

INTRODUCCIÓN

Informe I2

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA

Estrategia de intervención a largo plazo en
el parque de edificios de Euskadi

- Proyecto de investigación en el hábitat urbano -

Escola d'Arquitectura del Vallès de la Universitat Politècnica de Catalunya

En colaboración con

Cíclica [space · community · ecology]

Promotor

Dirección de Planificación Territorial, Urbanismo y Regeneración Urbana

Departamento de Medio ambiente, Planificación Territorial y Vivienda del Gobierno Vasco

INTRODUCCIÓN

Informe I2

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA

**Estrategia de intervención a largo plazo en
el parque de edificios de Euskadi**

- Proyecto de investigación en el hábitat urbano -

Escola d'Arquitectura del Vallès de la Universitat Politècnica de Catalunya

En colaboración con

Cíclica [space · community · ecology]

Promotor

Dirección de Planificación Territorial, Urbanismo y Regeneración Urbana

Departamento de Medio ambiente, Planificación Territorial y Vivienda del Gobierno Vasco

NOTA PRELIMINAR

Objetivo

El sector de la edificación se encuentra frente a un reto profundamente transformador: conjugar el compromiso social de generar las condiciones de habitabilidad socialmente necesarias, con el deber de reducir el consumo de recursos y la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

En este contexto de gran relevancia para el sector, el presente proyecto tiene el objetivo de establecer un diagnóstico completo del parque residencial que permita sentar las bases para la elaboración de la "Estrategia de intervención a largo plazo en el parque de edificios de Euskadi".

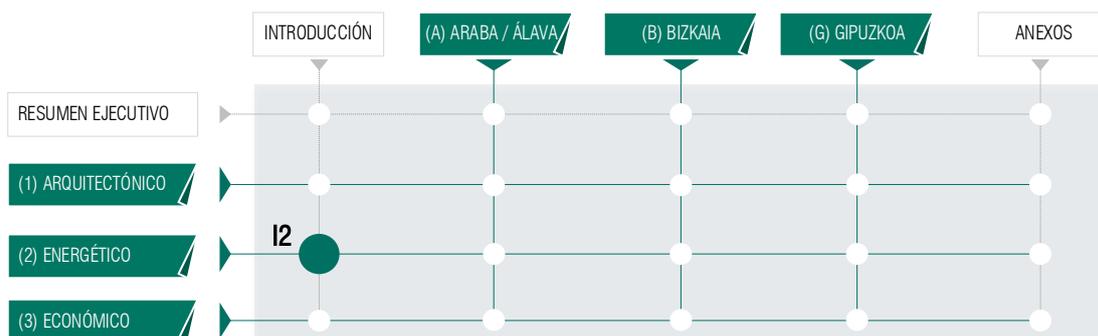
La metodología empleada permite, por primera vez a escala autonómica, el diagnóstico edificio a edificio lo que supone un avance significativo en las metodologías empleadas hasta el momento en la elaboración de estrategias a gran escala. Este proceso analítico, basado en el procesado riguroso y análisis conjunto de diferentes fuentes de información, resulta en un profundo conocimiento de cada inmueble residencial, y se materializa en una batería de indicadores sectoriales territorializados de carácter arquitectónico, energético y económico, que permiten detectar las particularidades, necesidades y potencialidades de rehabilitación del entorno construido.

En este sentido, el proyecto proporciona la primera aproximación para la elaboración de un plan de acción de rehabilitación energética del conjunto de edificios residenciales del País Vasco. De esta manera se busca alcanzar un doble objetivo: garantizar una habitabilidad socialmente aceptable reduciendo las desigualdades existentes con relación al parque residencial, y cumplir con los objetivos europeos de descarbonización del sector de la edificación para el periodo 2020-2050.

Organización documental

El proyecto se organiza atendiendo a un doble enfoque en función del público al que se dirige:

- Enfoque metodológico, dirigido al personal técnico: esta aproximación permite conocer más detalladamente los procesos internos seguidos y los resultados obtenidos para cada una de las fases que conforman el diagnóstico. Se estructura en 3 informes correspondientes a la caracterización arquitectónica, energética y económica.
- Enfoque territorial, dirigido al equipo político: esta aproximación permite acceder directamente a la síntesis de los indicadores e índices clave de diagnóstico del parque residencial para cada uno de los ámbitos territoriales de estudio. Se estructura en 3 informes correspondientes a Araba/Álava, Bizkaia y Gipuzkoa.



ÍNDICE

Informe I2: Introducción -Caracterización energética-

1.	MARCO GENERAL	5
2.	OBJETIVO.....	5
3.	DIMENSIONES	9
	Escenario edificatorio	9
	Umbral de habitabilidad	11
	Hipótesis de vector energético	14
4.	METODOLOGÍA.....	15
	Simulación energética.....	16
	Indicadores energéticos de comportamiento de la edificación	21
	Indicadores energéticos de comportamiento en la vivienda.....	22
	Indicadores energéticos de intervención de rehabilitación	25

1. MARCO GENERAL

El desarrollo del proyecto "*Estrategia de intervención a largo plazo en el parque de edificios de Euskadi*" se estructura en 3 fases, siguiendo el orden que se muestra a continuación:

- **Fase 1. Caracterización arquitectónica**

La caracterización arquitectónica del parque residencial busca definir los parámetros e indicadores con mayor incidencia en el comportamiento energético de la edificación, así como en las posibilidades que presenta para ser rehabilitado energéticamente. Esta primera fase del estudio se realiza mediante el uso de un software basado en técnicas Big Data enfocado en la extracción, procesado y transformación de las bases de datos catastrales, así como la integración de las características constructivas de cada inmueble en base al estudio realizado adhoc por el grupo de investigación CAVIAR de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Este proceso resulta en la definición de ocho parámetros, la clasificación del parque residencial en 12 clústers y 36 segmentos que permitirá comparar la información generada en el presente estudio con aquella desarrollada en otros tejidos urbanos de ámbito nacional, así como la definición de los sistemas constructivos y la caracterización del parque mediante tres indicadores arquitectónicos según el escenario edificatorio (2).

- **Fase 2. Caracterización energética**

La caracterización energética del parque residencial está orientada a definir el comportamiento desde el punto de vista de la capacidad que presenta cada edificio para mantener ciertas condiciones de habitabilidad en el estado actual, así como el potencial de mejora a través de la intervención de rehabilitación. Esta segunda fase del estudio se realiza mediante un software propio de simulación energética a escala urbana basado en la ISO 52.016-1:2017, capaz de estimar hora a hora el comportamiento térmico y la demanda energética asociada a la adecuación de la temperatura interior. Se trata de una aproximación innovadora que permite el análisis edificio a edificio a escala autonómica. El proceso resulta en la definición de trece indicadores energéticos que establecen el comportamiento de la edificación, el comportamiento en la vivienda así como la intervención de rehabilitación energética, según el escenario edificatorio (2), el umbral de habitabilidad (2) y la hipótesis de vector energético (2).

- **Fase 3. Caracterización económica**

La caracterización económica del parque residencial está enfocada a la definición de cada edificio desde la perspectiva del coste de la energía y sus efectos sobre la economía de los hogares, así como del impacto de la intervención de rehabilitación energética y su eficacia económica. Esta última fase del estudio se realiza mediante una contabilidad propia que reproduce el sistema de facturación de cada vector energético (2) e incorpora un conjunto de consideraciones económicas sobre la renta familiar disponible, para la aproximación a la pobreza energética; variables propias del sector de la rehabilitación en forma de estructura presupuestaria y descuentos aplicables por volumen de obra, para la determinación del coste de intervención. El proceso resulta en la definición de nueve indicadores que establecen desde una perspectiva económica el comportamiento en la vivienda así como la intervención de rehabilitación energética según el escenario edificatorio (2), el umbral de habitabilidad (2) y la hipótesis de vector energético (2).



2. OBJETIVO

El presente documento de caracterización energética del parque residencial se enmarca en la segunda fase de la *Estrategia de intervención a largo plazo en el parque de edificios de Euskadi*, y tiene el objetivo de definir energéticamente el parque residencial del ámbito de estudio. En consecuencia, se determina tanto la capacidad que presenta para mantener ciertas condiciones de habitabilidad en el periodo con mayores solicitaciones de calefacción¹, como el impacto del proceso de rehabilitación energética.

En este sentido, se establecen 3 objetivos específicos que definen la estructura de esta segunda fase y que son la expresión de 3 grupos de indicadores energéticos. La determinación de estos indicadores se realiza en función del cruce de las tres dimensiones del estudio: escenario edificatorio, umbral de habitabilidad e hipótesis de vector energético.

Este estudio se lleva a cabo para cada una de las 3 provincias por separado.

