alokabizi
sostenible

Modelo de ciclo de vida neto

Integración de la metodología ACV

Xabat Oregi Isasi
Grupo de Investigación CAVIAR

EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA / UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO
EHU / UPV

2023

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
LURRALDE PLANGINTZA, ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES
PCTI 2030 RIS3EUSKADI
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. Introducción 4

2. Marco teórico 7

2.1. Análisis de ciclo de vida 8

2.1.1. Contexto 8
2.1.2. Normativas 10
2.1.3. Alcance del análisis de ciclo de vida 11
2.1.4. Bases de datos 12
2.1.5. Herramientas 13
2.1.6. Edificios cero con perspectiva ciclo de vida 14
2.1.7. Dificultades a la hora de aplicar ACV en el sector de la edificación 16

2.2. Integración del ACV en normativas e iniciativas europeas 17

2.2.1. Directiva 2021/0426 relativa a la eficiencia energética de los edificios 17
2.2.2. Comunicación 2020/662, Renovation wave: Ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas 18
2.2.3. Comunicación 2020/98, Nuevo plan de acción para la economía circular 18
2.2.4. Guía LEVEL(S) 20

2.3. Integración del ACV en normativas nacionales 22

2.3.1. Suecia 22
2.3.2. Dinamarca 22
2.3.3. Países Bajos 22
2.3.4. Francia 23
2.3.5. Finlandia 23
2.3.6. Bélgica 24
2.3.7. España 24

3. Evaluación ambiental y económica con perspectiva ciclo de vida en un caso de estudio de Alokabide 25

3.1. Metodología 26

3.2. Caso de estudio 28

3.3. Definición de los diferentes aspectos asociados a la primera fase del ACV: objetivo y alcance 29

3.3.1. Unidad funcional 29
3.3.2. Requisitos de calidad de los datos 29
3.3.3. Periodo de uso del edificio 29
3.3.4. Límites del sistema 29
3.3.5. Indicadores de impacto 31

3.4. Impacto ambiental y económico de la etapa de uso del edificio en su estado base 32

3.4.1. Demanda energética de la etapa de uso del edificio (EDb) 32

Índice

3.4.2. Rendimiento del sistema de generación energética (p) 32
3.4.3. Pérdidas de distribución (DLb) 32
3.4.4. Energía renovable generada en el edificio (REk) 33
3.4.5. Consumo energético de la etapa de uso del edificio 33
3.4.6. Factor de conversión (CFy) 33
3.4.7. Precio de la energía 34
3.4.8. Incremento del precio de la energía 34
3.4.9. Resultados 34

3.5. Selección de estrategias de renovación 35

3.5.1. Restricciones en el caso de estudio 36
3.5.2. Estrategias seleccionadas para el caso de estudio 37

3.6. Análisis ambiental y económico de cada estrategia de renovación desde una perspectiva de ciclo de vida 42

3.6.1. Resultados por etapas de ciclo de vida 42

3.7. Interpretación de los resultados 47

3.8. Influencia de la aplicación de la perspectiva de ciclo de vida el cálculo de impacto ambiental y coste económico 50

4. Conclusiones 53

5. Pautas a seguir por parte de Alokabide en relación a la economía circular 56

6. Referencias 56

1. Introducción

1. Introducción

El sector de la construcción suscita preocupaciones medioambientales por la explotación de recursos no renovables, el uso del suelo, el consumo de energía y los impactos ambientales durante todo el ciclo de vida de un edificio. Representa más del 40% del uso de energía primaria (PE) y el 24% de las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo.

La reducción de las necesidades energéticas y la mitigación de los impactos ambientales en el sector de la construcción se han convertido en objetivos clave de las políticas energéticas de los distintos países, que deben ser correspondidos mediante estrategias dirigidas a mejorar la eficiencia energética, la integración de tecnologías de energías renovables en los edificios, la mitigación de los impactos ambientales y el uso de materiales y tecnologías "bajas en carbono".

En los últimos años, la descarbonización del sector se ha venido planteando con dos grandes grupos de medidas: por un lado, el fomento de la rehabilitación energética de los edificios existentes y por otro, el incremento de las exigencias de la nueva edificación para conseguir edificios de consumo de energía casi nula. Ambas medidas, derivadas de la implantación de las directivas europeas, actuaban exclusivamente reduciendo las emisiones de GEI durante la etapa de uso de los edificios.

El incremento de ambición en materia de lucha contra el cambio climático, reflejado en la Ley Europea del Clima, obliga a revisar al alza las estrategias de los países miembros. En el sector de la edificación, se hace necesaria una mirada que incluya la descarbonización de todas las etapas de ciclo de vida del edificio. Es decir, una "visión" global de las prestaciones del edificio durante su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por los materiales y las tecnologías, la fabricación y la distribución, la construcción del edificio, el funcionamiento, el mantenimiento, hasta el final de la vida útil (incluyendo la reutilización, el reciclaje y la recuperación), con el fin de evitar el desplazamiento de los problemas medioambientales de una etapa del ciclo de vida a otra y de una categoría de impacto a otra. En este caso, dentro del sector de la edificación, especialmente se está teniendo en cuenta el carbono embebido, relacionado con los materiales, el cual tiene un valor temporal muy alto, ya que son emisiones realizadas mayoritariamente a corto plazo, que son las que urge reducir.

1. Introducción

La “Oleada de Renovación”, surgida del Pacto Verde Europeo, establece que los países deberán presentar antes de 2023 una hoja de ruta de eficiencia del ciclo de vida completo de los edificios para 2050. Por otro lado, la EPBD, Directiva de Eficiencia Energética en Edificios, ha puesto fecha al cálculo del carbono de ciclo de vida del conjunto de los edificios europeos que generará demanda masiva de la utilización de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para 2027.

2. Marco teórico

2.1. Análisis de ciclo de vida

2.1.1. Contexto

La metodología del ciclo de vida permite evaluar el comportamiento medioambiental, económico o social de un elemento, sistema o proyecto de renovación evaluado a lo largo de todas las fases de su ciclo de vida, desde la extracción, producción, construcción, uso, hasta su fin de vida. La metodología general se basa en recopilar un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema de productos; evaluar los impactos potenciales asociados a esas entradas y salidas; e interpretar los resultados de las fases de análisis del inventario y evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio.

Figura 1. Esquema del concepto de ciclo de vida en el sector de la construcción. Fuente: EeB Guide

La metodología del ciclo de vida evalúa los tres pilares de la sostenibilidad, donde según el propósito de cada estudio, el personal técnico ajusta su inventario e interpretación de impactos. Un análisis de ciclo de vida (ACV) ayuda:

- a identificar oportunidades de mejora de los aspectos ambientales de los productos en distintos puntos de su ciclo de vida
- a la toma de decisiones en la industria y en organizaciones gubernamentales o no gubernamentales
- a la selección de indicadores pertinentes de comportamiento ambiental, incluidas las técnicas de medición

- y a la comercialización (por ejemplo, una declaración ambiental, un sistema de ecoetiquetado o una declaración ambiental del producto).

En cuanto al Análisis del Ciclo de Vida Económico (ACVE), la evaluación económica ayuda a seleccionar la acción de mejora (estrategias de reacondicionamiento en este caso) que garantice que la instalación proporcionará el menor coste global de propiedad coherente con su calidad y función. El ACVE es especialmente útil cuando hay que comparar alternativas de proyecto que cumplen los mismos requisitos de rendimiento, pero difieren en cuanto a costes iniciales y de funcionamiento, para seleccionar la que maximice el ahorro neto.

Por último, el Análisis del Ciclo de Vida Social (ACVS) es un método que puede utilizarse para evaluar los aspectos sociales y sociológicos de los productos, sus impactos reales y potenciales, tanto positivos como negativos, a lo largo del ciclo de vida. Proporciona un marco técnico adecuado a partir del cual un grupo más amplio de partes interesadas puede comprometerse a avanzar hacia la responsabilidad social al evaluar el ciclo de vida de bienes y servicios.

Los primeros estudios donde se aplicaba la metodología ACV se remontan a principios de los años setenta, haciendo hincapié en el análisis de la eficiencia del consumo energético y sus fuentes, el consumo de materias primas y, en menor medida, en la eliminación final de los residuos generados. En cuanto al sector de la construcción, Bekked publicó uno de los primeros trabajos con perspectiva de ciclo de vida. En este trabajo se abordaba el problema de la limitación de los recursos naturales y no renovables y sus repercusiones en el sector de la construcción. Se hacía una demostración de cómo podían determinarse las influencias cuantitativas mediante un enfoque adecuado del ciclo de vida. Se presentaron y debatieron un diagrama de flujo de entrada/salida y una fórmula sencilla para conocer mejor el problema investigado. Además del trabajo teórico, el documento también abordó algunas de las implicaciones prácticas y métodos para reducir el consumo de recursos limitados y las pérdidas medioambientales en el ámbito de la construcción.

Sin embargo, no fue hasta la década de los 90 cuando la metodología del Análisis del Ciclo de Vida estuvo suficientemente desarrollada, siendo su aplicación todavía bastante limitada. Precisamente, fue en 1993 cuando la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) estableció la primera definición oficial de ACV, según la cual el ACV es "un proceso para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales utilizados y los residuos liberados al medio ambiente; para evaluar el

impacto de esa energía y materiales utilizados y liberados al medio ambiente; y para identificar y evaluar las oportunidades para afectar a las mejoras ambientales".

2.1.2. Normativas

En 1996, SETAC elaboró el documento "*Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment*", que sirvió de base para el desarrollo de las primeras normas de ACV: ISO 14040:1997 y 14044:1998. La norma ISO 14040 describe los principios y el marco y la norma ISO 14044 especifica los requisitos y proporciona directrices para el ACV, entre las que se incluyen: la definición del objetivo y el alcance, la fase de análisis del inventario del ciclo de vida, la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida, la fase de interpretación del ciclo de vida, la elaboración de informes y la revisión crítica.

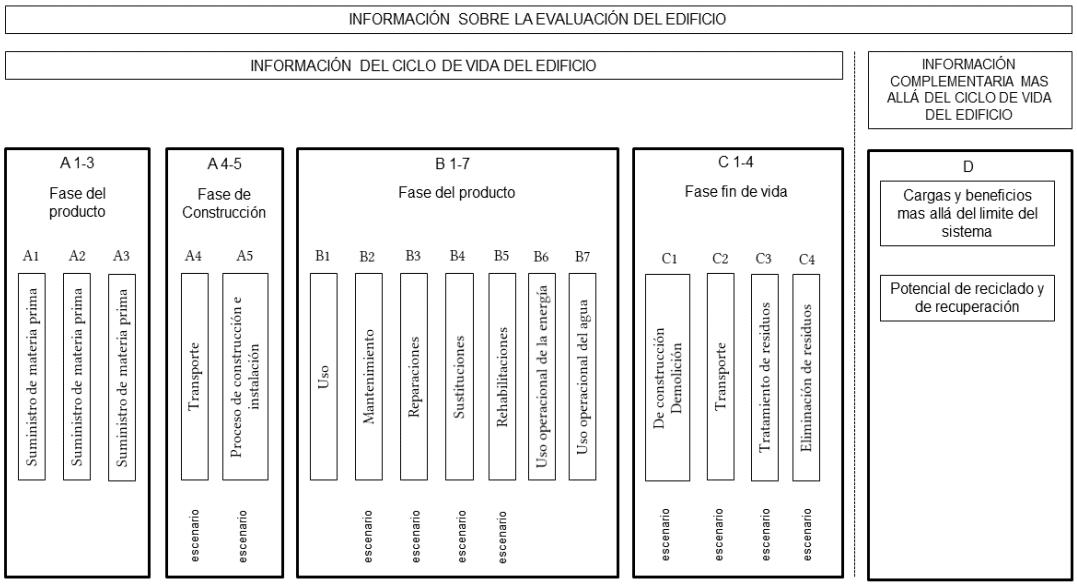
A partir de estas primeras normas, la intensa labor de normalización emprendida por el Comité Europeo de Normalización (CEN), y en concreto por su Comité Técnico TC/350 han hecho que actualmente exista la norma EN 15978:2011 especial para el sector de la construcción (edificios nuevos y existentes), que permite definir las diferentes etapas del ciclo de vida de un edificio, definir el número de indicadores, proporcionar reglas de cálculo para la evaluación del comportamiento ambiental de los edificios y determinar los métodos utilizados para declarar los resultados ambientales del análisis. Además, el CEN/TC 350 desarrolló la norma EN 15804, que proporciona reglas básicas de categoría de producto de la evaluación medioambiental para todos los productos y servicios de construcción. Esta norma europea proporciona los medios para elaborar una declaración medioambiental de tipo III o una declaración medioambiental de producto (DAP) de los productos de construcción, cuyos resultados de impacto medioambiental podrían ser muy útiles para integrarlos en la etapa de producto de la evaluación del ACV del edificio.

En cuanto a la evaluación económica de los edificios, en 2012 se publicó la norma EN 15643-4, una norma marco europea que establece principios y requisitos específicos para la evaluación del rendimiento económico de los edificios a lo largo de su ciclo de vida, teniendo en cuenta las características técnicas y la funcionalidad de un edificio. Con el fin de adaptar esta norma de nivel marco al nivel del edificio, CEN/TC 350 desarrolló la EN 16627:2016, una Norma Europea que especifica los métodos de cálculo para evaluar el rendimiento económico de un edificio durante su ciclo de vida, y da los medios para la presentación de informes sobre el resultado de la evaluación.

2.1.3. Alcance del análisis de ciclo de vida

La norma EN 15978 ofrece reglas claras para establecer los límites del sistema de un edificio. Estas reglas siguen el "principio de modularidad", que significa que cuando los procesos influyen en el rendimiento del edificio durante su ciclo de vida, deben asignarse al módulo del ciclo de vida en el que se producen (véase la Figura *2*).

