C y E). Su composición, instalación y robustez son diametralmente opuestos a las de las bombas de calor, que requieren de elementos mecánicos y electrónicos, así como de mano de obra especializada.

Además, en este estudio, se ha determinado el uso de la aerotermia en sistemas de calefacción con medio de disipación mediante **suelo radiante**, por su eficiencia y confort. Por el contrario, resulta **sensiblemente más caro** frente a soluciones de radiadores de baja temperatura.

Figura 23. *Precios de equipos para los diferentes casos en zona climática D*



*La calefacción por BC conlleva el coste de instalación de suelo radiante.

De la comparación de costes entre los diferentes casos, se puede determinar que el **caso A** es el que resulta **más económico** con cierta diferencia respecto al resto de casos, entre **2 a 4 veces más barato**. Los siguientes casos más económicos serían los mixtos (casos B y D) y, por último, los casos con toda aerotermia (casos C y E) serían los más caros. Estos dos últimos casos (C y E), están bastante parejos entre sí, pudiendo estimar que la configuración individual o colectiva de las instalaciones no tiene gran repercusión en el precio total.

Coste del mantenimiento anual

Aproximadamente, el coste de mantenimiento de los sistemas guarda relación la línea de su coste inicial.

Los sistemas basados en resistencia eléctrica (caso A) requieren de costes de mantenimiento casi nulos debidos a su simplicidad y robustez. Rara vez suelen requerir de intervenciones. Para estar del lado de la seguridad, se ha estimado un gasto anual de entre 15-25 € como previsión de un posible fallo o incidencia.

Por otro lado, las bombas de calor por aerotermia si necesitan de, al menos, un mantenimiento periódico que puede suponer alrededor de 80 a 110 € anuales en función de la potencia de la máquina, horas de funcionamiento y otros conceptos, pudiendo aumentar según circunstancias y averías no frecuentes hasta los 200€.

En resumen, no solo en su compra e instalación las bombas de calor requieren de mayor inversión que equipos basados en Joule, si no que, sus costes de mantenimiento, es también superior.

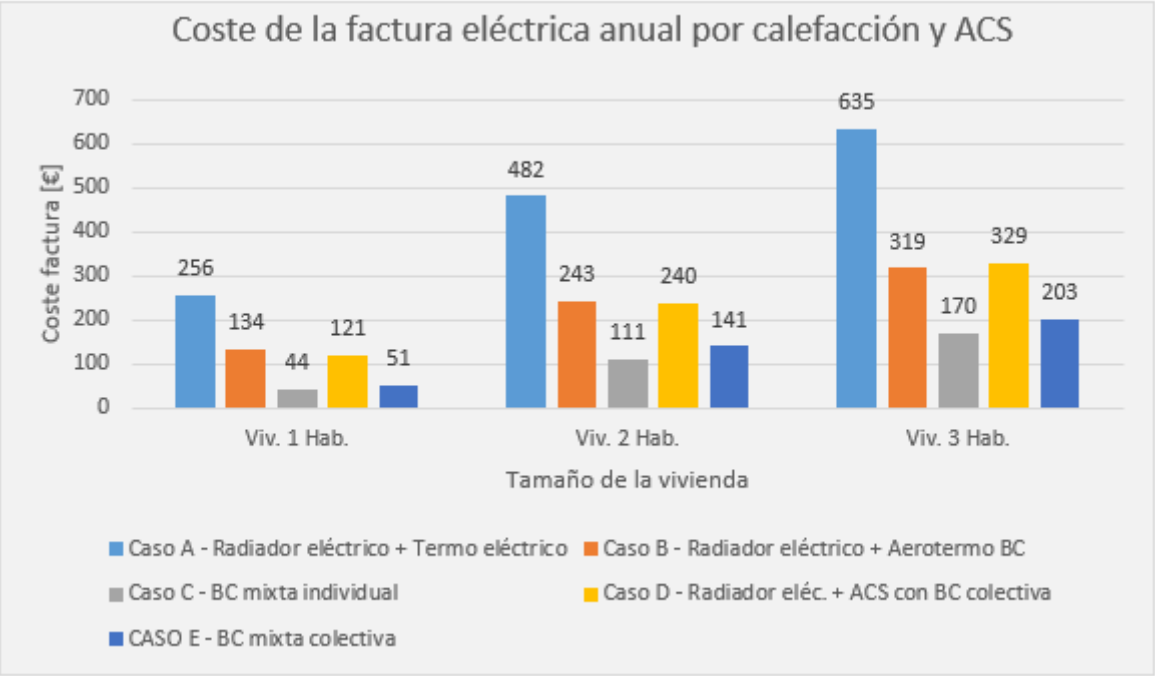
Factura anual de electricidad

Aparte del mantenimiento, otro coste a tener en cuenta periódicamente es la factura eléctrica que cada vivienda, que, según su escenario e instalación, deberá sufragar como agente consumidor de la red. Lógicamente, ésta vendrá condicionada por el consumo de energía requerido, pero también por la potencia contratada para dar

servicio a las necesidades de cada equipo y reflejado en el término de potencia. Así pues, un radiador o termo eléctrico suelen requerir de mayor potencia contratada que las bombas de calor.