Objetivo 1: Indicadores energéticos de comportamiento de la edificación

El primer reto es la caracterización del parque residencial en función de 5 indicadores energéticos clave en la definición del comportamiento de la edificación entendido como la capacidad genérica que presenta un inmueble para mantener ciertas condiciones de habitabilidad en sus espacios residenciales interiores, bien sin aportes energéticos de calefacción –en régimen libre-, bien con aportes energéticos de calefacción en forma de demanda energética, es decir, de energía útil que deberían aportar los sistemas de climatización. Así mismo, se definen los valores de calificación energética, una herramienta de comparación con amplia difusión.

- Temperatura interior -en régimen libre-.
- Tiempo de autonomía térmica -en régimen libre-.
- Salto térmico -en régimen libre-.
- Demanda energética de calefacción por superficie.
- Calificación energética en base a la demanda de calefacción.

Objetivo 2: Indicadores energéticos de comportamiento en la vivienda

El segundo reto es la caracterización del parque residencial en función de 5 indicadores energéticos relacionados con el comportamiento en la vivienda. En este sentido, se estudia el papel que ejerce la composición de las viviendas y las superficies de un inmueble en la determinación de la demanda y el consumo energético vinculados a un hogar. Con esta finalidad, se proporcionan datos acerca de la demanda y el consumo por vivienda; se analiza el consumo energético residencial que incluye, además de la calefacción, el consumo de los llamados usos no climáticos de la vivienda –electrodomésticos, cocina, agua caliente sanitaria -ACS- e iluminación-; se evidencia la distancia que existe entre el consumo de combustible en las centrales de producción -energía primaria- necesario para satisfacer el consumo energético en la vivienda -energía final-; y se valora el impacto ambiental derivado del consumo energético de calefacción; en forma de emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera.

¹ De Octubre a Mayo, según el Código Técnico de la Edificación

- Demanda energética de calefacción por vivienda.
- Consumo de energía final de calefacción.
- Consumo de energía primaria de calefacción.
- Consumo de energía final total.
- Emisiones vinculadas al consumo de calefacción.

Objetivo 3: Indicadores energéticos de intervención de rehabilitación

El tercer reto es la caracterización del parque residencial en función de 3 indicadores energéticos representativos del impacto y la eficacia de la intervención de rehabilitación energética. Para ello, se calcula el impacto energético en forma de energía gris -la energía empleada durante todo el proceso de fabricación de los materiales y de instalación en obra-; el impacto ambiental debido a las emisiones de CO₂ ligadas al proceso de intervención. Por último, se determina la eficacia energética de la intervención, es decir la relación entre el ahorro energético alcanzado y la energía invertida en la intervención.

- Energía gris invertida en la intervención.
- Emisiones generadas por la intervención.
- Eficacia energética en la reducción del consumo de calefacción.

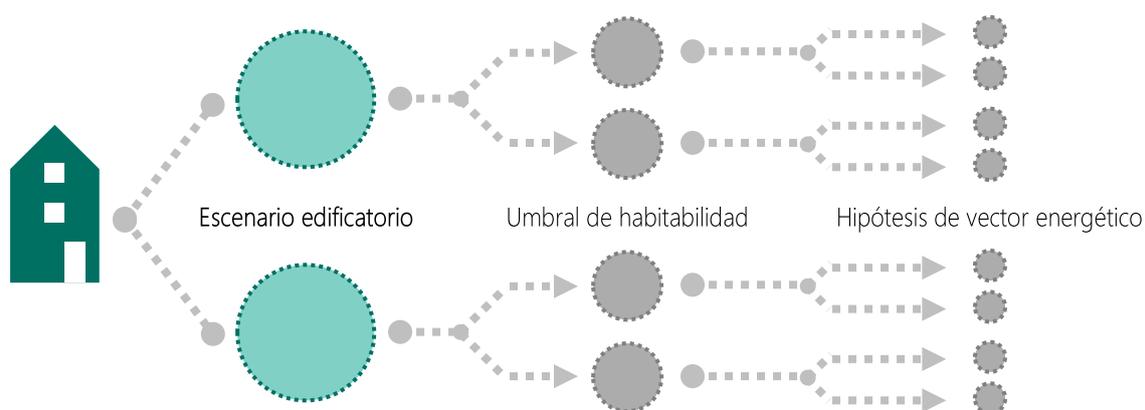
3. DIMENSIONES

Escenario edificatorio

En la presente fase de caracterización energética del parque residencial es de aplicación la primera de las tres dimensiones del estudio: El Escenario edificatorio.

Figura FI3-1.

Dimensiones del estudio: Escenario edificatorio



Este ejercicio se realiza en base a dos escenarios edificatorios definidos según las características constructivas concretadas en la fase de caracterización arquitectónica. En esta fase resulta necesario introducir las consideraciones relativas a los equipos activos de climatización empleados en cada una de las hipótesis de vector energético.

Por regla general, se trata de datos ligados al rendimiento esperado de las instalaciones basadas en electricidad y de las instalaciones basadas en gas natural.

Escenario actual

En primer lugar, se define el escenario actual mediante las características y los rendimientos de los equipos de calefacción según hipótesis de vector energético.

Hipótesis electricidad

En relación a la hipótesis de vector electricidad, se han encontrado dos tipos de equipos activos en el parque residencial, presentes en una proporción significativa:

- Calefacción con radiadores eléctricos fijos, con un rendimiento del 100%.
- Calefacción con radiadores eléctricos móviles, con un rendimiento del 100% pero que normalmente no satisfacen la demanda energética en el conjunto de la vivienda.

En el análisis de los dos sistemas de climatización eléctrica, se advierte cómo en la mayoría de los casos el segundo sistema no está previsto para satisfacer la demanda del conjunto de estancias de la vivienda; por lo tanto, se desestima como posibilidad.

En el escenario edificatorio actual, según la hipótesis de vector electricidad, las viviendas están equipadas con un sistema de calefacción por radiadores eléctricos fijos, instalados en todas las estancias de la vivienda, con un rendimiento del 100%.

Hipótesis gas natural

En relación a la hipótesis de vector gas natural, se han encontrado dos tipos de equipos activos en el parque residencial, presentes en una proporción significativa:

- Calefacción con caldera individual convencional de gas natural y radiadores de agua, con un rendimiento del 80%.
- Calefacción con quemadores de gas natural -conectados al exterior- presentes en ciertas estancias, con un rendimiento inferior al 80%.

De la misma manera que en la hipótesis anterior, se advierte cómo en la mayoría de los casos el segundo sistema no está previsto como sistema para satisfacer la demanda del conjunto de estancias de la vivienda; por lo tanto, y siguiendo la lógica empleada para determinar la hipótesis eléctrica, se desestima como posibilidad.

En el escenario edificatorio actual, según la hipótesis de vector gas natural, las viviendas están equipadas con un sistema de calefacción con caldera individual convencional que proporciona agua caliente a una instalación de radiadores ubicados en la mayoría de estancias, con un rendimiento del 80%.

Escenario post-intervención

En segundo lugar, se define el escenario post-intervención mediante las características y los rendimientos de los equipos de calefacción según hipótesis de vector energético y tipo de propiedad residencial –unifamiliar o plurifamiliar-.

Hipótesis electricidad

En relación a la hipótesis de vector electricidad, la intervención propone cambiar el sistema de calefacción del escenario actual –radiadores eléctricos fijos- por los siguientes sistemas:

- En inmuebles unifamiliares, calefacción por aerotermia con bomba de calor individual aire/agua, junto con un sistema de distribución a base de radiadores de baja temperatura con intercambiador de calor en todas las estancias, con un rendimiento global del 257%.
- En inmuebles plurifamiliares, calefacción por aerotermia con bomba de calor centralizada aire/agua dimensionada para 2 viviendas, junto con un sistema de distribución a base de radiadores de baja temperatura con intercambiador de calor en todas las estancias, con un rendimiento global del 302%.

Hipótesis gas natural

En relación a la hipótesis de vector gas natural, la intervención propone cambiar el sistema de calefacción del escenario actual –caldera individual con radiadores de agua- por los siguientes sistemas:

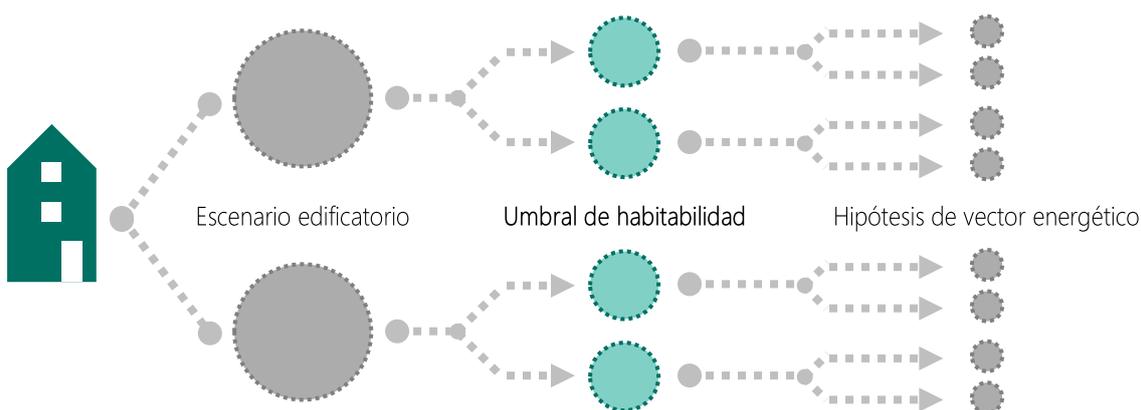
- En inmuebles unifamiliares, calefacción por caldera individual de condensación y radiadores de agua en todas las estancias, con un rendimiento global del 95%.
- En inmuebles plurifamiliares, calefacción por caldera colectiva de condensación y radiadores de agua en todas las estancias, con un rendimiento global del 90%.

