

Treballs beneficiaris dels ajuts per al suport a la recerca en canvi climàtic a l'AMB

Valoració ambiental de la rehabilitació energètica de les zones menys eficients de l'AMB mitjançant ACV

Sergio García Pérez

Título

Valoración ambiental de la rehabilitación energética
de las zonas menos eficientes del AMB mediante ACV
*Valoració ambiental de la rehabilitació energètica
de les zones menys eficients de l'AMB mitjançant ACV*

Convocatoria

Ajuts per a la recerca en matèria de canvi climàtic 2015-2016

Autor

Sergio García-Pérez, Universidad de Zaragoza

Tutores académicos

Jesús Boschmonart-Rives, Sostenipra – Inèdit Innovació
Jorge Sierra-Pérez, Centro Universitario de Defensa de Zaragoza

Tutor AMB

Gil Lladó Morales

Responsable convocatoria AMB

Ana Romero Càlix

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer este trabajo al Área Metropolitana de Barcelona, ya que dentro de la Convocatòria dels *Ajuts per a la recerca en matèria de canvi climàtic 2015-2016* ha financiado el estudio que en este informe se presenta. En especial a Gil Lladó Morales y Ana Romero Càlix, por supervisar el trabajo, y asegurar la calidad y utilidad del mismo a la institución para la que trabajan.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a Jesús Boschmonart-Rives y Jorge Sierra-Pérez, por saber guiar de una forma tan eficaz tanto técnica como moralmente este estudio.

Por supuesto, a mis compañeros de la Universidad de Zaragoza, por demostrar su interés y por su ayuda con las dudas del día a día, en especial a Marta Monzón Chavarrías.

Por último, a mis padres, hermana y amigos, por ser la base sobre la que construir mi trabajo y persona día a día.

Índice

Agradecimientos	II
Índice	V
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	IX
Índice de abreviaturas	XI
1. Introducción	1
1.1 Interés de la investigación	1
1.2 Marco de desarrollo del estudio	2
1.3 Estudios relacionados	2
1.3.1 Metodologías nacionales realizadas.....	2
1.3.2 SIG como herramienta para metodologías <i>bottom-up</i>	3
1.3.3 SIG y ACV en la literatura.....	4
1.4 Objetivos de la investigación	5
2. Metodología	7
2.1 Definición del caso de estudio	9
2.1.1 Localización geográfica	9
2.1.2 Ámbito de estudio	10
2.2 Caracterización de la edificación	10
2.2.1 Obtención y normalización de datos.....	10
2.2.2 Caracterización cualitativa	11
2.2.3 Caracterización cuantitativa.....	13
2.3 Cálculo de análisis de ciclo de vida de rehabilitación en edificios	14
2.3.1 Descripción y límites del sistema.....	14
2.3.2 (i) Localización geográfica	16
2.3.3 (ii) Tipo de solución constructiva: rehabilitación de fachada incluidas en el estudio	16
2.3.4 (ii) Tipo de solución constructiva: rehabilitación de cubiertas incluidas en el estudio	17
2.3.5 (iii) Tipos de aislamiento térmico	18
2.3.6 (iv) Año de construcción de los edificios.....	18
2.3.7 Cálculo del espesor de Aislamiento térmico para cada uno de los escenarios de rehabilitación.	19
2.3.8 Unidad declarada resultante	20
2.4 Extrapolación de resultados a nivel AMB	21
3. Resultados y discusión	23
3.1 Caracterización de la edificación residencial del AMB	23
3.1.1 Caracterización según año de construcción	23
3.1.2 Caracterización según morfología urbana	25
3.2 Análisis de ciclo de vida de las soluciones constructivas de rehabilitación	28
3.2.1 Fachadas	28
3.2.2 Cubiertas	29
3.3 Extrapolación directa de resultados a nivel AMB	30
3.3.1 Extrapolación de impactos por morfologías urbanas en términos absolutos	30
3.3.2 Extrapolación de impactos por morfologías urbanas en términos relativos	31
3.4 Extrapolación mediante valoración escenarios a nivel AMB	32

3.4.1	Capacidad real del corcho como material aislante	32
3.5	Análisis de sensibilidad	35
3.5.1	Sensibilidad de la variable “número de plantas”	35
3.5.2	Sensibilidad de la variable “porcentaje de huecos”	35
4.	Conclusiones	37
5.	Divulgación	39
6.	Referencias	41
7.	Anexo 1.....	45

Índice de figuras

FIGURA 1. CARACTERIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN EL INFORME GTR (CUCHÍ & SWEATMAN, 2011)	2
FIGURA 2. CARACTERIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN EL ATLAS DE EDIFICACIÓN RESIDENCIAL (MINISTERIO DE FOMENTO, 2016)	3
FIGURA 3. CARACTERIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL SEGÚN ESTUDIO DE TEJIDOS DE LA EDIFICACIÓN DEL AMB (DIRECCIÓ DE SERVEIS AMBIENTALS DE L'AMB, 2015)	4
FIGURA 4. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO ACV - GIS	5
FIGURA 5. ESQUEMA DE METODOLOGÍA DE TRABAJO EMPLEADA	8
FIGURA 6. EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA EN EL TERRITORIO ESPAÑOL.	9
FIGURA 7. MUNICIPIOS INTEGRANTES DEL AMB	9
FIGURA 8. ÁMBITO DE ESTUDIO	10
FIGURA 9. MORFOLOGÍAS URBANAS CONSIDERADAS	12
FIGURA 10. DESCRIPCIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA	14
FIGURA 11. DIAGRAMA DEL SISTEMA DEL CICLO DE VIDA DE LA SUPERFICIE ENVOLVENTE.	15
FIGURA 12. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE FACHADA ESCOGIDAS	17
FIGURA 13. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE CUBIERTA ESCOGIDAS	18
FIGURA 14. PORCENTAJE DE SUPERFICIE ENVOLVENTE SEGÚN AÑO DE CONSTRUCCIÓN POR MUNICIPIOS	23
FIGURA 15. MAPA DE AÑO DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA	24
FIGURA 16. PORCENTAJE DE SUPERFICIE ENVOLVENTE SEGÚN MORFOLOGÍA URBANA POR MUNICIPIO	25
FIGURA 17. MAPA DE MORFOLOGÍA URBANA	26
FIGURA 18. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE 1 M ² DE REHABILITACIÓN DE FACHADA	28
FIGURA 19. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE 1 M ² DE REHABILITACIÓN DE CUBIERTAS	30
FIGURA 20. RELACIÓN ENTRE SUPERFICIE ENVOLVENTE Y Nº VIVIENDAS SEGÚN MORFOLOGÍA URBANA	32
FIGURA 21. ESCENARIOS DE REHABILITACIÓN SEGÚN MORFOLOGÍA URBANA	34
FIGURA 22. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES "NÚMERO DE PLANTAS" Y "PORCENTAJE DE HUECOS"	36

Índice de tablas

TABLA 1. CATEGORÍAS DE ESTUDIO: FUENTE Y ALCANCE DE LOS DATOS UTILIZADOS	11
TABLA 2. CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE LA ENVOLVENTE.....	13
TABLA 3. PORCENTAJE DE HUECOS SOBRE FACHADA, SEGÚN MORFOLOGÍA URBANA	14
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DEL SISTEMA	15
TABLA 5. VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES EN FUNCIÓN DE LAS FASES DEL CICLO DE VIDA..	15
TABLA 6. VALORES DE TRANSMITANCIA ESTIMADAS Y OBJETIVOS PARA ZONA CLIMÁTICA “C”, SEGÚN AÑO DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS.	18
TABLA 7. VALORES DE TRANSMITANCIA ESTIMADAS Y OBJETIVOS PARA ZONA CLIMÁTICA “C”, SEGÚN AÑO DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS.	19
TABLA 8. UNIDAD DECLARADA (KG) REQUERIDA DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR SOLUCIÓN DE FACHADA Y AÑO DE CONSTRUCCIÓN PARA LOGRAR LA RESISTENCIA TÉRMICA REQUERIDA EN LA ZONA CLIMÁTICA “C”.....	20
TABLA 9. UNIDAD DECLARADA (KG) REQUERIDA DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR SOLUCIÓN DE CUBIERTA Y AÑO DE CONSTRUCCIÓN PARA LOGRAR LA RESISTENCIA TÉRMICA REQUERIDA EN LA ZONA CLIMÁTICA “C”.....	20
TABLA 10. PORCENTAJE SUPERFICIE ENVOLVENTE SEGÚN AÑO DE CONSTRUCCIÓN POR MUNICIPIOS	23
TABLA 11. PORCENTAJE DE SUPERFICIE ENVOLVENTE SEGÚN MORFOLOGÍA URBANA POR MUNICIPIO (RESUMEN)	25
TABLA 12. PORCENTAJE DE SUPERFICIE ENVOLVENTE SEGÚN MORFOLOGÍA URBANA POR MUNICIPIO (DETALLE).....	27
TABLA 13. IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES DE 1 M ² DE REHABILITACIÓN DE FACHADA.....	29
TABLA 14. IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES DE 1 M ² DE REHABILITACIÓN DE CUBIERTA.....	29
TABLA 15. RELACIÓN ENTRE SUPERFICIE ENVOLVENTE Y Nº DE VIVIENDAS SEGÚN MORFOLOGÍA URBANA.	31
TABLA 16. ESCENARIO DE REHABILITACIÓN. PRODUCCIÓN DE 7.600 TONELADAS DE CORCHO / AÑO	33
TABLA 17. IMPACTOS ABSOLUTOS POR MORFOLOGÍA URBANA (GWP).....	47
TABLA 18. IMPACTOS ABSOLUTOS POR MORFOLOGÍA URBANA (GWP BIOGÉNICO).....	48
TABLA 19. IMPACTOS ABSOLUTOS POR MORFOLOGÍA URBANA (ENERGÍA EMBEBIDA).....	49
TABLA 20. IMPACTOS RELATIVOS POR MORFOLOGÍA URBANA (GWP/VIVIENDA).....	50
TABLA 21. IMPACTOS RELATIVOS POR MORFOLOGÍA URBANA (GWP BIOGÉNICO/VIVIENDA).....	51
TABLA 22. IMPACTOS RELATIVOS POR MORFOLOGÍA URBANA (ENERGÍA EMBEBIDA/VIVIENDA).....	52

Índice de abreviaturas

ACV

Análisis de Ciclo de Vida, 15

AIE

Aislamiento por el Interior del Edificio, 16

AMB

Área Metropolitana de Barcelona, 5, 21, 23, 30

EE

Embodied Energy, 15, 28, 29

FV

Fachada Ventilada, 16

GBCe

Green Building Council España, 1

GEI

Gases de Efecto Invernadero, 1

GHFS

Gross Heated Façade Surface, 13, 14

GTR

Grupo de Trabajo de Rehabilitación, 1

GWP

Global Warming Potential, 15, 28, 29

HFA

Heated Floor Area, 13

MHH

Medium Heated Height, 13

NHFS

Net Heated Façade Surface, 14

SATE

Sistema Aislamiento Térmico por el Exterior, 16, 28

UD

Unidad Declarada, 15

1. Introducción

1.1 Interés de la investigación

La Unión Europea a través del Programa Marco Horizonte 2020 (European Comission, 2010) manifiesta su interés en la investigación de las grandes cuestiones que afectan a los ciudadanos europeos entre las que se incluye el medio ambiente y la eficiencia en el uso de los recursos y las materias primas, así como la generación de sociedades más inclusivas e innovadoras. De estos objetivos se deriva la transformación del sistema productivo hacia la denominada economía baja en carbono. Además, las previsiones de aumento de población en las áreas urbanas ponen de manifiesto que este reto definido por la Unión Europea se producirá en gran medida en nuestras ciudades (UN - Population Division, 2015)

La transformación hacia una economía baja en carbono supone una oportunidad para las ciudades, donde el parque inmobiliario juega un papel esencial en la misma (Rode & Burdett, 2011), ya que concentra gran parte de los consumos energéticos.

En el caso del parque inmobiliario español la sostenibilidad y eficiencia del mismo ha centrado un extenso número de estudios publicados por entidades de muy diversa índole y con objetivos muy diversos. Entre los más destacados se encuentran los desarrollados por el Ministerio de Fomento a través de los Atlas de Vulnerabilidad Urbana y Atlas de la Edificación Residencial (Hernández Aja et al., 2015; Ministerio de Fomento, Instituto Juan de Herrera, & Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio IJH/ETSAM, 2013), o los que promueve el Green Building Council España (GBCe), a través del Grupo de Trabajo Rehabilitación (GTR) (Cuchí & Sweatman, 2011), todos ellos realizados en base a los datos que disponen los censos de Población y Vivienda.

Estos datos, actualizados en el censo de 2011, ponen de manifiesto que el 54% de las viviendas¹ del parque residencial edificado español se construyó con anterioridad a 1980, cuando todavía no existía ninguna normativa básica de utilización de aislamiento térmico en la construcción. Sabiendo que en 2006 las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector residencial por consumo de energía fueron de alrededor de 60 millones de toneladas de CO₂ (Cuchi & Pages, 2007), queda claro que uno de los retos para la integración de las ciudades en una economía baja en carbono debe ser la reducción de la dependencia energética del sector residencial.

Además, recientes estudios (Pombo, Allacker, Rivela, & Neila, 2016; Rodrigues & Freire, 2014) justifican la necesidad de tener en cuenta una nueva perspectiva incluyendo el ciclo de vida en la rehabilitación residencial.

El trabajo desarrollado investiga por tanto en primer lugar, en el desarrollo de un modelo de caracterización de la edificación energéticamente más vulnerable. Posteriormente analiza desde la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) las soluciones de rehabilitación de superficie envolvente más comunes. Por último, se calculan los impactos de rehabilitar diferentes soluciones constructivas a una escala territorial, para facilitar la toma de decisiones a los agentes políticos en materia de rehabilitación edificatoria.

¹ El cálculo se ha realizado teniendo en cuenta las viviendas principales y no principales en el ámbito nacional, según los datos del Censo de Población y Viviendas de 2011.

1.2 Marco de desarrollo del estudio

El presente trabajo se enmarca dentro de las líneas de investigación llevadas a cabo por Sostenipra en el ámbito del uso de materiales naturales como aislantes para el sector de la construcción, llevada a cabo por Jorge Sierra-Pérez (Sierra-Pérez, Boschmonart-Rives, Dias, & Gabarrell, 2016; Sierra-Pérez, Boschmonart-Rives, & Gabarrell, 2015, 2016; Sierra-Pérez, Boschmonart-Rives, Guillén-Lambea, Rodríguez-Soria, & Gabarrell, 2015), que caracteriza, evalúa y propone mejoras en el sector del corcho, muy presente en el sistema productivo catalán.

1.3 Estudios relacionados

Se ha realizado un análisis de las principales características de los principales estudios llevados a cabo hasta la fecha en materia de caracterización de edificación.

1.3.1 Metodologías nacionales realizadas

En el contexto español se han llevado a cabo investigaciones y herramientas de caracterización del parque edificado. Destaca el trabajo realizado por el GTR (Cuchí & Sweatman, 2011), en el que a través de una metodología que parte de los datos estadísticos nacionales, en combinación con otros del censo de población y viviendas, establece los retos principales del sector de la edificación, así como la edificación energéticamente más vulnerable (Figura 1).

Número de viviendas principales, según año de construcción, número de viviendas en el edificio, dimensión del núcleo de población y plantas sobre rasante del edificio

		1			≥ 2			Nº de viviendas
		< 10.000 h	10.000 - 100.000 h	> 100.000 h	< 10.000 h	10.000 - 100.000 h	> 100.000 h	
< 1960	1 - 3	1.257.020	269.136	118.483	301.546	177.826	148.985	A
	≥ 4	593	428	356	135.609	384.999	1.114.148	B
1960 - 1980	1 - 3	834.558	251.277	67.753	358.810	211.583	97.215	C
	≥ 4	859	527	388	406.082	1.281.739	2.577.719	D - E - F
1981 - 2001	1 - 3	1.123.581	358.605	101.816	402.281	232.208	87.126	G - H
	≥ 4	1.479	1.272	1.151	281.421	668.525	869.166	I - J

Año de construcción Plantas sobre rasante Hotspots

Fuente y año de referencia: Censo de Población y Viviendas 2001.

Figura 1. Caracterización de la edificación según el Informe GTR (Cuchí & Sweatman, 2011)²

Utilizando los censos de población y viviendas destacan las herramientas desarrolladas por el Ministerio de Fomento (2016). Tanto el Atlas de Vulnerabilidad urbana, como el

² La gráfica muestra el número de viviendas, según año de construcción, dimensión del núcleo y plantas sobre rasante. Los resultados aparecen a escala nacional, siendo la edificación más vulnerable aquella construida entre 1960 y 1980, plurifamiliar, de grandes municipios y de más de 4 plantas de altura. En gran parte quedan incluidos aquí los denominados Polígonos de Vivienda (Housing Estates), estudiados por diversos autores, como F. Wassenberg (2012)

Atlas de la Edificación residencial (Figura 2), desarrollados ambos por el Instituto Juan de Herrera para Fomento (Ministerio de Fomento, 2015a, 2015b), presentan una gran cantidad de información útil para la caracterización de la edificación residencial con una escala mínima de Sección Censal.

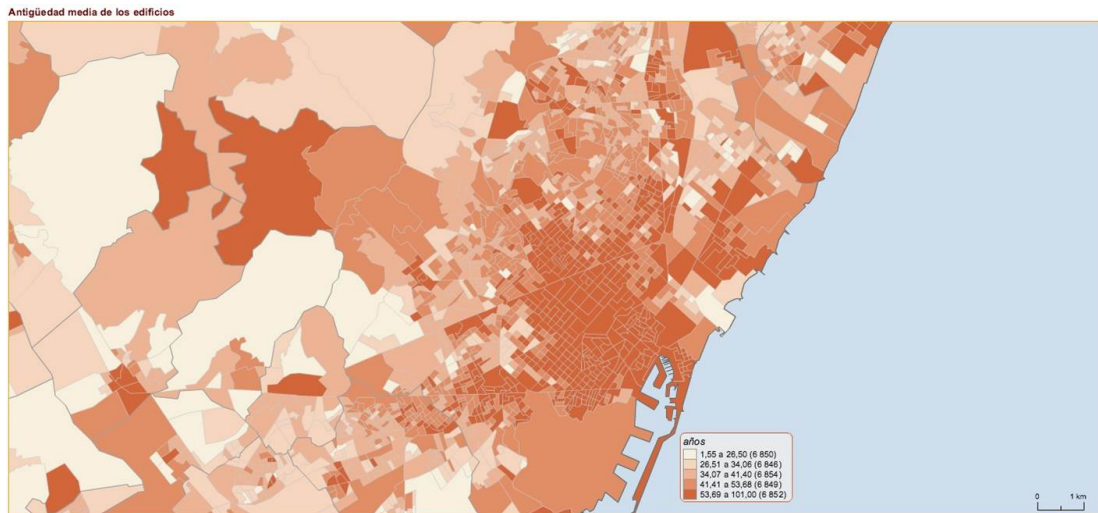


Figura 2. Caracterización de la edificación según el Atlas de Edificación Residencial (Ministerio de Fomento, 2016)

Sin embargo, las últimas metodologías del censo de población y viviendas, llevadas a cabo para el muestreo de 2011, ponen de manifiesto problemas en una escala de caracterización más detallada (Bermejo Aguña, 2014). Por lo tanto, resulta interesante buscar nuevos modelos de caracterización basados en datos fácilmente actualizables y accesibles.

Según los estudios realizados por L. Swan y V. Ugursal (2009), sobre modelos de caracterización de la edificación, son interesante los modelos *bottom-up*, que aunque parten de una mayor cantidad de datos, poseen la ventaja de partir de la unidad de análisis más pequeña. Sin embargo, el acceso a la información se produce ahora de forma más sencilla, y el manejo de gran cantidad de datos puede simplificarse gracias al uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, o las bases de datos.

1.3.2 SIG como herramienta para metodologías *bottom-up*

La utilización de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica está siendo muy utilizada con el fin de caracterizar el stock inmobiliario, por las posibilidades que el desarrollo de un modelo geoespacial ofrece, así como la facilidad en la actualización y manejo de datos.

Recientemente, un estudio caracteriza la edificación residencial de Londres a través de estas herramientas con el fin de conocer la demanda energética de la edificación a escala urbana (Mavrogianni, Davies, Kolokotroni, & Hamilton, 2009). En el mismo se desarrolla un modelo edificio a edificio que se caracteriza en función de la edad de la edificación a través de arquetipos.

Con el objetivo también de obtener la eficiencia energética a escala urbana, el trabajo realizado por Österbring et al., (2014) se basa también en la generación de un modelo geoespacial en el que los atributos de cada edificación se atribuyen a través de arquetipos.

Es el trabajo de A. Mastrucci et al. (2015) uno de los primeros que relaciona las metodologías *bottom-up* con escala edificio a edificio con la rehabilitación de edificios a

escala urbana. La metodología que desarrolla, aplicado al caso de Luxemburgo, se ajusta a la casuística y obtención de datos propia del contexto en el que trabaja.

Por último, cabe destacar la reciente publicación de la Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB (2015), donde se utiliza un modelo geoespacial de caracterización de la edificación bottom-up, con el fin de obtener la caracterización de la edificación residencial desde una perspectiva energética (Figura 3).