Figura 2 Diferentes etapas del edificio según la norma EN 15978.



a.) A1 – A3. Etapa del producto

El límite del sistema con la naturaleza se establece para incluir aquellos procesos que proporcionan las entradas de material y energía en el sistema y los siguientes procesos de fabricación y transporte hasta la puerta de la fábrica, así como el procesamiento de cualquier residuo que surja de esos procesos.

b.) A4 – A5. Etapa del proceso de construcción

Esta etapa abarca los procesos unitarios desde la puerta de fábrica de los diferentes productos de construcción hasta la finalización práctica de la obra.

c.) B1 – B7. Etapa de uso

Esta etapa abarca el periodo que va desde la finalización práctica de la obra hasta el momento en que el edificio es deconstruido-demolido. Los impactos y los aspectos de los aparatos, el mobiliario, las instalaciones y los accesorios que no están relacionados con la construcción pueden evaluarse por separado. Cuando así sea, estos impactos y aspectos se registrarán y comunicarán por separado.

d.) C1 – C4. Etapa de fin de vida

Esta etapa de un edificio comienza cuando el edificio es desmantelado y no está previsto que tenga ningún otro uso. En este punto, la demolición/deconstrucción del edificio puede considerarse como un proceso de múltiples salidas que proporciona una fuente de materiales, productos y elementos del edificio que van a ser desechados, recuperados, reciclados o reutilizados.

e.) D. Beneficios y cargas más allá del límite del sistema

Los componentes para la reutilización y los materiales para el reciclaje y la recuperación de energía se consideran recursos potenciales para su uso futuro. Por lo tanto, el módulo D cuantifica los beneficios o cargas ambientales netas resultantes de la reutilización, el reciclaje y la recuperación de energía que se derivan de los flujos netos de materiales y energía exportada que salen del límite del sistema.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de normalización del alcance del ciclo de vida, cabe destacar que existen muy pocos estudios o herramientas de ACV-ACVE que evalúen todas las etapas del ciclo de vida descritas y, en su lugar, la mayoría de los estudios y herramientas se han centrado sólo en algunas de las etapas, es decir, la etapa de producto (A1-A3) y la etapa de uso de energía operativa (B6).

2.1.4. Bases de datos

El paso del análisis del inventario de ciclo de vida (ICV) implica la creación de un inventario de flujos desde y hacia la naturaleza para un sistema de productos. Los flujos del inventario incluyen entradas de agua, energía primaria y materias primas; salidas de emisiones a la atmósfera, la tierra y el agua; subproductos y otras liberaciones. Todos los datos utilizados en un estudio de ACV deben modelarse con una metodología

uniforme. Esto puede lograrse normalmente utilizando una base de datos de fondo pública o comercialmente disponible y modelando el edificio de forma coherente.

Tal y como se define a continuación, existen diferentes bases de datos para obtener esta información ambiental y económica de los diferentes productos, procesos o elementos constructivos de un edificio.

La información ambiental se puede obtener de tres tipos de bases diferentes:

- Bases genéricas multisectoriales como Global LCA data Access, Ecoinvent, GaBi, US Life-CYcle inventory database,.. Son bases de datos que requieren una licencia de acceso cuyo coste económico puede superar los 3.000 €.
- Bases de datos del sector de la construcción como DIOGEN, Athena institute database, Bauteil Katalog, Okobau, IBO LCA, ITec, Leitfaden database… En este caso, algunas de ellas están en formato abierto.
- El tercer grupo está compuesto por las diferentes bases de datos que proporcionan información sobre las Declaración Ambiental de Productos (DAP) de la construcción, como pueden ser IBU, BAU EPD, International EPD, FDES INIES, Global EPD, DAP construcción, Open DAP… En este caso, gran parte de ellos proporcionan información en formato abierto.

Respecto a la información económica, esta información sobre todo se centra en el presupuesto del proyecto, en los catálogos de los fabricantes y en bases de datos como el Generador de Precios de la construcción de CYPE.

2.1.5. Herramientas

Junto a las bases de datos que permiten obtener la información ambiental y/o económica de cada elemento, producto o proceso que forma parte de un edificio (nuevo o rehabilitado), un punto importante del ACV son las herramientas que permiten llevar a cabo este tipo de análisis.

Estas herramientas se pueden clasificar en dos grupos generales. La primera de ellas se centra en herramientas que permiten llevar a cabo el estudio ambiental de cualquier producto, proceso o elemento con perspectiva de ciclo de vida, como bien pueden ser SimaPRO, GaBi, Umerto u OpenLCA. Son herramientas muy complejas, que requieren un conocimiento exhaustivo del ACV y excepto el software OpenLCA los otros

softwares requieren de una licencia cuyo coste económico es superior de 2.000€ en algunos casos.

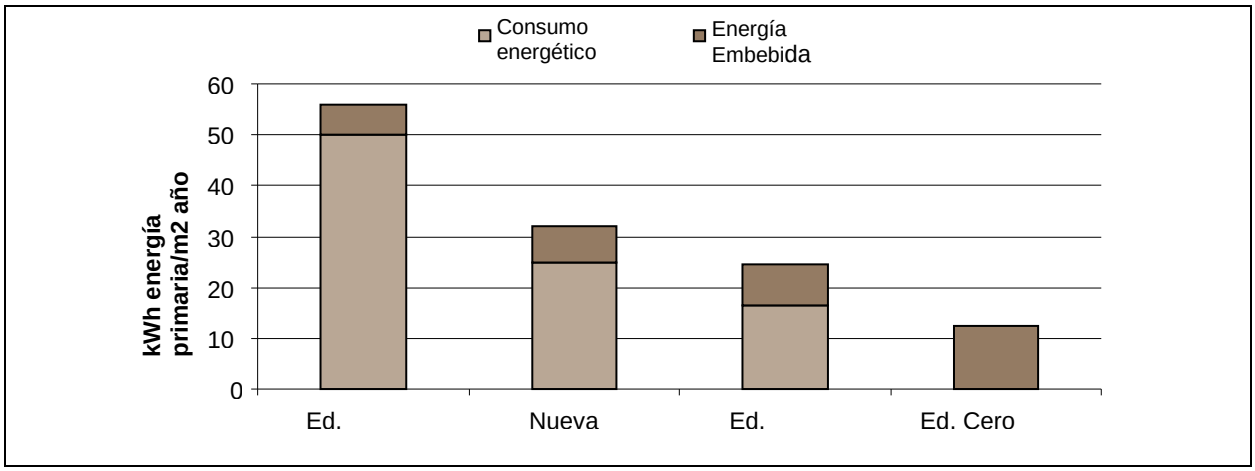
El segundo grupo de softwares agrupa herramientas que se han desarrollado de forma específica para el sector de la construcción, haciendo que el cálculo del impacto con perspectiva de ciclo de vida sea más “fácil” para los diferentes técnicos del sector de la construcción. Entre estas herramientas cabe destacar OneClick LCA, EcoCalculator, Eco-bat, LEGEP, SBS, ELODIE, EQUER, ECO-QUANTUM o BEES

2.1.6. Edificios cero con perspectiva ciclo de vida

El ACV, el cual se basa en evaluar TODOS los impactos (ambientales y/o económicos) de un edificio con perspectiva de ciclo de vida, es muy importante para los edificios de bajo consumo energético (nuevos o rehabilitados), ya que cuando las prestaciones energéticas de un edificio aumentan mediante medidas de rehabilitación o se construye un nuevo edificio de bajo consumo energético, normalmente se aplican materiales y componentes adicionales, lo que da lugar a una mayor energía incorporada y a impactos incorporados que podrían tenerse en cuenta en una evaluación completa del edificio.

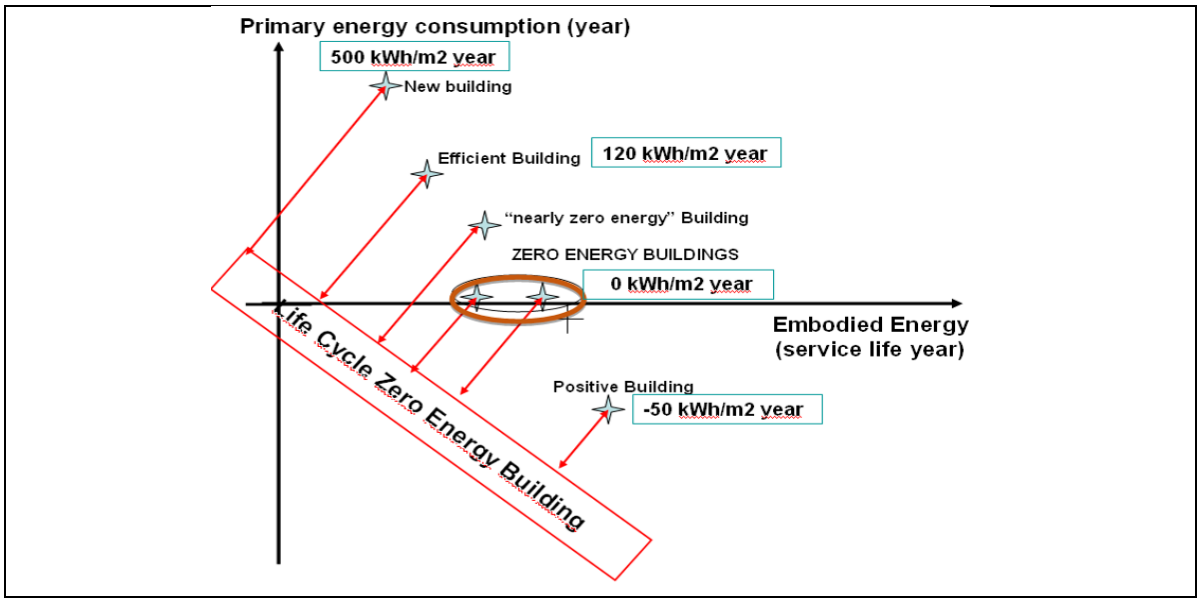
En este caso, un diseño adecuado, y la selección de materiales de baja energía embebida o con una vida útil mayor que otras similares son fundamentales para minimizar los impactos a relacionados. Desde esta perspectiva de ciclo de vida, se entiende que para obtener el mejor diseño de un edificio hay que llegar a una relación entre la energía de uso (relacionado con la energía consumida durante su etapa de uso) y la energía embebida de los materiales del edificio (nuevo o rehabilitado).

Figura 3. Ejemplo de la energía primaria total de un edificio teniendo en cuenta su impacto durante la etapa de uso y la energía embebida



Tomando en cuenta esta perspectiva y la metodología ACV se planteó una nueva definición de edificio cero energía: "Un edificio cero energía con perspectiva ciclo de vida" es aquel en el que la energía primaria utilizada en la etapa de uso más la energía embebida en sus materiales y sistemas durante la vida útil del edificio es igual o inferior a la energía producida por sus sistemas de energía renovable durante su vida útil".
En la siguiente imagen se puede ver como un edificio definido hasta el momento como nZEB o ZEB (en etapa de uso) pero con un alto valor de Energía Embebida tiene una peor puntuación según esta definición que un edificio con un consumo medio de energía de uso y bajo valor de energía embebida de sus materiales y componentes.

Figura 4. Esquema del concepto de edificio cero energía con perspectiva ciclo de vida desarrollado por Patxi Hernandez



2.1.7. Dificultades a la hora de aplicar ACV en el sector de la edificación

Aunque el ACV sea una herramienta clave para evaluar la sostenibilidad de los edificios y sea una metodología estandarizada; aunque la refundición de la EPBD lo recalque como base de los cálculos, se hayan desarrollado nuevas herramientas, la información de las bases de datos cada vez sea más amplia; o aunque un creciente número de publicaciones científicas justifican la pertinencia del ACV, su aplicación al día de hoy aún sigue siendo incompleta debido a aspectos como:

- La larga vida útil de un edificio (necesidad de considerar escenarios dinámicos donde se integran posibles mejoras o integración de nuevos sistemas renovables).
- Larga vida de la evaluación, donde, por ejemplo, el mix energético de un país o el precio de la energía pueden variar considerablemente.
- El gran número de agentes implicados para obtener toda la información durante todo cada etapa del ciclo de vida.
- Dificultad para obtener información representativa o real de muchos materiales, sistemas o procesos.
- Gran cantidad de elementos que componen un edificio.
- Todas las hipótesis consideradas durante la evaluación, cuya influencia hace que la incertidumbre de los resultados sea muy relevante.
- Dificultad de considerar la posibilidad de integrar productos o tecnologías innovadores en etapa de desarrollo por falta de información de su impacto (ambiental y/o económico).

2.2. Integración del ACV en normativas e iniciativas europeas

Son cada vez más numerosas las directivas o iniciativas europeas que recalcan la necesidad de integrar el ACV como metodologías de evaluación del impacto (ambiental y/o económico) del sector de la edificación.

2.2.1. Directiva 2021/0426 relativa a la eficiencia energética de los edificios

La directiva 2021/0426 establece la visión de lograr un parque inmobiliario de cero emisiones de aquí a 2050. Como ya se indicó en el Plan del Objetivo Climático, es un instrumento legislativo clave para alcanzar los objetivos de descarbonización de 2030 y 2050. Da continuidad a componentes clave de los tres ámbitos prioritarios de la estrategia «Oleada de Renovación», incluye la intención de proponer normas mínimas de eficiencia energética obligatorias, tras una evaluación de impacto que revise su ámbito de aplicación, su calendario, su introducción gradual y las políticas de apoyo que las acompañan.

El objeto de la Directiva se modifica para subrayar que la propuesta de refundición de la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (DEEE) establece la visión de lograr un parque inmobiliario de cero emisiones de aquí a 2050 y reflejar un nuevo sistema de medida complementario del carbono para orientar las elecciones hacia soluciones descarbonizadas. Si bien la propuesta se centra en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero operativas, se dan los primeros pasos para abordar las emisiones de carbono a lo largo del ciclo de vida completo de un edificio.

En el artículo 7 de la directiva, se subraya que el potencial de calentamiento global (PCG) a lo largo del ciclo de vida de los edificios nuevos deberá calcularse a partir de 2030 de conformidad con el marco Level(s), para informar así sobre las emisiones a lo largo del ciclo de vida completo de las nuevas construcciones. Las emisiones del ciclo de vida completo son especialmente importantes para los edificios grandes, por lo que la obligación de calcular esas emisiones se aplica a los edificios grandes (con una superficie útil superior a 2.000 metros cuadrados) ya a partir de 2027.