Umbral de habitabilidad

En la presente fase de caracterización energética del parque residencial es de aplicación la segunda de las tres dimensiones del estudio: El umbral de habitabilidad.

Figura FI3-2.

Dimensiones del estudio: Umbral de habitabilidad



Este ejercicio se realiza en base a dos umbrales de habitabilidad definidos según circunstancias diferentes en relación al uso que se hace de la energía en las viviendas, tanto en situación habitual como en situación de vulnerabilidad energética.

Se trata de condiciones relativas principalmente a la temperatura de consigna del periodo con mayores solicitaciones de calefacción² para el uso térmico de una vivienda, y al consumo energético del resto de usos energéticos de un hogar que son necesarios para asegurar el desarrollo socialmente aceptable de las tareas domésticas: acceso y disponibilidad de agua caliente sanitaria -ACS-, uso de electrodomésticos, cocción de alimentos y mantenimiento de unas condiciones adecuadas de iluminación.

² De Octubre a Mayo, según el Código Técnico de la Edificación

Umbral confort

En primer lugar, se define el umbral confort para el uso energético de calefacción en base a las condiciones que permiten garantizar los niveles de habitabilidad fijados en el *Código Técnico de la Edificación*. Para ello, se toman como referencia la temperatura de consigna baja y los perfiles de uso normalizados de este documento.

Estos perfiles son los utilizados para la evaluación normativa de la eficiencia energética de las viviendas y constan de la definición de las temperaturas mínimas y máximas de consigna para la climatización, entre otros. Se trata de condiciones estandarizadas y por esta razón no siempre reflejan el uso real que los habitantes hacen de sus viviendas. No obstante, son valores que permiten asegurar que se alcanzan las condiciones de habitabilidad adecuadas para confort térmico, y que suponen un estándar de referencia con el que comparar el comportamiento energético de cada uno de los edificios que componen el parque residencial del ámbito.

Tabla TI3-1. Temperaturas de consigna para edificios residenciales (fuente DB-HE, apéndice C)

	Horas						
	1-7	8	9-15	16-18	19	20-23	24
Temp. consigna alta (°C)							
Enero a Mayo	-	-	-	-	-	-	-
Junio a Septiembre	27	-	-	25	25	25	27
Octubre a Diciembre	-	-	-	-	-	-	-
Temp. consigna baja (°C)							
Enero a Mayo	17	20	20	20	20	20	17
Junio a Septiembre	-	-	-	-	-	-	-
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	20	20	17

La determinación de los denominados usos no climáticos, en el caso del umbral confort, se ha establecido a partir del consumo medio por vivienda descrito en *l'Estudi dels usos energètics dels habitatges no vinculats a la climatització* de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) y l'Àrea Metropolitana de Barcelona³ (AMB), entendiéndose que permiten garantizar unas condiciones de habitabilidad socialmente aceptables.

Tabla TI3-2. Consumo energético promedio de los usos no climáticos por vivienda tipo

	Vector energético	Consumo anual (2,6 - 3 personas) kWh/año
TOTAL VIVIENDA	-	5.826,8
ELECTRODOMÉSTICOS	Electricidad	2.916,0
COCINA	Gas natural	734,6
ACS	Gas natural	1.680,3
ILUMINACIÓN	Electricidad	495,9

³ Puig, D., Romero, A., Pagès-Ramon, A., *Estudi dels usos energètics dels habitatges no vinculats a la climatització*. Estudi. UPC i AMB, 2016.

Umbral salud

En segundo lugar, se define el umbral salud para el uso energético de calefacción en base a las condiciones que permiten garantizar los niveles mínimos exigibles de habitabilidad desde el punto de vista de la salud de los ocupantes de un hogar.

Para determinar la temperatura interior mínima a partir de la cual se considera que puede existir un riesgo sobre la salud del ocupante, se ha empleado como referencia el artículo *Low indoor temperatures and morbidity in the elderly*⁴, donde se establece que la exposición prolongada a temperaturas inferiores a 16°C puede ocasionar problemas respiratorios a sus ocupantes. Así mismo, en el artículo se determina que esta misma exposición por debajo de los 12°C aumenta el riesgo de sufrir problemas cardiovasculares.

En base a la literatura consultada al respecto, y debido a la voluntad de estandarización del presente estudio, se fija la temperatura interior de la vivienda en 16°C para el umbral salud.

No obstante, se entiende que este valor límite no es válido para los colectivos más vulnerables –menores de 6 años, mayores de 65 años o personas con problemas de salud-, para los que estas condiciones pueden no ser suficientes para evitar problemas de salud. En estos casos, la temperatura a partir de la cual existe riesgo para la salud está más próxima a los valores establecidos en el umbral confort -17°C o 20°C-.

Igualmente se considera que, debido a la escala del proyecto, estos valores son orientativos; para realizar un análisis detallado de la vulnerabilidad sobre la salud de los ocupantes, se necesita un estudio pormenorizado caso a caso –aportando datos sobre la composición de la vivienda, renta de vivienda, consumos energéticos, reales, etc- que escapa del interés del presente estudio.

De forma complementaria, se determina el consumo mínimo por vivienda vinculado a los usos no climáticos, es decir aquel que garantiza las condiciones mínimas de habitabilidad en relación a la disponibilidad de agua caliente sanitaria -ACS-, el uso de electrodomésticos, a la cocción de alimentos y al mantenimiento de unas condiciones adecuadas de iluminación.

Este conjunto de valores se ha establecido a partir del *Estudi dels usos energètics dels habitatges no vinculats a la climatització*, tomando como referencia el consumo zócalo mínimo y matizando ciertas consideraciones a partir de información propia más actualizada que la disponible en dicho estudio.

Tabla
TI3-3.

Consumo energético mínimo de los usos no climáticos por vivienda tipo

	Vector energético	Consumo anual 3 personas kWh/año
TOTAL VIVIENDA	-	3.080,4
ELECTRODOMÉSTICOS	Electricidad	613,0
COCINA	Gas natural	885,6
ACS	Gas natural	1.499,0
ILUMINACIÓN	Electricidad	82,8

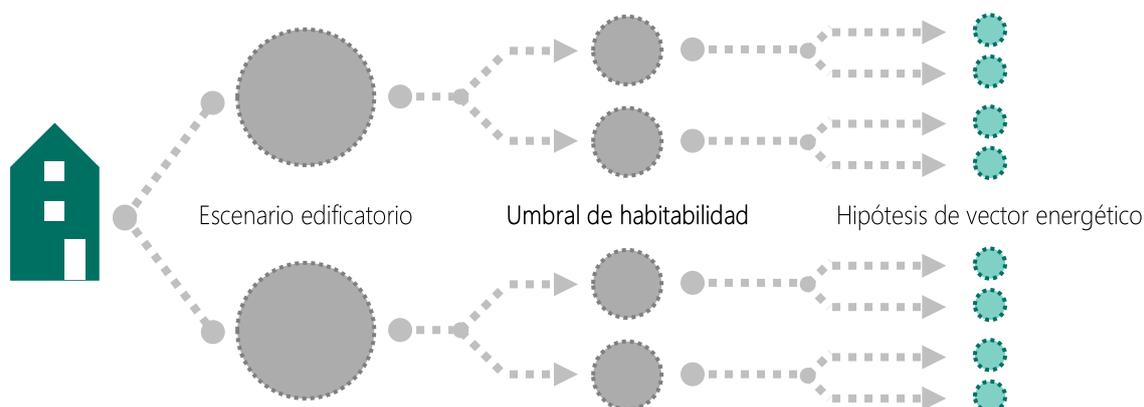
⁴ Collins, K.J, Low indoor temperatures and morbidity in the elderly. Article. *Age and ageing*, vol. 15, Issue 4, 1986.

Hipótesis de vector energético

En la presente fase de caracterización energética del parque residencial es de aplicación la tercera de las tres dimensiones del estudio: La hipótesis de vector energético.

Figura FI3-3.