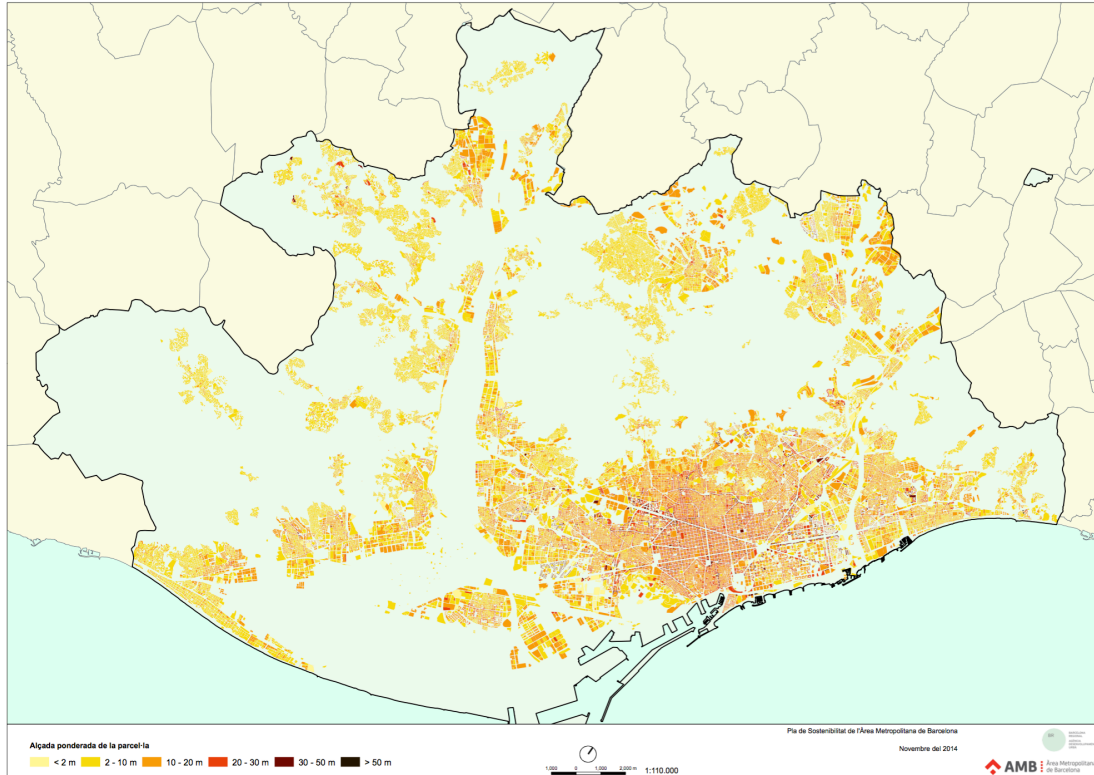


Figura 3. Caracterización de la edificación residencial según Estudio de Tejidos de la Edificación del AMB
(Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB, 2015)

1.3.3 SIG y ACV en la literatura

Una búsqueda en la colección principal de la Web of Science (WOS) se ha llevado a cabo con el fin de identificar cuáles han sido los principales campos de investigación sobre ACV, combinándose con herramientas SIG. Para ello, se utilizó una consulta en el que GIS (o SIG) y LCA (o ACV) eran palabras clave, utilizando el operador AND, sin límites temporales ni geográficos, obteniendo como resultado 49 entradas, de las cuales se desecharon 8, al no corresponder las siglas GIS y LCA a los campos de estudio esperados.

Bibliografía ACV - SIG

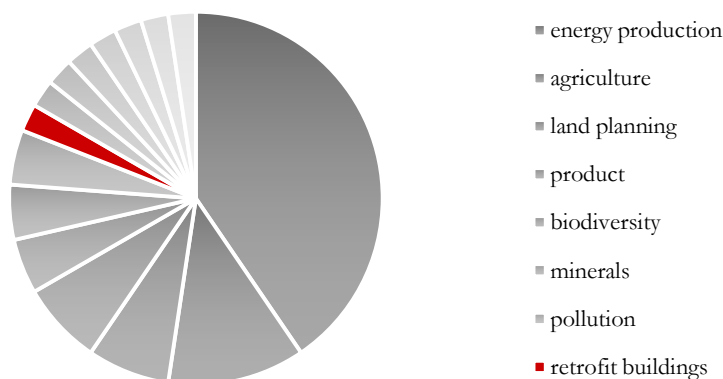


Figura 4. Estudio Bibliográfico ACV - GIS

Como puede observarse, la combinación ACV – GIS es un campo en expansión que engloba a diversas disciplinas: ayuda a la toma de decisiones en materia de producción energética, la agricultura, el urbanismo, la biodiversidad, ... Sin embargo, la rehabilitación de edificios es un campo sólo explorado anteriormente por el equipo liderado por A. Mastrucci (2015), aunque el desarrollo de la metodología se centra en las peculiaridades del caso de Luxemburgo.

Investigar por tanto en el desarrollo de un método de caracterización *bottom-up* para el cálculo de las implicaciones ambientales a través del ACV, a una escala territorial a través de herramientas SIG para el contexto español, resulta relevante.

1.4 Objetivos de la investigación

Todo ello servirá para:

- 1) disponer de un mapa global del estado de las viviendas en el AMB con datos actualizados.
- 2) conocer las soluciones constructivas tipo más sostenibles desde un punto de vista ambiental.
- 3) obtener una base científica sobre la que plantear estrategias futuras en materia de rehabilitación edificatoria.

2. Metodología

Para el desarrollo de la investigación se plantean los siguientes métodos (Figura 5):

- 1) Introducción, donde se justifica la necesidad de la investigación y se repasa a través del análisis bibliográfico las principales aportaciones en la materia
- 2) Desarrollo de metodología que por una parte desarrolla la Caracterización de la envolvente térmica y por otra se realiza el ACV de las soluciones más importantes en materia de rehabilitación:
 - a. Caracterización de la envolvente térmica: gracias a las bases de datos catastrales y del AMB, se procede a un desarrollo metodológico que permita gracias a las herramientas SIG caracterizar la superficie envolvente de la edificación, con el fin de determinar y cuantificar la superficie más energéticamente vulnerable. Para ello se realiza primero una normalización de las bases de datos, posteriormente una caracterización cualitativa y por último una caracterización cualitativa.
 - b. Análisis de Ciclo de Vida: de acuerdo a los estudios realizados por J. Sierra-Pérez et al. (2016), se cuantifican tanto las implicaciones ambientales de soluciones constructivas de fachada tipo en rehabilitación, como las soluciones constructivas de cubierta tipo.
- 3) Resultados, obtenidos a partir de la extrapolación de ambos datos, presentados a modo de una extrapolación directa, así como de valoración de escenarios.
- 4) Tras haber realizado los pasos anteriores, el estudio termina con las conclusiones de la investigación, dónde se incluyen posibles líneas de trabajo que quedan abiertas en la realización de la misma.

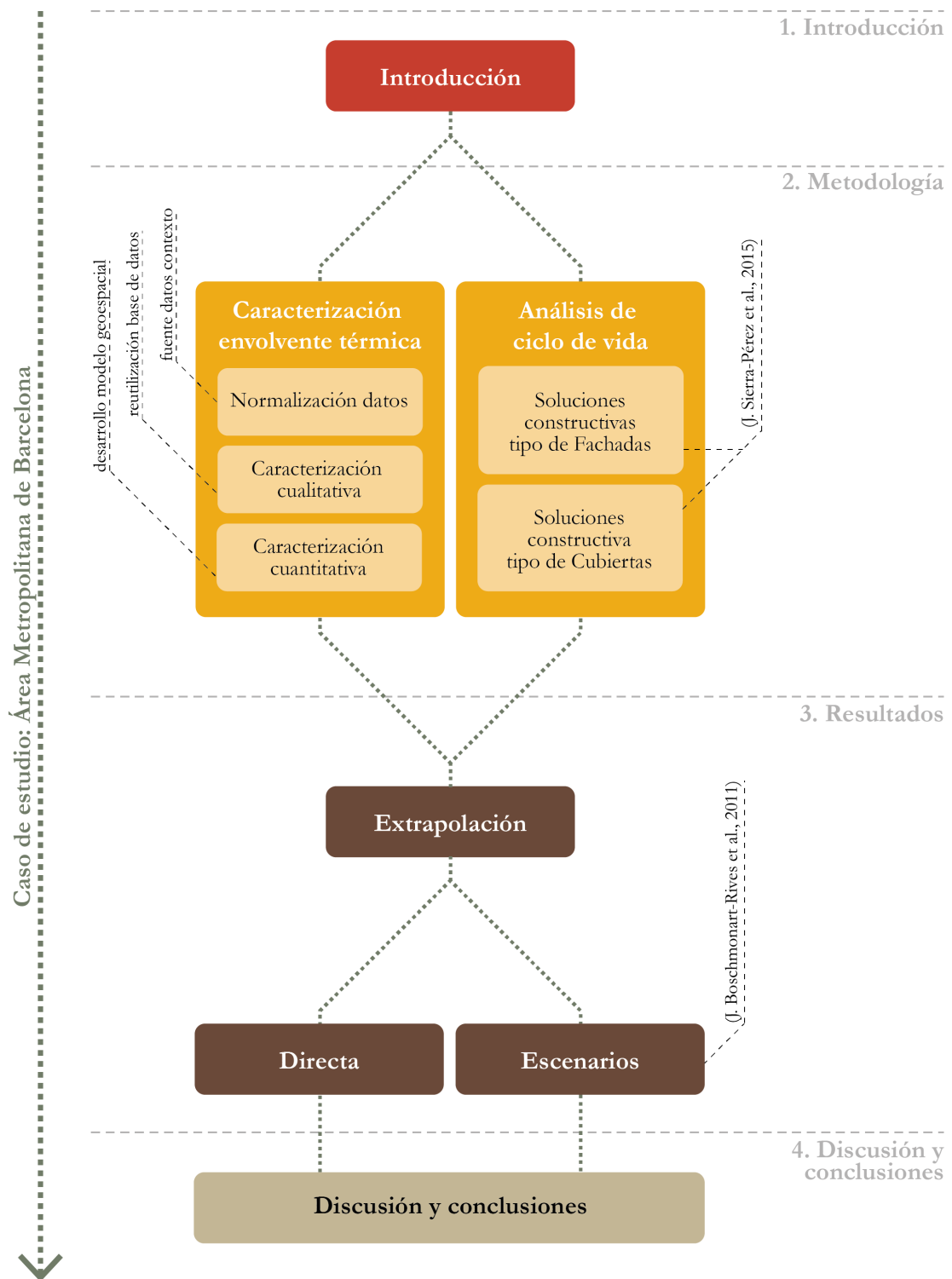


Figura 5. Esquema de metodología de trabajo empleada

2.1.2 Ámbito de estudio

De entre todo el parque inmobiliario de los municipios integrantes del AMB, el caso de estudio se limita a la edificación residencial (Figura 8). Entre ellos, se seleccionan los edificios que se encuentran fuera de los estándares de eficiencia energética actuales con el fin de conocer las necesidades reales de intervención en la edificación. Para esta delimitación se han tenido en cuenta las normativas técnicas estatales que regulan la transmitancia térmica de la envolvente térmica de la edificación residencial, obteniendo un intervalo temporal de edificios construidos hasta 2014, fecha en la que el último Código Técnico de la Edificación (CTE) entro en vigor (Ministerio de Vivienda, 2013).

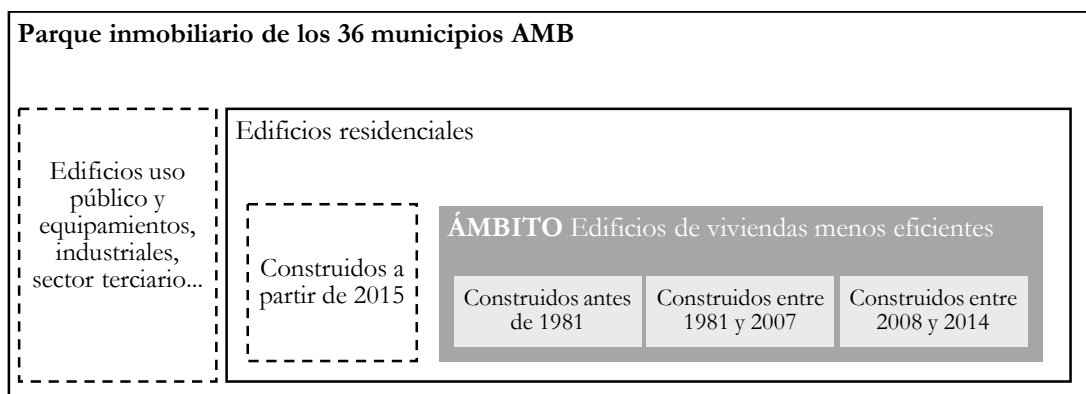


Figura 8. Ámbito de estudio

2.2 Caracterización de la edificación

La aproximación *bottom-up* edificio a edificio que desarrolla esta metodología consta de 3 pasos principales: la obtención y normalización de datos (depende del contexto de aplicación, y condicionará el resto de la metodología); la caracterización cualitativa de la edificación, para posteriormente realizar una caracterización cuantitativa de la envolvente térmica.

2.2.1 Obtención y normalización de datos

Desde la publicación de la Directiva 2003/98/CE (European Commission, 2003), de 17 de noviembre de 2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la reutilización de la información del sector público y gracias también a la aprobación de la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, han comenzado a implementarse políticas de transparencia en las administraciones públicas que ponen a disposición de empresas y ciudadanos sus datos de forma accesible.

El aprovechamiento de estos datos es clave para la realización de una aproximación *bottom-up*, simplificando los procesos de cesión de datos. Es el caso de la Dirección General del Catastro (Mora-García, Céspedes-López, Pérez-Sánchez, & Pérez-Sánchez, 2015) cuya información resulta de gran utilidad en los análisis urbanos y territoriales, más aún cuando el último Censo de Población y Vivienda de 2011, debido a su cambio metodológico, dificulta la generación de indicadores fiables asociados a políticas urbanas (Bermejo Aguña, 2014).

De los datos catastrales se obtendrán para este estudio las variables que definen el año de construcción (caracterización cualitativa), así como los datos geométricos que se

obtienen del modelo geoespacial y las superficies construidas por uso (caracterización cuantitativa), teniendo un alcance actualizado para todo el territorio nacional³.

Los datos catastrales cuentan también con información relevante a la tipología de vivienda, y por tanto sobre morfología urbana. Aunque a priori, estos datos se encuentran para un alcance territorial nacional, se opta por la utilización de datos con mayor detalle facilitados por el AMB. Aunque la fuente de datos no es de acceso abierto y alcanza sólo la escala supramunicipal, resulta más conveniente por su mayor precisión y adaptación al contexto particular del AMB (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de estudio: fuente y alcance de los datos utilizados

	Categoría	Fuente	Extensión	Alcance
Caracterización cualitativa	Año de construcción	Catastro	.CAT	Nacional
	Tipología constructiva	Catastro	.CAT	Nacional
	Morfología urbana	Plan Director Urbanístico	.shp	Supramunicipal
Caracterización cuantitativa	Modelo geoespacial	Catastro	.shp	Nacional
	Superficies (por usos)	Catastro	.CAT	Nacional

Todos los datos obtenidos de cada uno de los municipios se normalizan en una única base de datos, con el fin de homogeneizar y englobar todas las fuentes de datos, obteniendo un archivo único que incluye toda la información cualitativa y cuantitativa de cada edificio residencial.

2.2.2 Caracterización cualitativa

La caracterización cualitativa cuenta con dos categorías principales: el año de construcción y la morfología urbana, condiciones suficientes en la escala urbana para obtener información sobre la normativa técnica de aislamiento térmico de edificios, así como características morfológicas y tipológicas (Tabla 2). La Dirección General del Catastro proporciona estos datos a escala edificio (Dirección General del Catastro, 2011, 2013b) para todo el territorio nacional incluido en el mismo.

De acuerdo a los estudios realizados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2012) hay tres categorías principales a considerar dependiendo del año de construcción: (i) los edificios construidos anteriormente a 1981, cuando no existía normativa de obligado cumplimiento sobre aislamiento térmico, (ii) edificios construidos entre 1981 y 2007, cuando la primera normativa entró en vigor, la cual exige demandas mínimas de aislamiento térmico para las envolventes de los edificios por primera vez (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1979) y (iii) los edificios construidos a partir de 2008, cuando el Código Técnico de la Edificación entro en vigor, el cual incrementa el requerimiento mínimo de aislamiento térmico.

Dependiendo de la morfología urbana, conviene señalar que en el caso de utilizar los datos facilitados por la Dirección General del Catastro existen 4 variables principales: (a) Vivienda Unifamiliar Aislada, (b) Vivienda Unifamiliar Adosada, (c) Vivienda colectiva en bloque abierto y (d) Vivienda colectiva en manzana cerrada.

Como se ha descrito anteriormente, este estudio tiene en cuenta los datos facilitados por el AMB, en lugar de realizar la caracterización morfológica por los datos Catastrales. Las variables de estudio, que se incluyen entre los datos proporcionados, de mayor precisión y adaptados al contexto local, cuentan con 4 categorías principales: Bloque, Ensanche, Tejido Histórico y Unifamiliar (Figura 9). En concreto, se distinguen:

³ A excepción de País Vasco y Navarra, que administrativamente no pertenecen a la Dirección General del Catastro.

- **Bloque:** (B1) Bloques agrupados, correspondiente a la mayoría de conjuntos y polígonos de vivienda construidos generalmente a partir de la posguerra, (B2) Bloques alineados a vial, que a diferencia de los anteriores, se alinean al vial generando y aportando vida a la calle de la que dependen y (B3) Bloques disgregados, haciendo referencia a los bloques de vivienda que no siguen los cánones anteriormente descritos;
- **Ensanche:** (E1) Ensanche axial, característico de un crecimiento de ensanche sobre ejes en los que se articulan sus manzanas, (E2) Ensanche irregular, cuyas características no responden a una geometría rígida impuesta por la trama urbana de ensanche, (E3) Ensanche regular, caracterizada por la homogeneidad de sus manzanas respondiendo en esta ocasión a una geometría rígida y por último (E4) Ensanche regular Cerdá, correspondiente a la trama diseñada por Idelfonso Cerdá para el municipio de Barcelona, característico por sus manzanas de 113x113 m, con chaflanes en sus esquinas.
- **Histórico:** (H1) Casco Histórico, característico de los cascos antiguos y (H2) Histórico suburbano, que responde a crecimientos suburbanos con una parcelación clara, generalmente estrecha y alargada, sobre ejes o caminos principales, generando manzanas.
- **Unifamiliar:** (U1) Unifamiliares en hilera, que se caracteriza por agrupaciones de adosados, (U2) Unifamiliares irregulares, que corresponden a edificaciones aisladas organizadas sin ejes o geometrías claras, (U3) Unifamiliares mixto, (U4) Unifamiliares regulares, caracterizados por edificaciones aisladas organizadas en torno a ejes y geometrías claras y por último (U5) Unifamiliares rústico, cuya principal característica es la edificación de carácter aislado organizada dentro de una finca rústica.

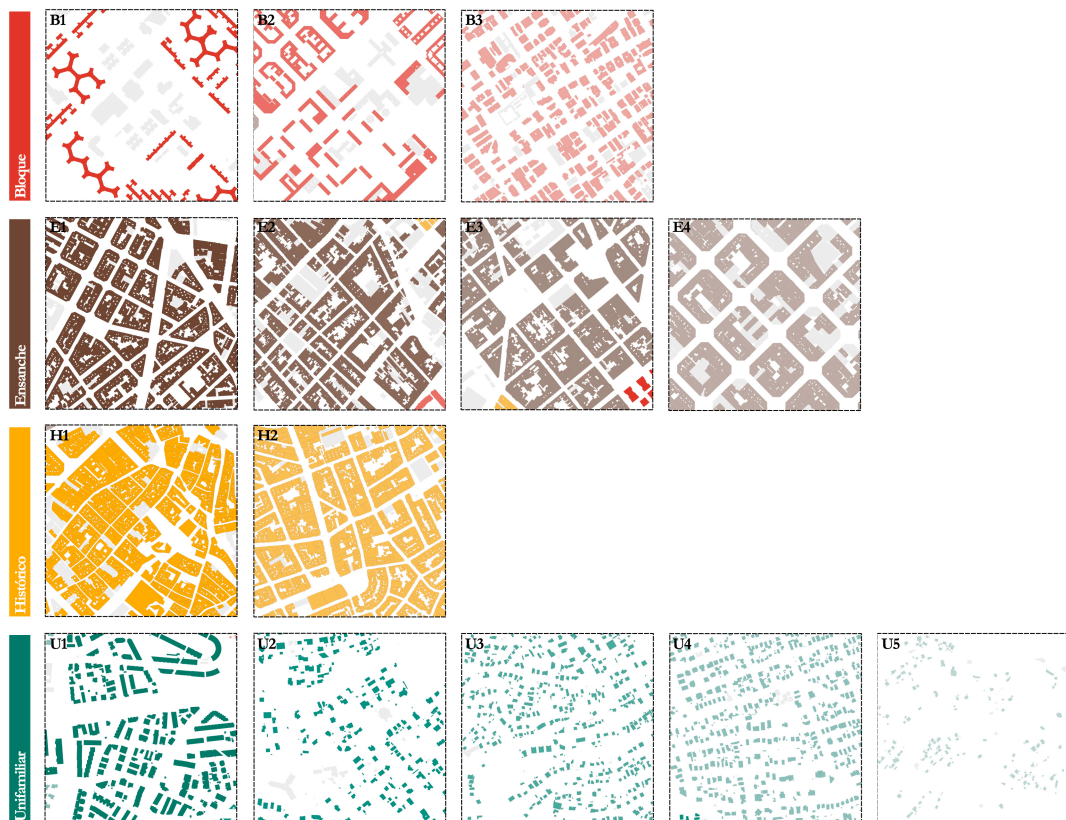


Figura 9. Morfologías urbanas consideradas

Tabla 2. Caracterización cualitativa de la envolvente

Variable	Variable	Normativa	Fuente
Año de construcción	(i) Construido antes de 1981	-	Catastro
	(ii) Construido entre 1981 - 2007	NBE-CT-79 (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1979)	
	(iii) 2008-2014	CTE-DB-HE (Ministerio de Vivienda, 2013)	
	(iv) Construido a partir de 2015	CTE-DB-HE (Ministerio de Vivienda, 2013)	
Morfología (según Catastro)	(Ta) Colectiva en edificación abierta	RD 1020/1993 (BOE, 1993)	Catastro
	(Tb) Colectiva en manzana cerrada		
	(Tc) Unifamiliar aislada		
	(Td) Unifamiliar en línea		
Morfología (según AMB)	(B1) Bloques agrupados		Plan Director Urbanístico (Crosas, 2015)
	(B2) Bloques alineados a vial		
	(B3) Bloques disgregados		
	(E1) Ensanche axial		
	(E2) Ensanche irregular		
	(E3) Ensanche regular		
	(E4) Ensanche regular Cerdà		
	(H1) Casco Histórico		
	(H2) Histórico suburbano		
	(U1) Unifamiliares en hilera		
	(U2) Unifamiliares irregulares		
	(U3) Unifamiliares mixto		
	(U4) Unifamiliares regulares		
	(U5) Unifamiliares rústico		

2.2.3 Caracterización cuantitativa

Se desarrolla un modelo geoespacial en QGIS (QGIS Development Team, 2015) usando los datos y cartografía de la Dirección General del Catastro (Dirección General del Catastro, 2011, 2013a, 2013b). Primero, para cada edificio el método obtiene a través de GIS: (i) la huella del edificio, que representa el área total de cubierta del edificio; (ii) el perímetro total; y (iii) el perímetro exterior.

A continuación, se calcula la Superficie Calefactada Construida (Heated Floor Area, HFA), a través de los datos alfanuméricos del Catastro, excluyendo de la superficie construida total las áreas no calefactadas como garajes, almacenes y usos industriales.

Posteriormente se obtiene la Altura Media Calefactada (Average Heated Height, AHH), que se define como la diferencia entre la HFA y la huella del edificio, multiplicando el resultado por la altura media entre plantas, definida en España como 3 metros (IDAE, 2012).