Los Estados miembros velarán por que el potencial de calentamiento global (PCG) a lo largo del ciclo de vida se calcule de conformidad con el anexo III y se dé a conocer por medio del certificado de eficiencia energética del edificio:

2.2.2. Comunicación 2020/662, Renovation wave: Ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas

En la comunicación 2020/662 se mencionan varios puntos a tener en cuenta:

- En el Punto 2 donde se exponen los principios clave para la renovación de los edificios hacia los objetivos de 2030 y 2050 se hace referencia al análisis del ciclo de vida y circularidad: “Minimizar la huella de los edificios requiere eficiencia de los recursos y circularidad combinadas con la conversión de partes del sector de la construcción en un sumidero de carbono; por ejemplo, mediante la promoción de infraestructuras verdes y el uso de materiales de construcción orgánicos que puedan almacenar carbono, como la madera de origen sostenible”.

- En el Punto 3, subpunto 3.5 en el que se hace referencia a la creación de un entorno construido sostenible, la Comisión abordará los resultados en materia de sostenibilidad de los productos de construcción en el contexto de su revisión del Reglamento sobre productos de construcción y desarrollará, de aquí a 2023, una hoja de ruta hasta 2050 para reducir las emisiones de carbono durante todo el ciclo de vida en los edificios.

A su vez, la Comisión apoyará la digitalización en el sector de la construcción a través de Horizonte Europa, así como por medio de centros de innovación digital e instalaciones de ensayo y experimentación. Las herramientas digitales ayudan a registrar el progreso de las obras, el uso de materiales y el aumento de la productividad. Los edificios inteligentes y la construcción habilitada digitalmente generan grandes conjuntos de datos durante todo el ciclo de vida de construcción, el uso y la renovación de los edificios para poder gestionarlos mejor.

2.2.3. Comunicación 2020/98, Nuevo plan de acción para la economía circular

Dentro de la comunicación 2020/98 de la comisión europea se destacan varios puntos en el que se destaca el uso del análisis de ciclo de vida.

En el punto 2.1 se destaca que a fin de conseguir que todos los productos sean adecuados para una economía climáticamente neutra, eficiente en el uso de los recursos y circular, reducir los residuos y garantizar que las prestaciones de los

pioneros de la sostenibilidad se conviertan progresivamente en la norma, la Comisión propondrá una iniciativa legislativa sobre una política de productos sostenible.
Como parte de esta iniciativa legislativa y, según proceda, mediante propuestas legislativas complementarias, la Comisión estudiará la posibilidad de establecer principios de sostenibilidad y otros medios adecuados para regular el siguiente aspecto, entre otros, que consiste en incentivar los «productos como servicios» u otros modelos similares en los que los productores conservan la propiedad del producto o la responsabilidad por su rendimiento a lo largo de su ciclo de vida.

Esta iniciativa legislativa y las demás soluciones complementarias posibles, ya sean de carácter reglamentario o voluntario, se desarrollarán teniendo presente la necesidad de aumentar la coherencia con los instrumentos vigentes para la regulación de los productos en las distintas etapas de su ciclo de vida. La intención de la Comisión es que los principios de sostenibilidad de los productos encarrilen, en el futuro, la evolución de la legislación y las políticas en general.

Tal y como se menciona en el punto 3.6, para aprovechar las posibilidades de aumentar la eficiencia de los materiales y reducir las repercusiones climáticas, la Comisión adoptará una nueva estrategia para un entorno construido sostenible de carácter integral. Esta estrategia velará por la coherencia entre todas las áreas de actuación, tales como el clima, la energía y la eficiencia en el uso de los recursos, la gestión de los residuos de construcción y demolición, la accesibilidad, la digitalización y las capacidades. Promoverá los principios de la circularidad en todo el ciclo de vida de los edificios mediante las siguientes actuaciones:

- Utilizará la herramienta Level(s) para integrar la evaluación del ciclo de vida en la contratación pública y el marco de la UE para unas finanzas sostenibles, analizará la conveniencia de fijar objetivos de reducción de carbono y explorará el potencial del almacenamiento de carbono.

- Considerará la posibilidad de revisar los objetivos de recuperación de materiales fijados en la legislación de la UE para los residuos de construcción y demolición y sus fracciones de materiales específicos.

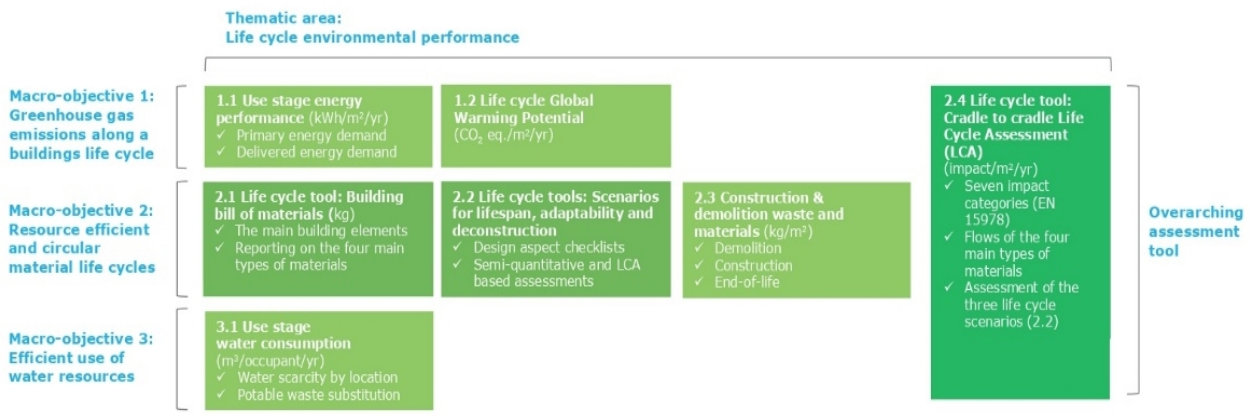
2.2.4. Guía LEVEL(S)

LEVEL(S) es una guía del nuevo marco europeo de información sobre edificios sostenibles y enfocados en mejorar la sostenibilidad de los edificios. Level(s) proporciona un conjunto de indicadores y métricas comunes para medir el comportamiento medioambiental de los edificios de oficinas y residenciales teniendo en cuenta su "ciclo de vida" completo.

Centra la atención en seis áreas clave o “macroobjetivos” identificados por la comisión europea: emisiones de gases de efecto invernadero, eficiencia de los recursos, uso del agua, salud y confort, resistencia y adaptación, y coste y valor. Ocho indicadores de resultados contribuyen a la consecución de estos macroobjetivos. Es importante señalar que la calificación del valor y el riesgo de cada indicador proporcionará a los responsables de la toma de decisiones, como valoradores e inversores, una opinión sobre la fiabilidad de las evaluaciones de rendimiento realizadas utilizando el nivel o niveles.

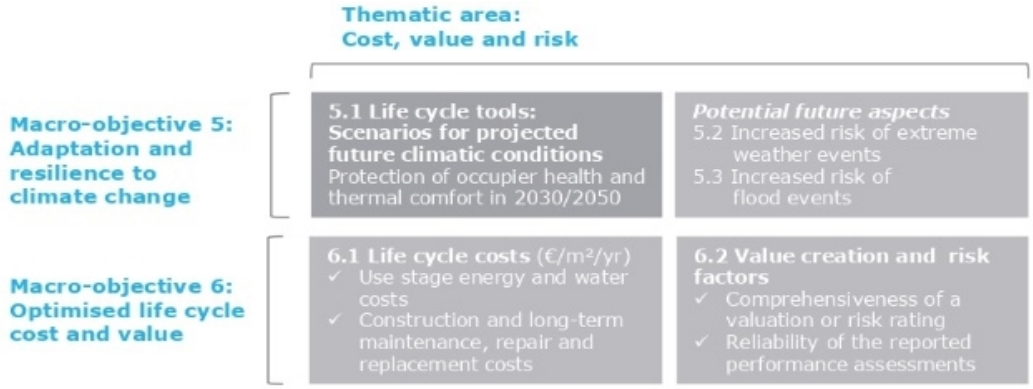
Tal y como se menciona previamente, el marco europeo se divide en 6 macro objetivos, reunidos en **3 áreas temáticas**:

a) Life-cycle environmental performance. Dentro de esta área se definen 3 macro objetivos: (1) Emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de los edificios; (2) Recursos eficientes y ciclos de vida circulares; y (3) Uso eficiente de los recursos de agua.



b) Salud y confort. Se define en macro objetivos espacios saludables y confortables

c) Costes, valoración y riesgos. Dentro de esta área se definen 2 macro objetivos: (1) Adaptación y resiliencia al cambio climático; y (2) Valor y coste optimizado de ciclo de vida



2.3. Integración del ACV en normativas nacionales

Son cada vez los estados miembros europeos que están integrando la metodología ACV dentro de sus normativas edificatorias para definir cuantificar su impacto unos límites de emisiones de su parque edificatorio. A continuación, se muestran los límites o criterios considerados por estados miembros como Suecia, Dinamarca, Países bajos, Francia y Finlandia.

2.3.1. Suecia

En 2020 el gobierno de suiza presento un proyecto de ley “Declaraciones climáticas”. (Klimatdeklaration) de edificios para ser implementada en 2022. Los desarrolladores de los proyectos deberán presentar una declaración ambiental para cada edificio nuevo, incluyendo información del impacto del edificio durante su ciclo de vida. Durante la fase inicial no habrá tope de emisiones, pero se propondrá introducirlas a partir de 2027.

2.3.2. Dinamarca

Las regulaciones danesas para la construcción sostenible (“National strategi for bæredygtigt byggeri”) requieren análisis de ciclo de vida para todos los edificios nuevos a partir de 2023. Inicialmente, los edificios mayores de 1.000 m2 deberán limitarse a 12 kg de CO2eq/m2 año (o de 8 kg para una clase voluntaria más ambiciosa). A partir de 2025 aplicará a todos los edificios. Los límites se revisarán cada 2 años y se pretende llegar en 2029 hasta los 7,5 kg/CO2eq/m2 año (o 5 kg para la clase voluntaria).

2.3.3. Países Bajos

Desde 2018, todos los proyectos de construcción requieren un permiso para calcular e informar sobre el impacto ambiental de un proyecto. Para ello, se ha desarrollado una metodología de evaluación medioambiental con perspectiva de ciclo de vida, que gestiona y actualiza periódicamente la base de datos medioambiental nacional (Nationale milieudatabase). Se recogen las diferentes categorías de impacto y se traducen en los llamados "costes sombra" o “precio sombra” de un proyecto, que no deben superar los límites máximos legales. El objetivo es reducir los costes sombra de los nuevos proyectos de construcción de 1,0 euros/ (m²·año) en 2018 a 0,5 euros/

(m^2·año) en 2030. El programa neerlandés de ACV permite realizar los cálculos a nivel de edificio completo.

2.3.4. Francia

Francia ha promulgado una ley (RE2020) para reducir las emisiones de todos los edificios nuevos, con límites máximos relacionados con las emisiones del ciclo de vida para todos los edificios nuevos. Se creó un observatorio de código abierto que ha servido para establecer umbrales reglamentarios, progresivamente más estrictos, por ahora para edificios residenciales, tanto para el carbono operacional como para el carbono embebido.

RE2020 introduce un nuevo umbral de 4 kg CO_2eq/m^2·para el carbono operativo de edificios residenciales nuevos y propone, a partir de 2022, un umbral de Carbono embebido de 100 kg CO_2eq/m^2· Introduce un método de cálculo de ACV dinámico que favorece los materiales de base biológica y la madera.

Para viviendas unifamiliares y adosadas establece inicialmente un límite de 640 kg CO_2eq/m^2 y 415 a partir de 2030. Para vivienda social establece un límite inicial de 740 kg y 490 a partir de 2030. La base de datos INIES, de libre acceso, proporciona los datos medioambientales sobre productos de construcción necesarios para realizar el ACV. La metodología considera etapas A1-5, B1-4, B6 y C1-4, y una aproximación a la etapa D.

2.3.5. Finlandia

En 2019, el Gobierno finlandés publicó la primera versión de una metodología para evaluar las emisiones de todo el ciclo de vida de un edificio. En 2021 el Ministerio de Medio Ambiente publicó un borrador de la metodología de ACV basada en las normas europeas, Level(s) y en aportaciones de una consulta pública. Incluye las etapas del ciclo de vida: A1-A5, B4, B6, C1-C4 y D. Las normas de rendimiento se aplicarán probablemente tanto a los edificios residenciales como a los nuevos edificios no residenciales.

Para establecer los valores límite, el Ministerio de Medio Ambiente de Finlandia encargó en 2021 a OneclickLCA Ltd el análisis de más de 4.000 edificios. Se obtuvieron valores para edificios residenciales y para el carbono de ciclo de vida de 774

kg CO2eq/m2, teniendo en cuenta etapas A1-5, B3, B4, B6 y C1-4. Es especialmente interesante la elaboración y mantenimiento por parte del gobierno finés de una base de datos genérica nacional realizada a partir de DAPs. Pretende armonizar el cálculo de los impactos climáticos de los edificios a lo largo de su ciclo de vida y, a través de ello, promover la construcción con bajas emisiones de carbono

2.3.6. Bélgica

No incluye aun en su regulación la contabilidad y limitación de carbono, aunque se espera que lo haga próximamente. Cuentan con la herramienta libre TOTEM que, aunque no es obligatoria, se referencia a menudo en la Compra Pública Ecológica. La metodología MMG (Environmental Profile of Building Elements method) incluida en la herramienta TOTEM es ampliamente aceptada por el sector e incluye todos los módulos de ciclo de vida excepto D. Incluye todas las categorías de impacto de la norma EN 15804: A1 y algunas adicionales. En Bélgica, se aplica además un indicador de coste medioambiental externo, en euros, que agrupa todos los indicadores.