Dimensiones del estudio: Hipótesis de vector energético



Este ejercicio se realiza en base a dos hipótesis de vector energético definidas según la fuente energética utilizada en la instalación de calefacción. Se trata de determinar uno de los factores -conjuntamente con la elección de los sistemas de climatización- con mayor incidencia en el consumo energético esperable para una vivienda con unas condiciones de uso estandarizadas.

Sin embargo, la información disponible en la actualidad es claramente insuficiente⁵ y la capacidad de actualizarla⁶ requiere de grandes recursos si se quiere hacer de forma presencial. Por lo tanto, la manera más eficiente de abordar la cuestión en el presente estudio es mediante la elaboración de hipótesis.

A la hora de definir este abanico de hipótesis energéticas, es necesario evaluar la disponibilidad de cada fuente de energía en el ámbito de estudio, así como su capacidad para garantizar las condiciones de habitabilidad en el conjunto de la vivienda. Según datos del EVE de Marzo de 2013, las energías más utilizadas en el sector residencial son la electricidad y el gas natural que suponen el 82%. Se descarta el uso de gas-oil y carbón en sistemas centralizados o individuales, el uso de propano en medio urbano, y el uso de biomasa en inmuebles plurifamiliares urbanos.

Vector electricidad

En primer lugar, se considera la hipótesis del vector electricidad por su alta disponibilidad en las viviendas del ámbito de estudio y sobre todo al ser considerada como la fuente de energía predilecta para el sector residencial, por su capacidad de origen renovable y local.

Vector gas natural

En segundo lugar, se considera la hipótesis del vector gas natural ya que también presenta una gran disponibilidad en las viviendas del ámbito de estudio, sobre todo en zonas urbanas.

⁵ En la edición de 2001 del *Censo de Población y Vivienda* los datos sobre los sistemas de climatización y fuentes de energía son insuficientes y anticuados, y en la edición de 2011, son incompletos y de grano poco fino.

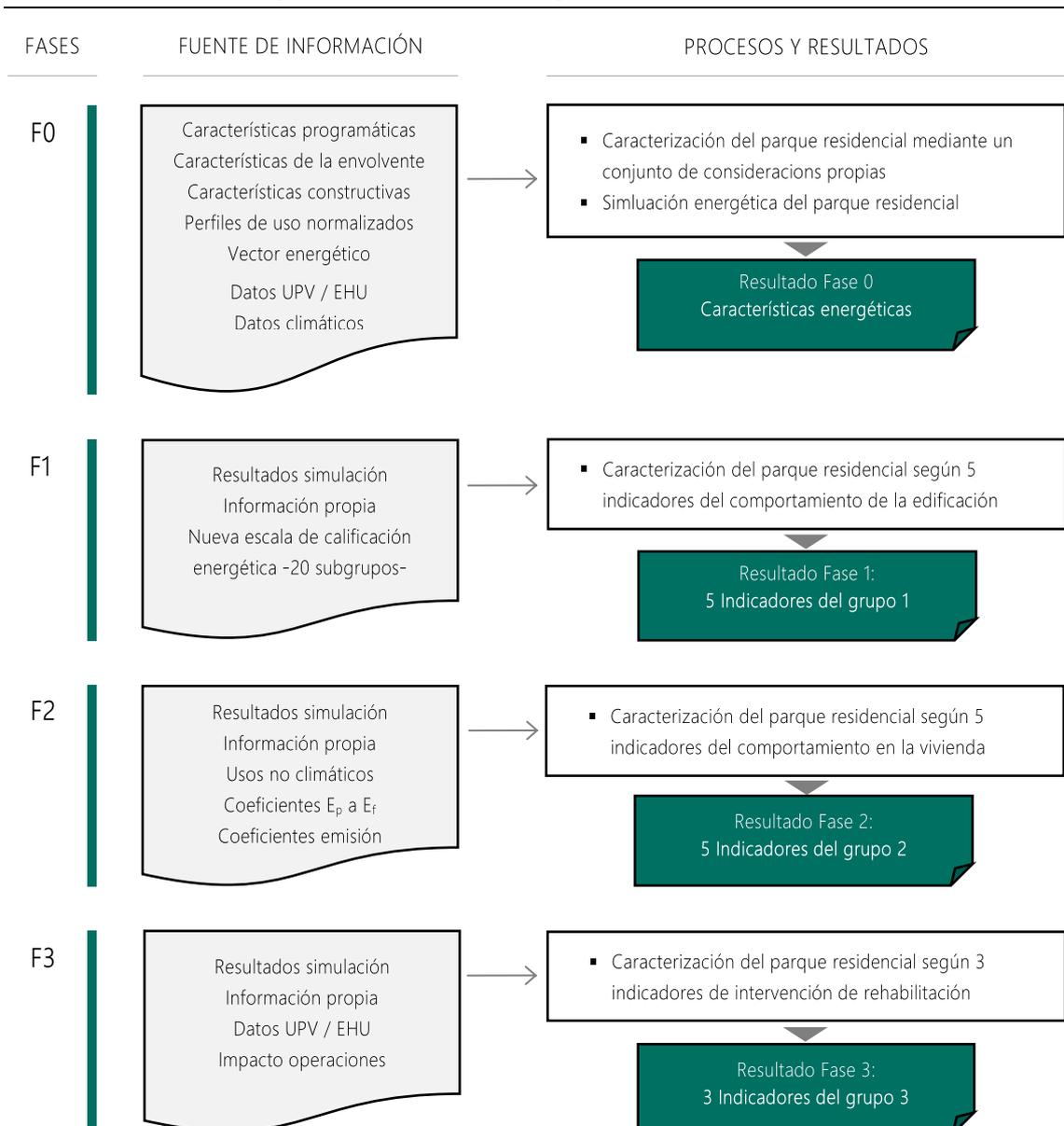
⁶ Actualmente no es posible acceder a información masiva sobre consumos a partir de las compañías energéticas comercializadoras.

4. METODOLOGÍA

A nivel metodológico la caracterización energética se estructura en 1 subfase 0 de definición y simulación, y 3 subfases que atienden a los objetivos específicos establecidos.

Subfases	Objetivo específico	Salida
0	Simulación energética	Características energéticas
1	Indicadores energéticos de comportamiento de la edificación	5 indicadores
2	Indicadores energéticos de comportamiento de la vivienda	5 indicadores
3	Indicadores energéticos de intervención de rehabilitación	3 indicadores

Figura FI4-1. Estructura de la metodología de caracterización energética



Simulación energética

La caracterización energética del parque residencial se realiza a partir de la simulación del comportamiento energético de cada uno de los edificios que componen el ámbito de estudio, y para cada una de las opciones que resultan de la combinación de las 3 dimensiones del estudio.

En esta subfase 0 los cálculos son llevados a cabo mediante un software propio de simulación energética a escala urbana, desarrollado específicamente para realizar esta tarea en base a la ISO 52016-1: 2017, capaz de estimar hora a hora y a partir de un modelo térmico multi-zonal el comportamiento térmico y la demanda energética anual asociada a la calefacción de la parte residencial de cada planta de cada inmueble incluido en el ámbito de estudio.

El procedimiento tiene en cuenta las ganancias y pérdidas por conducción a través de los cerramientos en contacto con el medio exterior –aéreo o terrestre–, así como con otros espacios contiguos climatizados y no climatizados; las ganancias y pérdidas por ventilación higiénica y/o por infiltración; las ganancias por cargas internas de iluminación, electrodomésticos y uso. Así mismo, la simulación energética del inmueble considera la inercia térmica a partir del calor específico de los materiales que lo componen, así como su posición en relación a las capas de aislamiento o cámaras de aire. Las ganancias solares no se consideran, pero se podrían incorporar sin tener en cuenta, por ahora, el entorno urbano. En este momento, se están dando pasos para poder valorar el efecto de las sombras proyectadas por los elementos circundantes y/o el propio edificio.

Este sistema de cálculo es uno de los puntos diferenciales del presente estudio, puesto que la demanda energética de calefacción se obtiene mediante un cálculo caso a caso, y no de la extrapolación de los resultados de unos inmuebles tipo –arquetipos–. Por lo tanto, aunque la herramienta de simulación energética a escala urbana no puede sustituir un estudio detallado e in situ de cada edificio, los resultados permiten establecer una imagen completa del parque residencial del ámbito de estudio basada en un procedimiento homogéneo de cálculo que considera las condiciones específicas de cada inmueble.

Asunciones y datos de entrada

La información empleada en el sistema de cálculo descrito es de 4 tipos distintos; 3 proceden de la fase de caracterización arquitectónica y 1 es de nueva incorporación:

Características programáticas

En primer lugar, se emplea la información obtenida en la fase de caracterización arquitectónica referida al programa de usos descrito por el catastro para determinar la superficie residencial de cada planta, así como recalificar el resto de usos en espacios calefactados, espacios no calefactados y espacios exteriores.