Con estas premisas, los costes por consumo según escenarios y casos tienen una gran variabilidad, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 24. *costes de factura eléctrica anual por consumo según tipología de vivienda e instalación para un clima de referencia D1*



Así como en los análisis económicos previos (precios equipos y mantenimiento), los radiadores y termo eléctricos abarcaban los costes más bajos, en lo relativo a la factura eléctricas por consumo de red, vuelve a invertirse el orden siendo las instalaciones de aerotermia mixta las que ahora se llevan los primeros puestos en lo que a importes más bajos se refiere.

Según estos cálculos aproximados, la factura anual puede llegar a ser 4 veces más pequeñas en función la tecnología y tamaño de vivienda. También es cierto que, en viviendas de muy baja demanda, sea por tamaño o gran aislamiento, la diferencia absoluta se reduce a mitad, teniendo el término fijo (potencia) gran incidencia en el importe total de la factura.

alokabizi

5. Conclusiones

5. Conclusiones

Este estudio ha tenido como objetivo analizar la viabilidad desde varios puntos de vista, energético, medioambiental y económico, de los principales y más comunes sistemas de climatización y producción de ACS basados en combustible eléctrico frente a diferentes escenarios de tipología de demanda.

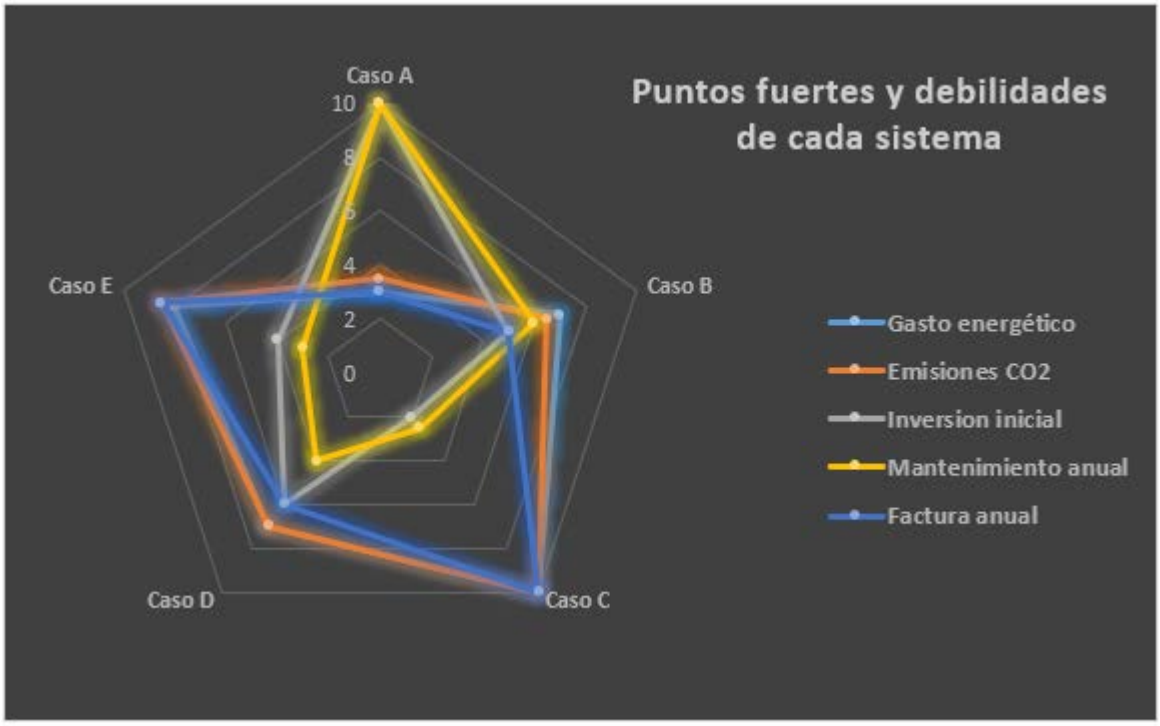
La primera y conclusión principal es que no hay un único sistema óptimo para todos los escenarios planteados. Tal y como se ha comentado en el apartado de resultados, algunos casos son más apropiados para determinadas ubicaciones, tipologías de viviendas o tamaños de edificios, pero no lo son para otros. De manera adicional, al hacer el análisis de los resultados de una manera multidisciplinar, desde 3 puntos de vista, hace que estas diferencias se acentúen todavía más.