Con estos datos el estudio obtiene la Superficie de Fachada Calefactada Bruta (Gross Heated Façade Surface, GHFS), multiplicando el perímetro exterior por AHH. Sin embargo, deben considerarse los huecos como parte de la fachada. Rodríguez-Soria *et al.* (2015) caracterizaron el estándar de los bloques de vivienda en el contexto español, calculando la superficie de huecos (ventanas y puertas) respecto a la fachada, siendo está aproximadamente del 30%.

Sin embargo, es necesario ampliar esta caracterización al resto de morfologías urbanas consideradas en este estudio, siguiendo la metodología por Rodríguez-Soria. La Tabla 3 muestra los valores obtenidos, así como el origen de dichos valores, dependiendo de la fuente utilizada para cada una de las morfologías urbanas consideradas.

Tabla 3. Porcentaje de Huecos sobre Fachada, según Morfología urbana

Morfología	Porcentaje de huecos ⁴	Fuente
(B1) Bloques agrupados (B2) Bloques alineados a vial (B3) Bloques disgregados	30%	(Rodríguez-Soria et al., 2015)
(E1) Ensanche axial (E2) Ensanche irregular (E3) Ensanche regular (E4) Ensanche regular Cerdà	30%	(Rodríguez-Soria et al., 2015)
(H1) Casco Histórico (H2) Histórico suburbano	30%	(Rodríguez-Soria et al., 2015)
(U1) Unifamiliares en hilera (U2) Unifamiliares irregulares (U3) Unifamiliares mixto (U4) Unifamiliares regulares (U5) Unifamiliares rústico	19% 15% 18% 15% 15%	Elaboración propia

La GHFS sin huecos se denomina Superficie de Fachada Calefactada Neta (Net Heated Façade Surface, NHFS), y es la que servirá para el estudio de base para el cálculo del impacto ambiental de la rehabilitación de las fachadas menos eficientes. La Figura 10 muestra a modo de resumen un diagrama del modelo de caracterización propuesto.

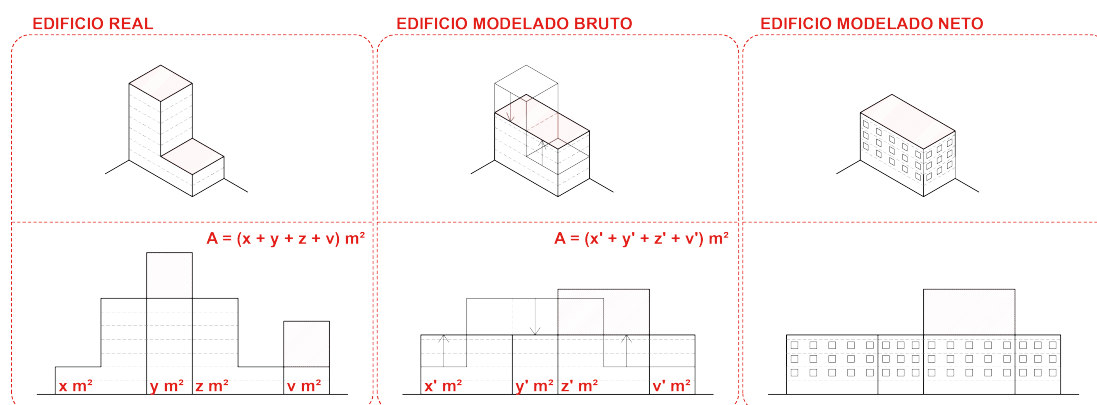


Figura 10. Descripción de la caracterización cuantitativa

2.3 Cálculo de análisis de ciclo de vida de rehabilitación en edificios

2.3.1 Descripción y límites del sistema

La metodología se basa en los estudios ya realizados por Sierra-Pérez et al. (2016) sobre Análisis de Ciclo de Vida para la cuantificación de implicaciones ambientales del aislamiento térmico en diferentes sistemas de fachadas, desde una aproximación de la extracción a la puesta en uso (*cradle-to-site*). Tal como indica la Figura 11 esta aproximación se aplicará así sobre las fases de producción (extracción y transformación de los materiales brutos, transporte a la planta de manufacturación y manufacturado), transporte al edificio e instalación de la superficie envolvente de acuerdo a la normativa EN 15804:2014 (European Committee for Standardization, 2014).

⁴ Calculado sobre fachada exterior

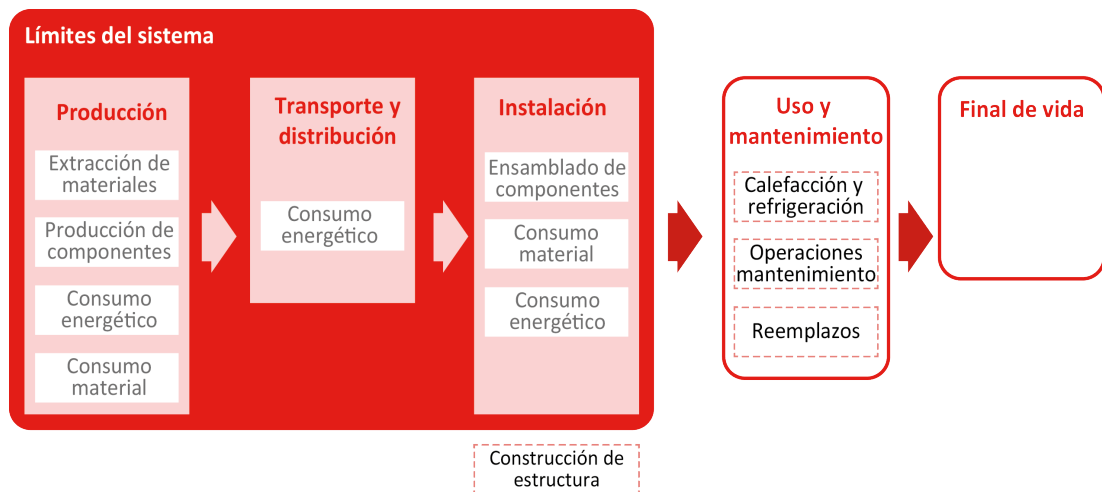


Figura 11. Diagrama del sistema del ciclo de vida de la superficie envolvente.

Para la realización del ACV se ha utilizado el software *Simapro 7.3* (PRé Consultants, 2010) y la base de datos *Ecoinvent 3.1* (Ecoinvent, 2009). Las categorías de impacto ambiental incluidas en el estudio son el Potencial de calentamiento global (*Global Warming Potential: GWP*), y la Energía contenida embebida (*Embodied Energy, EE*), debido a su creciente importancia en la demanda energética de los edificios.

Estos estudios previos definen una Unidad Declarada (UD), la cual obtiene la cuantificación del impacto medioambiental de la producción, transporte e instalación necesaria para la rehabilitación de 1 m² de fachada de edificio existente dependiendo de las siguientes variables que a continuación se estudian en detalle: (i) localización geográfica del edificio (ii) el tipo de solución constructiva escogida, (iii) el tipo de material de aislamiento térmico y (iv) el año de construcción del edificio.

Tabla 4. Descripción de variables del sistema

(i) Localización geográfica	(zona climática "C")	
(ii) Tipo de solución constructiva	Aislamiento térmico	(iii) Tipo de material
	Resto de materiales	(iv) Año de construcción

Como muestra la Tabla 4, el tipo de solución constructiva servirá para obtener el inventariado de materiales y procesos necesarios, pudiendo distinguir entre el aislamiento térmico y el resto de materiales. Esta distinción es necesaria ya que los impactos del aislamiento térmico variarán en función del tipo de material aislante escogido y el año de construcción de la edificación, ya que hacen variar la cantidad (kg) de aislante utilizado. Además, como muestra la Tabla 5, sólo en las fases de producción y transporte y distribución del aislamiento térmico, se produce esta dependencia del tipo de material y año de construcción, siendo independientes el resto de variables.

Tabla 5. Variables independientes y dependientes en función de las fases del ciclo de vida

	Producción	Transporte y distribución	Instalación
Aislamiento térmico	○	○	●
Resto de materiales	●	●	●

○ Variable dependiente ● Variable independiente

2.3.2 (i) Localización geográfica

El impacto ambiental dependerá en primer lugar de la localización geográfica del estudio, que definirá las zonas climáticas y por tanto las exigencias fijadas por el CTE (Ministerio de Vivienda, 2013). Para el caso de estudio seleccionado esta variable se considera fija, ya que el AMB pertenece en todo su conjunto a la zona climática “C”.

2.3.3 (ii) Tipo de solución constructiva: rehabilitación de fachada incluidas en el estudio

El estudio selecciona las siguientes soluciones constructivas de rehabilitación de fachadas: sistema de Fachada Ventilada (FV), Sistema Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE), y Aislamiento por el Interior del Edificio (AIE) por ser no invasivas y permitir la ejecución de obra sin interrumpir el uso del edificio. Además, estas son las soluciones más comunes en España. También, estos tipos de fachada incrementan el aislamiento térmico y en el caso de FV y SATE eliminan los puentes térmicos, mientras que AIE facilita la rehabilitación individual de un inmueble en el caso de estar este integrado en un edificio de vivienda colectiva. Hay que tener en cuenta que este último tipo de rehabilitación puede modificar las condiciones de habitabilidad actuales de la vivienda, al reducir la superficie interior de las estancias donde se instala (Monzón, Daumal, & López-Mesa, 2015).

La Figura 12 muestra los detalles constructivos de los sistemas seleccionados según el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación de España (Ministerio de Vivienda, Instituto de Ciencias de la Construcción EduardoTorroja, & CSIC, 2008), que se describen a continuación:

– Fachada Ventilada (FV):

La Fachada Ventilada es un sistema de envolvente multicapa con una capa superficial que posibilita la colocación de diversos materiales (metal, piedra, tabloneros de madera, composite, granito, cerámica, etc.) conectada mecánicamente mediante bastidores de acero galvanizado, acero inoxidable o aluminio a la capa interna. Esta capa interna está aislada del exterior mediante planchas o espumas de aislamiento que se fijan mediante mortero adhesivo o tacos dependiendo del tipo y espesor del aislamiento. La fachada ventilada permite la libre circulación de aire a través de una cámara intermedia, que además elimina la humedad y mejora las condiciones térmicas bajo efectos de radiación solar relativa frente a las fachadas convencionales (siempre que se cumplan condiciones óptimas de soleamiento y radiación). Además, la instalación por el exterior de la hoja principal de fachada permite la eliminación de puentes térmicos.

– Sistema Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE):

El Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) es un sistema constructivo de fachada multicapa: la capa portante, el aislamiento, la capa de fijación, el recubrimiento intermedio, la malla de refuerzo y un revestimiento exterior. El objetivo del SATE es minimizar los puentes térmicos y pérdidas, añadiendo seguridad y protección al edificio contra agentes medioambientales y factores climáticos. El sistema debe tener alta resistencia a esfuerzos mecánicos, ser impermeable al agua y permeable al CO₂ y al vapor de agua. Las planchas de aislamiento se fijan a la pared con mortero adhesivo y/o tacos dependiendo de la cantidad y tipo de aislamiento y tipo de pared.

– Aislamiento por el Interior del Edificio (AIE):

El Aislamiento por el Interior del Edificio (AIE) es una solución constructiva de recubrimiento de la pared existen compuesto por material aislante, placas de yeso laminado y un recubrimiento interior. La capa de aislamiento se coloca mediante perfiles metálicos mecánicamente conectados a la pared y al techo. Este sistema es el más común en la construcción de nuevas fachadas y en la rehabilitación de edificios existentes. El aislamiento interior separa la masa térmica de las paredes y reduce tanto el tiempo de respuesta como la energía requerida para mejorar el confort térmico. El

aislamiento por el interior es una de las más baratas opciones, pero en contra se trata de una solución que se interrumpe en el encuentro con el suelo o techo, lo cual produce que sigan existiendo puentes térmicos.

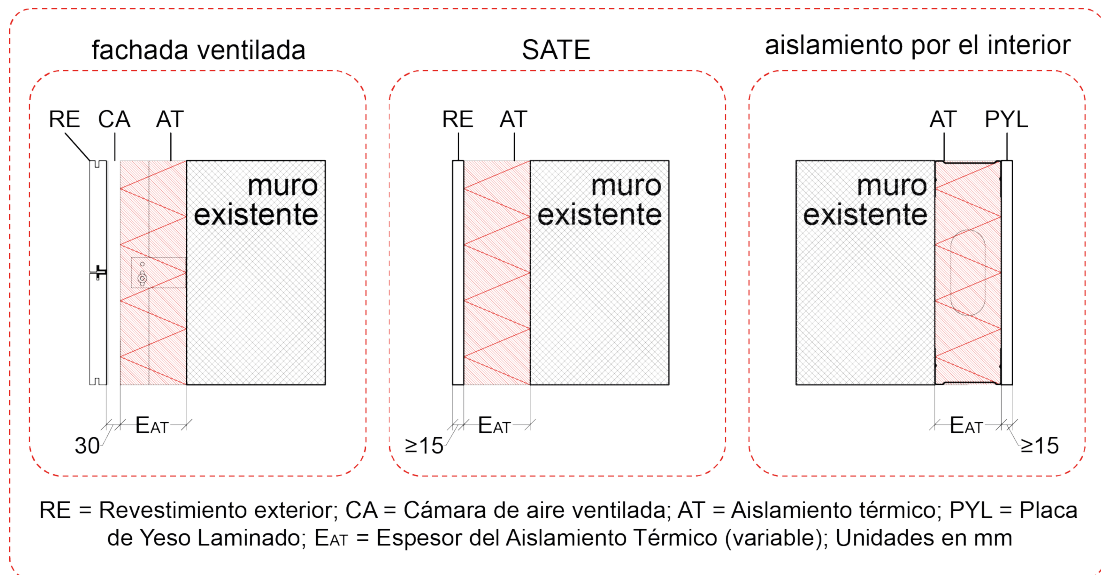


Figura 12. Descripción de las soluciones constructivas de fachada escogidas

2.3.4 (ii) Tipo de solución constructiva: rehabilitación de cubiertas incluidas en el estudio

El estudio selecciona las siguientes soluciones constructivas de rehabilitación cubiertas: sistema de cubierta plana invertida, un sistema de cubierta inclinada invertida y un sistema de cubierta inclinada ventilada, todas ellas no invasivas, resultando ser las más comunes en España.

– Cubierta plana invertida:

El sistema de cubierta plana invertida es un sistema multicapa que mejora las propiedades térmicas de la cubierta convencional al colocar el impermeabilizante debajo del aislamiento térmico, otorgando una mayor durabilidad a ambas capas. Para el caso de la solución constructiva de rehabilitación se ha supuesto la no renovación de la capa de formación de pendientes. Se entiende que en el caso concreto de no existir problemas de acumulación de agua sobre la cubierta es una obra innecesaria y que complejiza la obra, al generar residuos de hormigón y requerir otra nueva capa del mismo. Para este estudio, la capa de recubrimiento es de 5 cm de gravas (Ministerio de Vivienda, 2006) sobre una capa antipunzonante, por ser una de las soluciones más extendidas, aunque existen múltiples soluciones válidas para el recubrimiento final de cubierta.

– Cubierta inclinada invertida:

El sistema de cubierta inclinada invertida, al igual que la cubierta plana invertida mejora las propiedades térmicas y durabilidad de la cubierta convencional al colocar el impermeabilizante debajo del aislamiento térmico. Se presupone que la formación de la pendiente en obras de rehabilitación no se modifica y se toma como existente. Para este estudio se ha tenido en cuenta el acabado superficial de teja cerámica con un sistema de fijación de rastreles de madera (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja & Hyspalist, 2008).

– Cubierta inclinada ventilada:

El sistema de cubierta inclinada ventilada es un sistema multicapa que coloca en la parte en contacto con el espacio calefactado el aislamiento térmico, fijado mediante adhesivos. La cámara de aire interior mejora el comportamiento térmico y frente a la

humedad. El sistema sobre el cual se coloca la capa exterior es un sistema de planchas de madera, sobre el que se fijará el impermeabilizante, y sobre este un sistema de rastreles de madera sobre el que se fijarán las tejas cerámicas.

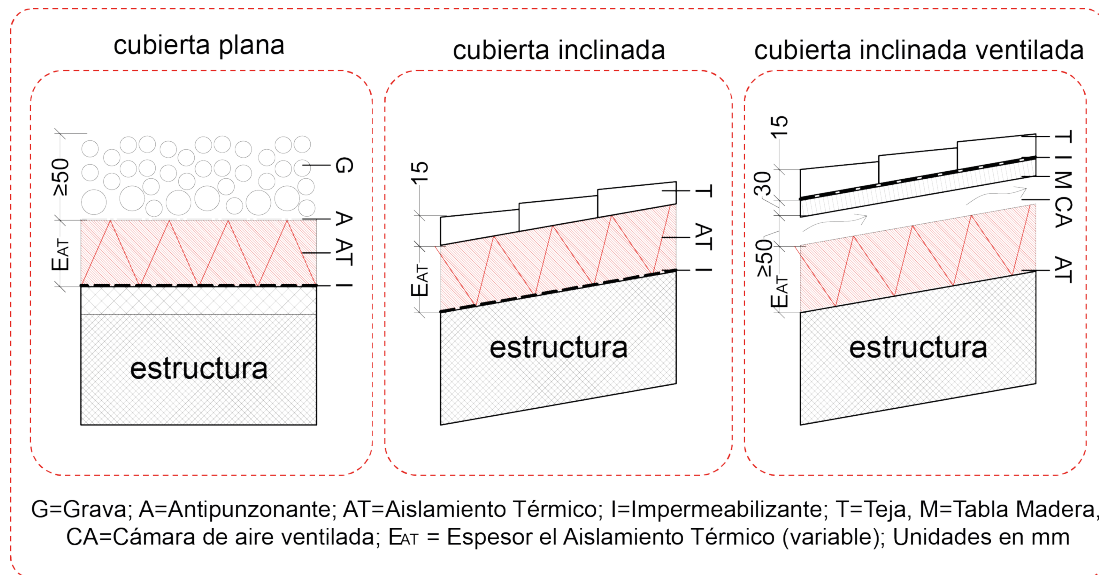


Figura 13. Descripción de las soluciones constructivas de cubierta escogidas

2.3.5 (iii) Tipos de aislamiento térmico

Dos tipos de aislamiento térmico se han incluido en el estudio: poliestireno expandido (EPS), por ser uno de los más usados en España; y corcho, como un material natural, ya que el 85% de su producción se concentra en la Península Ibérica (Sierra-Pérez, Boschmonart-Rives, & Gabarrell, 2016).

2.3.6 (iv) Año de construcción de los edificios

El Código Técnico de la Edificación español establece la transmitancia térmica máxima $U=0,29$ ($W/m^2 K$) para fachadas de edificios de nueva planta localizados en zona climática "C", que corresponde a la zona climática del AMB, mientras que para el caso de cubiertas este valor se establece como $U=0,23$ ($W/m^2 K$) (Ministerio de Vivienda, 2013). Este valor es el que se denomina $U_{objetivo}$, ya que corresponde al estándar actual al que deben aspirar los edificios a rehabilitar.

La transmitancia térmica media de los edificios existentes en España se obtiene de los datos proporcionados por el IDAE (IDAE, 2012) para la zona climática del AMB, y depende del año de construcción de la vivienda y del tipo de elemento de estudio: cubiertas y fachadas en nuestro caso tal como muestra la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de transmitancia estimadas y objetivos para zona climática "C", según año de construcción de viviendas.

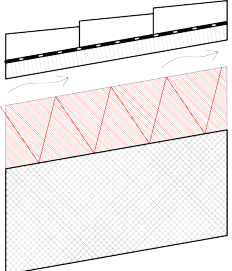
Variable		U existente estimada (W/m^2K)	U objetivo (W/m^2K)
Fachadas	Construido antes de 1981	3,00	
	Construido entre 1981 - 2007	1,80	0,29
	Construido entre 2008-2014	0,73	
Cubiertas	Construido antes de 1981 – Plana	2,50	
	Construido antes de 1981 - Inclinada	3,80	
	Construido entre 1981 - 2007	1,40	0,23
	Construido entre 2008-2014	0,41	

2.3.7 Cálculo del espesor de Aislamiento térmico para cada uno de los escenarios de rehabilitación.

Conociendo el valor medio de transmitancia existente de la edificación en el clima de estudio ($U_{\text{existente}}$), y el valor al que aspiran las rehabilitaciones (U_{objetivo}), la resistencia térmica del aislante para cada una de las soluciones constructivas se calcula como la diferencia entre la Resistencia térmica existente y el resto de resistencias que componen el sistema constructivo. La Tabla 7 muestra las fórmulas empleadas para el establecimiento de la resistencia térmica.

Tabla 7. Valores de transmitancia estimadas y objetivos para zona climática “C”, según año de construcción de viviendas.

	Solución constructiva	Fórmula de obtención de Resistencia térmica
Fachadas		$U_{\text{objetivo}} = \frac{1}{R_{se} + R_{revoco} + R_{at} + R_{existente}}$ $R_{at} = \frac{1}{U_{\text{objetivo}}} - R_{se} - R_{revoco} - R_{existente}$
		$U_{\text{objetivo}} = \frac{1}{R_{si} + R_{at} + R_{existente}}$ $R_{at} = \frac{1}{U_{\text{objetivo}}} - R_{si} - R_{existente}$
		$U_{\text{objetivo}} = \frac{1}{R_{existente} + R_{at} + R_{PYL} + R_{si}}$ $R_{at} = \frac{1}{U_{\text{objetivo}}} - R_{existente} - R_{PYL} - R_{si}$
Cubiertas		$U_{\text{objetivo}} = \frac{1}{R_{se} + R_{grava} + R_{at} + R_{imp} + R_{existente}}$ $R_{at} = \frac{1}{U_{\text{objetivo}}} - R_{se} - R_{grava} - R_{imp} - R_{existente}$
		$U_{\text{objetivo}} = \frac{1}{R_{se} + R_{teja} + R_{at} + R_{imp} + R_{existente}}$ $R_{at} = \frac{1}{U_{\text{objetivo}}} - R_{se} - R_{teja} - R_{imp} - R_{existente}$

Solución constructiva	Fórmula de obtención de Resistencia térmica
	$U_{objetivo} = \frac{1}{R_{si} + R_{at} + R_{existente}}$ $R_{at} = \frac{1}{U_{objetivo}} - R_{si} - R_{existente}$

Por último, el espesor del aislamiento térmico se calcula multiplicando la resistencia térmica por la conductividad térmica.

$$\text{espesor aislamiento térmico} = R_{at} \times \lambda_{at}$$

2.3.8 Unidad declarada resultante

Como se ha descrito anteriormente, es posible calcular la Unidad Declarada (kg) requerida de aislamiento térmico en función del tipo de fachada y año de construcción (Tabla 8), y del tipo de cubierta y año de construcción (Tabla 9).