2.3.7. España

A nivel estatal destaca el caso del AMB, Área Metropolitana de Barcelona, que ha desarrollado un protocolo de sostenibilidad que incluye 19 criterios y uno de ellos es la minimización de la huella de carbono embebido (únicamente en la etapa de producto A1-3). Se establecen limitaciones progresivas para los periodos de 2020-24, 2025-29 y a partir de 2030. Se diferencia entre obra nueva/reurbanización y rehabilitación. Los límites no varían para edificios residenciales y terciarios. Por ejemplo, los edificios residenciales de obra nueva tienen una limitación de carbono embebido inicial de 611 kg CO2eq/m2 en 50 años, y de 324 kg en rehabilitación. Se pretende llegar a 391 kg y 207 kg respectivamente en 2030.

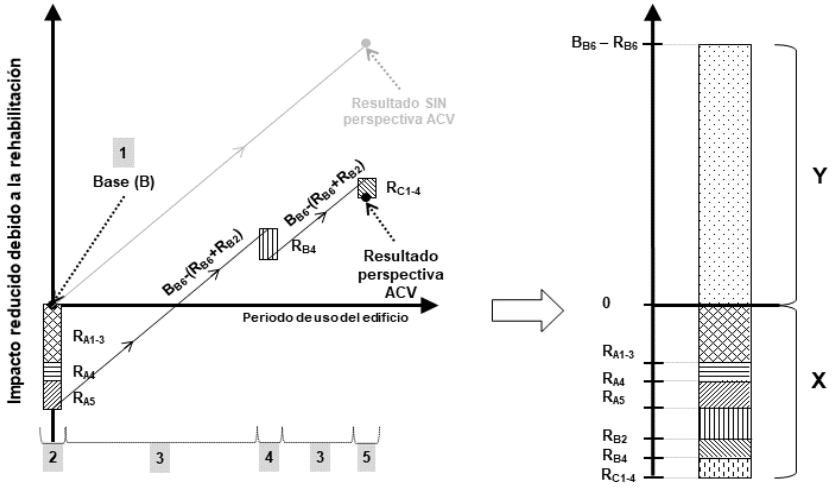
3. Evaluación ambiental y económica con perspectiva ciclo de vida en un caso de estudio de Alokabide

3.1. Metodología

La metodología propuesta en este apartado permitirá evaluar la reducción del impacto ambiental y económico que genera una actividad de rehabilitación energética durante el ciclo de vida de cualquier edificio. El esquema de cálculo de la metodología se dividirá en 5 fases principales:

- Base: Establecer la línea de base seleccionada (B= o el impacto ambiental y económico de la situación base).
- Estrategias de rehabilitación: El técnico propondrá diferentes estrategias de rehabilitación, las cuales tendrán un impacto negativo inicial (Producción (A1-3), distribución (A4) y proceso constructivo (A5)).
- Etapa de uso: Una vez implementadas las diferentes estrategias de rehabilitación energética, se reduce el impacto ambiental y económico de la etapa de uso del edificio en su estado base. El valor de este se calcula comparando los impactos de la etapa de uso del edificio base y el edificio rehabilitado (BB6 - RB6). Durante esta etapa es importante considerar el impacto negativo que generan actividades como el mantenimiento (B2).
- Sustituciones: La vida útil (ESLm) de muchas estrategias de rehabilitación es menor que la vida útil del edificio a rehabilitar (RSLb). Estas estrategias son reemplazadas, lo cual genera un impacto ambiental y económico que será necesario cuantificar.
- Resultado perspectiva ACV: Después de la aplicación de reemplazos de estrategias de rehabilitación, el impacto de la etapa de uso del edificio continúa reduciéndose hasta que se alcanza el límite RSLb del edificio. En este punto final, se evalúa el impacto negativo de la eliminación gradual de las estrategias de rehabilitación.

Figura 5. Esquema del cálculo del impacto ambiental y económico de la rehabilitación energética de un edificio durante su ciclo de vida.



3.2. Caso de estudio

La evaluación del ACV como base de cálculo hacia la economía circular del proceso de renovación del parque edificado se basa el análisis de impacto ambiental y coste económico con perspectiva de ciclo de vida aplicado en uno de los edificios de Alokabide, concretamente la promoción de Amurrio 21, con el código GOB-A010 (véase la Figura 6). Se trata de un edificio residencial de 21 viviendas, localizado en el municipio de Amurrio. Este edificio está construido en el año 1995. Esto conlleva que cuenta con un nivel básico de aislamiento en la envolvente térmica según la ley NBE-CT-79, pero no un nivel acorde con las actualizaciones a partir de 2006.

Figura 6. Fotografía de caso de estudio. Amurrio 21.

3.3. Definición de los diferentes aspectos asociados a la primera fase del ACV: objetivo y alcance

El objetivo de la metodología es evaluar el impacto ambiental y la viabilidad económica de estrategias de renovación de edificios residenciales con enfoque de ciclo de vida. La evolución se centra exclusivamente en la mejora de la eficiencia de calefacción y ACS; esto quiere decir que el impacto y costes del uso energético del edificio a tener en cuenta son los atribuidos a la calefacción y ACS.

3.3.1. Unidad funcional

En el presente estudio de utilizará como unidad funcional "por metro cuadrado y año" [m^2·año] respondiendo a la superficie calafateada de un sistema de edificio con uso residencial (m^2 como unidad del SI) con un definido periodo de estudio de referencia (RSP) (medido en años).

3.3.2. Requisitos de calidad de los datos

Impacto ambiental de productos y sistemas**:** Para obtener los datos ambientales el estudio se basará en diferentes fuentes de datos como las Declaraciones ambientales de productos (DAP) y otras bases de datos como Ecoinvent [1].

Coste económico: Al igual que en el punto anterior, la fuente de información para obtener los datos económicos vendrá reflejada en las fichas técnicas de los materiales o en información que suministre el generador de precios de CYPE.

3.3.3. Periodo de uso del edificio

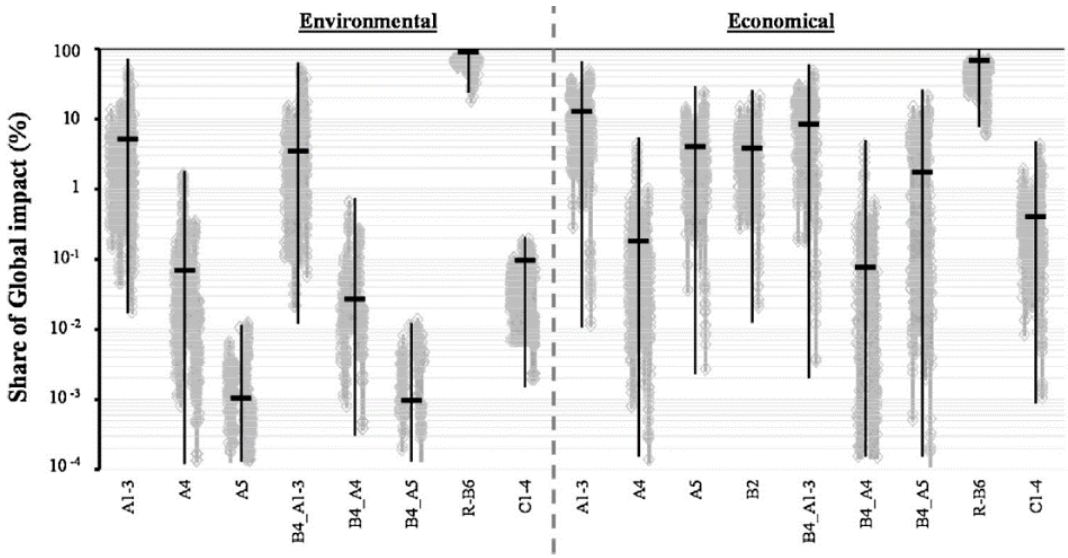
El periodo de uso del edificio hace referencia al periodo de tiempo en el que se evaluará el edificio, también conocido como Reference service life (RSLb). En el presente análisis se opta por un RSLb de 50 años.

3.3.4. Límites del sistema

El estudio realizado para analizar los límites del ACV en renovaciones energéticas de edificios [2] demuestra la baja importancia de ciertas etapas, el etapa de transporte (A4) y fin de vida (C1-4) en la evaluación ambiental y el económico, y las etapas de mantenimiento (B2) y construcción (A5) en la evaluación ambiental. La omisión de estas, generalmente, no derivaría en una variación mayor que el 1% en el resultado

final del análisis de ciclo de vida ambiental y económico tal y como lo demuestra la Figura 7.

Figura 7. Proporción del impacto global por cada etapa del ciclo de vida para todos los escenarios surgidos del análisis de sensibilidad. Fuente: [2].



Basándose en los resultados del artículo citado, la Tabla 1 muestra las etapas del ciclo de vida considerados durante este proyecto.

Tabla 1.Límites del ACV. Etapas a analizar en la evaluación de ACV ambiental y económico [2].

	Etapas de ACV	Ambiental	Económico
B6	Uso de energía operativa de base	**Sí**	**Sí**
A1-3	Producción de productos y sistemas para la renovación	**Sí**	**Sí**
A4	Transporte de productos y sistemas para la renovación	No	No
A5	Construcción de productos para la renovación	No	**Sí**
B2	Mantenimiento de las estrategias de renovación	No	**Sí**
B4_A1-3	Producción de reemplazo de productos y sistemas	**Sí**	**Sí**
B4_A4	Transporte de reemplazo de productos y sistemas	No	No
B4_A5	Construcción de reemplazo de productos y sistemas	No	**Sí**
R-B6	Uso de energía operativa del edificio renovado	**Sí**	**Sí**
C1-4	Fin de vida de los productos y sistemas de renovación	No	No

3.3.5. Indicadores de impacto

a.) Ambiental

Acorde a la literatura [3] el uso de la energía operativa es la etapa con mayor impacto ambiental en el ciclo de vida de un edificio, sobre todo debido al consumo de las fuentes utilizados para responder a las necesidades de confort de los usuarios de los edificios. El consumo energético está directamente asociado al uso de fuentes de energía, como puede ser los combustibles fósiles, causando un mayor impacto de emisiones de CO2-eq. De esta forma, la normativa EN 15978 recomienda el uso de varios indicadores de impacto para definir el ámbito de evaluación y posibilitar la toma de decisiones basados en los indicadores. El presente estudio hace uso de los dos indicadores de mayor influencia:

- NRPE (Non-Renewable Primary Energy) – Energía primaria no renovable en [MJ-eq/unidad funcional] según el método CML [4].
- GWP (Global Warming Potential) – Potencial de calentamiento global en [kg CO2-eq/ ad funcional] según el método IPCC [5].

b.) Económico

Para la evaluación del impacto económico, se ha utilizado como indicador el coste económico con la unidad de “Euro” [€]:

- Coste total: (Full Cost Accounting) en [€] [6].

3.4. Impacto ambiental y económico de la etapa de uso del edificio en su estado base

3.4.1. Demanda energética de la etapa de uso del edificio (EDb)

Para el cálculo de la demanda energética se hace uso de un cálculo “completo” mediante la simulación dinámica con el software DesignBuilder [7], interfaz del motor de cálculo EnergyPlus [8] con el archivo de datos climáticos International Weather for Energy Calculation (ASHRAE) [9]. La simulación genera datos detallados sobre la actuación energética de un edificio durante un año, usando información real del tiempo, así como aspectos como radiación solar, masa térmica u ocupación.

La demanda energética resultante en estado base del caso de estudio es de 79,92 kWh/m^2·año para el calentamiento y de 19,58 kWh/m^2·año para el ACS.

3.4.2. Rendimiento del sistema de generación energética (p)

La instalación de calefacción de viviendas es individual. La caldera es mixta (calefacción y ACS) con quemador para gas natural. Es difícil hacer una estimación exacta de la potencia nominal de las calderas instaladas actualmente, no obstante, la eficiencia nominal por la que se optará es de p = 0.8 para las calderas de gas comunes, teniendo en cuenta que no siempre actuara dentro del rango óptimo de eficiencia energética [10].

3.4.3. Pérdidas de distribución (DLb)

La distribución del agua caliente (ACS) se produce en su totalidad por el interior de la unidad de vivienda desde la caldera que se sitúa en los balcones de las cocinas. Cuando la distribución se efectúa por el interior, se considera que las pérdidas de distribución en calefacción y ACS equivalen a 0, ya que las pérdidas van a la misma unidad de espacio calefactado.

3.4.4. Energía renovable generada en el edificio (REk)

La energía renovable generada en el edificio solo se tendrá en cuenta en el caso de usar alguna estrategia renovable o combinada. El estado base del edificio no cuenta con ningún sistema de generación de energía renovable por lo que se considera que el valor es de 0.

3.4.5. Consumo energético de la etapa de uso del edificio

El cálculo de consumo energético de la etapa de uso del edificio base se realizará a través de un programa de monitorización digital. En este caso, se realizará un modelado del edificio en Designbuilder en su estado actual y de ahí se obtendrán los resultados del consumo energético base sin realizar ningún tipo de intervención.

3.4.6. Factor de conversión (CFy)

Estos factores de conversión representan la cantidad de impacto ambiental generado al convertir el valor de 1MJ o 1kWH de la energía final consumida en la etapa de uso del edificio. Las fuentes de energía utilizadas en el sector de la construcción (electricidad, diésel, petróleo, gas natural, biomasa o biogás) adoptan diferentes formas en la naturaleza, desde la madera hasta la nuclear, cada una con un impacto diferente en el medio ambiente. Por tanto, una vez calculado el impacto ambiental de cada proceso energético, los resultados se evaluarán de forma homogeneizada utilizando diferentes indicadores de impacto. Para fuentes de energía como el gas natural, diésel o biomasa, debido a la similitud de su proceso de cambio en diferentes territorios o países, los impactos ambientales serán muy similares. Sin embargo, cuando la fuente de energía utilizada es la electricidad, el valor de impacto ambiental de la última unidad de energía consumida puede modificarse por completo, ya que está directamente relacionado con el mix eléctrico de cada país.