Características de la envolvente

En segundo lugar, se introduce la superficie de los distintos tipos de cerramientos que envuelven el espacio residencial de cada planta obtenida en la fase de caracterización arquitectónica; esto es superficies horizontales inferiores y superiores (soleras, forjados y cubiertas), y superficies verticales (fachadas, cerramientos a patios y medianeras). En cada caso se diferencia en función del tipo de ambiente existente tras el cerramiento: espacio interior de vivienda, espacio interior calefactado, espacio interior no calefactado, ambiente exterior aéreo, o ambiente exterior terreno.

Características constructivas

En tercer lugar, se utilizan las características constructivas definidas en la fase de caracterización arquitectónica y, concretamente, la transmitancia nominal y a la capacidad térmica de cada una de las superficies de la envolvente –fachada, patio, medianera, cubierta, forjado, solera, vidrio y carpintería-, así como a la ratio de flujo de aire por infiltración a través de los huecos.

Perfiles de uso normalizados en edificios residenciales

En cuarto lugar, se determinan las condiciones de habitabilidad para el umbral confort tomando como referencia el *Código Técnico de la Edificación –CTE-*, donde se definen los perfiles de uso normalizados de los edificios –solicitaciones interiores- en función del uso al que se destinan.

Estos perfiles son los utilizados en la evaluación normativa de la eficiencia energética de las viviendas y definen, entre otros, las temperaturas de consigna mínima y máxima para climatización –calefacción y refrigeración-, las cargas internas por ocupación, las cargas internas por iluminación, las cargas internas por el uso de equipos y electrodomésticos, las cargas internas por ACS, o el flujo de aire por ventilación higiénica. Al tratarse de condiciones estandarizadas, no siempre reflejan el uso real que los habitantes hacen de sus viviendas; sin embargo, sí que suponen un estándar de referencia con el que comparar el comportamiento energético de cada uno de los edificios que componen el parque residencial del ámbito de estudio, a la vez que permiten garantizar unas condiciones de habitabilidad en relación al confort térmico en las viviendas.

En el caso del umbral salud, la temperatura de consigna mínima se fija en 16°C.

Tabla
TI4-1.

Perfiles de uso normalizados para edificios residenciales, comparativa umbral confort - salud

	1-7		8		9-15		16-18		19		20-23		24	
	Conf	Sal.	Conf	Sal.	Conf	Sal.	Conf	Sal.	Conf	Sal.	Conf	Sal.	Conf	Sal.
Temp. consigna alta (°C)														
Enero a Mayo	-		-		-		-		-		-		-	
Junio a Septiembre	27		-		-		25		25		25		27	
Octubre a Diciembre	-		-		-		-		-		-		-	
Temp. consigna baja (°C)														
Enero a Mayo	17	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	16	17	16
Junio a Septiembre	-	16	-	16	-	16	-	16	-	16	-	16	-	16
Octubre a Diciembre	17	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	16	17	16
Ocupación sensible (W/m²)														
Laboral	2,15		0,54		0,54		1,08		1,08		1,08		2,15	
Sábado y festivo	2,15		2,15		2,15		2,15		2,15		2,15		2,15	
Iluminación (W/m²)														
Laboral, sábado y festivo	0,44		1,32		1,32		1,32		2,20		4,40		2,20	
Equipos (W/m²)														
Laboral, sábado y festivo	0,44		1,32		1,32		1,32		2,20		4,40		2,20	
Ventilación verano														
Laboral, sábado y festivo	4,00		4,00		-		-		-		-		-	

En cuanto a la incidencia solar directa y difusa, no se hace necesaria su cálculo al no haberse considerado en el presente estudio. Este hecho se debe a la dificultad de calcular las ganancias solares en la simulación energética que se derivan de la incidencia solar real en los cerramientos exteriores de cada inmueble,

teniendo en cuenta la evaluación de los diferentes elementos que pueden generar sombra sobre la envolvente (inmuebles vecinos, arbolado, topografía, etc.).

La utilización de ciertos datos de entrada homogéneos responde a un doble objetivo. Por un lado, facilitar la capacidad de comparar los inmuebles atendiendo únicamente a sus características programáticas, de envolvente y constructivas. Por otra parte, dado que los edificios tienen una vida útil larga y los ocupantes normalmente presentan numerosos cambios durante este periodo, analizar los inmuebles con patrones de uso homogéneos y evitar las particularidades de cada uno de los hogares y usuarios que los habitan.

Vectores energéticos y sistemas de calefacción

En quinto lugar, se definen los datos de rendimiento de los sistemas de calefacción para cada uno de los escenarios edificatorios –escenario actual y post-intervención-, e hipótesis de vector energético –electricidad y gas natural-; puesto que resultan imprescindibles para el cálculo del consumo energético teórico.

Tabla TI4-2.

Sistemas activos considerados y rendimiento asociado, según vector energético y escenario

		Escenario actual		Escenario post-intervención	
		Sistema activo considerado	Rend.	Sistema activo considerado	Rend.
Hipótesis electricidad	Unifamiliar	Radiador eléctrico fijo	1,00	Aeroterminia individual con radiado de bajo temperatura	2,57
	Plurifamiliar	Radiador eléctrico fijo	1,00	Aeroterminia comunitaria con radiado de bajo temperatura	3,02
Hipótesis Gas natural	Unifamiliar	Caldera de gas convencional	0,80	Caldera de gas de condensación individual	0,95
	Plurifamiliar	Caldera de gas convencional	0,80	Caldera de gas de condensación colectiva	0,90

Factores y coeficientes de paso

En sexto lugar, se obtienen los valores de los coeficientes de paso a energía primaria y los factores de emisión de CO₂, que permiten calcular la energía primaria y las emisiones de CO₂ a partir de la energía final, del documento *Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España* (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, y Ministerio de Fomento, 2016).

Tabla TI4-3.

Coeficientes de paso a energía primaria y los factores de emisión de CO₂

	Electricidad	Gas natural
Coeficientes de paso de energía final a energía primaria	1,954	1,190
Factores de emisión de CO ₂	0,357	0,254

Impacto de las operaciones

En séptimo lugar, se obtienen los valores de impacto ambiental de las operaciones de rehabilitación energética en forma de energía gris y emisiones de CO₂.

Operaciones sobre la envolvente

Por una parte, se definen los valores de energía gris y emisiones de CO₂ por m² de operación de rehabilitación sobre la envolvente a partir del estudio realizado adhoc por grupo de investigación CAVIAR de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

Tabla TI4-4. Impacto energético y ambiental del conjunto de operaciones sobre la envolvente

Cerramientos verticales	Coste energético	Coste ambiental
	MJ/m ²	KgCO ₂ /m ²
Fachada		
Trasdosado directo por el interior con lana de roca de 8 cm	182,41	13,62
SATE con poliestireno extruido –XPS- de 8 cm	402,14	59,85
Patio		
Trasdosado directo por el interior con lana de roca de 8 cm	182,41	13,62
SATE con poliestireno extruido –XPS- de 8 cm	402,14	59,85
Medianera exterior		
Trasdosado directo por el interior con lana de roca de 8 cm	182,41	13,62
SATE con poliestireno extruido –XPS- de 8 cm	402,14	59,85
Cerramientos horizontales		
Cubierta		
Aislamiento + retejado	701,28	79,00
Aislamiento + retejado (sust aislamiento)	701,28	79,00
Aislamiento + acabado (no transitable)	927,55	137,96
Aislamiento + acabado (transitable)	1.045,63	152,24
Solera		
Sustitución por una ventilada y aislada de 4 cm	588,82	308,05
Forjado exterior		
Techo suspendido autoportante con lana de roca de 8 cm	187,84	12,72
Abertura		
Ventana		
Sustitución ventana madera	695,00	57,50

Operaciones sobre los sistemas activos

Por otra parte, se determinan los valores de energía gris y emisiones de CO₂ por unidad instalada de sistema de calefacción mediante la base del BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC).

Tabla TI4-5. Impacto energético y ambiental del conjunto de operaciones sobre los sistemas activos

Sistemas activos	Coste energético	Coste ambiental
	MJ/ud	KgCO ₂ /ud
Electricidad		
Bomba de calor aerotermia individual AIRE/AGUA	4.520,28	411,48
Bomba de calor aerotermia colectiva AIRE/AGUA	5.447,92	992,05
Radiador de baja temperatura con intercambiador	617,60	51,95
Gas natural		
Caldera de gas de condensación individual	2.100,23	179,94
Caldera de gas de condensación colectiva	4.142,79	253,39
Radiador de baja temperatura con intercambiador	617,60	51,95

Usos no climáticos

Finalmente, se concreta la hipótesis de vector energético y el consumo energético de los usos no climáticos de la vivienda -agua caliente sanitaria, electrodomésticos, cocción e iluminación- para un hogar de 3 personas, en función del umbral de habitabilidad –confort y salud-.

Tabla
TI4-6.