Tabla 8. Unidad Declarada (kg) requerida de aislamiento térmico por solución de fachada y año de construcción para lograr la resistencia térmica requerida en la zona climática "C".

Localización geográfica		Unidad por m ²						
U objetivo (W/m ² K) (Zona climática "C")		0,29						
Año de construcción	Periodo	hasta 1981	1981-2007		2008-2014			
	U estimada (W/m ² K) (Zona climática "C")	3,00	1,80		0,73			
Tipo de aislamiento térmico	Material	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	
		Conductividad térmica (λ) (W/m K)	0,035	0,042	0,035	0,042	0,035	0,042
	Densidad (kg/m ³)	35,00	171,00	35,00	171,00	35,00	171,00	
Tipo de rehabilitación de fachada	SATE	U rehabilitación (W/m ² K)	0,33	0,33	0,35	0,35	0,49	0,49
		Espesor (m)	0,11	0,13	0,10	0,12	0,07	0,09
		Peso (Kg)	3,75	22,00	3,48	20,41	2,48	14,56
	Fachada Ventilada	U rehabilitación (W/m ² K)	0,34	0,34	0,36	0,36	0,51	0,51
		Espesor (m)	0,10	0,13	0,10	0,12	0,07	0,08
		Peso (Kg)	3,66	21,44	3,38	19,84	2,39	13,99
Aislamiento Térmico por el Interior	U rehabilitación (W/m ² K)	0,34	0,34	0,37	0,37	0,53	0,53	
	Espesor (m)	0,10	0,12	0,09	0,11	0,07	0,08	
	Peso (Kg)	3,58	21,01	3,31	19,41	2,31	13,56	

Tabla 9. Unidad Declarada (kg) requerida de aislamiento térmico por solución de cubierta y año de construcción para lograr la resistencia térmica requerida en la zona climática "C".

Localización geográfica		Unidad por m ²						
U objetivo (W/m ² K) (área climática "C")		0,23						
Año de construcción	periodo	hasta 1981	1981-2007		2008-2014			
	U estimada (W/m ² K) (área climática "C")	2,5 (Plana) / 3,80 (Inclinada)	1,40		0,41			
Tipo de aislamiento térmico	Material	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	
		Conductividad térmica (λ) (W/m K)	0,035	0,042	0,035	0,042	0,035	0,042
	Densidad (kg/m ³)	35,00	171,00	35,00	171,00	35,00	171,00	
Solución constructiva de rehabilitación de cubierta	Cubierta plana	U rehabilitación (W/m ² K)	0,26	0,26	0,28	0,28	0,54	0,54
		Espesor (m)	0,14	0,16	0,12	0,15	0,06	0,08
		Peso (Kg)	4,75	27,82	4,36	25,57	2,25	13,18
	Cubierta inclinada	U rehabilitación (W/m ² K)	0,25	0,25	0,28	0,28	0,54	0,54
		Espesor (m)	0,14	0,17	0,13	0,15	0,06	0,08
		Peso (Kg)	4,93	28,91	4,38	25,67	2,27	13,28
Cubierta inclinada ventilada	U rehabilitación (W/m ² K)	0,26	0,26	0,29	0,29	0,58	0,58	
	Espesor (m)	0,14	0,16	0,12	0,15	0,06	0,07	
	Peso (Kg)	4,80	28,12	4,24	24,88	2,13	12,49	

2.4 Extrapolación de resultados a nivel AMB

Por una parte, se ha obtenido la Superficie de Fachada Calefactada Neta (NHFS) en m² de cada uno de los edificios residenciales. Por otra, el impacto medioambiental de la rehabilitación de fachadas ha sido calculado para cada categoría de impacto en m². Así, al unir los datos se posibilita la extrapolación directa a diferentes escalas: desde el edificio, la sección censal, el barrio, hasta el ámbito supramunicipal.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de la edificación residencial del AMB

3.1.1 Caracterización según año de construcción

Una primera aproximación a escala supramunicipal nos permite caracterizar la superficie de envolvente en función de la edad de la edificación por municipios. Estos datos, junto a los mapas temáticos creados, permiten visualizar la concentración o segregación de la antigüedad del parque residencial edificado.

En la Figura 14 se muestra el porcentaje superficie envolvente por año de construcción. Se observa como la mayoría del parque edificado se construyó anteriormente al 2007 y por tanto anterior al CTE. Además, a partir el porcentaje de superficie envolvente a partir de 2015 es prácticamente inexistente en términos comparativos.

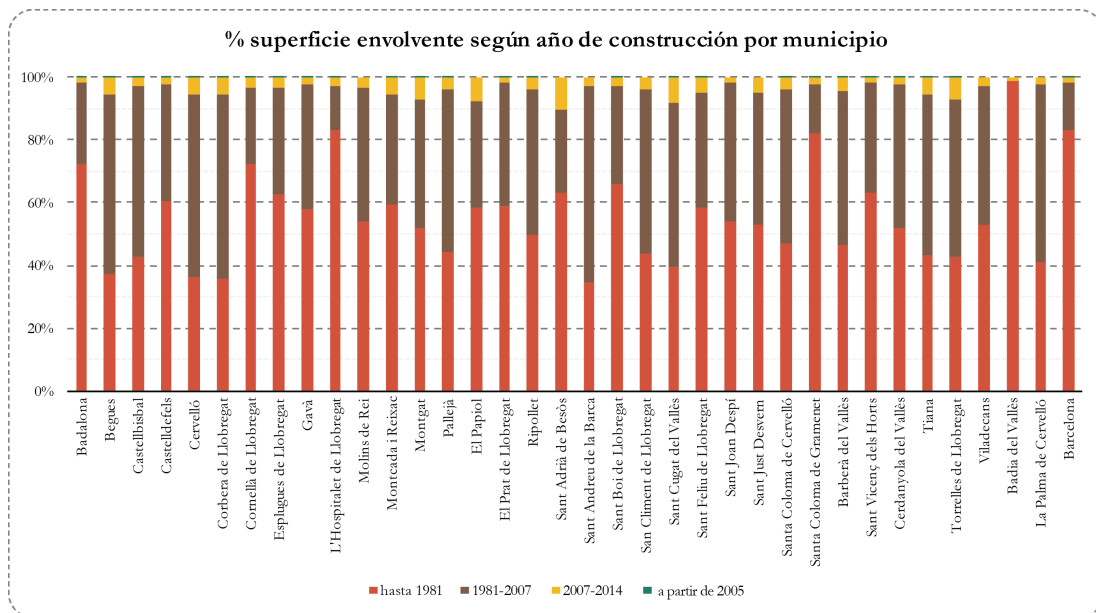


Figura 14. Porcentaje de superficie envolvente según año de construcción por municipios

Observando también la Tabla 10 destaca el municipio de Badía del Valles, por poseer una concentración muy alta de superficie envolvente construida con anterioridad a 1981. Se trata de un polígono de viviendas en bloque abierto construido con criterios homogéneos y en un corto plazo (Ferrer i Aixalá, 1996). En un segundo lugar se caracterizan los municipios de L'Hospitalet de Llobregat, Santa Coloma de Gramenet y Barcelona, donde la concentración supera el 75% de la edificación residencial anterior a 1981, siendo un indicador lo suficientemente alto como que se puede llegar a traducir en una necesaria prioridad en la intervención.

Tabla 10. Porcentaje superficie envolvente según año de construcción por municipios

	hasta 1981	1981-2007	2007-2014	A partir de 2015
Badalona	72,5%	25,5%	1,8%	0,2%
Begues	37,1%	57,4%	5,3%	0,1%
Castellbisbal	42,9%	54,1%	2,8%	0,2%
Castelldefels	60,4%	37,1%	2,3%	0,1%
Cervelló	36,1%	58,5%	5,2%	0,1%
Corbera de Llobregat	35,4%	58,8%	5,6%	0,2%
Cornellà de Llobregat	72,1%	24,7%	3,1%	0,1%
Espulgues de Llobregat	62,9%	33,7%	3,2%	0,1%
Gavà	58,0%	39,5%	2,5%	0,1%

	hasta 1981	1981-2007	2007-2014	A partir de 2015
L'Hospitalet de Llobregat	83,0%	14,2%	2,6%	0,2%
Molins de Rei	54,1%	42,3%	3,6%	
Montcada i Reixac	59,5%	35,0%	5,5%	0,0%
Montgat	51,8%	41,3%	6,8%	0,2%
Pallejà	44,3%	52,0%	3,6%	0,1%
El Papiol	58,4%	34,0%	7,6%	
El Prat de Llobregat	59,1%	39,2%	1,4%	0,3%
Ripollet	49,8%	46,1%	4,1%	0,0%
Sant Adrià de Besòs	63,1%	26,3%	10,6%	
Sant Andreu de la Barca	34,8%	62,3%	2,8%	
Sant Boi de Llobregat	65,8%	31,5%	2,6%	0,1%
San Climent de Llobregat	43,8%	52,1%	4,1%	
Sant Cugat del Vallès	39,3%	52,3%	8,2%	0,3%
Sant Feliu de Llobregat	58,2%	36,7%	4,9%	0,1%
Sant Joan Despí	53,9%	44,5%	1,5%	
Sant Just Desvern	52,8%	42,1%	5,1%	
Santa Coloma de Cervelló	47,2%	48,9%	3,8%	0,1%
Santa Coloma de Gramenet	81,9%	15,6%	2,4%	0,0%
Barberà del Vallès	46,2%	49,5%	4,3%	0,1%
Sant Vicenç dels Horts	63,2%	35,0%	1,7%	0,0%
Cerdanyola del Vallès	51,7%	46,0%	2,1%	0,2%
Tiana	43,5%	51,0%	5,5%	0,1%
Torrelles de Llobregat	42,9%	49,8%	7,1%	0,2%
Viladecans	53,2%	44,1%	2,8%	
Badia del Vallès	98,6%		1,4%	
La Palma de Cervelló	41,0%	56,8%	2,2%	
Barcelona	83,1%	15,2%	1,6%	0,1%

> 75 %
> 50 %
> 25 %
> 0 %

En la Figura 15 se puede ver como se dispone territorialmente el análisis previamente realizado. Se observa como entre los casos de concentración de superficie envolvente anterior a 1981 alta, salvo el caso de Badía del Valles, se articulan en torno al municipio de Barcelona. Santa Coloma de Gramenet, Badalona, Cornellá y L'Hospitalet rodean al municipio central. Esto se debe a la lógica de ocupación del suelo de esos años de crecimiento, en torno al núcleo principal de actividad económica. En el resto de casos, se articulan pequeños centros metropolitanos que en gran medida coinciden con los cascos históricos de cada uno de los municipios.

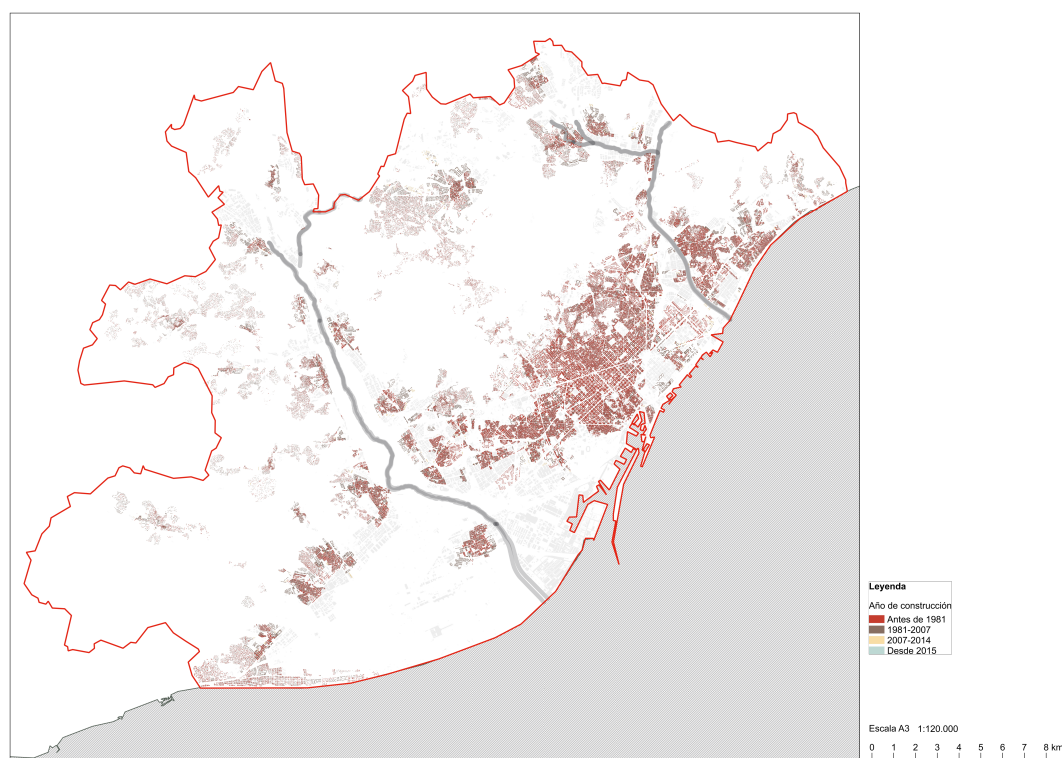


Figura 15. Mapa de año de construcción de vivienda

3.1.2 Caracterización según morfología urbana

La caracterización según la morfología urbana, aporta datos bastante heterogéneos en cada uno de los municipios. Observando la Figura 16, así como la Tabla 11 (la Tabla 12 presenta los resultados en detalle), se obtiene como existen municipios con morfología urbana mucho más homogénea, frente a otros muy heterogéneos, más ricos en diversidad morfológica. Municipios como Begues, Cervelló, Corbera de Llobregat y Torrelles de Llobregat, se caracterizan por un tejido unifamiliar predominante (más del 75% de la superficie corresponde a tejido unifamiliar), o Badía del Vallés, donde el 100% se corresponde a morfología de bloque abierto agrupado.

En contraposición, municipios como Badalona, Barcelona, Sant Feliu de Llobregat, San Joan Despí, y el Prat de Llobregat, aun teniendo claramente una clara mayoría por las morfologías de vivienda colectiva, esta es heterogénea y diversa, con un buen equilibrio entre bloque, ensanche y tejido histórico. Son por tanto municipios de una morfología mixta, que dificultan la caracterización a escala de municipio, resultando mucho más interesante la visión disgregada por morfologías.

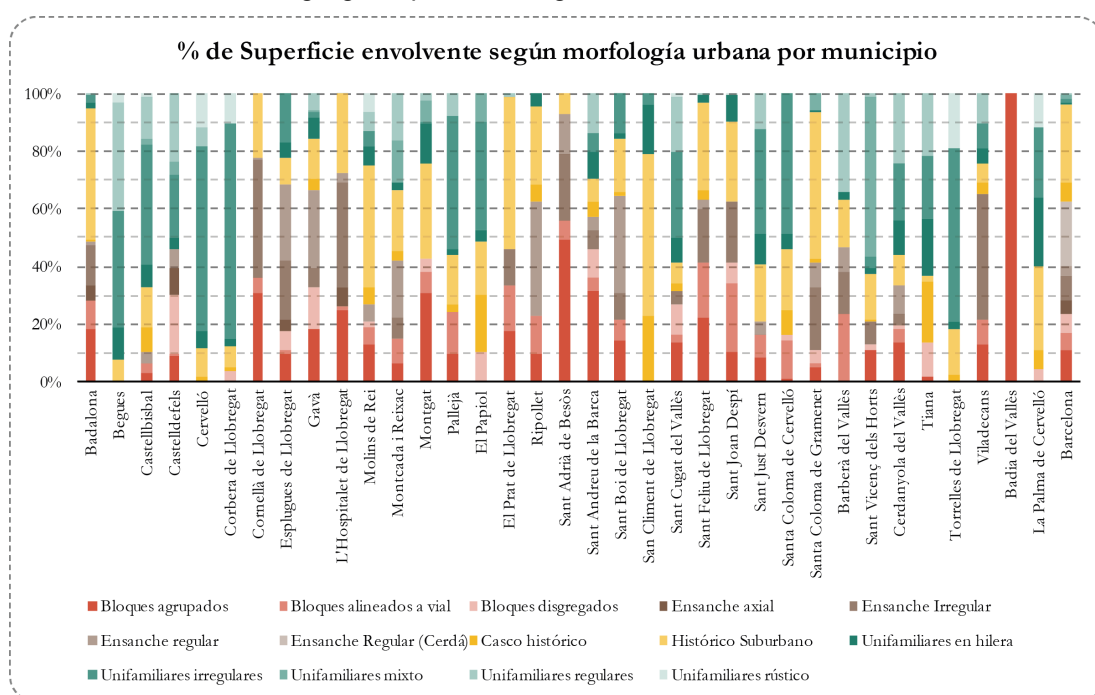


Figura 16. Porcentaje de superficie envolvente según morfología urbana por municipio

Tabla 11. Porcentaje de superficie envolvente según morfología urbana por municipio (resumen)

	Bloques	Ensanche	Histórico	Unifamiliares
Badalona	28%	21%	46%	5%
Begues			8%	92%
Castellbisbal	7%	3%	23%	67%
Castelldefels	30%	16%		54%
Cervelló	1%		11%	88%
Corbera de Llobregat	4%		8%	88%
Cornellà de Llobregat	36%	42%	22%	
Esplugues de Llobregat	18%	50%	10%	22%
Gavà	33%	34%	18%	16%
L'Hospitalet de Llobregat	26%	46%	28%	0%
Molins de Rei	21%	6%	49%	25%
Montcada i Reixac	15%	27%	24%	34%
Montgat	43%	0%	33%	24%
Pallejà	24%		20%	56%
El Papiol	10%		38%	51%
El Prat de Llobregat	33%	12%	53%	1%
Ripollet	23%	39%	33%	4%
Sant Adrià de Besòs	56%	37%	7%	
Sant Andreu de la Barca	46%	11%	14%	30%
Sant Boi de Llobregat	22%	43%	20%	15%

	Bloques	Ensanche	Histórico	Unifamiliares
San Climent de Llobregat			79%	21%
Sant Cugat del Vallès	27%	4%	10%	58%
Sant Feliu de Llobregat	41%	22%	34%	3%
Sant Joan Despí	41%	21%	27%	10%
Sant Just Desvern	16%	5%	19%	59%
Santa Coloma de Cervelló	16%		29%	54%
Santa Coloma de Gramenet	11%	31%	52%	6%
Barberà del Vallès	24%	23%	17%	37%
Sant Vicenç dels Horts	13%	8%	17%	63%
Cerdanyola del Vallès	20%	14%	10%	56%
Tiana	14%		23%	63%
Torrelles de Llobregat			18%	82%
Viladecans	22%	44%	10%	25%
Badia del Vallès	100%			
La Palma de Cervelló	5%		36%	60%
Barcelona	23%	39%	34%	4%

> 75 %
> 50 %
> 25 %
> 0 %

La Figura 17 muestra los resultados anteriores geolocalizados. Como se puede observar las morfologías urbanas históricas corresponden a los antiguos núcleos sobre los que se fueron desarrollando los crecimientos posteriores. Además, la vivienda colectiva (morfología Histórica, de Bloques y Ensanches), se desarrolla más intensamente en torno al municipio de Barcelona, (L'Hospitalet, Badalona, Barcelona, ...) debido a la presión urbanística que produce la capital. Las construcciones unifamiliares, se localizan a extrarradio del municipio de Barcelona, desarrollando el fenómeno conocido como *urban sprawl*.