En este caso, el factor de conversión del gas natural aplicado en este caso de Energía Primaria No Renovable (NRPE) 1.23E+00 (MJ/MJ) y el Potencial de Calentamiento Global (GWP) será 6.89E-02 (kg CO_2 –eq/MJ) [11].

3.4.7. Precio de la energía

Los precios están basados en la información de Eurostat. Debido a los últimos dos años de época pandémica e irregularidades en los consumos energéticos, se tomará como referencia el último año pre-pandémico, el 2019. Los precios incluyen impuestos [12].

- Gas natural: 0.0234€/MJ
- Electricidad: 0.0665€/MJ

3.4.8. Incremento del precio de la energía

Tal y como se menciona durante la metodología, se propone que los impactos ambientales generados por el consumo de una unidad tengan valor constante, ya que el precio de la energía puede variar. Tal y como se indica en la web de OMIE [13], la evolución el último año desde el 09-06-2021, cuando el precio del MWh era de 84,73€/MWh al 09-06-2022, situándose en 180€/MWh. Como se puede apreciar, en el último año ha tenido un incremento de más del 100% de su valor, incluso habiendo momentos puntuales (diciembre del 2021 y marzo del 2022) que se alcanzaron más del 400% de su valor. Ante esta incertidumbre se ha utilizado un incremento medio estandarizado de los últimos años previos a la pandemia (2019): 3% para gas y 4% para electricidad.

3.4.9. Resultados

Mediante los valores de la demanda energética se ha calculado el impacto ambiental y económico relacionado con el uso de calefacción y ACS obteniendo los resultados de la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores de impacto en la etapa de uso B6 del edificio en su estado base.

Etapas de ACV		Resultados	
Ambiental	GWP [Kg CO_2 – eq / (m^2 año)]	3,08 E +01	Kg CO_2 eq / m^2 año
	NRPE [MJ / (m^2 año)]	5,51 E + 02	MJ / m^2 año
Económico	Coste total [€ / (m^2 año)]	21,11	€ / m^2 año

3.5. Selección de estrategias de renovación

Se evaluarán tanto estrategias pasivas como activas y basadas en la integración de fuentes de energía renovable. Las estrategias de renovación a evaluar se clasifican según tres criterios: el tipo de solución constructiva a emplear, el nivel de eficiencia energética en cuanto a ahorro operacional (en el caso de estrategias pasivas), y el nivel impacto ambiental embebido de la estrategia (también en el caso de estrategias pasivas). Cada estrategia se identifica con un código de tres dígitos, reflejando el tipo de estrategia, el nivel de eficiencia y el nivel de impacto embebido.

Tipo de estrategia: Se plantean once tipos de estrategias de renovación, identificados con las primeras once letras del abecedario, tal y como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de estrategias de renovación a evaluar.

Código	Tipo de estrategia	Categoría
A	Sustitución de las ventanas exteriores	Pasiva
B	Insuflado de aislamiento térmico en la cámara de aire existente en la fachada	Pasiva
C	Aislamiento interior de la fachada mediante trasdosado	Pasiva
D	Aislamiento exterior de la fachada mediante SATE	Pasiva
E	Aislamiento exterior de la fachada mediante fachada ventilada	Pasiva
F	Energía solar térmica individual sin acumulador para ACS	Renovable
G	Solar térmica central con acumulador para ACS y Calefacción	Renovable
H	Aerotermia individual para ACS	Activa
I	Aerotermia individual para ACS y calefacción	Activa
J	Aerotermia central para ACS y calefacción	Activa
K	Aerotermia con solar fotovoltaica central para ACS y calefacción	Activa + Renovable
L	Ejecución Amurrio (e + k)	Pasiva + Activa + Renovable

Nivel de eficiencia: El criterio de clasificación según el nivel de eficiencia se aplica a las estrategias pasivas debido al gran abanico de posibilidades de espesor y materiales que puedan ser empleados. Se plantean tres niveles de eficiencia, básica, eficiente y avanzado, identificados con los números *1, 2* y *3* respectivamente, según la Tabla 4. El nivel básico hace referencia de un nivel fundamental de aislamiento térmico de la envolvente. Se considera que los edificios construidos a partir de la primera normativa energética, establecida en 1979 (NBE CT-79), cuentan con el nivel básico de estrategias pasivas en su estado base.

El Nivel Eficiente se basa en estrategias de renovación con niveles de eficiencia acorde a las exigencias de la normativa actual (CTE HE). En el caso de las estrategias pasivas, el objetivo deberá cumplir con las transmitancias térmicas máximas establecidas en el CTE HE-1 [14]. Para las estrategias activas se basará también en estrategias establecidas en CTE-HE. En el Nivel Avanzado se utilizarán como referencia los valores de transmitancia térmica máxima que recomienda el instituto passivhauss [15].

Tabla 4. Niveles de eficiencia energética de estrategias de renovación.

Código	Nivel de eficiencia
1	Básico: Nivel básico de eficiencia energética
2	Eficiente: Nivel de eficiencia energética acorde a los establecimientos según normativa
3	Avanzado: Nivel de eficiencia energética según criterios de estándares

Impacto ambiental embebido: De la misma manera que el criterio anterior, la clasificación de impacto ambiental embebido se aplica a las estrategias pasivas debido a que existen materiales con diferentes impactos embebidos que han de ser evaluados. Se plantean dos niveles de impacto ambiental embebido, bajo y alto, identificados con las letras *l* y *h* respectivamente (haciendo referencia a *l* de *low* y *h* de *high*). El nivel de impacto ambiental se mide según el indicador de GWP de las etapas de producción (etapas A1-3 de su ciclo de vida) previas al de construcción y uso de los materiales a emplear de cada estrategia.

Tabla 5. Niveles de impacto ambiental embebido de estrategias de renovación.

Código	Nivel de impacto ambiental embebido
l	Nivel de impacto ambiental bajo según el indicador GWP en las etapas de producción (A1-3)
h	Nivel de impacto ambiental alto según el indicador GWP en las etapas de producción (A1-3)

3.5.1. Restricciones en el caso de estudio

Una vez concretadas las estrategias generales se procederá a decidir cuáles son las que mejor se adaptan a la situación concreta del edificio a renovar, para ello se analizaran las restricciones que se presentan con cada estrategia.

- *Barreras geográficas y urbanísticas:* En el caso del presente caso de estudio, no existe ningún tipo de limitación orográfica, ni ningún tipo de restricción urbanística

- *Barreras físicas:* Las barreras físicas son aquellas que el tipo de construcción o la situación no permite realizarlas. En este caso el insuflado de aislamiento térmico no es posible realizar debido al limitado grosor de la cámara de aire.
- *Eficiencia energética:* Al tratarse de un edificio posterior a las primeras normativas energéticas (NBE CT-79), ya cuenta con un nivel de eficiencia energética básica, por lo que solo se plantearán las estrategias de eficiencia energética eficiente y avanzada.

3.5.2. Estrategias seleccionadas para el caso de estudio

Para el caso de estudio descartan estrategias según las restricciones del caso de estudio y se adaptan las estrategias viables según los criterios establecidos. Las estrategias seleccionadas se definen en la Tabla 6.

Tabla 6. Estrategias de renovación seleccionadas para el caso de estudio

Cod.	Tipo de estrategia	Nivel de eficiencia	Impacto embebido
A2h	Sustitución de las ventanas exteriores (a)	Eficiente (2)	Alto (h)
A2l	Sustitución de las ventanas exteriores (a)	Eficiente (2)	Bajo (l)
A3h	Sustitución de las ventanas exteriores (a)	Avanzado (3)	Alto (h)
A3l	Sustitución de las ventanas exteriores (a)	Avanzado (3)	Bajo (l)
C2h	Aislamiento interior de la fachada mediante trasdosado (c)	Eficiente (2)	Alto (h)
C2l	Aislamiento interior de la fachada mediante trasdosado (c)	Eficiente (2)	Bajo (l)
C3h	Aislamiento interior de la fachada mediante trasdosado (c)	Avanzado (3)	Alto (h)
C3l	Aislamiento interior de la fachada mediante trasdosado (c)	Avanzado (3)	Bajo (l)
D2h	Aislamiento exterior de la fachada mediante SATE (d)	Eficiente (2)	Alto (h)
D2l	Aislamiento exterior de la fachada mediante SATE (d)	Eficiente (2)	Bajo (l)
D3h	Aislamiento exterior de la fachada mediante SATE (d)	Avanzado (3)	Alto (h)
D3l	Aislamiento exterior de la fachada mediante SATE (d)	Avanzado (3)	Bajo (l)
E2h	Aislamiento exterior de la fachada mediante fachada ventilada (e)	Eficiente (2)	Alto (h)
E2h	Aislamiento exterior de la fachada mediante fachada ventilada (e)	Eficiente (2)	Bajo (l)
E2h	Aislamiento exterior de la fachada mediante fachada ventilada (e)	Avanzado (3)	Alto (h)
E2h	Aislamiento exterior de la fachada mediante fachada ventilada (e)	Avanzado (3)	Bajo (l)
F	Energía solar térmica individual sin acumulador para ACS	-	-
G	Energía solar térmica central con acumulador para ACS y Calefacción	-	-
H	Aerotermia individual para ACS	-	-
I	Aerotermia individual para ACS y Calefacción	-	-
J	Aerotermia central para ACS y Calefacción	-	-
K	Aerotermia con solar fotovoltaica central para ACS y Calefacción	-	-
L	Ejecución Amurrio (e + k)	-	-

a.) Sustitución de ventanas exteriores (Tipo a)

La primera estrategia consistirá en actuar en los huecos de las fachadas; tal y como se muestra en la Tabla 7, en este caso la intervención consistirá en sustituir las ventanas por otras más eficientes. Los niveles de eficiencia se distinguirán según el tipo de vidrio, el eficiente será el vidrio doble con baja emisividad, y como material avanzado el vidrio triple. La diferencia del impacto embebido consistirá en el material del marco, usando aluminio como material de alto impacto y la madera como material de bajo impacto.

Tabla 7. Especificaciones de las estrategias de tipo de sustitución de ventanas (a)

Estrategia	Marco	Vidrio
A2h	Aluminio eficiente (U = 1,9 W/m^2 K)	Doble bajo emisivo (U = 1,1 W/m^2 K)
A2l	Madera eficiente (U = 1,9 W/m^2 K)	Doble bajo emisivo (U = 1,1 W/m^2 K)
A3h	Aluminio avanzado (U = 0,8 W/m^2 K)	Triple (U = 0,6 W/m^2 K)
A3l	Madera avanzado (U = 0,8 W/m^2 K)	Triple (U = 0,6 W/m^2 K)

b.) Aislamiento interior de la fachada mediante trasdosado (Tipo c)

En las siguientes tres estrategias se propondrá actuar en el cerramiento opaco. La estrategia consiste en aislar las fachadas y cerramientos verticales que estén en contacto con el exterior añadiendo un trasdosado de yeso laminado sustentado con perfilería. Se emplean dos tipos de aislamiento, XPS y fibra de madera, de impacto embebido alto y bajo respectivamente, y los dos un con conductividad térmica de 0,040 W/m·K. En el caso de las estrategias de nivel de eficiencia energética eficiente (2) se dispondrá de 40 mm de espesor y para las estrategias avanzadas 100 mm (véase la Tabla 8). Hay que tener en cuenta que este tipo de estrategias genera puentes térmicos en las uniones de fachada y forjado.

Tabla 8. Especificaciones de las estrategias de tipo de aislamiento interior (c)

Estrategia	Aislamiento	Trasdosado
C2h	40 mm de XPS (λ = 0,040 W / m K)	Yeso laminado con perfilería
C2l	40 mm de fibra de madera (λ = 0,040 W / m K)	Yeso laminado con perfilería
C3h	100 mm de XPS (λ = 0,040 W / m K)	Yeso laminado con perfilería
C3l	100 mm de fibra de madera (λ = 0,040 W / m K)	Yeso laminado con perfilería

c.) Aislamiento exterior de la fachada mediante SATE (Tipo d)

En el tipo de estrategia de sistema de aislamiento térmico exterior (SATE) se aislará la fachada por el exterior, evitando los puentes térmicos en las uniones de estructura y fachada. Se emplean dos tipos de materiales para el aislamiento térmico XPS y fibra de madera, de impacto embebido alto y bajo respectivamente, y los dos un con conductividad térmica de 0,040 W/m·K; y de la misma manera, dos espesores, 40 mm y 100 mm, para las estrategias eficientes y para las estrategias avanzadas tal y como se muestra en la Tabla 9. La estrategia se remata anclando el aislamiento mecánicamente a la fachada existente y revistiéndolo con mortero hidrófugo en malla y mortero acrílico como revestimiento final.

Tabla 9. Especificaciones de las estrategias de tipo de aislamiento exterior SATE (d)

Estrategia	Aislamiento	Revestimiento
d2h	40 mm de XPS (λ = 0,040 W / m K)	Mortero hidrófugo + acrílico
d2l	40 mm de fibra de madera (λ = 0,040 W / m K)	Mortero hidrófugo + acrílico
d3h	100 mm de XPS (λ = 0,040 W / m K)	Mortero hidrófugo + acrílico
d3l	100 mm de fibra de madera (λ = 0,040 W / m K)	Mortero hidrófugo + acrílico

d.) Aislamiento exterior de la fachada mediante fachada ventilada (Tipo e)

Las estrategias basadas en aislamiento exterior de la fachada mediante fachada ventilada se plantean de la misma manera que la estrategia de tipo SATE, pero con acabado final mediante fachada ventilada de placas cerámicas sustentados por una subestructura metálica (véase la Tabla). En este caso también se utilizan diferentes aislamientos, con dos materiales y dos espesores.