Consumo energético de los usos no climáticos, comparativa umbral confort-salud

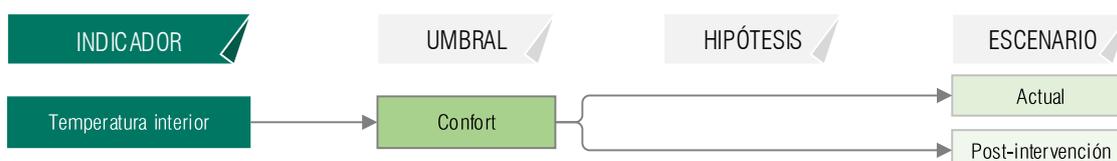
	Vector energético	Consumo medio Umbral confort kWh/año	Consumo mínimo Umbral salud kWh/año	Diferencia %
TOTAL HOGAR	Mix	5.826,8	3.080,4	-47%
TOTAL HOGAR ELECTRICIDAD	Electricidad	3.411,9	695,8	-80%
TOTAL HOGAR GAS NATURAL	Gas natural	2.414,9	2.384,6	-1%
TOTAL PERSONA	Mix	1.942,3	1.026,8	-47%
ELECTRODOMÉSTICOS		2.916,0	613,0	-79%
Televisión LCD 37"	Electricidad	290,0	48,9	-83%
Televisión Standby	Electricidad	14,6	16,0	10%
Reproductor DVD	Electricidad	5,2	-	-
Reproductor DVD Standby	Electricidad	33,9	-	-
Ordenador Portátil	Electricidad	327,6	-	-
Cargador del Portátil	Electricidad	29,1	-	-
Módem	Electricidad	52,4	-	-
Teléfono Fijo	Electricidad	218,4	-	-
Teléfono Móvil	Electricidad	21,8	7,1	-67%
Aspiradora	Electricidad	124,8	-	-
Microondas	Electricidad	63,7	29,1	-54%
Microondas Standby	Electricidad	34,8	34,9	0%
Nevera	Electricidad	873,6	207,2	-76%
Horno eléctrico	Electricidad	187,2	-	-
Campana extractora	Electricidad	140,4	121,3	-14%
Secador de pelo	Electricidad	82,5	-	-
Plancha	Electricidad	104,0	104,0	0%
Lavadora	Electricidad	312,0	44,4	-86%
COCINA		734,6	885,6	21%
Cocción	Gas natural	734,6	885,6	21%
ACS		1.680,3	1.499,0	-11%
Caldera	Gas natural	1.680,3	1.499,0	-11%
ILUMINACIÓN		495,9	82,8	-83%
Habitaciones	Electricidad	345,6	49,9	-86%
Baños	Electricidad	72,9	8,1	-89%
Cocina	Electricidad	10,4	7,2	-31%
Sala de estar	Electricidad	66,9	17,6	-74%

Indicadores energéticos de comportamiento de la edificación

En la subfase 1 de caracterización energética, se definen un total de 5 indicadores energéticos de comportamiento de la edificación para cada inmueble relacionados con el comportamiento en régimen libre⁷ en el periodo de ocho meses con mayores solicitudes de calefacción⁸ y la demanda energética por calefacción por unidad de superficie, así como, la calificación energética correspondiente.

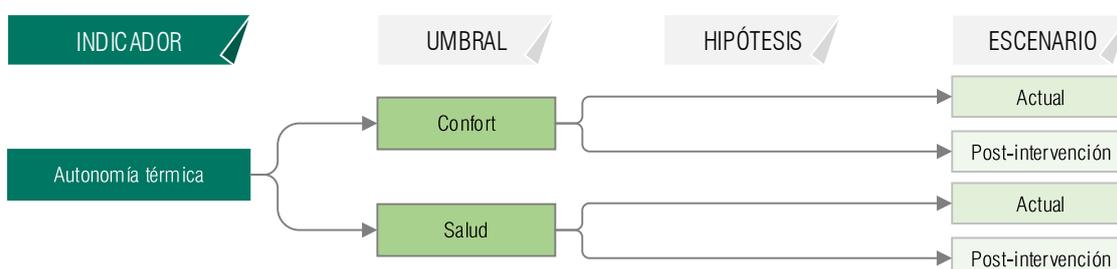
- **Temperatura interior -°C-**

Temperatura interior de las viviendas en régimen libre de los ocho meses fríos del año, calculada a partir de la media ponderada por m². Este indicador se calcula para el umbral confort y los 2 escenarios edificatorios.



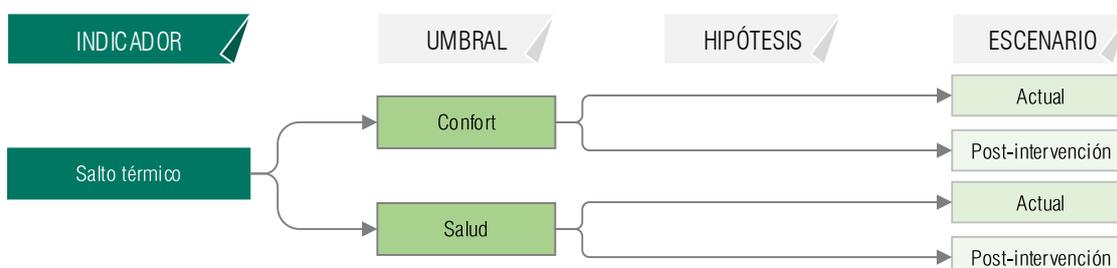
- **Tiempo de autonomía térmica -%-**

Porcentaje del tiempo de los ocho meses fríos del año en el que la temperatura interior en régimen libre se encuentra por encima de la temperatura de consigna mínima, calculado a partir de la media ponderada por m². Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad y los 2 escenarios edificatorios.



- **Salto térmico -°C·día-**

Salto térmico entre la temperatura interior de las viviendas en régimen libre de los ocho meses fríos del año y la temperatura de consigna mínima, calculado a partir de la media ponderada por m². Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad y los 2 escenarios edificatorios.

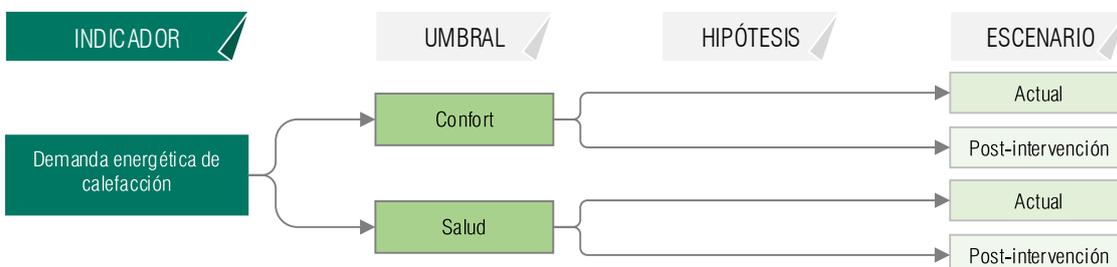


⁷ Régimen libre entendido como el comportamiento de la edificación sin aportes energéticos de calefacción.

⁸ De Octubre a Mayo, según el Código Técnico de la Edificación

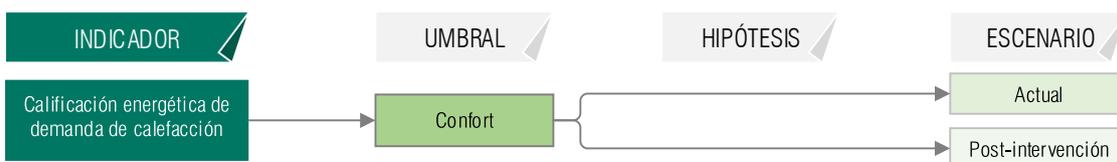
- **Demanda energética de calefacción por superficie -kWh/m²-año-**

Energía útil que se necesita aportar en 1 m² del espacio residencial en los ocho meses fríos del año para mantener la temperatura interior por encima de la temperatura de consigna mínima, calculada a partir de la media ponderada por m². Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad y los 2 escenarios edificatorios.



- **Calificación energética en base a la demanda de calefacción -etiquetas de A a G-**

Calificación energética obtenida en base a la demanda energética de calefacción según el tipo de propiedad residencial -unifamiliar o plurifamiliar- y el clima de localización. Este indicador se calcula para el umbral confort y los 2 escenarios edificatorios.



Para la definición de este indicador la metodología incorpora una propuesta de desarrollo de 20 tramos en la escala de calificación energética de 7 letras, con el fin de paliar la diferencia de amplitud observada en la configuración de los límites de cada letra -A a G-.

Figura FI4-2.