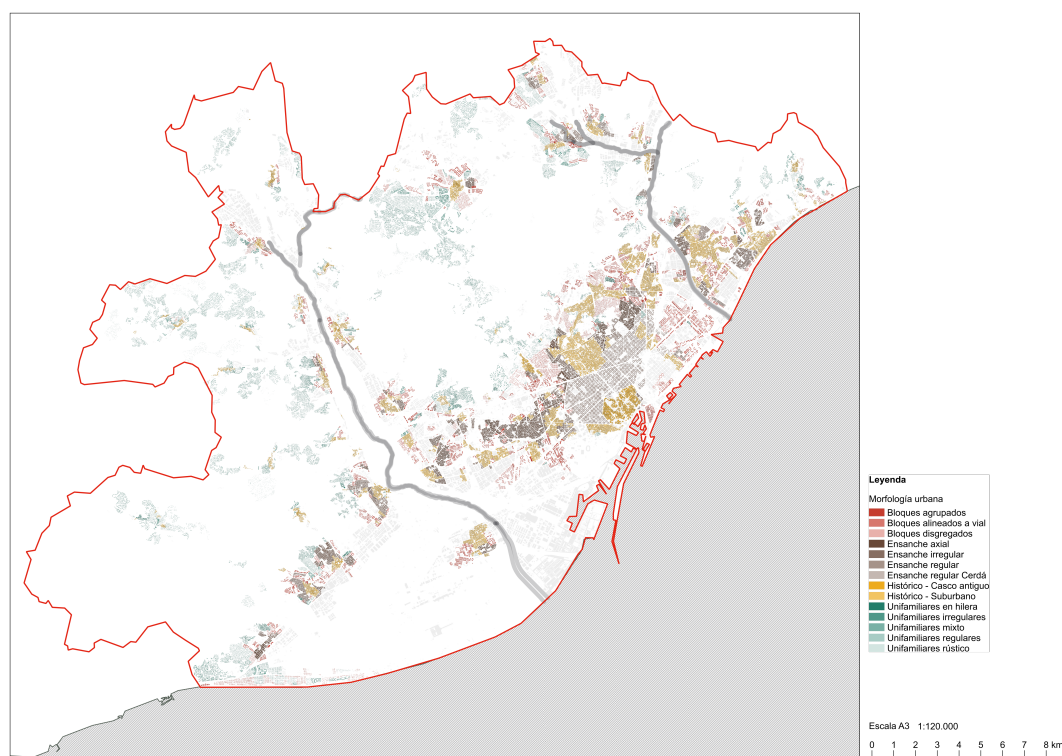


Figura 17. Mapa de morfología urbana

Tabla 12. Porcentaje de superficie envolvente según morfología urbana por municipio (detalle)

	Bloques			Ensanche			Histórico		Unifamiliares				
	Agrupados	Alineados a vial	Disgregados	Axial	Irregular	Regular	Casco	Suburbano	En hilera	Irregulares	Mixtos	Regulares	Rústico
Badalona	17,9%	10,0%		5,4%	14,1%	1,4%	0,3%	45,7%	2,0%	2,7%	0,0%	0,4%	
Begues	2,8%	3,8%					8,7%	7,7%	11,5%	39,9%	0,0%	37,6%	3,3%
Castellbisbal	8,8%	1,0%	20,3%	9,0%	3,4%	6,9%	8,7%	14,2%	8,1%	41,1%	2,2%	14,2%	1,5%
Castelldefels	0,6%						1,4%	9,7%	3,9%	21,7%	4,6%	23,8%	
Cervelló							1,6%	6,8%	5,5%	64,3%		6,5%	11,9%
Corbera de Llobregat	30,8%	5,1%	3,7%	40,8%	0,9%		3,9%	22,4%	3,0%	74,6%	0,6%		10,3%
Cornellà de Llobregat	9,9%	0,9%	7,0%	20,4%	26,4%	0,0%	0,0%	9,6%	5,4%	16,8%		6,1%	
Esplugues de Llobregat	18,2%		14,7%	6,2%	27,5%	0,0%	3,9%	13,8%	7,3%	1,5%			
Gavà	24,8%	1,0%		36,7%	2,9%		5,9%	27,5%	0,2%				
L'Hospitalet de Llobregat	12,9%	5,9%	2,2%		5,6%		3,0%	42,8%	6,5%	4,8%		7,0%	6,3%
Molins de Rei	8,9%	8,9%	4,7%	7,1%	20,1%		3,0%	21,1%	2,8%		14,7%	16,3%	
Montcada i Reixac	6,0%	7,2%					3,0%	17,2%	13,8%	1,1%	7,0%	2,6%	
Montgat	30,6%	8,2%	10,1%				20,2%	18,3%	2,1%	45,8%	0,0%	8,0%	
Pallejà	9,8%	14,2%					6,3%	53,3%	4,2%	37,6%	9,7%	1,0%	
El Papiol	17,7%	15,8%		12,2%		0,0%		26,9%	4,4%				
Ripolllet	9,3%	13,5%			39,5%			7,2%					
Sant Adrià de Besòs	49,0%	6,7%		23,2%	13,8%		5,6%	7,9%	9,2%	6,9%		13,4%	
Sant Andreu de la Barca	31,5%	4,6%	9,8%	6,5%	4,5%	0,0%	1,5%	18,6%	1,9%	13,5%	0,2%		
Sant Boi de Llobregat	14,4%	7,5%		9,0%	33,6%		22,8%	56,3%	17,4%	3,5%			
San Climent de Llobregat							2,5%	7,9%	8,1%	30,1%	0,0%	19,1%	1,1%
Sant Cugat del Vallès	13,5%	2,6%	10,8%	4,3%	3,4%		3,4%	30,2%	2,7%		0,7%		
Sant Feliu de Llobregat	22,4%	19,1%		18,1%			3,4%	27,5%	9,1%			0,7%	
Sant Joan Despi	10,4%	23,6%	7,4%	21,4%	5,3%		8,2%	19,3%	10,5%	36,9%	0,0%	12,1%	
Sant Just Desvern	8,4%	7,5%	2,3%				1,3%	21,0%	5,6%	48,7%	0,0%	0,0%	
Santa Coloma de Cervelló	1,1%	13,1%	4,1%	22,1%	8,5%	0,0%		51,2%	0,1%		6,1%		
Santa Coloma de Gramenet	5,2%	23,5%		14,3%	8,5%		1,1%	17,0%	2,8%			34,0%	0,0%
Barberà del Vallès								15,4%	2,3%	4,0%	55,4%	1,3%	
Barcelonès	11,3%	4,4%	1,8%	7,5%	9,6%		20,7%	10,5%	12,3%	19,5%		24,4%	
Sant Vicenç dels Horts	13,7%		1,7%	3,9%			20,3%	2,0%	20,3%	21,7%		21,5%	
Cerdanyola del Vallès	1,7%		12,2%				2,6%	15,3%	2,7%	60,0%			19,3%
Tiana	1,7%						3,8%	6,2%	5,8%	8,1%		10,7%	
Torrelles de Llobregat	13,1%	8,5%		43,8%	0,0%								
Viladecans													
Badia del Vallès	100,0%						6,5%	29,1%	23,9%	23,8%	1,1%	0,6%	12,1%
La Palma de Cervelló	10,9%	6,1%	4,6%	4,9%	3,6%	22,6%	6,6%	27,1%	0,4%	1,6%			
Barcelona			6,4%										

> 75 % > 50 % > 25 % > 0 %

3.2 Análisis de ciclo de vida de las soluciones constructivas de rehabilitación

3.2.1 Fachadas

Se ha calculado el Análisis de Ciclo de Vida de 1 m² de rehabilitación de fachada. La Figura 18 muestra las categorías de impacto GWP (kg CO₂ –eq) y EE (MJ). Como puede verse, el tipo de solución constructiva resulta un factor relevante: el sistema SATE tiene menos impacto medioambiental que la Fachada Ventilada y el Aislamiento Térmico por el Interior. Teniendo en cuenta el material del aislamiento térmico, la gráfica muestra como el corcho puede ser una solución mejor observando los resultados de GWP en todas las soluciones constructivas. Sin embargo, es una solución peor si se analiza la Energía Embebida. En este caso, al tener en cuenta el carbón biogénico contenido del corcho se pone de manifiesto la idea de que el uso de materiales renovables no necesariamente representa una mejora general medioambiental y saca a la luz la necesidad de optimizar el procesado del material para mejorar sus impactos medioambientales. Como puede verse en la gráfica, el año de construcción también es un factor importante. El impacto medioambiental tiende a decrecer a medida que las regulaciones térmicas entran en vigor.

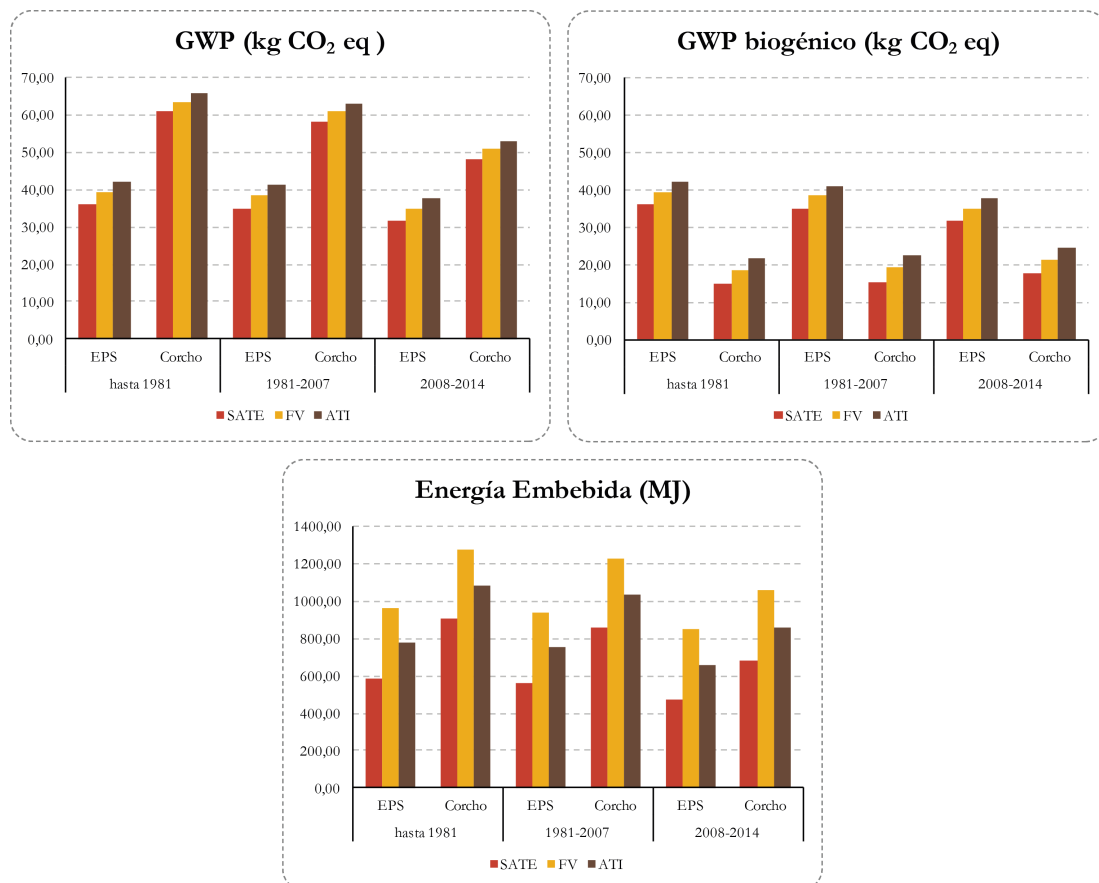


Figura 18. Impacto medioambiental de 1 m² de rehabilitación de fachada

Tabla 13. Impactos medioambientales de 1 m² de rehabilitación de fachada

periodo		hasta 1981		1981-2007		2008-2014		
tipo de aislamiento térmico		EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	
Tipo de rehabilitación de fachada	SATE	GWP (kg CO2 eq)	35,93	60,77	35,00	58,04	31,61	48,04
		GWP biogénico (kg CO2 eq)	35,93	14,79	35,00	15,39	31,61	17,62
		Energía Embebida (MJ)	586,49	906,05	562,03	858,41	472,39	683,82
	Fachada Ventilada	GWP (kg CO2 eq)	39,23	63,44	38,30	60,71	34,91	50,71
		GWP biogénico (kg CO2 eq)	39,23	18,63	38,30	19,24	34,91	21,46
		Energía Embebida (MJ)	964,48	1275,85	940,02	1228,21	850,38	1053,63
	Aislamiento Térmico por el Interior	GWP (kg CO2 eq)	42,00	65,72	41,07	62,99	37,68	52,99
		GWP biogénico (kg CO2 eq)	42,00	21,81	41,07	22,42	37,68	24,64
		Energía Embebida (MJ)	774,07	1079,18	749,61	1031,54	659,97	856,96

3.2.2 Cubiertas

Se ha calculado el Análisis de Ciclo de Vida de 1 m² de rehabilitación de cubierta. La Figura 19 y la Tabla 14 muestran las categorías de impacto GWP (kg CO₂ –eq) y EE (MJ). Como puede verse, el tipo de solución constructiva es un factor relevante: La cubierta plana en comparación con las dos inclinadas posee un GWP más alto, debido a que utiliza menos materiales naturales (los rastreles de madera de las cubiertas inclinadas mejoran esta categoría, al tener en cuenta el GWP biogénico, y ser estos materiales naturales capaces de fijar CO₂). Sin embargo, los resultados en Energía Embebida mejoran considerablemente, ya que el uso de estos materiales no garantiza una manufacturación del material más sostenible. Para el caso de las cubiertas inclinadas, se observa como la cubierta invertida no ventilada funciona siempre mejor que la ventilada, ya que los paneles de madera que se instalan por encima de la cámara de aire en el caso de la cubierta ventilada, aumentan considerablemente los niveles de impacto.

Tabla 14. Impactos medioambientales de 1 m² de rehabilitación de cubierta

periodo		hasta 1981		1981-2007		2008-2014		
material de aislamiento térmico		EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	
Solución constructiva de rehabilitación de cubierta	Cubierta plana	GWP (kg CO2 eq)	24,18	55,59	22,87	51,74	15,68	30,56
		GWP biogénico (kg CO2 eq)	24,18	-2,56	22,87	-1,70	15,68	3,02
		Energía embebida (MJ)	662,75	1066,87	628,15	999,49	438,30	629,72
	Cubierta inclinada	GWP (kg CO2 eq)	80,55	113,31	78,67	107,76	71,46	86,52
		GWP biogénico (kg CO2 eq)	-3,05	-30,71	-4,94	-29,50	-12,14	-24,85
		Energía embebida (MJ)	2712,79	3134,67	2663,07	3037,67	2473,00	2666,84
	Cubierta inclinada ventilada	GWP (kg CO2 eq)	65,23	96,98	63,35	91,44	56,16	70,26
		GWP biogénico (kg CO2 eq)	5,10	-21,91	3,22	-20,68	-3,97	-15,97
		Energía embebida (MJ)	3554,52	3962,94	3504,86	3866,21	3315,00	3496,41

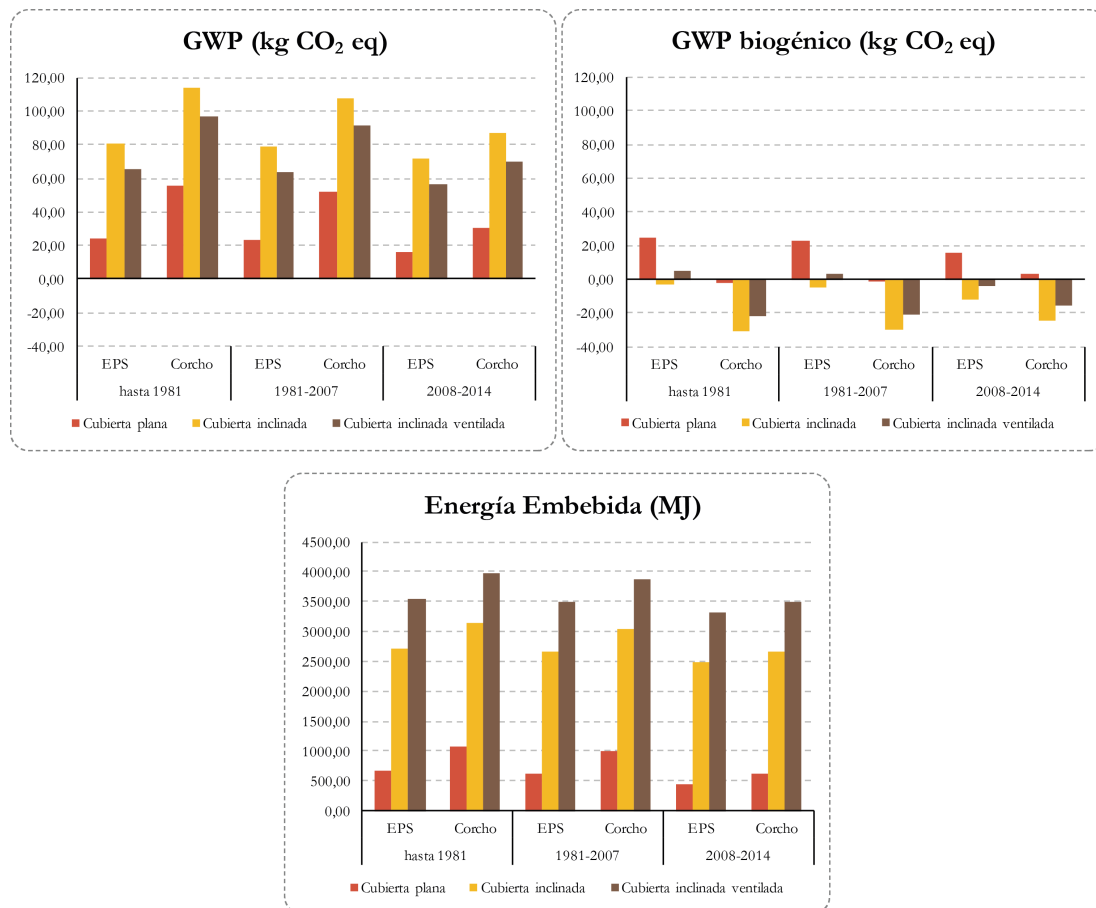


Figura 19. Impacto medioambiental de 1 m² de rehabilitación de cubiertas

3.3 Extrapolación directa de resultados a nivel AMB

3.3.1 Extrapolación de impactos por morfologías urbanas en términos absolutos

Incluidas en el Anexo I (página 45), la Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19 muestran los resultados absolutos obtenidos al extrapolar los impactos de forma directa según las morfologías urbanas consideradas. Se han tenido en cuenta los 12 escenarios de soluciones constructivas (6 de fachada y 6 de cubierta), en las categorías de impacto GWP, GWP biogénico y Energía Embebida (EE).

Observando los resultados de GWP (Tabla 17) las diferencias entre impactos absolutos de soluciones constructivas de fachada poseen una diferencia de hasta 1.853.095.249,46 kg CO₂ eq., siendo el escenario con menor impacto el uso de SATE con EPS, y el de mayor impacto el uso de aislamiento por el interior con corcho. Supone una diferencia relativa de hasta el 182%. En el caso de las soluciones de cubiertas la diferencia es de 2.636.555.314,02 kg CO₂ eq, un 402% en términos relativos, entre la solución menos impactante (la cubierta plana con EPS), frente a la cubierta inclinada ventilada con corcho, que resulta la que mayor impacto produce.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el alcornoque posee capacidad para fijar CO₂, y por ello, resulta relevante contabilizar el GWP biogénico, ya que esta capacidad se transfiere al material hasta su final de vida. En este caso, la diferencia entre la solución de fachada menos impactante (SATE con corcho), y la más impactante (Aislamiento por el interior con EPS), es de 1.695.486.735,41 kg CO₂ eq., un 277% mayor en términos relativos. Para las soluciones de fachadas la diferencia es mucho

mayor, de hasta 1.994.517.761,11 kg CO₂ eq, entre la cubierta plana con EPS y la cubierta inclinada con corcho.

Teniendo en cuenta la Energía Embebida (EE), se obtienen similares resultados relativos a los del GWP, obteniendo valores donde el corcho no es tan competitivo como el EPS. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto lo estratégico que puede resultar en términos medioambientales, mejorar la industria del corcho como material de construcción, desde una perspectiva territorial.

3.3.2 Extrapolación de impactos por morfologías urbanas en términos relativos

Para visualizar la relación entre las formas urbanas, y el impacto de su rehabilitación, se han obtenido resultados de impacto relativos, dividiendo el impacto total por el número de viviendas. La Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22 (Anexo I, página 45), muestran estos resultados.

Analizando en primer lugar la relación entre superficie envolvente y nº de viviendas (Tabla 15 y Figura 20), se observan grandes diferencias entre morfologías urbanas. Las morfologías que corresponden a la ciudad compacta (vivienda colectiva, continua), poseen valores medios en torno a 67 m²/ vivienda, frente a los 260 m²/ vivienda de la vivienda unifamiliar.

Esto demuestra que la morfología es sin duda, un factor clave sobre el que caracterizar la edificación, ya que se encuentran diferencias relativas de hasta un 574% más superficie por vivienda según la morfología considerada.

Se observa, como es lógico, lo más continua y compacta que es una forma, la menor superficie envolvente por vivienda que posee. En el caso de la edificación en bloque, tanto los agrupados, como los alineados a vial responden de una forma similar, mientras los disgregados, que poseen una mayor superficie envolvente, al no poseer una cantidad de viviendas tan elevado.

Tabla 15. Relación entre superficie envolvente y nº de viviendas según morfología urbana

	Morfología	Superficie Envolvente / vivienda (m ² /vivienda)
Bloque		
B1	Agrupados	57
B2	Alineados a vial	58
B3	Disgregados	119
Ensanche		
E1	Axial	67
E2	Irregular	60
E3	Regular Cerdá	63
E4	Regular	63
Histórico		
H1	Casco Antiguo	91
H2	Suburbano	73
MEDIA VIVIENDA COLECTIVA		67
Unifamiliar		
U1	En hilera	165
U2	Irregular	330
U3	Mixto	190
U4	Regular	282
U5	Rústico	325
MEDIA VIVIENDA UNIFAMILIAR		260
	máximo	330
	mínimo	57
	diferencia absoluta	272
	diferencia relativa	574%

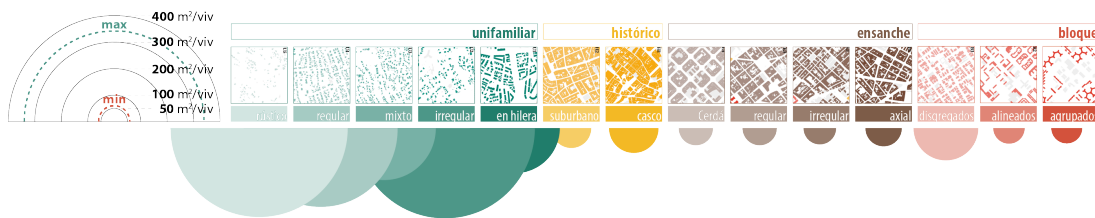


Figura 20. Relación entre superficie envolvente y nº viviendas según morfología urbana

Los resultados e impacto por vivienda de GWP (Tabla 20), ponen de manifiesto que la trama que menos impactos ambientales produciría en su rehabilitación es la morfología de Ensanche, seguido de la edificación en Bloque, siendo de nuevo el escenario más favorable el sistema para fachadas SATE con EPS, y el de mayor impacto el de la fachada aislada por el interior con corcho. En el caso de las cubiertas la de menor impacto la plana con EPS, y la de mayor impacto la inclinada ventilada con corcho.

De nuevo los resultados del GWP biogénico muestran la capacidad que tiene el corcho como material sostenible capaz de fijar el CO₂, siendo los resultados de la Energía Embebida no tan favorables, demostrando la necesidad de mejorar la calidad de la industria para hacer de este material una solución más sostenible en el futuro.

3.4 Extrapolación mediante valoración escenarios a nivel AMB

Tras haber obtenido los datos en 12 escenarios diferentes (6 tipos de solución constructiva de fachada y 6 de cubierta), es necesario conocer la capacidad real de un material como el corcho para servir de aislante en la rehabilitación de viviendas. Por ello, la investigación define ahora un escenario donde el corcho se valore a través de su capacidad real en el mercado.

3.4.1 Capacidad real del corcho como material aislante

Los trabajos realizados por J. Boschmonart-Rives et al. (Rives, Fernandez-Rodriguez, Rieradevall, & Gabarrell, 2012), caracterizan la producción de corcho en el Sur de Europa. Además, J. Sierra-Pérez (2015), ha investigado en el mercado del mismo, contabilizando en dichos estudios que hasta 7.600 toneladas de material bruto extraído de los bosques de corcho de Cataluña son potencialmente utilizables. Esto supone el 50% de la capacidad de los bosques de Cataluña (Tusell & Garcia, 2008).

El escenario planteado obtiene la capacidad del corcho de los datos anteriormente descritos. Aunque en la realidad los paneles de corcho como aislante de construcción se obtienen de los desechos de la fabricación de tapones de corcho natural para la industria del vino y el cava (Sierra-Pérez, Boschmonart-Rives, Dias, et al., 2016), no existen estudios hasta la fecha que contabilicen las toneladas que se obtendrían de la reutilización de los desechos, aunque si se conoce que actualmente sólo se aprovecha el 20% del material bruto extraído (Rives, Fernandez-Rodriguez, Rieradevall, & Gabarrell, 2011).