Tabla 10. Especificaciones de las estrategias de tipo de aislamiento exterior mediante fachada ventilada (e)

Estrategia	Aislamiento	Revestimiento
e2h	40 mm de XPS (λ = 0,040 W / m K)	Placas cerámicas en subestructura
e2l	40 mm de fibra de madera (λ = 0,040 W / m K)	Placas cerámicas en subestructura
e3h	100 mm de XPS (λ = 0,040 W / m K)	Placas cerámicas en subestructura
e3l	100 mm de fibra de madera (λ = 0,040 W / m K)	Placas cerámicas en subestructura

e.) Energía solar térmica (Tipos F y G)

Las estrategias de integración de fuentes de energía renovable se basarán en la instalación de placas solares térmicas como apoyo al sistema existente de calentamiento. Las placas solares térmicas como energía renovable actuarán como apoyo a la caldera de gas actual. Se distinguirán dos sistemas (*f y g*), individual y centralizada. En el sistema individual, se instalarán colectores solares en la cubierta, equipadas con un termosifón donde se realizará el proceso de calentamiento de agua y este se conectará directamente con las calderas individuales para realizar el apoyo solamente para ACS. En las estrategias centralizadas, se instalará un conjunto de colectores en la cubierta y estas se unirán a un interacumulador de agua, el cual se instalará en una zona común. Esto servirá de la misma manera para el apoyo de las calderas actuales, solo que en este caso realizará el apoyo para ACS y calefacción.

Tabla 11. Especificaciones de las estrategias de tipo de energía solar térmica (f,g)

Estrategia	Colector solar	Intercambiador	Función
F	Placa solar térmica	Termosifón	Apoyo a ACS individual
G	Placa solar térmica	Interacumulador	Apoyo a ACS y calefacción central

f.) Aerotermia (Tipos H, I e J)

Para las estrategias activas se plantearan diferentes tipos de bombas de calor, en este caso de aerotermia (Tabla 12), con el fin de sustituir las calderas actuales. La diferencia principal entre los sistemas propuestas residirá en la potencia de cada una. Las individuales tienen menos potencia, pero se instalará una en cada vivienda como sustitución directa de las calderas actuales. Una servirá únicamente para ACS y la otra cubrirá tanto la demanda de ACS como la demanda de calefacción. La aerotermia central tendrá más potencia, ya que da servicio a todas las viviendas del edificio; también servirá tanto para ACS como para calefacción.

Tabla 12. Especificaciones de las estrategias de tipo de aerotermia (h, i, j).

Estrategia	Tipo de aerotermia
H	Aerotermia individual para ACS
I	Aerotermia individual para ACS y calefacción
J	Aerotermia central para ACS y calefacción

g.) Aerotermia con energía solar fotovoltaica (tipo k)

Se trata de la estrategia que combina la instalación activa de instalación de bomba de calor de aerotermia y la integración de fuente de energía renovable mediante placas solares fotovoltaicas para alimentar la bomba de calor, todo ello en un sistema centralizado. La instalación cubrirá la demanda de calefacción y ACS aprovechando la alta eficiencia energética de la bomba de calor generando un consumo bajo, y las placas fotovoltaicas cubrirán parte del consumo eléctrico de la bomba de calor.

Tabla 13. Especificaciones de las estrategias de tipo de aerotermia con energía solar fotovoltaica (k)

Estrategia	Tipo de aerotermia	Colector solar
K	Aerotermia central para ACS y calefacción	Placas solares fotovoltaicas

h.) Ejecución Amurrio (Tipo I)

Estrategia de rehabilitación de la envolvente, de las instalaciones térmicas y del sistema de paneles fotovoltaicos basados en el proyecto de ejecución.

3.6. Análisis ambiental y económico de cada estrategia de renovación desde una perspectiva de ciclo de vida

Acorde a los parámetros ya establecidos se ha calculado el impacto de cada estrategia de renovación en las diferentes etapas de su ciclo de vida. Los resultados del análisis se muestran, por una parte, pormenorizados por cada etapa del ciclo de vida analizados, y, por otra parte, como resultados globales del ciclo de vida completo calculado.

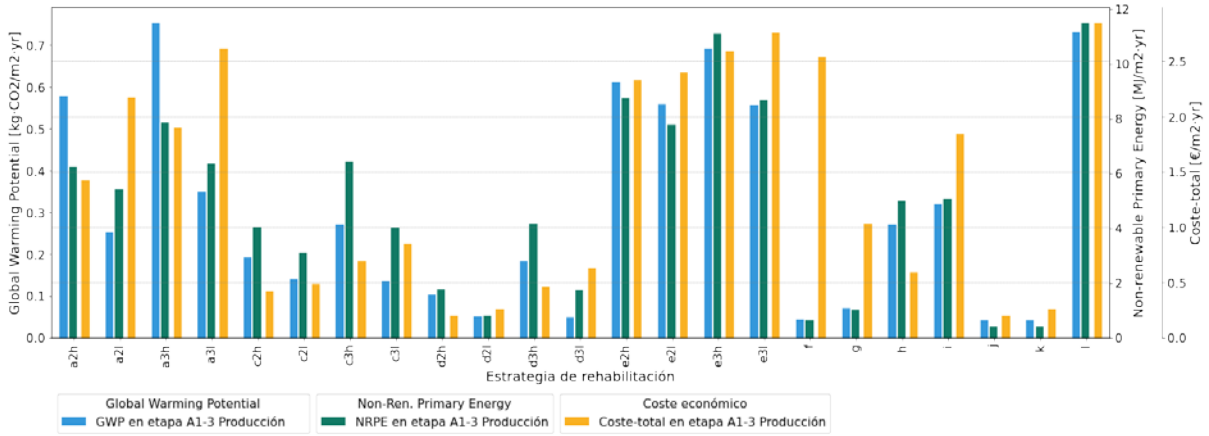
3.6.1. Resultados por etapas de ciclo de vida

Los resultados de cada etapa del ciclo de vida calculados se muestran mediante los indicadores GWP [kg·CO2/m^2·año] y NRPE [MJ/ m^2·año] para la evaluación ambiental y mediante el indicador de coste total [€/m^2·año] para la evaluación económica. Los resultados se muestran de manera gráfica, mostrando los impactos en cada etapa de en los indicadores mencionados.

a.) Etapa A1-3 - Producción

La etapa de producción (véase la Figura 8) presenta resultados muy variados para cada estrategia, siendo atribuibles a la producción de los materiales y sistemas a emplear en cada estrategia, y en la mayoría de casos un alto impacto ambiental también supone un alto impacto económico. Se aprecia claramente que los impactos más altos los generan las estrategias de sustitución de ventanas (estrategia a) y el aislamiento térmico exterior mediante fachada ventilada (estrategia e). En cambio, las estrategias activas (estrategias j y k) suponen un menor impacto en esta etapa inicial. También es importante apreciar la diferencia entra las estrategias pasivas con materiales con alto y bajo impacto ambiental (estrategias con sufijo h y l), generando un impacto menor las estrategias de bajo impacto ambiental, pero con un gasto económico mayor. Además, también es importante señalar que las estrategias basadas en la energía solar térmica (estrategias f y g) tienen un impacto ambiental relativamente bajo, pero un impacto económico muy alto. Por último, la estrategia proyectada en el caso de estudio (estrategia l) supone un impacto y coste de producción muy alto, ya que incluye la aplicación de aislamiento térmico exterior mediante fachada ventilada.

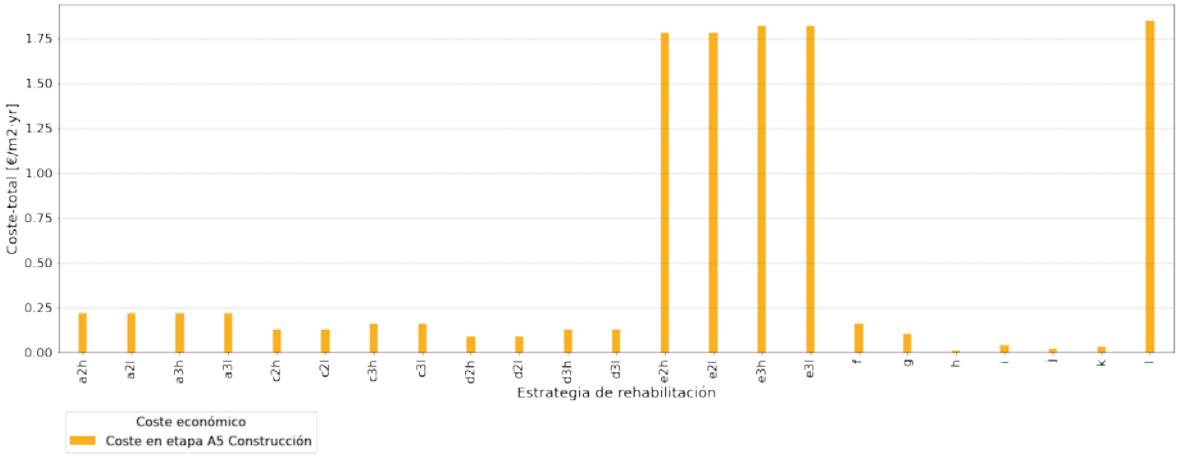
Figura 8. Impacto de cada estrategia de renovación en la etapa A1-3.



b.) Etapa A5 – Construcción

En la etapa de construcción (véase la Figura 9) solo se ha evaluado el ámbito económico. Casi todas las estrategias pasivas (estrategias a, b, c, d) suponen un coste relativamente bajo en comparación a la estrategia de fachada ventilada (estrategia e), que suponen un alto coste en la etapa deconstrucción debido a sus dificultades técnicas y la necesidad de utilizar varios medios auxiliares. En cuanto a las estrategias renovables y acticas, el coste de construcción se limita a la instalación y adecuación de instalaciones, por lo que suponen un gasto menor. En la estrategia proyectada (estrategia l) supone un alto coste de construcción, siendo la mayor parte correspondiente a la construcción de la fachada ventilada.

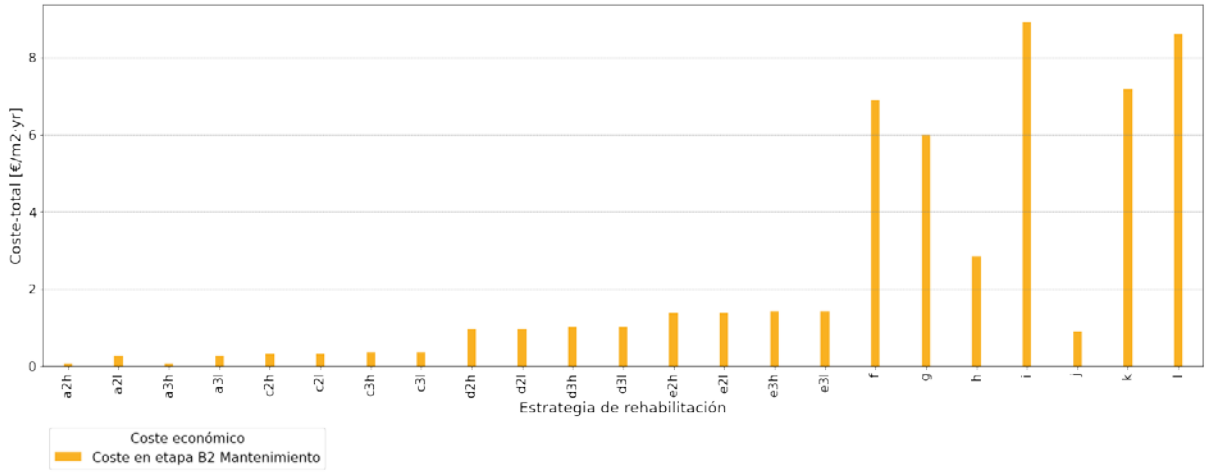
Figura 9. Impacto de cada estrategia de renovación en la etapa A5.



c.) Etapa B2 – Mantenimiento

La etapa de mantenimiento Figura 10 puede tener una gran influencia en el coste económico de algunas estrategias. Las estrategias pasivas suelen suponer un impacto económico bajo. En cambio, las estrategias activas individuales (estrategias f, h, i) suponen un alto coste, ya que las instalaciones individuales exigen un mantenimiento individualizado, multiplicando su coste en comparación a las instalaciones colectivas. Para las estrategias combinadas, incluyendo la estrategia proyectada, los costes de mantenimiento se disparan, debido al alto coste del mantenimiento de las instalaciones, costes a tener muy en cuenta.

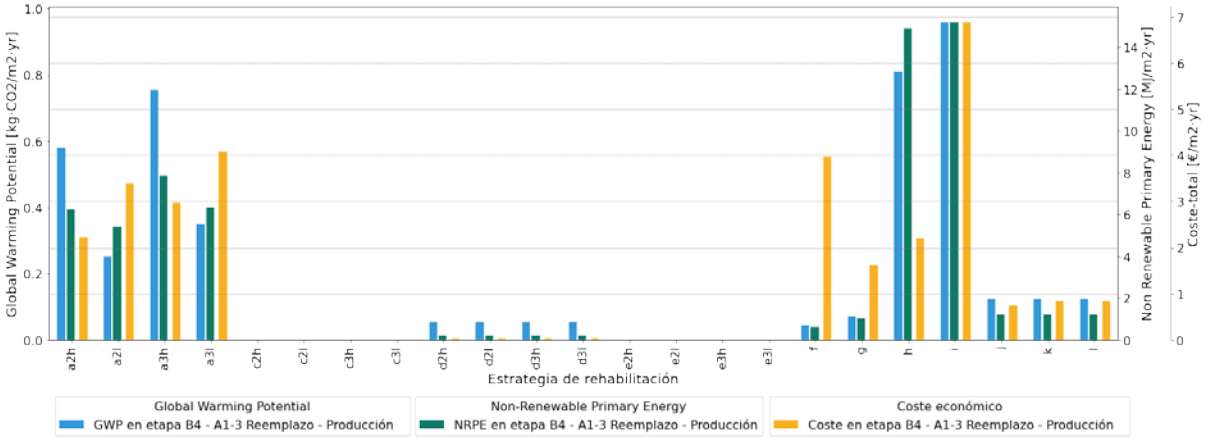
Figura 10. Impacto de cada estrategia de renovación en la etapa B2.



d.) Etapa B4 (A1-3) – Remplazamiento (Producción)

Algunas estrategias necesitan reemplazar algún material o sistema debido a su reducida vida útil en comparación con la vida útil del edificio, y en esta etapa se mide el impacto generado en la producción de los materiales y sistemas que han de ser reemplazados (véase la Figura 11). En cuanto a las estrategias pasivas, tan solo la sustitución de ventanas (estrategia a) supone un impacto importante ya que han de ser sustituidas completamente. En cuanto a las activas suponen un impacto importante a tener en cuenta, sobre todo en las estrategias de aerotermia individual (estrategias h, i) ya que hay que sustituir la bomba de calor cada 15 años, y de manera individual. En cuanto a la estrategia proyectada supone en mismo coste e impacto que la estrategia combinada de aerotermia con energía fotovoltaica, y relativamente bajo en comparación con estrategias activas individuales.