Se recuerda, que los casos considerados en el presente estudio de las diferentes configuraciones de las instalaciones corresponden a:

- Caso A: Calefacción radiadores eléctricos y ACS termo eléctrico (todo Joule)
- Caso B: Calefacción radiadores eléctricos y ACS aerotermia individual
- Caso C: Calefacción aerotermia individual y ACS aerotermia individual
- Caso D: Calefacción radiadores eléctricos y ACS aerotermia colectivo
- Caso E: Calefacción aerotermia colectivo y ACS aerotermia colectivo

En la siguiente figura se pretende mostrar una clasificación de los 5 casos de instalaciones analizados respondiendo a diferentes factores, tanto energéticos, medioambientales como económicos. Puede servir para identificar los puntos fuertes de cada sistema y también, por el contrario, sus debilidades.

Figura 25. *Puntuación relativa de 0 (peor) a 10 (mejor) de diferentes conceptos vinculados a los casos de estudio*



Por ello, determinar de manera absoluta qué sistema está por encima de otro es complejo sin un objetivo y escenario concreto. Incluso, en una combinación de objetivos, cualquiera de las opciones puede ser considerada como aceptable.

Por ejemplo, si el objetivo son instalaciones robustas y simples en mantenimiento, es posible realizar la instalación con radiadores y termos de resistencia, siempre y cuando se cuiden otros factores, como es minimizar la demanda de calefacción, asegurar un aislamiento de termos, gran aporte de generación FV, etc.
Si, por el contrario, el contexto del edificio proyectado no dispone de generación FV o muy limitada, además de cierta demanda, requerirá de gran eficiencia, con lo que la aerotermia entra en juego de facto.

A continuación, se listan una serie de conclusiones que pretenden puntualizar las limitaciones normativas, energéticas, medioambientales y económicas de ciertos sistemas según escenarios.

5. Conclusiones

Tabla 10. Tabla resumen de conclusiones.

Caso	Sistema	Mejor escenario	Puntos fuertes	Riesgos o posibles inconvenientes
A	Radiadores eléctricos + termo eléctrico + FV	• Viviendas de **muy baja demanda** (aislados, Cal calef.<<A) • Número de plantas limitado.	• **Muy baja inversión** inicial. • Simplicidad de instalación. • **Mantenimiento casi nulo** y reparaciones de bajo coste.	• Gran dependencia de generación FV. • **Riesgo de no cumplir DB HE0** en edificios de más de 6-8 plantas. • **Posible factura anual considerable**
B	Radiadores eléctricos + aerotermo indiv. (BC) + FV	• Viviendas de baja demanda (A). • Número de plantas limitado (aprox 12).	• **Inversión inicial moderada** • **Cumplimiento normativo** HE0 y HE4 con mayor margen.	• Cierta dependencia de generación FV. • Cierto mantenimiento • Espacio para equipo (tamaño considerable)
C	Suelo radiante y ACS con BC mixtas individual + FV	• Viviendas con **demandas exigentes** • Bloques con **pocas** posibilidades de **producción FV.**	• Baja dependencia de FV (menor instalación) • Cumplimiento normativo HE0 y HE4 con mayor margen. • **Muy bajo gasto energético** • Muy bajas emisiones de CO2 • **Factura anual baja**	• **Gran inversión inicial** • **Mantenimiento considerable** • Disponibilidad en vivienda de lugar y adecuación para el equipo exterior
D	Radiadores eléctricos individuales + ACS con BC Colectiva (BC) + FV	• Viviendas de baja demanda (A). • Número de plantas limitado (aprox 12) • Bloques compactos para limitar pérdidas de distribución (ACS)	• Inversión inicial moderada • Cumplimiento normativo HE0 y HE4 con mayor margen.	• Cierta dependencia de generación FV. • Inversión inicial considerable • Mantenimiento considerable • Disponibilidad de local y/o cubierta para instalación de equipos y depósitos. • Pérdidas por distribución significativas en grandes comunidades (ACS colectivo)
E	Suelo radiante y ACS con BC mixta colectiva + FV	• Viviendas con demandas exigentes • Bloques con pocas posibilidades de producción FV. • Bloques compactos para limitar pérdidas de distribución (Calef. y ACS)	• Baja dependencia de FV (menor instalación) • Cumplimiento normativo HE0 y HE4 con mayor margen. • **Muy bajo gasto energético** • Muy bajas emisiones de CO2 • **Factura anual baja**	• Gran inversión inicial • Mantenimiento considerable • Disponibilidad de local y/o cubierta para instalación de equipos y depósitos. • **Pérdidas por distribución significativas** en grandes comunidades

alokabizi

6. Equipo de diseño

6. Equipo de diseño

Grupo de investigación de ENErgética en la EDIficación, grupo ENEDI de la Universidad del País Vasco UPV/EHU.
https://www.ehu.eus/es/web/enedi

Área térmica del Laboratorio de Control de Calidad en Edificación, del Gobierno Vasco.
termica@euskadi.eus
https://www.euskadi.eus/area-termica/web01-a3calida/es/