Tramos de calificación energética según zona climática y tipo de inmueble

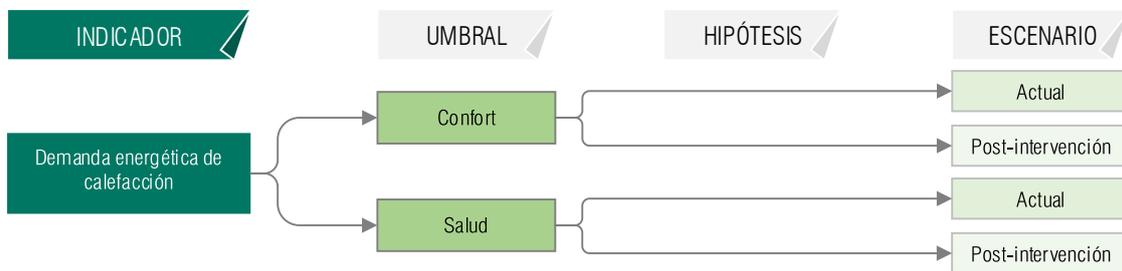
ZONA CLIMÁTICA C1	
Límite demanda -kWh/m ² -	9,9 19,7 32,0 40,8 49,5 62,9 76,2 86,1 96,0 105,9 115,8 125,7 136,4 147,0 157,0 167,0 177,0 187,0 197,0
Inmuebles unifamiliares	A1 A2 B1 C1 C2 D1 D2 E1 E2 E3 E4 E5 F1 F2 G1 G2 G3 G4 G5 G6
Límite demanda -kWh/m ² -	7,7 17,9 32,4 43,3 54,2 65,6 77,0 88,4 99,8 108,8 118,8 128,8 138,8 148,8 158,8 168,8 178,8 188,8 198,8
Inmuebles plurifamiliares	A1 B1 C1 D1 D2 E1 E2 E3 E4 F1 G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G10
ZONA CLIMÁTICA D1	
Límite demanda -kWh/m ² -	9,6 19,3 28,9 37,9 46,8 59,7 72,6 82,4 92,1 101,9 111,6 124,9 138,3 151,6 165,0 178,3 188,4 198,5 208,6
Inmuebles unifamiliares	A1 A2 A3 B1 B2 C1 C2 D1 D2 D3 D4 E1 E2 E3 E4 E5 F1 F2 F3 G1
Límite demanda -kWh/m ² -	11,7 19,4 27,0 37,9 48,7 59,7 70,6 81,6 92,0 102,4 112,9 123,3 133,7 144,1 157,1 167,1 177,1 187,1 197,1
Inmuebles plurifamiliares	A1 B1 B2 C1 C2 D1 D2 D3 E1 E2 E3 E4 E5 E6 F1 G1 G2 G3 G4 G5
ZONA CLIMÁTICA E1	
Límite demanda -kWh/m ² -	15,8 31,7 47,5 57,9 68,2 82,7 97,1 111,9 126,7 141,5 156,7 171,8 187,0 202,2 217,3 232,5 245,5 258,6 271,6
Inmuebles unifamiliares	A1 A2 A3 B1 B2 C1 C2 D1 D2 D3 E1 E2 E3 E4 E5 E6 F1 F2 F3 G1
Límite demanda -kWh/m ² -	7,9 15,7 26,0 36,3 46,0 55,8 65,5 76,5 87,6 98,6 109,6 122,9 136,3 149,6 162,9 176,3 189,6 198,1 206,5
Inmuebles plurifamiliares	A1 A2 B1 B2 C1 C2 C3 D1 D2 D3 D4 E1 E2 E3 E4 E5 E6 F1 F2 G1

Indicadores energéticos de comportamiento en la vivienda

En la subfase 2 de caracterización energética, se definen un total de 5 indicadores energéticos de comportamiento de la vivienda para cada inmueble relacionados con la demanda y el consumo energético vinculados a un hogar, así como el impacto ambiental derivado del consumo energético de calefacción, en forma de emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera.

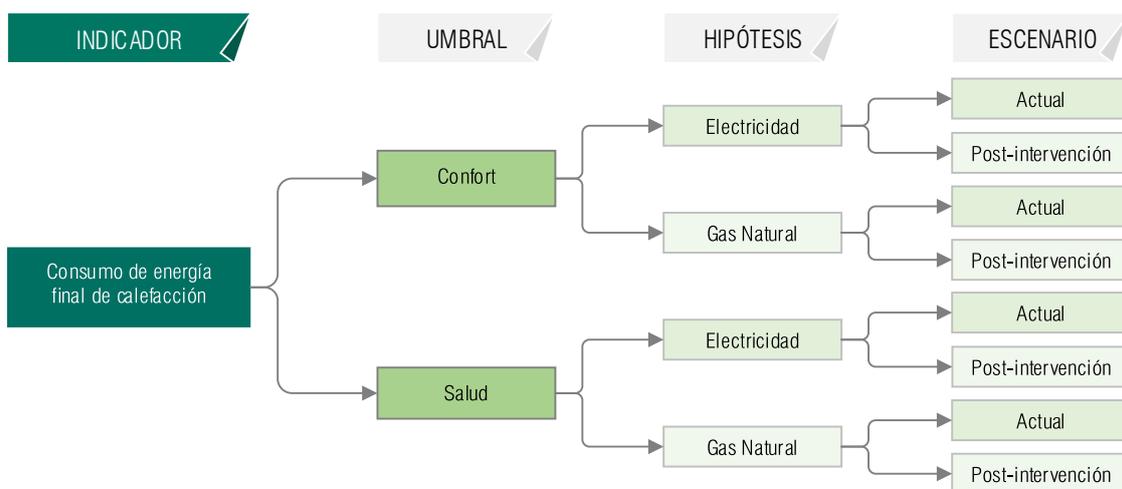
- **Demanda energética de calefacción por vivienda -kWh/viv·año-**

Energía útil que se necesita aportar en 1 vivienda en los ocho meses fríos del año para mantener la temperatura interior por encima de la temperatura de consigna mínima, calculada a partir de la media ponderada por m² y la superficie media por vivienda. Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad y los 2 escenarios edificatorios.



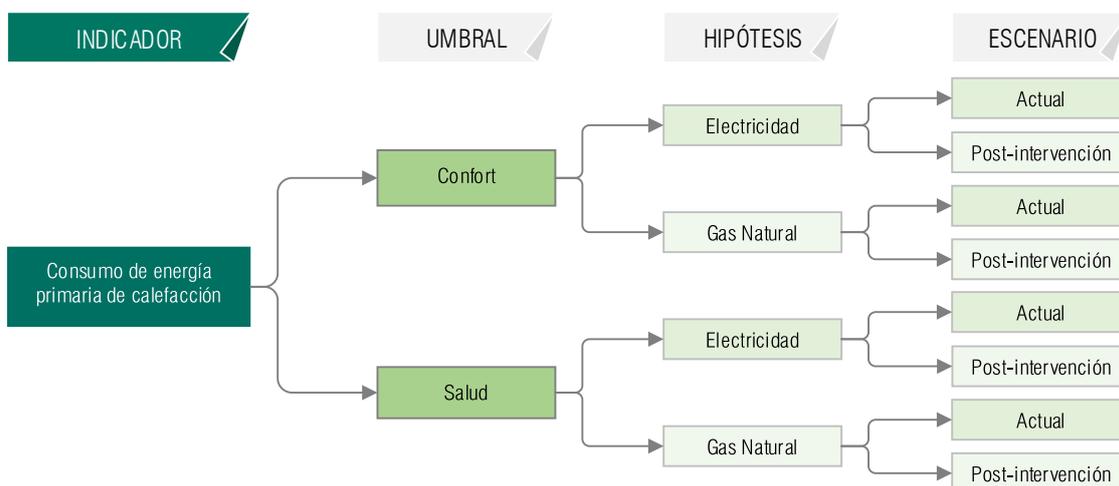
- **Consumo de energía final de calefacción -kWh/viv·año-**

Energía final que se necesita aportar en 1 vivienda a través del sistema de calefacción en los ocho meses fríos del año para mantener la temperatura interior por encima de la temperatura de consigna mínima, calculada a partir de la demanda energética de calefacción por vivienda y el rendimiento del sistema de calefacción. Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad, las 2 hipótesis de vector energético y los 2 escenarios edificatorios.