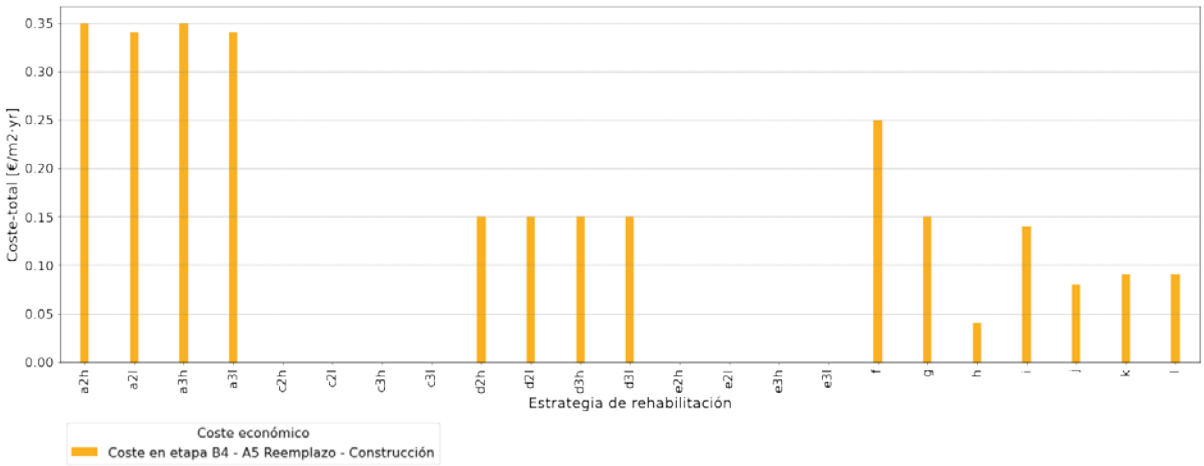
Figura 11. Impacto de cada estrategia de renovación en la etapa B4(A1-3).



e.) Etapa B4 (A5) – Remplazamiento (Construcción)

En la etapa de construcción las estrategias (véase la Figura 12) que suponen un impacto económico importante son las basadas en la sustitución de ventanas (estrategia a), pero en una medida menor debido a su bajo coste en comparación a las demás etapas. Las demás estrategias que exigen reemplazar materias o sistemas suponen un gasto relativamente bajo, como en el caso de la estrategia combinada, siendo el gasto de instalación de reemplazo de las bombas de calor cada 15 años y las placas solares fotovoltaicas cada 30 años.

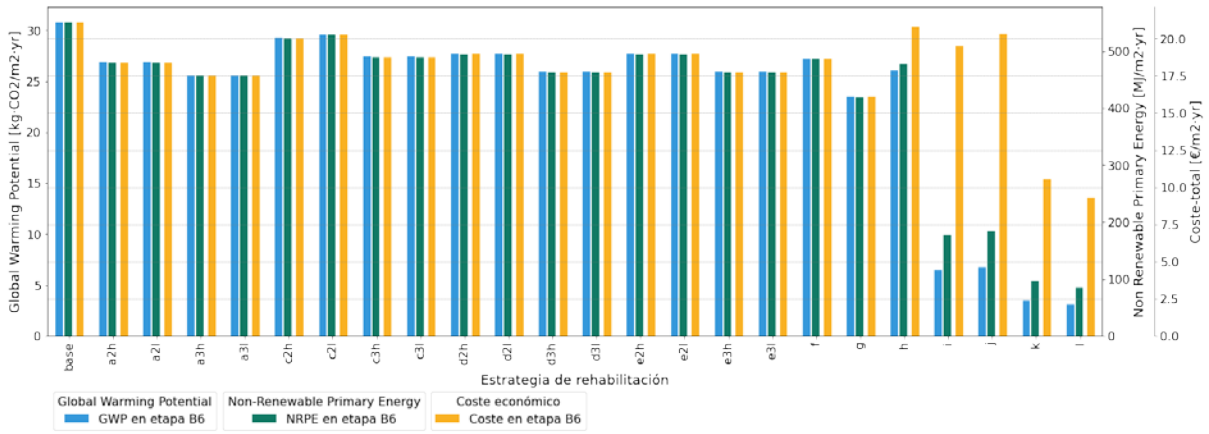
Figura 12. Impacto de cada estrategia de renovación en la etapa B4(A5).



f.) Etapa B6 – Uso operacional

La etapa de uso operacional de uso de energía es la etapa donde se generan los mayores impactos (véase la Figura 13). Se puede apreciar que todas las estrategias pasivas ofrecen una mejora, pero tampoco llegan a reducir de manera sustancial el impacto respecto a la situación inicial (base). Las estrategias activas y renovables suponen un ahorro de impacto ambiental muy importante pero tampoco ofrecen una mejora económica, incluso en algún caso, como es el de la estrategia de aerotermia individual para ACS (estrategia h) supone un gasto similar a la situación inicial, debido al precio de la electricidad que es mayor que el del gas (según parámetros de cálculo). Sin ninguna duda, la estrategia que combina las categorías renovables y activas obtiene unos impactos sustancialmente más bajos, siendo la estrategia más efectiva en la etapa operacional. La estrategia proyectada (estrategia l) supone incluso un mayor beneficio en esta etapa ya que se reduce la demanda energética mediante la medida pasiva de aislamiento de fachada.

Figura 13. Impacto de cada estrategia de renovación en la etapa B6.

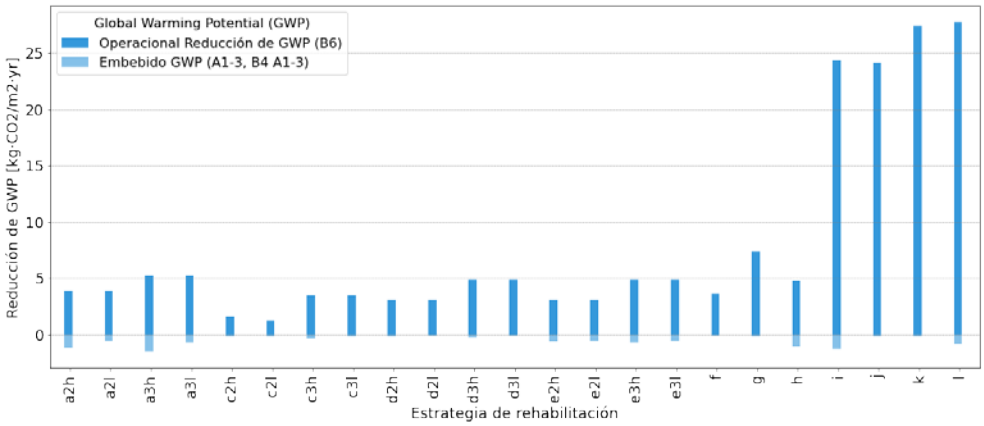


3.7. Interpretación de los resultados

Los resultados globales se muestran mediante el indicador GWP [kg·CO2/m^2·año] para la evaluación ambiental y mediante el indicador de coste total [€/m^2·año] para la evaluación económica. Los resultados están reflejados mediante gráficos, donde se representa en positivo la reducción del impacto de cada estrategia en la etapa de uso operacional (GWP y Coste total) y en negativo el impacto embebido producido en las etapas no operacionales. De esta manera es posible representar de manera positiva la reducción del impacto, y como negativo el impacto producido atribuido a la estrategia de renovación aplicada para cada escenario evaluado.

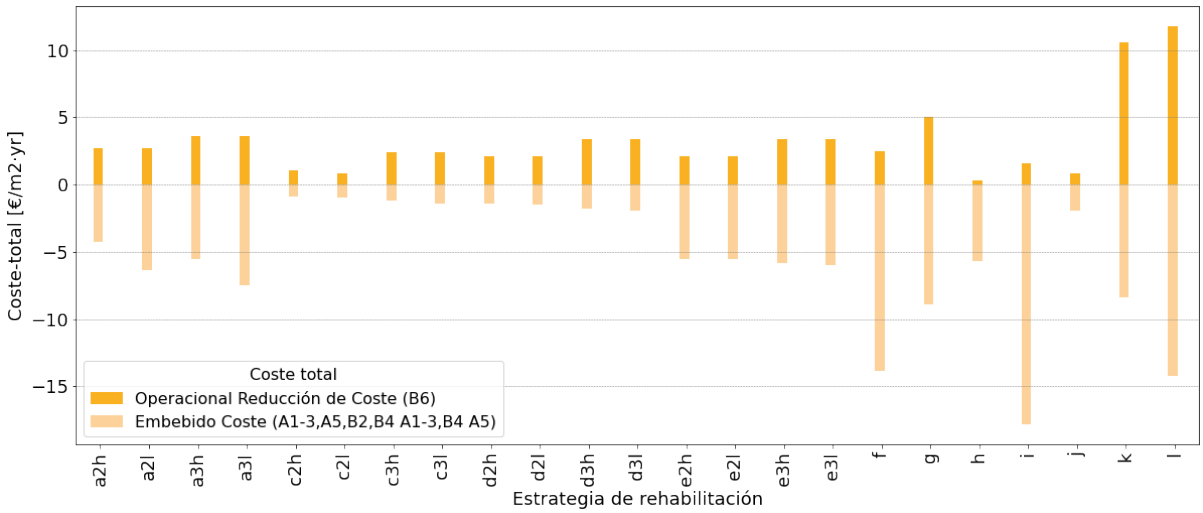
En cuanto al impacto ambiental los resultados muestran (véase la Figura 14) que en la mayoría de los casos la reducción de GWP operacional es mucho mayor respecto al generado por las etapas no operaciones. De esta manera se puede ver que la influencia del cálculo con perspectiva de ciclo de vida **no tiene una influencia significativa**, ya que en los métodos convencionales solo se calcula la etapa operacional. Al analizar las estrategias se puede ver que la mayoría de las estrategias activas (estrategias i, j, k, l) presentan un ahorro mucho mayor, siendo significativamente superiores en cuanto a la reducción de impacto ambiental según el indicador de GWP. También se puede apreciar que las estrategias pasivas (estrategias a, c, d, e) y renovables (estrategias f, g), aunque aporten una reducción de impacto menor, suponen una notable mejora. La estrategia proyectada (estrategia l), combinando medidas pasivas, activas y renovables, ofrece la mayor reducción da impacto ambiental en la etapa operacional, con un impacto relativamente bajo en las etapas no operaciones, siendo una estrategia muy efectiva desde el punto de vista del análisis ambiental.

Figura 14. Reducción del impacto ambiental respecto al escenario inicial considerando el ciclo de vida



En cuanto a la evaluación económica (véase la Figura 15) la **influencia de las etapas no operaciones es muy importante**, siendo en muchos casos superior a la reducción de costes atribuidos a la estrategia de renovación. En el caso de las estrategias pasivas tan solo las estrategias de aislamiento exterior mediante SATE y aislamiento interior (estrategias c y d) suponen un ahorro en la etapa operacional que el coste de las etapas no operacionales, y en el caso de las renovables y activas ninguna supone un balance positivo. En las estrategias pasivas de sustitución de ventanas (estrategias a) y fachada ventilada (estrategias e) suponen un mayor gasto que ahorro operacional derivado. En cuanto a las estrategias renovables, activas y combinadas coste embebido es mayor que el ahorro conseguido gracias a las estrategias de renovación, tal y como ocurre en la estrategia proyectada. Como resultado de la evaluación económica con perspectiva de ciclo de vida la estrategia proyectada por el proyecto par Amurrio refleja que debido a los altos costes de las etapas no operacionales de producción, instalación, reemplazo y mantenimiento la evaluación económica global resulta negativa. Es decir, el ahorro durante la etapa de uso será menor que el coste asociado a todas las otras etapas del ciclo de vida.

Figura 15. Reducción del impacto económico respecto al escenario inicial considerando el ciclo de vida.

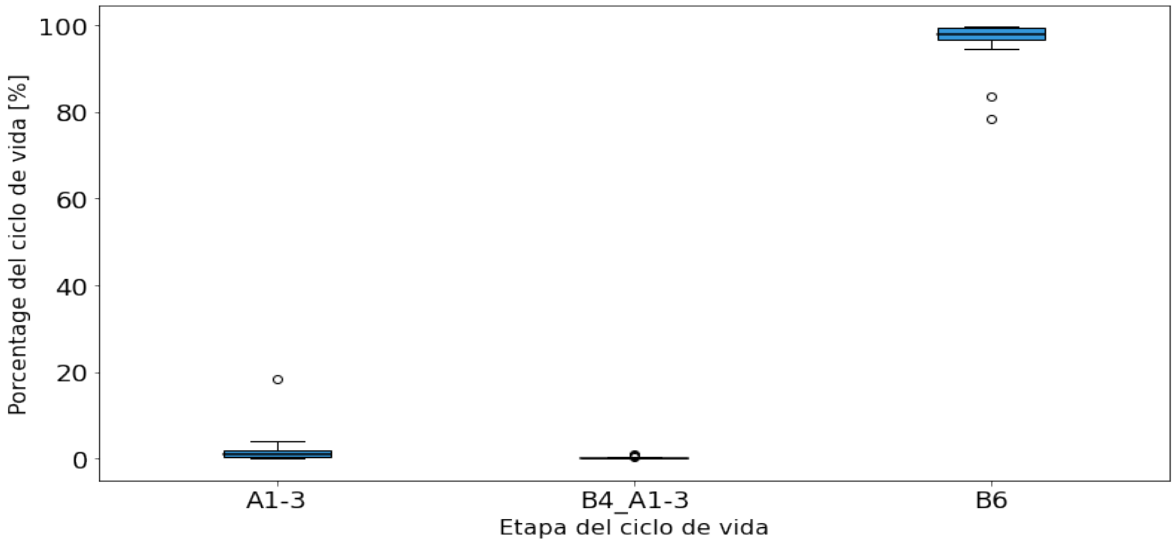


3.8. Influencia de la aplicación de la perspectiva de ciclo de vida el cálculo de impacto ambiental y coste económico

En el presente apartado se estudia la influencia de aplicar la perspectiva de ciclo de vida en el cálculo del impacto ambiental y coste económico de las renovaciones energéticas propuestas, comparando su aportación respecto al cálculo tradicional teniendo en cuenta exclusivamente de la etapa operacional, o excluyendo ciertas etapas del ciclo de vida. Es importante señalar que el estudio ya define los límites del sistema de evaluación excluyendo las etapas del ciclo de vida que influyen menos de un 1% en el resultado global acorde un anterior estudio [2]. Aun así, dentro de los límites del sistema de evaluación de ACV aplicados es importante cuantificar la influencia de cada etapa, pudiendo así medir la influencia de la aplicación del ACV. Para ello se ha calculado el porcentaje de cada etapa del ciclo de vida en cómputo global del ciclo de vida completo calculado para el impacto ambiental y para el coste económico.