En la consideración del escenario se toman por tanto la producción de corcho de 7.600 toneladas de corcho anualmente. Además, conociendo las superficies de fachada y cubierta totales por morfología y fecha de construcción, se calcula los kilos de corcho necesarios para la rehabilitación de cada morfología teniendo en cuenta los datos que relacionan kg/m² descritos anteriormente (Tabla 8 y Tabla 9). Se tiene en cuenta la solución constructiva menos impactante de corcho (SATE para el caso de las fachadas, e inclinada en el caso de las cubiertas).

Posteriormente se calcula la cantidad anual que podría rehabilitarse con las soluciones constructivas de corcho seleccionadas, y se obtiene el número de años que se tardaría en completar el 100% de la rehabilitación.

Como puede observarse en la

Tabla 16 y la Figura 21 hay morfologías que requieren de una gran cantidad de tiempo para rehabilitarse con corcho según la capacidad actual de la industria, requiriendo de una estrategia de rehabilitación a largo plazo que tenga en cuenta estas posibilidades (Las morfologías más antiguas de tejido Histórico Suburbano, o los barrios en Bloque Agrupados, así como también los Ensanches tanto irregulares como el de Cerdá). Sin embargo, otros pueden realizarse en tiempo inferior incluso a un año, si bien es cierto que la mayoría corresponde a las morfologías construidas más recientemente.

Es conveniente señalar que esta metodología puede ser útil en la toma de decisiones políticas, al plantear escenarios de rehabilitación y regeneración urbana. De hecho, ayudaría a la toma de decisiones la relación de estos resultados con otros datos que faciliten la toma de decisiones en la priorización de la rehabilitación del parque edificado, como por ejemplo criterios de vulnerabilidad urbana (sociodemográfica, socioeconómica, ...).

Tabla 16. Escenario de rehabilitación. Producción de 7.600 toneladas de corcho / año

		Superficie Fachada (m ²)	Superficie de Cubierta (m ²)	Kilos de Corcho (Kg)	Porcentaje / año	años
Bloque						
Agrupados	Hasta 1981	6.653.055,54	1.980.057,18	203.610.674,86	3,73%	27
	1981-2007	2.512.003,74	1.223.896,39	90.646.926,89	8,38%	12
	2007-2014	393.964,65	173.407,36	13.680.429,16	55,55%	2
Alineados a vial	Hasta 1981	1.727.834,07	725.889,79	58.997.823,38	12,88%	8
	1981-2007	2.030.831,61	1.150.690,09	77.944.745,92	9,75%	10
	2007-2014	284.272,52	137.663,07	10.233.834,74	74,26%	1
Disgregados	Hasta 1981	2.364.953,66	1.134.728,06	84.833.968,83	8,96%	11
	1981-2007	780.996,07	445.997,66	30.075.705,92	25,27%	4
	2007-2014	44.688,45	23.387,35	1.659.274,28	458,03%	0
Ensanche						
Axial	Hasta 1981	1.736.711,15	930.098,07	65.096.780,55	11,67%	9
	1981-2007	240.146,49	208.052,84	11.298.030,37	67,27%	1
	2007-2014	32.281,57	24.648,57	1.422.784,62	534,16%	0
Irregular	Hasta 1981	5.095.808,35	3.432.688,56	211.346.809,94	3,60%	28
	1981-2007	1.161.351,33	1.064.609,02	56.327.576,06	13,49%	7
	2007-2014	97.910,41	78.979,93	4.437.338,82	171,27%	1
Regular Cerdá	Hasta 1981	5.623.894,05	3.095.513,87	213.216.975,11	3,56%	28
	1981-2007	755.425,15	539.795,99	32.224.855,28	23,58%	4
	2007-2014	62.039,14	43.382,43	2.619.047,17	290,18%	0
Regular	Hasta 1981	2.358.171,81	1.579.158,92	97.533.264,26	7,79%	13
	1981-2007	774.175,14	691.320,19	37.017.919,72	20,53%	5
	2007-2014	52.993,02	44.883,54	2.463.429,50	308,51%	0
Histórico						
Casco antiguo	Hasta 1981	2.204.800,42	1.257.937,71	84.872.588,54	8,95%	11
	1981-2007	276.718,14	214.549,34	12.290.420,57	61,84%	2
	2007-2014	25.303,23	18.333,81	1.086.701,58	699,36%	0
Suburbano	Hasta 1981	11.547.661,56	7.720.770,55	477.256.030,96	1,59%	63
	1981-2007	2.397.248,04	1.978.446,40	109.936.342,25	6,91%	14
	2007-2014	284.680,81	201.268,29	12.081.644,17	62,91%	2
Unifamiliar						
En hilera	Hasta 1981	288.055,94	156.634,60	10.865.536,91	69,95%	1
	1981-2007	1.428.393,02	859.676,30	56.277.888,17	13,50%	7
	2007-2014	47.146,34	27.293,99	1.826.288,71	416,14%	0
Irregular	Hasta 1981	2.667.492,28	1.626.380,71	105.703.496,45	7,19%	14
	1981-2007	2.804.618,56	1.447.875,27	103.559.682,43	7,34%	14
	2007-2014	285.755,11	129.359,77	10.026.403,39	75,80%	1
Mixto	Hasta 1981	963.033,39	561.155,58	37.409.742,35	20,32%	5
	1981-2007	309.381,65	163.985,99	11.547.231,33	65,82%	2
	2007-2014	24.306,68	11.434,03	865.304,80	878,30%	0
Regular	Hasta 1981	1.687.561,56	1.006.108,00	66.212.936,63	11,48%	9
	1981-2007	1.235.292,28	689.666,96	47.114.701,88	16,13%	6
	2007-2014	138.997,76	66.059,44	4.967.729,19	152,99%	1
Rústico	Hasta 1981	147.496,02	107.702,33	6.358.586,84	119,52%	1
	1981-2007	160.119,92	104.106,45	6.532.355,73	116,34%	1
	2007-2014	24.741,77	14.191,68	954.600,32	796,14%	0

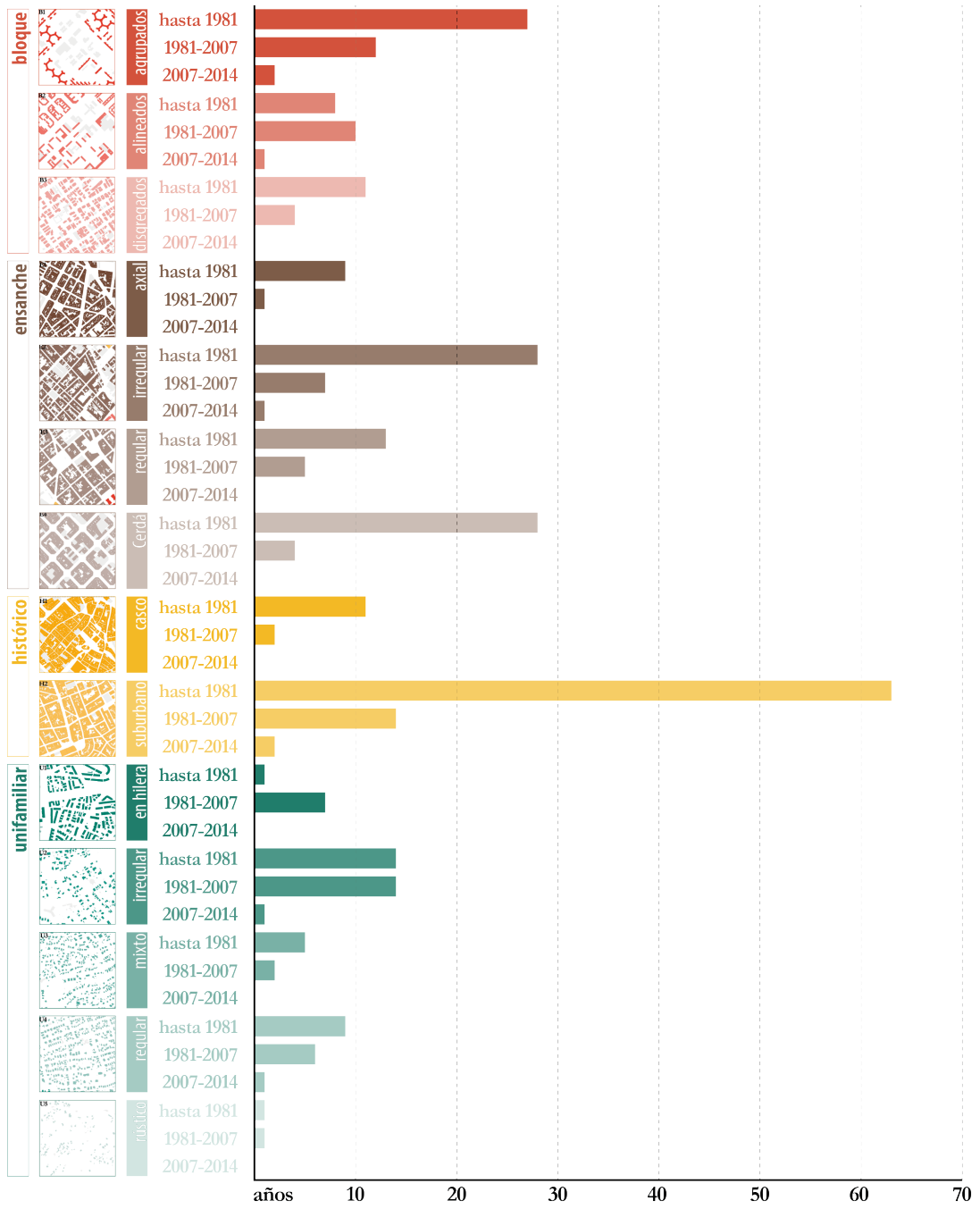


Figura 21. Escenarios de rehabilitación según morfología urbana

3.6 Análisis de sensibilidad

El desarrollo del método de caracterización de superficie envolvente propuesto establece dos variables cuyo error no ha sido posible medir. Por ello se propone analizar la influencia de estas variables, número de plantas y porcentaje de huecos, en el impacto final calculado realizando un análisis de sensibilidad.

3.6.1 Sensibilidad de la variable “número de plantas”

Para el cálculo de la sensibilidad se propone estudiar un aumento de la variable en el cómputo global de superficie neta de fachada, directamente relacionada con el cálculo de impactos. La superficie neta de fachada se calcula según la ecuación:

$$\text{Superficie neta fachada} = \text{Perimetro} \times (\text{N}^\circ \text{ plantas} \times 3) \times (1 - \text{Porcentaje huecos})$$

Si se aumentara en un 5% la variable “Nº de plantas”, la nueva superficie neta de fachada sería:

$$\begin{aligned} \text{Superficie neta fachada}' \\ = \text{Perimetro} \times (\text{N}^\circ \text{ plantas} \times 1,05 \times 3) \times (1 - \text{Porcentaje huecos}) \end{aligned}$$

Como resultado de la división de ambas se obtiene:

$$\frac{\text{Superficie neta fachada}'}{\text{Superficie neta fachada}} = 1,05$$

Se observa que la variable “número de plantas” es por tanto directamente proporcional al resultado final, siendo considerablemente sensible. La razón de sensibilidad responde por tanto a la gráfica representada en la Figura 22.

3.6.2 Sensibilidad de la variable “porcentaje de huecos”

El cálculo de la sensibilidad de la variable “porcentaje de huecos” se propone comparando el aumento de dicha variable en la superficie neta de fachada, directamente relacionada con el cálculo de impactos. La superficie neta fachada se calcula:

$$\text{Superficie neta fachada} = \text{Perimetro} \times (\text{N}^\circ \text{ plantas} \times 3) \times (1 - \text{Porcentaje huecos})$$

Si no se tuvieran en cuenta los huecos, se obtendría una superficie neta de fachada:

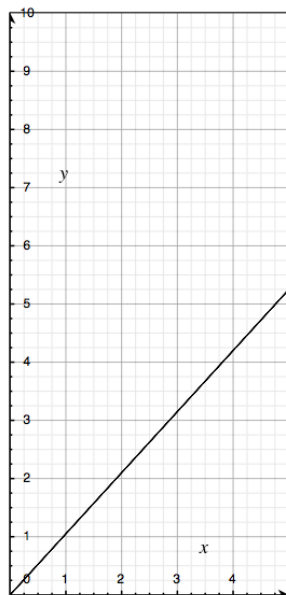
$$\text{Superficie neta fachada}' = \text{Perimetro} \times (\text{N}^\circ \text{ plantas} \times 3)$$

Relacionando ambas superficies se obtiene:

$$\frac{\text{Superficie neta fachada}'}{\text{Superficie neta fachada}} = \frac{1}{1 - \text{Porcentaje huecos}}$$

Se observa en la Figura 22 como el resultado de esta relación es una función racional, en el que a medida que aumenta el porcentaje de huecos, se reduce exponencialmente la superficie envolvente. Esto indica como un error en la variable “Porcentaje de huecos” sería más sensible que en “Número de plantas”.

Sensibilidad “número de plantas”



Sensibilidad “porcentaje de huecos”

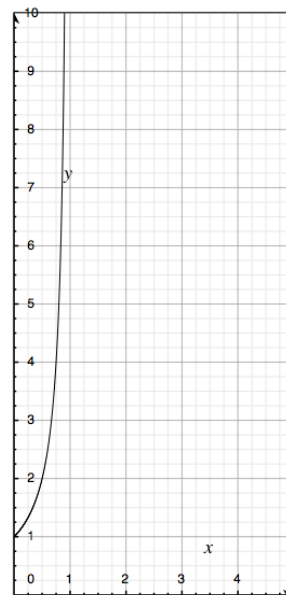


Figura 22. Análisis de sensibilidad de las variables “número de plantas” y “porcentaje de huecos”

4. Conclusiones

La presente investigación ha permitido:

- Obtener nuevas metodologías de caracterización residencial a través de metodologías *bottom-up*, con una aproximación edificio a edificio.

El método de trabajo planteado resulta fácilmente actualizable, ya que se basa en datos abiertos, frente a otras metodologías que dependen de los Censos decenales de Población y Viviendas, con una escala mínima de trabajo mayor a la planteada (la sección censal). Además, el trabajar en la escala de edificación frente a la sección censal permite reagrupar la información en unidades más acordes a la realidad física de la ciudad, como puede ser la morfología urbana, tenida en cuenta en este estudio.

- Conocer el impacto ambiental de las soluciones constructivas tipo de rehabilitación, teniendo en cuenta diversos materiales aislantes.

Es conveniente remarcar que las soluciones a priori más sostenibles pueden no serlo, como se ha confirmado en el estudio. Los datos obtenidos acentúan las altas posibilidades que posee el corcho como material aislante en el sector de la construcción, aunque la industria debería mejorar hacia una mayor eficacia de los procesos de fabricación, reduciendo el consumo energético que se produce en los mismos.

- Conocer las magnitudes del impacto de rehabilitación energética de las envolventes en una escala territorial.

Como se ha visto anteriormente, las diferencias de magnitud en la extrapolación directa a los diferentes escenarios considerados, manifiesta que la elección de una solución menos impactante frente a otra de mayor impacto es importante a escala territorial, consiguiendo minimizar gran cantidad de los impactos. Esto puede ayudar a la creación de políticas de rehabilitación, que tengan en cuenta el Análisis de Ciclo de Vida.

Durante el transcurso de esta investigación se han detectado posibles líneas de investigación que derivan de esta aproximación preliminar.

La línea de trabajo más directa sería la ampliación del ACV a otras fases de vida, como la etapa de uso y fin de vida. Esto supondría realizar modelos de consumo energético, en los que podría relacionarse consumo con ahorro, pudiendo obtener retornos de inversiones para conocer de forma más certera la idoneidad (o no) de la intervención. Además, analizar la energía operativa sería útil para conocer si la solución constructiva mejora las implicaciones ambientales durante esta etapa.

Así mismo podrían realizarse más investigaciones acerca de los materiales aislantes. En la actualidad existen muchos materiales en el mercado, incluso algunos muy novedosos, cuyo ACV todavía no se ha realizado.

Por otra parte, sería conveniente realizar un análisis económico de las soluciones constructivas elegidas, así como realizar su extrapolación con la escala urbana. Además, relacionando dichos resultados con los impactos generados, puede obtenerse una idea más amplia de la sostenibilidad en su conjunto (medioambiental, económica y social).

Para la valoración de escenarios, pueden relacionarse los datos obtenidos con otros desarrollados sobre vulnerabilidad urbana, pudiendo ser, el estudio realizado, un indicador más desde la perspectiva energética en la detección de la vulnerabilidad urbana. Así mismo, debería estudiarse más a fondo la capacidad del corcho en el mercado de la construcción, obteniendo datos fiables que permitan conocer la cantidad

de toneladas que se podrían producir en el reciclaje de los desechos de los tapones de corcho.

Por último, se está empezando a trabajar en la comparación de la metodología presentada en esta investigación con la desarrollada en Luxemburgo por Mastrucci et al. (2015), esperando obtener conclusiones que ayuden a trabajar en esta línea dentro del territorio europeo.

5. Divulgación

Este trabajo ha sido presentado a:

II CONGRESO CIUDADES INTELIGENTES. MADRID 2016

Comunicación escrita

GARCÍA-PÉREZ, S., SIERRA-PÉREZ, J., BOSCHMONART-RIVES, J. 2016. “Metodología para la cuantificación de la envolvente térmica de la edificación residencial y su nivel de eficiencia mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica”. Communication. En *II Congreso Ciudades Inteligentes*, 314–19. Madrid. doi:10.13140/RG.2.1.3296.3446.

III PREMIO TORRES&EARTH A LA INNOVACIÓ MEDIOAMBIENTAL

Póster

GARCÍA-PÉREZ, S., SIERRA-PÉREZ, J., BOSCHMONART-RIVES, J., ET AL. 2016. “El uso de información geoespacial para la detección de áreas urbanas energéticamente vulnerables”. Poster. En *V Jornadas ambientales*. Barcelona: Universidad de Barcelona - Bodegas Torres.

6TH INT. CONF. ON HARMONISATION BETWEEN ARCHITECTURE AND NATURE

Comunicación oral

GARCÍA-PÉREZ, S., SIERRA-PÉREZ, J., BOSCHMONART-RIVES, J., ET AL. 2016. “A characterisation and evaluation of urban areas from an energy efficiency approach, using Geographic Information Systems in combination with Life Cycle Assessment methodology”. Oral communication. En *Eco-Architecture 2016 - 6th International Conference on Harmonisation between Architecture and Nature*. Alicante.

INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND PLANNING

Artículo

GARCÍA-PÉREZ, S., SIERRA-PÉREZ, J., BOSCHMONART-RIVES, J., ET AL. 2017. “A characterisation and evaluation of urban areas from an energy efficiency approach, using Geographic Information Systems in combination with Life Cycle Assessment methodology”. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 12 (2): 294–303. doi:10.2495/SDP-V12-N2-294-303.

6. Referencias

- Bermejo Aguña, A. (2014). El impacto del Censo de 2011 en la investigación de carácter micro. El caso de Madrid. En *El censo de 2011 en el marco de la experiencia censal en España*. Jornada, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- BOE. Real Decreto 1020/1993, de 25 de junio, por el que se aprueban las normas técnicas de valoración y el cuadro marco de valores del suelo y de las construcciones para determinar el valor catastral de los bienes inmuebles de naturaleza urbana. (1993). Spain.
- Crosas, C. (Ed.). (2015). *Metropolis Barcelona*. Barcelona: AMB.
- Cuchi, A., & Pages, A. (2007). *Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero*. Madrid: Ministerio de Vivienda.
- Cuchí, A., & Sweatman, P. (2011). Una visión-país para el sector de la edificación en España, 70.
- Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Anàlisi dels Teixits Urbans del L'AMB*. Barcelona: AMB.
- Dirección General del Catastro. (2011). Fichero informático de remisión de catastro (bienes inmuebles urbanos, rústicos y de características especiales).
- Dirección General del Catastro. (2013a). Descarga y tratamiento de información alfanumérica en formato CAT. Manual del usuario.
- Dirección General del Catastro. (2013b). Modelo de datos de cartografía vectorial (formato shapefile).
- Ecoinvent. (2009). ecoinvent database 3.1. Recuperado a partir de <http://www.ecoinvent.ch/>
- European Commission. (2003). Re-use of public sector information Directive 2003/98/EC. misc, Brussels.
- European Commission. (2010). Regulation of the European Parliament and of the council. Establishing Horizon 2020 - The Framework Programme for Research and Innovation. Brussels.
- European Committee for Standardization. (2014). EN 15804:2012+A1, 2013. Sustainability of construction works - Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.
- Ferrer i Aixalá, A. (1996). *Els polígons de Barcelona*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Hernández Aja, A., Matesanz Parellada, Á., García Madruga, C., Alguacil Gómez, J., Camacho Gutiérrez, J., & Fernández Ramírez, C. (2015). *Atlas de Barrios Vulnerables de España: 12 Ciudades 1991/2001/2006*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- IDAE. (2012). *Guía IDAE: Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X*. book, Madrid.
- Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, & Hyspalist. (2008). *Catálogo de soluciones cerámicas para el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación*. Hyspalist.
- Mastrucci, A., Popovici, E., Marvuglia, A., De Sousa, L., Benetto, E., & Leopold, U. (2015). GIS-based Life Cycle Assessment of urban building stocks retrofitting- a bottom-up framework applied to Luxembourg. En *Proceedings of EnviroInfo and ICT for Sustainability 2015* (pp. 47–56). Paris, France: Atlantis Press. <http://doi.org/10.2991/ict4s-env-15.2015.6>
- Mavrogianni, A., Davies, M., Kolokotroni, M., & Hamilton, I. (2009). A GIS-based bottom-up space heating model of the London domestic stock. En *Eleventh International IBPSA Conference* (pp. 1061–1067). Glasgow.
- Ministerio de Fomento. (2015a). *Atlas de la Edificación Residencial en España 2001 y 2011. Metodología, contenidos y créditos*.
- Ministerio de Fomento. (2015b). *Atlas de la Vulnerabilidad Urbana en España 2001 y 2011*.

Metodología, contenidos y créditos.