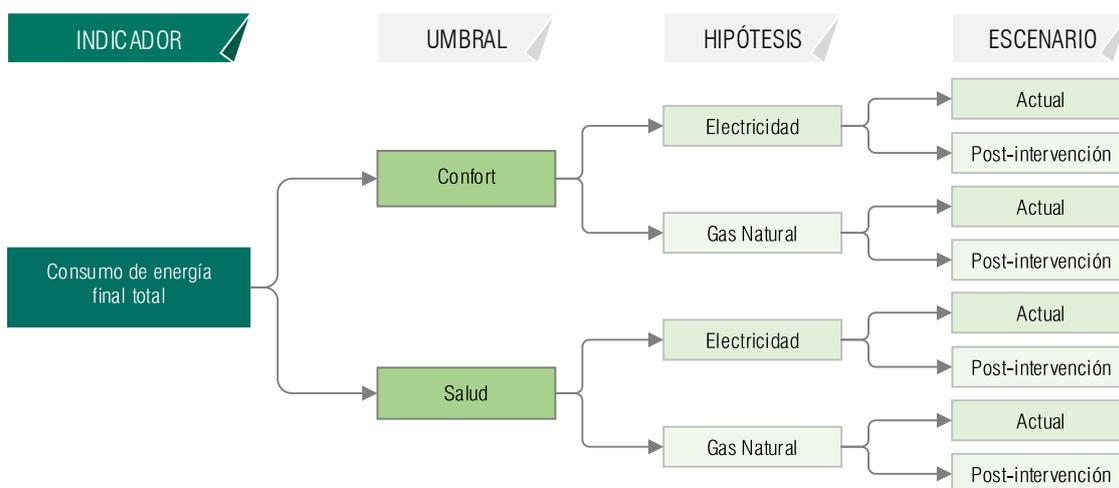
- Consumo de energía primaria de calefacción -kWh/viv-año-

Energía primaria que se necesita aportar en las centrales de producción energética para satisfacer el consumo de energía final de calefacción de 1 vivienda en los ocho meses fríos del año para mantener la temperatura interior por encima de la temperatura de consigna mínima, calculada a partir del consumo de energía final de calefacción por vivienda y los coeficientes de paso a energía primaria. Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad, las 2 hipótesis de vector energético y los 2 escenarios edificatorios.



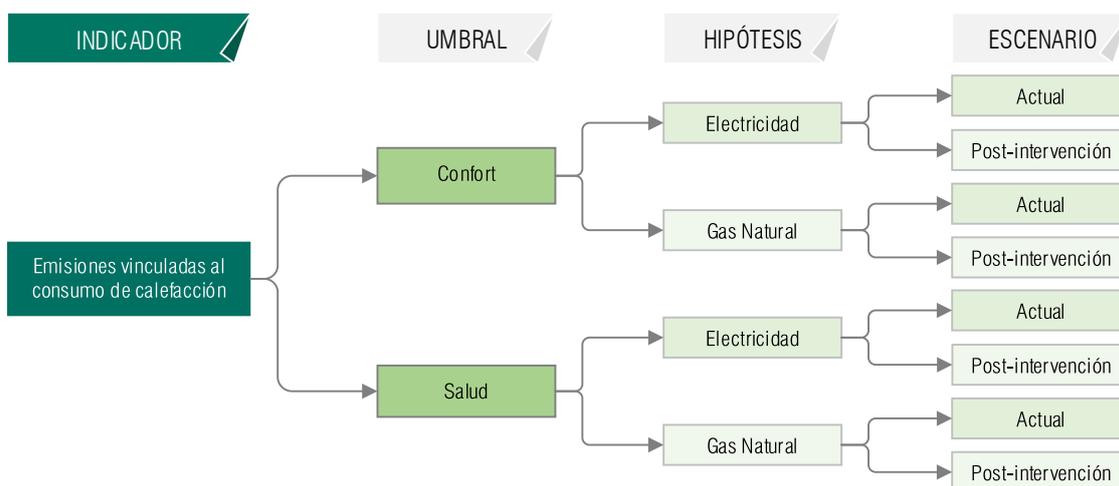
- Consumo de energía final total -kWh/viv-año-

Energía final que se necesita aportar en 1 vivienda a través del conjunto de sistemas e instalaciones en un año para mantener las condiciones de habitabilidad, en relación al uso de calefacción y a los usos no climáticos – agua caliente sanitaria, electrodomésticos, cocción e iluminación-, calculada a partir del consumo de energía final de calefacción y las estimaciones de consumo de energía de los usos no climáticos de la vivienda. Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad, las 2 hipótesis de vector energético y los 2 escenarios edificatorios.



- Emisiones vinculadas al consumo de calefacción -kgCO₂/viv-año-

Emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera generadas por los procesos de producción y transporte de la energía para satisfacer el consumo de energía final de calefacción de 1 vivienda en los ocho meses fríos del año para mantener la temperatura interior por encima de la temperatura de consigna mínima, calculada a partir del consumo de energía final de calefacción por vivienda y los factores de emisión de CO₂. Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad, las 2 hipótesis de vector energético y los 2 escenarios edificatorios.



Indicadores energéticos de intervención de rehabilitación

En la subfase 3 de caracterización energética, se definen un total de 3 indicadores energéticos de intervención de rehabilitación para cada inmueble relacionados con el impacto ambiental de los materiales y los procesos de obra y de la eficacia energética de dicha intervención.

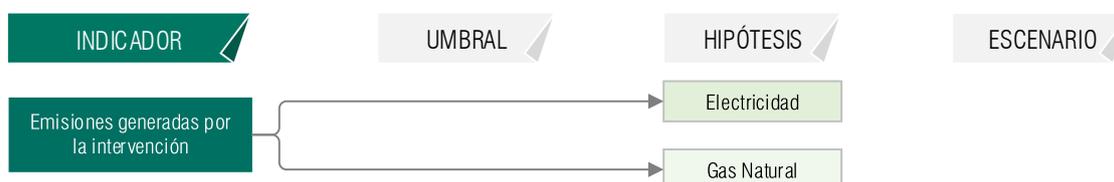
- Energía gris invertida en la intervención -kWh/m²-

Energía primaria que se necesita para los procesos de extracción, fabricación, traslado y puesta en obra de cada uno de los materiales empleados en la intervención, calculada a partir de los valores de energía gris por m² de operación de rehabilitación y unidad instalada de sistema de calefacción. Este indicador se calcula para las 2 hipótesis de vector energético.



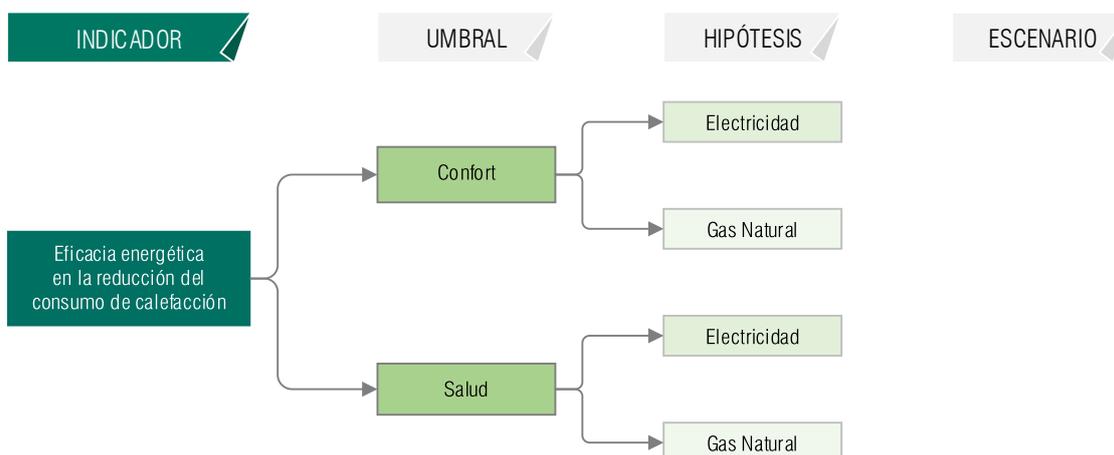
- **Emisiones generadas por la intervención -kgCO₂/m²-**

Emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera generadas por los procesos de extracción, fabricación, traslado y puesta en obra de cada uno de los materiales empleados en la intervención, calculadas a partir de los valores de emisiones de CO₂ por m² de operación de rehabilitación y unidad instalada de sistema de calefacción. Este indicador se calcula para las 2 hipótesis de vector energético.



- **Eficacia energética en la reducción del consumo de calefacción -kWh/MWh·año-**

Eficacia energética de la relación entre la energía gris invertida en la intervención y el ahorro de energía primaria de calefacción conseguido gracias a ella. Este indicador se calcula para los 2 umbrales de habitabilidad y las 2 hipótesis de vector energético.



Escola d'Arquitectura del Vallès. Universitat Politècnica de Catalunya

Albert Cuchí Burgos | Coordinador |

Anna Pagès-Ramon

Juan Pablo Arca Jaime

José Manuel Gómez Santiago

Cíclica [space · community · ecology]

Joaquim Arcas-Abella | Coordinador |

Ander Bilbao Figuero

Ariadna Conesa Buscallà

Albert Calabria Ferrer

Paul Charbonneau Cayuela

Adriana Castrillo Alvera

Teresa Monzó Fita

Laia Mojica Gasol

Proyecto elaborado en coordinación con

Grupo de investigación CAVIAR de la UPV/EHU

Rufino Hernández Minguillón | Investigador principal |

Olatz Grijalba Aseguinolaza | Investigadora coordinadora |

Proyecto promovido por

Dirección de Planificación Territorial, Urbanismo y Regeneración Urbana

Departamento de Medio ambiente, Planificación Territorial y Vivienda del Gobierno Vasco