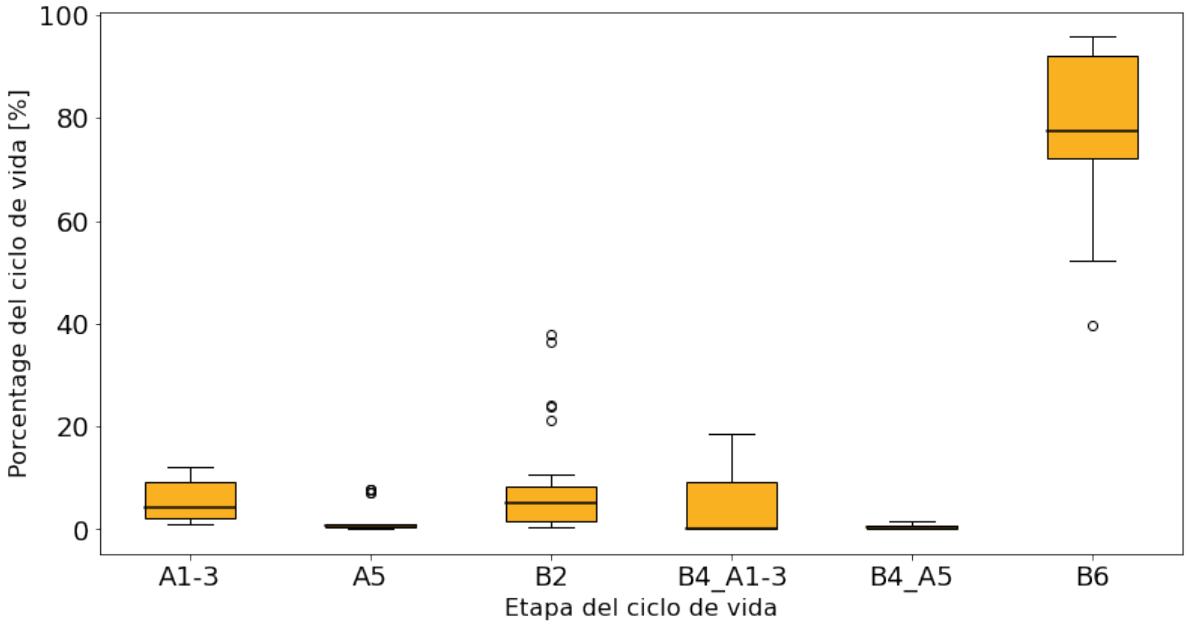
El análisis ambiental, se puede apreciar que la etapa de uso de energía operacional (B6) supone la mayor parte del impacto (véase la Figura 16), con un valor mediano del 98,03 % del impacto total calculado y con una desviación estándar del 5,23 %. En las estrategias que aportan mayor ahorro de la etapa operacional supone un mayor porcentaje, pero en comparación con la reducción proporcionada de la etapa operacional supone un impacto minoritario (véase la Figura 14).

Figura 16. Porcentaje de cada etapa del ciclo de vida en el impacto ambiental global de GWP.



En cambio, en el análisis económico la influencia de las etapas no operacionales es mayor (véase la Figura 17), situándose la mediana de la influencia de la etapa de uso de energía operacional (B6) en un 77,56 % con una desviación estándar del 13,24 %. En el caso del análisis comparativo entre el coste de uso de energía operacional respecto a los costes no operaciones se puede apreciar que el impacto no operacional es muy significativo siendo incluso superior al ahorro del coste operacional en algunas estrategias (véase la Figura 15). En cuanto a las etapas no operacionales, las etapas de producción (A1-3) y mantenimiento (B2) tienen una alta influencia en el coste global, siendo los valores medianos de 4,22 % y 5,12 % respectivamente. En cuanto a la etapa de producción de reemplazo (B4 A1-3) tienen un valor mediano bajo, el 0,15 % pero con valores superiores al 10 % en estrategias que necesitan el reemplazo de ciertos sistemas y materiales. En el caso de las etapas de construcción e instalación inicial (A5) y de reemplazo (B4 A5) suponen un bajo impacto, un 0,66 % y 0,60 % respectivamente, llegando a valores máximos entorno al 7 % en las estrategias como el de fachada ventilada.

Figura 17. Porcentaje de cada etapa del ciclo de vida en el coste económico global.



De esta forma se puede comprobar que la influencia de la perspectiva de ciclo de vida para el cálculo de impacto ambiental no es tan determinante, siendo incluso residual en la mayoría de los casos para edificios y estrategias planteadas en el estudio. En cambio, en el análisis económico supone una influencia muy importante, demostrando la importancia de aplicar el ACV económico en la evaluación de renovaciones de edificios. En el análisis puramente operacional el resultado estaría muy desviado, e incluso teniendo en cuenta las etapas iniciales de producción e instalación como se hace en la mayoría de las evaluaciones básicas se excluyen las etapas de mantenimiento (B2) y reemplazo (B4), por lo que incorporar la perspectiva de ciclo de vida puede suponer una mejora significante en el análisis económico.

Como resultado de este análisis, se puede demostrar que el análisis económico con perspectiva de ciclo de vida es muy determinante y en el caso del análisis ambiental no están determinante pero sí aporta un valor añadido para comprobar incluso ayudar en la priorización de estrategias de renovación

4. Conclusiones

4. Conclusiones

El análisis ambiental y económico con perspectiva de ciclo de vida planteado en el presente informe analiza el rendimiento ambiental y económico de estrategias de renovación de viviendas, aplicado en el caso de estudio de la promoción de Alokabide, Amurrio 21. El presente estudio sirve para evaluar el impacto de diferentes etapas del ciclo de vida del edificio y de las estrategias de renovación planteadas y puede servir como base hacia un modelo de economía circular en la renovación energética del parque edificado de Alokabide. De la misma manera, los resultados obtenidos sirven de guía para dirigir las tendencias de renovación del parque residencial público del País Vasco hacia un modelo más sostenible, tanto ambientalmente como económicamente. Además, el presente estudio puede ser replicable a edificios residenciales de características similares.

Para comenzar es importante poner en cuestión la relevancia del ACV, por lo que ¿tiene una relevancia importante el ACV en la evaluación de estrategias de renovación de edificios residenciales de estas características? Para empezar, el estudio no ha alcanzado la madurez para responder de una manera firme a esta pregunta, ya que han de ser estudiados otros tipos de indicadores que reflejan de una manera más estandarizada la mejora energética aportada por las estrategias de renovación y la rentabilidad de las inversiones económicas; aun así, se han obtenido indicios de la relevancia del ACV según el impacto de las diferentes etapas de ciclo de vida.

En cuanto al ACV en el ámbito ambiental, los resultados globales muestran que los impactos embebidos generados por las estrategias son minoritarios en comparación con la reducción de impacto en el uso operacional de la energía, por lo que el ACV ambiental no tiene una influencia importante a la hora de evaluar las estrategias de renovación. En cambio, los resultados de los impactos según el ACV económico muestran que en las etapas no operacionales existe un impacto importante, muchas veces mayor que la reducción del impacto operacional, por lo que el ACV económico es muy determinante.

Respecto a las estrategias de renovación, se aprecia que todas las estrategias aportan una mejora ambiental, aunque las estrategias activas son las que mejor rendimiento ambiental aportan. En cambio, en el ámbito económico puede verse que muchas estrategias generan un mayor impacto en las etapas no operacionales que el ahorro generado en la etapa operacional, por lo que, en cuanto a la evaluación puramente económica pueden no ser sostenibles.

4. Conclusiones

Aun así, algunas estrategias, como el aislamiento mediante SATE y el aislamiento interior, pueden aportar una reducción de impacto ambiental y económico; además, la estrategia basada en la instalación de aerotermia central con apoyo de energía fotovoltaica demuestra tener una reducción de impacto neto muy superior a las demás estrategias.

También es determinante señalar que el estudio ha tenido dificultades, y estas dificultades también muestran directrices a tener en cuenta para poder dirigir el proceso de renovación del parque residencial hacia un modelo sostenible. La principal dificultad ha sido la obtención de datos de calidad para evaluar las diferentes etapas del ciclo de vida, sobre todo en el ámbito ambiental. Los productos y sistemas a emplear en las estrategias de renovación no siempre cuentan con información veraz sobre los impactos que suponen las etapas previas a su uso como pueden ser la Declaración Ambiental de Producto (DAP). Por ello, el estudio ve necesario hacer uso, en la medida de lo posible, de estrategias de renovación con materiales y sistemas que cuentes con datos sobre sus impactos con perspectiva de ciclo de vida como la DAP.

Como conclusión, el estudio ya ha sido capaz de obtener los primeros indicios de la relevancia del ACV en la evaluación de las estrategias de renovación hacia un modelo sostenible. Por una parte, se muestra que la relevancia del ACV ambiental no es muy relevante, pero que el ACV económico aporta un valor importante. Por otra parte, se ha demostrado que todas las estrategias aportan la reducción del impacto ambiental neta, pero también se identifican ciertas estrategias que tienen un impacto económico neto mayor; otras estrategias en cambio aportan una reducción de impactos tanto ambiental como económico. Así mismo, las dificultades identificadas en la investigación aportan directrices a tener en cuenta como es la importancia de emplear estrategias con información sobre los impactos generados.

5. Pautas a seguir por parte de Alokabide en relación a la economía circular

5. Pautas a seguir por parte de Alokabide en relación a la economía circular

Alokabide, como entidad pública, es un actor clave dentro de la descarbonización del parque edificatorio de la CAPV. Aunque la normativa vigente no lo exija, a corto plazo esta perspectiva global de evaluar el comportamiento ambiental – económica del edificio formará parte de cualquier toma de decisión en nueva edificación o en proyectos de rehabilitación que gestione Alokabide.

Ante esta situación de transición, Alokabide podría evaluar la integración de nuevos requisitos en sus licitaciones, lo cual sería un paso inicial para los proyectos edificatorios vayan integrando una perspectiva global en su proceso de diseño.

De momento, son cinco los posibles puntos que podrían ser integrados dentro de las directrices técnicas de los proyectos que gestione Alokabide:

- (1) intentar que los principales materiales o sistemas del edificio cuenten con su declaración ambiental del producto (DAP) para que de esa forma se pueda llevar a cabo un estudio más preciso;
- (2) priorizar el uso de materiales / sistemas cuyo valor de “vida útil” sea el mayor posible;
- (3) a la hora de priorizar entre los diferentes materiales con prestaciones técnicas similares (aislamientos, marcos…), junto a aspectos económicos o estéticos, también integrar el criterio del impacto ambiental;
- (4) priorizar el uso de materiales / sistemas renovables, reciclados y/o reciclables;
- (5) priorizar el uso de materiales regionales.

6. Referencias

6. Referencias

[1] Ecoinvent, “Swiss Centre for Life Cycle Inventories,” 2014.

[2] X. Oregi, P. Hernandez, and R. Hernandez, “Analysis of life-cycle boundaries for environmental and economic assessment of building energy refurbishment projects,” *Energy Build.*, vol. 136, pp. 12–25, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.11.057.

[3] T. Ramesh, R. Prakash, and K. K. Shukla, “Life cycle energy analysis of buildings: An overview,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1592–1600, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.007.

[4] J. B. Guinée *et al.*, “Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards,” 2001. [Online]. Available: http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht013470560.pdf

[5] IPCC, “Intergovermmental Panel on Climate Change - Summary for Policymakers,” 2013.

[6] X. Oregi, R. J. Hernández, and P. Hernandez, “Environmental and Economic Prioritization of Building Energy Refurbishment Strategies with Life-Cycle Approach,” *Sustainability*, vol. 12, no. 9, p. 3914, May 2020, doi: 10.3390/su12093914.

[7] “Design Builder simulation tool.” [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/

[8] U.S. Department of Energy’s (DOE) Building Technologies Office (BTO), “Energy Plus Energy simulation tool.” [Online]. Available: https://energyplus.net/

[9] ASHRAE, “International Weather Files for Energy Calculations 2.0 (IWEC2).” [Online]. Available: https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2

[10] G. Bennett, S. Watson, G. Wilson, and T. Oreszczyn, “Domestic heating with compact combination hybrids (gas boiler and heat pump): A simple English stock

model of different heating system scenarios," *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 43, no. 2, pp. 143–159, 2022, doi: 10.1177/01436244211040449.

[11] REE, "Balance energético," 2022.

[12] Eurostat, "Electricity and gas prices for household consumers," 2019.

[13] OMIE, "Precio del mercado diario," 2022.

[14] Ministerio de Fomento (España), "Documento Básico HE Ahorro de Energía 2019," *Código Técnico la Edif.*, pp. 1–129, 2019.

[15] Passive House Institute, "Passive House."