- Ministerio de Fomento. (2016). Atlas de la Edificación residencial en España. Recuperado 10 de julio de 2016, a partir de http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/ARQ_VIVIENDA/SUELO_Y_POLITICAS/OBSERVATORIO/AtiEdiResEsp/
- Ministerio de Fomento, Instituto Juan de Herrera, & Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio IJH/ETSAM. (2013). *Análisis de las características de la edificación residencial en España (2001)*. Madrid.
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. (1979). Real Decreto 2429/79, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en los edificios.
- Ministerio de Vivienda. (2006). Documento Básico de Salubridad (DB-HS). Madrid.
- Ministerio de Vivienda. (2013). Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Madrid.
- Ministerio de Vivienda, Instituto de Ciencias de la Construcción EduardoTorroja, & CSIC. (2008). Catálogo de elementos constructivos del CTE, 141.
- Monzón, M., Daumal, F., & López-Mesa, B. (2015). Condiciones de habitabilidad y rehabilitación acústica en la vivienda social de la posguerra español. En A. Calvo-Manzano & A. Pérez-López (Eds.), *46º Congreso español de acústica* (pp. 936–945). Valencia: Sociedad Española de Acústica -SEA-.
- Mora-García, R. T., Céspedes-López, M. F., Pérez-Sánchez, J. C., & Pérez-Sánchez, V. R. (2015). Reutilización de datos catastrales para estudios urbanos. En J. de la Riva, P. Ibarra, R. Montorio, & M. Rodrigues (Eds.), *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (pp. 295–304). Universidad de Zaragoza - AGE.
- Österbring, M., Mata, É., Jonsson, F., & Wallbaum, H. (2014). A methodology for spatial modelling of energy and resource use of buildings in urbanized areas. En *World Sustainable Building Conference WSB14*. Barcelona.
- Pombo, O., Allacker, K., Rivela, B., & Neila, J. (2016). Sustainability assessment of energy saving measures: a multi-criteria approach for residential buildings retrofitting—A case study of the Spanish housing stock. *Energy and Buildings*, 116, 384–394. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.019>
- PRé Consultants. Simapro 7.3.0, Pub. L. No. Simapro 7.3.0 (2010). Amersfoort (Netherlands).
- QGIS Development Team. (2015). QGIS Geographic Information System. *Open Source Geospatial Foundation Project*.
- Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in southern Europe (Catalonia – Spain). *Journal of Cleaner Production*, 19(2–3), 259–271. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.10.001>
- Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2012). Environmental analysis of raw cork extraction in cork oak forests in southern Europe (Catalonia--Spain). *Journal of environmental management*, 110, 236–45. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.024>
- Rode, P., & Burdett, R. (2011). Cities: Investing in energy and resource efficiency. (Vol. 11, pp. 453–492).
- Rodrigues, C., & Freire, F. (2014). Integrated life-cycle assessment and thermal dynamic simulation of alternative scenarios for the roof retrofit of a house. *Building and Environment*, 81, 204–215. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.001>
- Rodríguez-Soria, B., Domínguez-Hernández, J., Pérez-Bella, J. M., & del Coz-Díaz, J. J. (2015). Quantitative analysis of the divergence in energy losses allowed through building envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1000–1008. article. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.002>
- Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., Dias, A. C., & Gabarrell, X. (2016). Environmental implications of the use of agglomerated cork as thermal insulation in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 126, 97–107. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.146>

- Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., & Gabarrell, X. (2015). Production and trade analysis in the Iberian cork sector: Economic characterization of a forest industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 98, 55–66. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.011>
- Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., & Gabarrell, X. (2016). Environmental assessment of façade-building systems and thermal insulation materials for different climatic conditions. *Journal of Cleaner Production*, 113, 102–113. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.090>
- Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., Guillén-Lambea, S., Rodríguez-Soria, B., & Gabarrell, X. (2015). Environmental implications of cork as thermal insulation in façade retrofits. En *10th Conference on Advanced Building Skins*. Bern.
- Swan, L. G., & Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1819–1835. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>
- Tusell, J. M., & Garcia, R. M. (2008). *Gestió de la sureda: manual didàctic*. Santa Coloma de Farners: Consorci Forestal de Catalunya - Santa Coloma de Farners.
- UN - Population Division. (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, World Population 2015 Wallchart*.
- Wassenberg, F. (2012). Housing Estates. En S. J. Smith, M. Elsinga, L. F. O'Mahony, O. S. Eng, S. Wachter, & P. Montserrat Eastaway (Eds.), *International Encyclopedia of Housing and Home* (Vol. 3, pp. 444–449). Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-047163-1.00530-0>

7. Anexo 1

Tablas de impactos

El presente anexo incluye:

Tabla 17. Impactos absolutos por morfología urbana (GWP)

Tabla 18. Impactos absolutos por morfología urbana (GWP biogénico)

Tabla 19. Impactos absolutos por morfología urbana (Energía Embebida)

Tabla 20. Impactos relativos por morfología urbana (GWP/vivienda)

Tabla 21. Impactos relativos por morfología urbana (GWP biogénico/vivienda)

Tabla 22. Impactos relativos por morfología urbana (Energía Embebida/vivienda)

Tabla 17. Impactos absolutos por morfología urbana (GWP)

GWP	numero viviendas	superficie envolvente	Fachadas			Aislada por el Interior			Plana			Cubiertas			Inclinada ventiliada		
			SA TE EPS	Corcho	EPS	Ventiliada Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS
Bloque																	
Agrupados	Hasta 1981	164.256	2,39E+08	4,04E+08	2,61E+08	4,22E+08	4,37E+08	2,79E+08	4,79E+07	1,10E+08	1,59E+08	1,10E+08	1,29E+08	1,92E+08	1,29E+08	1,10E+08	1,92E+08
	1981-2007	52.860	8,79E+07	1,46E+08	9,62E+07	1,53E+08	1,03E+08	1,03E+08	2,80E+07	6,33E+07	9,63E+07	6,33E+07	7,75E+07	1,12E+08	7,75E+07	6,33E+07	1,12E+08
	2007-2014	8.330	1,25E+07	1,89E+07	1,38E+07	2,00E+07	1,48E+07	2,09E+07	2,72E+06	5,30E+06	1,24E+07	5,30E+06	9,74E+06	1,22E+07	9,74E+06	5,30E+06	1,22E+07
Alineados a vial	Hasta 1981	52.374	6,21E+07	1,05E+08	6,78E+07	1,10E+08	7,26E+07	1,14E+08	1,76E+07	4,04E+07	5,85E+07	4,04E+07	4,73E+07	7,04E+07	4,73E+07	4,04E+07	7,04E+07
	1981-2007	45.958	7,11E+07	1,18E+08	7,78E+07	1,23E+08	8,34E+07	1,28E+08	2,63E+07	5,95E+07	9,05E+07	5,95E+07	7,29E+07	1,05E+08	7,29E+07	5,95E+07	1,05E+08
	2007-2014	5.975	8,99E+06	1,37E+07	9,92E+06	1,44E+07	1,07E+07	1,51E+07	2,16E+06	4,21E+06	9,84E+06	4,21E+06	7,73E+06	9,67E+06	7,73E+06	4,21E+06	9,67E+06
Disgregados	Hasta 1981	29.834	8,50E+07	1,44E+08	9,28E+07	1,50E+08	9,93E+07	1,55E+08	2,74E+07	6,31E+07	9,14E+07	6,31E+07	7,40E+07	1,10E+08	7,40E+07	6,31E+07	1,10E+08
	1981-2007	9.658	2,73E+07	4,53E+07	2,99E+07	4,74E+07	3,21E+07	4,92E+07	1,02E+07	2,31E+07	3,51E+07	2,31E+07	2,83E+07	4,08E+07	2,83E+07	2,31E+07	4,08E+07
	2007-2014	647	1,41E+06	2,15E+06	1,56E+06	2,27E+06	1,68E+06	2,37E+06	3,67E+05	7,15E+05	1,67E+06	7,15E+05	1,31E+06	1,64E+06	1,31E+06	7,15E+05	1,64E+06
Ersanche																	
Axial	Hasta 1981	40.815	6,24E+07	1,06E+08	6,81E+07	1,10E+08	7,29E+07	1,14E+08	2,25E+07	5,17E+07	7,49E+07	5,17E+07	6,07E+07	9,02E+07	6,07E+07	5,17E+07	9,02E+07
	1981-2007	5.459	8,41E+06	1,39E+07	9,20E+06	1,46E+07	9,86E+06	1,51E+07	4,76E+06	1,08E+07	1,64E+07	1,08E+07	1,32E+07	1,90E+07	1,32E+07	1,08E+07	1,90E+07
	2007-2014	870	1,02E+06	1,55E+06	1,13E+06	1,64E+06	1,22E+06	1,71E+06	3,86E+05	7,53E+05	1,76E+06	7,53E+05	1,38E+06	1,73E+06	1,38E+06	7,53E+05	1,73E+06
Irregular	Hasta 1981	149.505	1,83E+08	3,10E+08	2,00E+08	3,23E+08	2,14E+08	3,33E+08	8,30E+07	1,91E+08	2,77E+08	1,91E+08	2,24E+08	3,33E+08	2,24E+08	1,91E+08	3,33E+08
	1981-2007	29.377	4,06E+07	6,74E+07	4,45E+07	7,05E+07	4,77E+07	7,32E+07	2,43E+07	5,51E+07	8,38E+07	5,51E+07	6,74E+07	9,73E+07	6,74E+07	5,51E+07	9,73E+07
	2007-2014	2.549	3,09E+06	4,70E+06	3,42E+06	4,97E+06	3,69E+06	5,19E+06	1,24E+06	2,41E+06	5,64E+06	2,41E+06	4,44E+06	5,55E+06	4,44E+06	2,41E+06	5,55E+06
Regular Cerdá	Hasta 1981	136.521	2,02E+08	3,42E+08	2,21E+08	3,57E+08	2,36E+08	3,70E+08	7,48E+07	1,72E+08	2,49E+08	1,72E+08	2,02E+08	3,00E+08	2,02E+08	1,72E+08	3,00E+08
	1981-2007	22.468	2,64E+07	4,38E+07	2,89E+07	4,59E+07	3,10E+07	4,76E+07	1,23E+07	2,79E+07	4,25E+07	2,79E+07	3,42E+07	4,94E+07	3,42E+07	2,79E+07	4,94E+07
	2007-2014	1.890	1,96E+06	2,98E+06	2,17E+06	3,15E+06	2,34E+06	3,29E+06	6,80E+05	1,33E+06	3,10E+06	1,33E+06	2,44E+06	3,05E+06	2,44E+06	1,33E+06	3,05E+06
Regular	Hasta 1981	67.678	8,47E+07	1,43E+08	9,25E+07	1,50E+08	9,90E+07	1,55E+08	3,82E+07	8,78E+07	1,27E+08	8,78E+07	1,03E+08	1,53E+08	1,03E+08	8,78E+07	1,53E+08
	1981-2007	18.389	2,71E+07	4,49E+07	2,97E+07	4,70E+07	3,18E+07	4,88E+07	1,58E+07	3,58E+07	5,44E+07	3,58E+07	4,38E+07	6,32E+07	4,38E+07	3,58E+07	6,32E+07
	2007-2014	1.352	1,68E+06	2,55E+06	1,85E+06	2,69E+06	2,00E+06	2,81E+06	7,04E+05	1,37E+06	3,21E+06	1,37E+06	2,52E+06	3,15E+06	2,52E+06	1,37E+06	3,15E+06
Histórico																	
Casco antiguo	Hasta 1981	37.614	7,92E+07	1,34E+08	8,65E+07	1,40E+08	9,26E+07	1,45E+08	3,04E+07	6,99E+07	1,01E+08	6,99E+07	8,21E+07	1,22E+08	8,21E+07	6,99E+07	1,22E+08
	1981-2007	5.822	9,69E+06	1,61E+07	1,06E+07	1,68E+07	1,14E+07	1,74E+07	4,91E+06	1,11E+07	1,69E+07	1,11E+07	1,36E+07	1,96E+07	1,36E+07	1,11E+07	1,96E+07
	2007-2014	537	8,00E+05	1,22E+06	8,83E+05	1,28E+06	9,53E+05	1,34E+06	2,87E+05	5,60E+05	1,31E+06	5,60E+05	1,03E+06	1,29E+06	1,03E+06	5,60E+05	1,29E+06
Suburbano	Hasta 1981	270.910	4,15E+08	7,02E+08	4,53E+08	7,33E+08	4,83E+08	7,59E+08	1,87E+08	4,29E+08	6,22E+08	4,29E+08	5,04E+08	7,49E+08	5,04E+08	4,29E+08	7,49E+08
	1981-2007	51.147	8,39E+07	1,39E+08	9,18E+07	1,46E+08	9,83E+07	1,51E+08	4,53E+07	1,02E+08	1,56E+08	1,02E+08	1,25E+08	1,81E+08	1,25E+08	1,02E+08	1,81E+08
	2007-2014	6.404	9,00E+06	1,37E+07	9,94E+06	1,44E+07	1,07E+07	1,51E+07	3,16E+06	6,15E+06	1,44E+07	6,15E+06	1,13E+07	1,41E+07	1,13E+07	6,15E+06	1,41E+07
Unifamiliar																	
En hilera	Hasta 1981	2.780	1,03E+07	1,75E+07	1,13E+07	1,83E+07	1,21E+07	1,89E+07	3,79E+06	8,71E+06	1,26E+07	8,71E+06	1,02E+07	1,52E+07	1,02E+07	8,71E+06	1,52E+07
	1981-2007	13.721	5,00E+07	8,29E+07	5,47E+07	8,67E+07	5,87E+07	9,00E+07	1,97E+07	4,45E+07	6,76E+07	4,45E+07	5,45E+07	7,86E+07	5,45E+07	4,45E+07	7,86E+07
	2007-2014	525	1,49E+06	2,26E+06	1,65E+06	2,39E+06	1,78E+06	2,50E+06	4,28E+05	8,34E+05	1,95E+06	8,34E+05	1,53E+06	1,92E+06	1,53E+06	8,34E+05	1,92E+06
Irregular	Hasta 1981	14.723	9,58E+07	1,62E+08	1,05E+08	1,69E+08	1,12E+08	1,75E+08	3,93E+07	9,04E+07	1,31E+08	9,04E+07	1,06E+08	1,58E+08	1,06E+08	9,04E+07	1,58E+08
	1981-2007	11.398	9,82E+07	1,63E+08	1,07E+08	1,70E+08	1,15E+08	1,77E+08	3,31E+07	7,49E+07	1,14E+08	7,49E+07	9,17E+07	1,32E+08	9,17E+07	7,49E+07	1,32E+08
	2007-2014	1.076	9,03E+06	1,37E+07	9,98E+06	1,45E+07	1,08E+07	1,51E+07	2,30E+06	3,95E+06	9,24E+06	3,95E+06	7,26E+06	9,09E+06	7,26E+06	3,95E+06	9,09E+06
Mixto	Hasta 1981	8.341	3,46E+07	5,85E+07	3,78E+07	6,11E+07	4,04E+07	6,33E+07	1,36E+07	3,12E+07	4,52E+07	3,12E+07	3,66E+07	5,44E+07	3,66E+07	3,12E+07	5,44E+07
	1981-2007	2.150	1,08E+07	1,80E+07	1,18E+07	1,88E+07	1,27E+07	1,93E+07	3,75E+06	8,48E+06	1,29E+07	8,48E+06	1,04E+07	1,50E+07	1,04E+07	8,48E+06	1,50E+07
	2007-2014	188	7,68E+05	1,17E+06	8,49E+05	1,23E+06	9,16E+05	1,29E+06	1,79E+05	3,49E+05	8,17E+05	3,49E+05	6,42E+05	8,03E+05	6,42E+05	3,49E+05	8,03E+05
Regular	Hasta 1981	9.901	6,06E+07	1,03E+08	6,62E+07	1,07E+08	7,09E+07	1,11E+08	2,43E+07	5,59E+07	8,10E+07	5,59E+07	6,56E+07	9,76E+07	6,56E+07	5,59E+07	9,76E+07
	1981-2007	6.420	4,32E+07	7,17E+07	4,73E+07	7,50E+07	5,07E+07	7,78E+07	1,58E+07	3,57E+07	5,43E+07	3,57E+07	4,37E+07	6,31E+07	4,37E+07	3,57E+07	6,31E+07
	2007-2014	770	4,39E+06	6,68E+06	4,85E+06	7,05E+06	5,24E+06	7,37E+06	1,04E+06	2,02E+06	4,72E+06	2,02E+06	3,71E+06	4,64E+06	3,71E+06	2,02E+06	4,64E+06
Rústico	Hasta 1981	788	5,30E+06	8,96E+06	5,79E+06	9,36E+06	6,19E+06	9,69E+06	2,60E+06	5,99E+06	8,68E+06	5,99E+06	7,03E+06	1,04E+07	7,03E+06	5,99E+06	1,04E+07
	1981-2007	822	5,60E+06	9,29E+06	6,13E+06	9,72E+06	6,58E+06	1,01E+07	2,38E+06	5,39E+06	8,19E+06	5,39E+06	6,60E+06	9,52E+06	6,60E+06	5,39E+06	9,52E+06
	2007-2014	108	7,82E+05	1,19E+06	8,64E+05	1,25E+06	9,32E+05	1,31E+06	2,23E+05	4,34E+05	1,01E+06	4,34E+05	7,97E+05	9,97E+05	7,97E+05	4,34E+05	9,97E+05

Tabla 18. Impactos absolutos por morfología urbana (GWP biogénico)

GWP Biogénico	numero viviendas	superficie envolvente	Fachadas			Asiada por el Interior			Plana		Cubiertas		Inclinada ventilada	
			SATE	Ventilada	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS
Bloque														
Agrupados	Hasta 1981	164.256	2,39E+08	9,84E+07	2,61E+08	1,24E+08	2,79E+08	1,45E+08	4,79E+07	-5,07E+06	-6,04E+06	-6,08E+07	1,01E+07	-4,34E+07
	1981-2007	52.860	8,79E+07	3,87E+07	9,62E+07	4,83E+07	1,03E+08	5,63E+07	2,80E+07	-2,08E+06	-6,05E+06	-3,61E+07	3,94E+06	-2,52E+07
	2007-2014	8.330	1,25E+07	6,94E+06	1,38E+07	8,45E+06	1,48E+07	9,71E+06	2,72E+06	-5,24E+05	-4,31E+06	-6,88E+05	-6,88E+05	-2,77E+06
Alineados a vial	Hasta 1981	52.374	6,21E+07	2,56E+07	6,78E+07	3,22E+07	7,26E+07	3,77E+07	1,76E+07	-1,86E+06	-2,21E+06	-2,23E+07	3,70E+06	-1,59E+07
	1981-2007	45.958	7,11E+07	3,13E+07	7,78E+07	3,91E+07	8,34E+07	4,55E+07	2,63E+07	-1,96E+06	-5,68E+06	-3,39E+07	3,71E+06	-2,37E+07
	2007-2014	5.975	8,99E+06	5,01E+06	9,92E+06	6,10E+06	1,07E+07	7,00E+06	2,16E+06	-4,16E+05	-1,67E+06	-3,42E+06	-5,47E+05	-2,20E+06
Disgregados	Hasta 1981	29.834	8,50E+07	3,50E+07	9,28E+07	4,41E+07	9,93E+07	5,16E+07	2,74E+07	-2,90E+06	-3,46E+06	-3,48E+07	5,79E+06	-2,49E+07
	1981-2007	9.638	2,73E+07	1,20E+07	2,99E+07	1,50E+07	3,21E+07	1,73E+07	1,02E+07	-7,58E+05	-2,20E+06	-1,32E+07	1,44E+06	-9,19E+06
	2007-2014	647	1,41E+06	7,87E+05	1,56E+06	9,59E+05	1,68E+06	1,10E+06	3,67E+05	-2,84E+04	-2,84E+05	-5,81E+05	-9,28E+04	-3,73E+05
Ensanche														
Axial	Hasta 1981	40.815	6,24E+07	2,57E+07	6,81E+07	3,24E+07	7,29E+07	3,79E+07	2,25E+07	-2,38E+06	-2,84E+06	-2,86E+07	4,74E+06	-2,04E+07
	1981-2007	5.459	8,41E+06	3,70E+06	9,20E+06	4,62E+06	9,86E+06	5,38E+06	4,76E+06	-3,54E+05	-1,03E+06	-6,14E+06	6,70E+05	-4,29E+06
	2007-2014	870	1,02E+06	5,69E+05	1,13E+06	6,93E+05	1,22E+06	7,95E+05	3,86E+05	7,44E+04	-2,99E+05	-6,13E+05	-9,79E+04	-3,94E+05
Irregular	Hasta 1981	149.505	1,83E+08	7,54E+07	2,00E+08	9,49E+07	2,14E+08	1,11E+08	8,30E+07	-8,79E+06	-1,05E+07	-1,05E+08	1,75E+07	-7,52E+07
	1981-2007	29.377	4,06E+07	1,79E+07	4,45E+07	2,23E+07	4,77E+07	2,60E+07	2,43E+07	-1,81E+06	-5,20E+06	-3,14E+07	3,43E+06	-2,19E+07
	2007-2014	2.549	3,09E+06	1,73E+06	3,42E+06	2,10E+06	3,69E+06	2,41E+06	1,24E+06	2,39E+05	-9,59E+05	-1,96E+06	-3,14E+05	-1,26E+06
Regular Cerdá	Hasta 1981	136.521	2,02E+08	8,32E+07	2,21E+08	1,05E+08	2,36E+08	1,23E+08	7,48E+07	-7,92E+06	-9,44E+06	-9,51E+07	1,58E+07	-6,78E+07
	1981-2007	22.468	2,64E+07	1,16E+07	2,89E+07	1,45E+07	3,10E+07	1,69E+07	1,23E+07	-9,18E+05	-2,67E+06	-1,59E+07	1,74E+06	-1,11E+07
	2007-2014	1.890	1,96E+06	1,09E+06	2,17E+06	1,33E+06	2,34E+06	1,53E+06	6,80E+05	1,31E+05	-2,75E+05	-1,08E+06	-1,72E+05	-6,93E+05
Regular	Hasta 1981	67.678	8,47E+07	3,49E+07	9,25E+07	4,39E+07	9,90E+07	5,14E+07	3,82E+07	-4,04E+06	-4,82E+06	-4,85E+07	8,05E+06	-3,46E+07
	1981-2007	18.389	2,71E+07	1,19E+07	2,97E+07	1,49E+07	3,18E+07	1,74E+07	1,58E+07	-1,18E+06	-3,42E+06	-2,04E+07	2,23E+06	-1,42E+07
	2007-2014	1.352	1,68E+06	9,34E+05	1,85E+06	1,14E+06	2,00E+06	1,31E+06	7,04E+05	1,36E+05	-5,45E+05	-1,12E+06	-1,78E+05	-7,17E+05
Histórico														
Casco antiguo	Hasta 1981	37.614	7,92E+07	3,26E+07	8,65E+07	4,11E+07	9,26E+07	4,81E+07	3,04E+07	-3,22E+06	-3,84E+06	-3,86E+07	6,42E+06	-2,76E+07
	1981-2007	5.822	9,69E+06	4,26E+06	1,06E+07	5,32E+06	1,14E+07	6,20E+06	4,91E+06	-3,65E+05	-1,06E+06	-6,33E+06	6,91E+05	-4,42E+06
	2007-2014	537	8,00E+05	4,46E+05	8,83E+05	5,43E+05	9,53E+05	6,23E+05	2,87E+05	5,54E+04	-2,23E+05	-4,56E+05	-7,28E+04	-2,93E+05
Suburbano	Hasta 1981	270.910	4,15E+08	1,71E+08	4,53E+08	2,15E+08	4,85E+08	2,52E+08	1,87E+08	-1,98E+07	-2,35E+07	-2,37E+08	3,94E+07	-1,69E+08
	1981-2007	51.147	8,39E+07	3,69E+07	9,18E+07	4,61E+07	8,85E+07	5,37E+07	4,52E+07	-3,36E+06	-9,77E+06	-5,84E+07	6,37E+06	-4,08E+07
	2007-2014	6.404	9,00E+06	5,02E+06	9,94E+06	6,11E+06	1,07E+07	7,01E+06	3,16E+06	6,08E+06	-2,44E+06	-5,00E+06	-7,99E+05	-3,21E+06
Unifamiliar														
En hilera	Hasta 1981	2.780	1,03E+07	4,26E+06	1,13E+07	5,37E+06	1,21E+07	6,28E+06	3,79E+06	-4,01E+05	-4,78E+05	-4,81E+06	7,99E+05	-3,43E+06
	1981-2007	13.721	5,00E+07	2,20E+07	5,47E+07	2,75E+07	5,87E+07	3,20E+07	1,97E+07	-1,46E+06	-4,25E+06	-2,54E+07	2,77E+06	-1,77E+07
	2007-2014	525	1,49E+06	8,31E+05	1,65E+06	1,01E+06	1,78E+06	1,16E+06	4,28E+05	8,24E+04	-3,31E+05	-6,78E+05	-1,08E+05	-4,36E+05
Irregular	Hasta 1981	14.723	9,58E+07	4,32E+07	1,05E+08	4,97E+07	1,12E+08	5,82E+07	3,93E+07	-4,16E+06	-4,99E+06	-4,99E+07	8,29E+06	-3,56E+07
	1981-2007	11.398	9,82E+07	4,39E+07	1,07E+08	5,40E+07	1,15E+08	6,29E+07	3,31E+07	-2,46E+06	-4,27E+06	-4,27E+07	4,66E+06	-2,98E+07
	2007-2014	1.076	9,03E+06	5,04E+06	9,98E+06	6,13E+06	1,08E+07	7,04E+06	2,03E+06	3,91E+05	-1,57E+06	-3,21E+06	-5,14E+05	-2,07E+06
Mixto	Hasta 1981	8.341	3,46E+07	1,42E+07	3,78E+07	1,79E+07	4,04E+07	2,10E+07	1,36E+07	-1,34E+06	-1,71E+06	-1,72E+07	2,86E+06	-1,23E+07
	1981-2007	2.150	1,08E+07	4,76E+06	1,18E+07	5,95E+06	1,27E+07	6,94E+06	3,75E+06	-2,79E+05	-8,10E+05	-4,84E+06	5,28E+05	-3,38E+06
	2007-2014	188	7,68E+05	4,28E+05	8,49E+05	5,22E+05	9,16E+05	5,99E+05	1,79E+05	3,45E+04	-1,39E+05	-2,84E+05	-5,24E+04	-1,83E+05
Regular	Hasta 1981	9.901	6,06E+07	2,50E+07	6,62E+07	3,14E+07	7,09E+07	3,68E+07	2,43E+07	-2,58E+06	-3,09E+06	-3,09E+07	5,13E+06	-2,20E+07
	1981-2007	6.420	4,32E+07	1,90E+07	4,73E+07	2,38E+07	5,07E+07	2,77E+07	1,58E+07	-1,17E+06	-3,41E+06	-2,03E+07	2,22E+06	-1,42E+07
	2007-2014	770	4,39E+06	2,45E+06	4,85E+06	2,98E+06	5,24E+06	3,42E+06	1,04E+06	1,99E+05	-8,02E+05	-1,64E+06	-2,62E+05	-1,05E+06
Rústico	Hasta 1981	788	5,30E+06	2,18E+06	5,79E+06	2,75E+06	6,19E+06	3,22E+06	2,60E+06	-2,76E+05	-3,28E+05	-3,31E+06	5,49E+05	-2,36E+06
	1981-2007	822	5,60E+06	2,46E+06	6,13E+06	3,08E+06	6,58E+06	3,59E+06	2,38E+06	-1,77E+05	-5,14E+05	-3,07E+06	3,35E+05	-2,14E+06
	2007-2014	108	7,82E+05	4,36E+05	8,64E+05	5,31E+05	9,32E+05	6,10E+05	2,28E+05	4,29E+04	-1,72E+05	-3,53E+04	-5,63E+04	-2,27E+05

Tabla 20. Impactos relativos por morfología urbana (GWP/vivienda)

GWP / vivienda	numero viviendas	superficie envolvente / vivienda	SATE		Fachadas		Aislada por el Interior		Plana		Cubiertas		Inclinada ventilada	
			EPS	Corcho	Ventilada	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho
Bloque														
Agrupados	164.256	53	1.455	2.461	1.589	2.570	1.701	2.662	291	670	971	670	786	1.169
	52.860	71	1.663	2.758	1.820	2.885	1.952	2.993	530	1.198	1.821	1.198	1.467	2.117
	8.330	68	1.495	2.272	1.651	2.398	1.782	2.506	326	636	1.488	636	1.169	1.463
Alineados a vial	52.374	47	1.185	2.005	1.294	2.093	1.386	2.168	335	770	1.116	770	904	1.344
	45.958	69	1.547	2.565	1.692	2.683	1.815	2.783	573	1.295	1.970	1.295	1.586	2.289
	5.975	71	1.504	2.286	1.661	2.413	1.793	2.521	361	704	1.646	704	1.294	1.619
Disgregados	29.834	117	2.848	4.817	3.110	5.029	3.329	5.210	920	2.114	3.064	2.114	2.481	3.689
	9.658	127	2.830	4.693	3.097	4.909	3.321	5.094	1.056	2.389	3.633	2.389	2.925	4.223
	647	105	2.183	3.318	2.411	3.503	2.603	3.660	567	1.105	2.583	1.105	2.030	2.540
Ensanche														
Axial	40.815	65	1.529	2.586	1.669	2.699	1.787	2.796	551	1.267	1.836	1.267	1.486	2.210
	5.459	82	1.540	2.553	1.685	2.671	1.807	2.771	872	1.972	2.998	1.972	2.414	3.485
	870	65	1.173	1.783	1.295	1.882	1.398	1.966	444	866	2.025	866	1.591	1.991
Irregular	149.505	57	1.225	2.071	1.337	2.162	1.432	2.240	555	1.276	1.849	1.276	1.498	2.227
	29.377	76	1.384	2.294	1.514	2.400	1.624	2.490	829	1.875	2.851	1.875	2.296	3.314
	2.549	69	1.214	1.845	1.341	1.948	1.447	2.035	486	947	2.214	947	1.740	2.177
Regular Cerdá	136.521	64	1.480	2.503	1.616	2.613	1.730	2.707	548	1.260	1.826	1.260	1.479	2.199
	22.468	58	1.177	1.951	1.288	2.041	1.381	2.118	549	1.243	1.890	1.243	1.522	2.197
	1.890	56	1.038	1.577	1.146	1.665	1.237	1.739	360	701	1.640	701	1.289	1.613
Regular	67.678	58	1.252	2.117	1.367	2.211	1.463	2.290	564	1.297	1.880	1.297	1.522	2.263
	18.389	80	1.473	2.443	1.612	2.556	1.729	2.652	860	1.945	2.958	1.945	2.382	3.438
	1.352	72	1.239	1.883	1.368	1.988	1.477	2.077	521	1.015	2.372	1.015	1.864	2.332
Histórico														
Casco antiguo	37.614	92	2.106	3.562	2.300	3.719	2.462	3.852	809	1.859	2.694	1.859	2.182	3.243
	5.822	84	1.664	2.759	1.820	2.886	1.952	2.994	843	1.907	2.899	1.907	2.335	3.370
	537	81	1.489	2.264	1.645	2.389	1.775	2.497	535	1.043	2.440	1.043	1.917	2.399
Suburbano	270.910	71	1.532	2.590	1.672	2.704	1.790	2.801	689	1.584	2.296	1.584	1.859	2.764
	51.147	86	1.640	2.720	1.795	2.845	1.925	2.952	885	2.001	3.043	2.001	2.450	3.537
	6.404	76	1.405	2.136	1.532	2.254	1.675	2.356	493	960	2.246	960	1.765	2.208
Unifamiliar														
En hilera	2.780	160	3.723	6.297	4.065	6.573	4.352	6.810	1.362	3.132	4.538	3.132	3.675	5.464
	1.3721	167	3.644	6.042	3.987	6.320	4.275	6.557	1.433	3.242	4.929	3.242	3.969	5.729
	525	142	2.839	4.314	3.135	4.554	3.384	4.759	815	1.589	3.715	1.589	2.920	3.653
Irregular	14.723	292	6.510	11.010	7.108	11.494	7.610	11.907	2.671	6.141	8.898	6.141	7.206	10.713
	11.398	373	8.612	14.281	9.424	14.938	10.106	15.499	2.905	6.572	9.993	6.572	8.047	11.616
	1.076	386	8.395	12.758	9.271	13.467	10.007	14.073	1.885	5.674	8.591	5.674	6.752	8.447
Mixto	8.341	183	4.148	7.016	4.529	7.325	4.849	7.588	1.627	3.740	5.419	3.740	4.388	6.525
	2.150	220	5.036	8.352	5.511	8.736	5.910	9.064	1.744	3.946	6.000	3.946	4.832	6.974
	188	190	4.087	6.211	4.514	6.556	4.872	6.851	954	1.859	4.346	1.859	3.416	4.273
Regular	9.901	272	6.124	10.358	6.687	10.813	7.159	11.202	2.457	5.649	8.185	5.649	6.628	9.855
	6.420	300	6.734	11.168	7.369	11.681	7.902	12.120	2.457	5.558	8.451	5.558	6.805	9.823
	770	266	5.706	8.672	6.302	9.154	6.802	9.566	1.345	2.622	6.131	2.622	4.818	6.028
Rústico	788	324	6.725	11.375	7.343	11.875	7.861	12.301	3.305	7.598	11.009	7.598	8.916	13.255
	822	321	6.818	11.306	7.461	11.826	8.000	12.270	2.896	6.553	9.964	6.553	8.023	11.581
	108	360	7.242	11.006	7.998	11.617	8.632	12.140	2.060	4.016	9.390	4.016	7.380	9.232

Tabla 21. Impactos relativos por morfología urbana (GWP biogénico/vivienda)

GWP Biogénico / vivienda	vivienda	numero viviendas	superficie envolvente / vivienda	SATE		Fachadas		Aislada por el Interior		Plana		Cubiertas			
				EPS	Corcho	Ventilada	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	Inclinada	Corcho	Inclinada	Corcho
Bloque															
Agrupados	Hasta 1981	164.256	53	1.455	599	1.589	755	1.701	883	291	-31	-37	-370	61	-264
	1981-2007	52.860	71	1.663	731	1.820	914	1.952	1.065	530	-39	-114	-683	75	-477
	2007-2014	8.330	68	1.495	833	1.651	1.015	1.782	1.165	326	63	-253	-517	-83	-332
Alineados a vial	Hasta 1981	52.374	47	1.185	488	1.294	615	1.386	720	335	-35	-42	-426	71	-304
	1981-2007	45.958	69	1.547	680	1.692	850	1.815	991	573	-43	-124	-739	81	-516
	2007-2014	5.975	71	1.504	838	1.661	1.021	1.793	1.172	361	70	-280	-573	-91	-368
Disgregados	Hasta 1981	29.834	117	2.848	1.172	3.110	1.477	3.329	1.729	920	-97	-116	-1.168	194	-833
	1981-2007	9.658	127	2.830	1.245	3.097	1.556	3.321	1.813	1.056	-79	-228	-1.362	149	-951
	2007-2014	647	105	2.183	1.217	2.411	1.482	2.603	1.702	567	109	-439	-898	-144	-577
Ensanche															
Axial	Hasta 1981	40.815	65	1.529	629	1.669	793	1.787	928	551	-58	-70	-700	116	-499
	1981-2007	5.459	82	1.540	677	1.685	846	1.807	986	872	-65	-188	-1.124	123	-785
	2007-2014	870	65	1.173	654	1.295	796	1.398	914	444	86	-344	-704	-112	-452
Irregular	Hasta 1981	149.505	57	1.225	504	1.337	635	1.432	743	555	-59	-70	-705	117	-503
	1981-2007	29.377	76	1.384	608	1.514	761	1.624	886	829	-62	-179	-1.069	117	-747
	2007-2014	2.549	69	1.214	677	1.341	824	1.447	946	486	94	-376	-770	-123	-495
Regular Cerdá	Hasta 1981	136.521	64	1.480	609	1.616	767	1.730	898	548	-58	-69	-696	116	-497
	1981-2007	22.468	58	1.177	517	1.288	647	1.381	754	549	-41	-119	-709	77	-495
	2007-2014	1.890	56	1.038	578	1.146	704	1.237	809	360	69	-279	-570	-91	-367
Regular	Hasta 1981	67.678	58	1.252	515	1.367	649	1.463	760	564	-60	-71	-717	119	-511
	1981-2007	18.389	80	1.473	648	1.612	810	1.729	944	860	-64	-186	-1.109	121	-774
	2007-2014	1.352	72	1.239	691	1.368	841	1.477	966	521	100	-403	-825	-132	-530
Histórico															
Casco antiguo	Hasta 1981	37.614	92	2.106	867	2.300	1.092	2.462	1.278	809	-86	-102	-1.027	171	-733
	1981-2007	5.822	84	1.664	731	1.820	914	1.952	1.066	843	-63	-182	-1.087	119	-759
	2007-2014	537	81	1.489	830	1.645	1.011	1.775	1.161	535	103	-414	-848	-136	-545
Suburbano	Hasta 1981	270.910	71	1.532	630	1.672	794	1.790	930	689	-73	-87	-875	145	-624
	1981-2007	51.147	86	1.640	721	1.795	902	1.925	1.051	885	-66	-191	-1.141	125	-797
	2007-2014	6.404	76	1.405	783	1.532	954	1.675	1.095	493	95	-382	-781	-125	-502
Unifamiliar															
En hilera	Hasta 1981	2.780	160	3.723	1.532	4.065	1.930	4.352	2.260	1.362	-144	-172	-1.730	287	-1.234
	1981-2007	13.721	167	3.644	1.602	3.987	2.003	4.275	2.334	1.433	-107	-310	-1.848	202	-1.291
	2007-2014	525	142	2.839	1.582	3.135	1.927	3.384	2.213	815	157	-631	-1.292	-206	-830
Irregular	Hasta 1981	14.723	292	6.510	2.680	7.108	3.375	7.610	3.952	2.671	-283	-337	-3.392	563	-2.420
	1981-2007	11.398	373	8.612	3.787	9.424	4.734	10.106	5.517	2.905	-216	-628	-3.747	409	-2.617
	2007-2014	1.076	386	8.395	4.679	9.271	5.699	10.007	6.544	1.885	363	-1.460	-2.988	-477	-1.920
Mixto	Hasta 1981	8.341	183	4.148	1.708	4.529	2.151	4.849	2.518	1.627	-172	-205	-2.066	343	-1.474
	1981-2007	2.150	220	5.036	2.215	5.511	2.769	5.910	3.226	1.744	-130	-377	-2.250	246	-1.571
	2007-2014	188	190	4.087	2.278	4.514	2.775	4.872	3.186	954	184	-738	-1.511	-241	-971
Regular	Hasta 1981	9.901	272	6.124	2.521	6.687	3.175	7.159	3.717	2.457	-260	-310	-3.121	518	-2.226
	1981-2007	6.420	300	6.734	2.961	7.369	3.702	7.902	4.314	2.457	-183	-531	-3.169	346	-2.213
	2007-2014	770	266	5.706	3.181	6.302	3.874	6.802	4.448	1.345	259	-1.042	-2.132	-341	-1.370
Rústico	Hasta 1981	788	324	6.725	2.768	7.343	3.487	7.861	4.082	3.305	-350	-417	-4.197	697	-2.995
	1981-2007	822	321	6.818	2.998	7.461	3.748	8.000	4.367	2.896	-215	-626	-3.736	408	-2.609
	2007-2014	108	360	7.242	4.037	7.998	4.916	8.632	5.645	2.060	397	-1.595	-3.265	-522	-2.099

Tabla 22. Impactos relativos por morfología urbana (Energía Embebida/vivienda)

EE / vivienda	numero viviendas	superficie envolvente / vivienda	SATE		Fachadas		Aislada por el Interior		Plana		Cubiertas		Inclinada ventiliada	
			EPS	Corcho	Ventilada	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho	EPS	Corcho
Bloque														
Agrupados	Hasta 1981	164.256	23.755	36.699	39.065	51.677	31.353	43.711	7.989	12.861	32.702	37.788	42.849	47.772
	1981-2007	52.860	26.709	40.651	44.671	58.367	35.623	49.004	14.544	23.142	61.660	70.333	81.150	89.516
	2007-2014	8.330	22.342	32.341	40.218	49.803	31.213	40.530	9.125	13.109	51.481	55.516	69.009	72.786
Alineados a vial	Hasta 1981	52.374	19.348	29.891	31.818	42.091	25.537	35.602	9.186	14.787	37.599	43.446	49.265	54.925
	1981-2007	45.958	24.835	37.800	41.538	54.273	33.124	45.567	15.728	25.025	66.678	76.057	87.754	96.802
	2007-2014	5.975	22.475	32.534	40.459	50.100	31.399	40.772	10.100	14.509	56.978	61.444	76.377	80.557
Disgregados	Hasta 1981	29.834	46.491	71.823	76.455	101.137	61.361	85.547	25.208	40.578	103.180	119.226	135.195	150.729
	1981-2007	9.658	45.449	69.173	76.015	99.319	60.617	83.387	29.007	46.156	122.978	140.277	161.851	178.538
	2007-2014	647	32.628	47.232	58.736	72.733	45.584	59.190	15.846	22.763	89.392	96.399	119.829	126.386
Ensanche														
Axial	Hasta 1981	40.815	24.956	38.553	41.039	54.288	32.937	45.920	15.103	24.312	61.819	71.433	81.001	90.308
	1981-2007	5.459	24.724	37.630	41.352	54.030	32.976	45.363	23.940	38.092	101.495	115.771	133.577	147.349
	2007-2014	870	17.528	25.373	31.554	39.073	24.488	31.798	12.419	17.841	70.064	75.556	93.920	99.059
Irregular	Hasta 1981	149.505	19.990	30.882	32.874	43.487	26.384	36.783	15.217	24.496	62.287	71.973	81.613	90.991
	1981-2007	29.377	22.219	33.817	37.162	48.554	29.634	40.765	22.764	36.221	96.508	110.084	127.015	140.110
	2007-2014	2.549	18.145	26.266	32.664	40.448	25.350	32.917	13.582	19.512	76.625	82.631	102.714	108.335
Regular Cerdá	Hasta 1981	136.521	24.160	37.324	39.731	52.558	31.887	44.456	15.027	24.190	61.511	71.076	80.596	89.857
	1981-2007	22.468	18.897	28.761	31.606	41.295	25.204	34.671	15.091	24.013	63.981	72.980	84.205	92.886
	2007-2014	1.890	15.506	22.446	27.914	34.366	21.663	28.130	10.062	14.454	56.764	61.214	76.091	80.255
Regular	Hasta 1981	67.678	20.436	31.570	33.606	44.456	26.972	37.603	15.464	24.894	63.299	73.143	82.939	92.469
	1981-2007	18.389	23.661	36.013	39.575	51.708	31.559	43.413	23.615	37.575	100.116	114.109	131.762	145.347
	2007-2014	1.352	18.516	26.803	33.332	41.275	25.868	33.589	14.553	20.905	82.098	88.533	110.051	116.073
Histórico														
Casco antiguo	Hasta 1981	37.614	34.378	53.109	56.534	74.786	45.373	63.258	22.165	35.680	90.725	104.834	118.875	132.534
	1981-2007	5.822	26.713	40.657	44.679	58.377	35.629	49.012	23.148	36.833	98.138	111.943	129.159	142.476
	2007-2014	537	22.259	32.221	40.070	49.618	31.098	40.380	14.966	21.499	84.431	91.049	113.178	119.372
Suburbano	Hasta 1981	270.910	138.294	210.484	231.304	302.216	184.451	253.735	79.793	126.964	338.287	385.872	445.218	491.120
	1981-2007	51.147	26.342	40.093	44.059	57.566	35.134	48.331	18.888	30.405	77.313	89.336	101.302	112.941
	2007-2014	6.404	20.999	30.398	37.802	46.811	29.338	38.095	13.777	19.791	77.723	83.815	104.186	109.887
Unifamiliar														
En hilera	Hasta 1981	2.780	60.770	93.882	99.937	132.200	80.207	111.822	37.342	60.111	152.848	176.618	200.274	223.285
	1981-2007	1.3721	58.509	89.050	97.859	127.860	78.036	107.349	39.356	62.622	166.852	190.322	219.594	242.234
	2007-2014	525	42.422	61.409	76.366	94.565	59.267	76.957	22.790	32.738	128.568	138.645	172.342	181.773
Irregular	Hasta 1981	14.723	106.259	164.157	174.743	231.157	140.245	195.524	73.211	117.852	299.669	346.272	392.651	437.767
	1981-2007	11.398	125.453	181.603	225.837	279.655	175.269	227.584	52.701	75.707	297.311	320.615	398.539	420.348
	2007-2014	1.076	67.715	104.611	111.357	147.307	89.372	124.600	44.588	71.776	182.508	210.890	239.137	266.614
Mixto	Hasta 1981	8.341	80.875	123.092	135.267	176.738	107.868	148.385	47.911	76.234	203.119	231.691	267.325	294.886
	1981-2007	2.150	61.076	88.412	109.946	136.147	85.328	110.797	26.661	38.299	150.406	162.195	201.616	212.649
	2007-2014	188	99.963	154.430	164.389	217.460	131.935	183.939	67.347	108.412	275.665	318.535	361.199	402.701
Regular	Hasta 1981	9.901	108.142	164.592	180.872	236.324	144.235	198.413	67.479	107.370	286.080	326.321	376.509	415.327
	1981-2007	6.420	85.274	123.441	153.508	190.089	119.136	154.695	37.608	54.025	212.162	228.792	284.399	299.962
	2007-2014	770	109.778	169.592	180.529	238.811	144.889	201.998	90.583	145.818	370.779	428.441	485.825	541.647
Rústico	Hasta 1981	788	109.480	166.628	183.109	239.247	146.019	200.867	79.555	126.586	337.278	384.721	443.891	489.656
	1981-2007	822	108.220	156.657	194.814	241.239	151.193	196.321	57.602	82.748	324.963	350.435	435.606	459.444
	2007-2014	108												