

Modelización urbana para la planificación energética: el caso de Escaldes-Engordany

Trabajo realizado por:

María Paula Guillaumet

Dirigido por:

Martí Rosas-Casals (IS.UPC)

Oriol Travesset-Baro (OBSA)

Máster en:

Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad

Barcelona, junio de 2018

IS.UPC - Instituto universitario de investigación en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad

OBSA - Observatorio de Sostenibilidad de Andorra

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis ha comenzado como un rompecabezas con muchas piezas sueltas que debían ser unidas para poder mostrar la figura completa. Poco a poco algunas de ellas han ido siendo ensambladas gracias a la colaboración de personas que han aparecido para dar una mano y ciertas piezas simplemente han encontrado su lugar a medida que otras iban uniéndose. En la imagen resultante puede verse el contorno de una ciudad en continuo devenir, cuyos cambios no van a detenerse para ser fiel a la fotografía que este documento ha hecho de la misma.

Como actores y espectadores de este devenir nos encontramos todos los que hemos actuado de alguna manera para darle forma. Algunos de ellos puedo verlos desde mi posición, por la cercanía que han creado en el proceso, y es a quienes no quiero dejar de agradecerles:

Al Programa Bec.ar de Argentina, sin el cual no podría haber disfrutado de tan enriquecedora experiencia y sin el cual este trabajo no existiría.

Al Instituto de Sostenibilidad por encontrarse comprometido con la causa, por haber apuntalado un máster tan complicadamente multidisciplinario que a veces es difícil de definir y ofrecernos la posibilidad de redefinir a cada momento sus alcances.

A Martí por haber sido el pastor de este rebaño de estudiantes, que aparecimos un día golpeando la puerta de la UPC para preguntarnos de qué venía esto de la sostenibilidad y cómo podíamos volvemos activos en esas cosas que veíamos no estaban tan bien. Agradezco la forma casual en que propuso lo que fue el inicio de este trabajo y que resultó en una colaboración de la que me llevo cientos de cosas en los bolsillos.

Al Observatorio de Sostenibilidad de Andorra por hacerme un lugar en su propuesta, facilitarme los datos y guiarme en el proceso. A Oriol por ser siempre minucioso y atento para analizar el detalle de cada cosa y proponer alternativas, espero que los resultados hayan cubierto sus expectativas y sigan su curso para contribuir en las siguientes etapas.

Al Comú de Escaldes-Engordany y a Forces Elèctriques d'Andorra por haber aportado los datos que hoy integran el cuerpo de este modelo.

A personas aparentemente anónimas, por no haber sido referenciados en el proceso, que han prestado asistencia en momentos de bloqueo para superarlos y seguir adelante, especialmente a Karina, Luis, Maribel y Pedro que han sabido apuntalar mis debilidades estadísticas para no perder el correcto camino de la fidelidad de los datos numéricos.

A los profesores y compañeros que no estoy nombrando pero que han plantado en mi cabeza nuevas inquietudes e intereses que no voy a quitarme fácilmente, esperando que los mismos crezcan y se contagien a nuevas personas.

Finalmente, a toda esa gente que se ha aparecido por este lado del mundo o que ha brindado el apoyo a distancia, por escucharme y hacer más sencillos y felices mis días.

RESUMEN (Castellano)

El cambio climático tiene las características de un problema surgido de la acción colectiva a escala mundial, puesto que la mayoría de las emisiones se acumulan en el tiempo y combinan globalmente. En las últimas décadas, la variación climática ha causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos, lo que evidencia la sensibilidad de los mismos a sus efectos. Para hacer frente a esta situación, se requieren respuestas cooperativas y generalizadas para mitigar de manera eficaz las causas y abordar posibles consecuencias. La eficacia de estas acciones puede mejorarse mediante medidas complementarias en los distintos ámbitos y niveles.

Existe una innegable relación entre la reducción de emisiones y la reforma del sector energético, siendo este último el causante de gran parte de las emisiones antropogénicas liberadas a la atmósfera. De esta forma, se considera indispensable para el desarrollo futuro establecer nuevas pautas de desarrollo ligadas al uso de la energía, repensando completamente su cadena de producción, distribución y consumo, analizando las posibilidades reales de reducción de impacto en cada una de las etapas. La búsqueda de alternativas que se orienten al desarrollo sostenible, sin comprometer los recursos ni el ambiente circundante, se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la problemática energética actual.

En este escenario, los gobiernos locales y las empresas de servicios públicos de energía se están centrando cada vez más en el desarrollo de estrategias de eficiencia energética para los edificios, como un componente clave en los planes de reducción de emisiones y en las estrategias de suministro de energía. Para respaldar la planificación en este ámbito, se están desarrollando distintas experiencias orientadas a generar una metodología capaz de procesar la información urbana existente y devolverla en forma de modelos comprensibles que puedan ser utilizados en la toma de decisiones.

En este documento se presenta una experiencia de trabajo sobre un caso de estudio en Andorra, que propone una metodología de recabado de datos, procesamiento y construcción de arquetipos para sentar las bases de la construcción de un modelo energético de edificios urbanos. Dada la voluntad de perfeccionar esta metodología y replicarla en otros núcleos urbanos, se pone especial énfasis en definir criterios de trabajo e identificar barreras y oportunidades surgidas durante el proceso.

PALABRAS CLAVES: Cambio Climático, Modelos urbanos, Planificación energética, Clúster Jerárquico, Arquetipos, Datos georreferenciados

RESUM (Catalán)

El canvi climàtic té les característiques d'un problema sorgit de l'acció col·lectiva a escala mundial, ja que la majoria de les emissions s'acumulen en el temps i combinen globalment. En les últimes dècades, la variació climàtica ha causat impactes en els sistemes naturals i humans en tots els continents i oceans, el que evidencia la sensibilitat dels mateixos als seus efectes. Per fer front a aquesta situació, es requereixen respostes cooperatives i generalitzades per mitigar de manera eficaç les causes i abordar possibles conseqüències. L'eficàcia d'aquestes accions pot millorar-se mitjançant mesures complementàries en els diferents àmbits i nivells.

Hi ha una innegable relació entre la reducció d'emissions i la reforma del sector energètic, essent aquest últim el causant de gran part de les emissions antropogèniques alliberades a l'atmosfera. De manera que, es considera indispensable per al desenvolupament futur establir noves pautes de desenvolupament lligades a l'ús de l'energia, repensant completament la seva cadena de producció, distribució i consum, analitzant les possibilitats reals de reducció d'impacte en cadascuna de les etapes. La recerca d'alternatives orientades al desenvolupament sostenible, sense comprometre els recursos ni l'ambient circumdant, s'ha convertit en una de les principals preocupacions de la problemàtica energètica actual.

En aquest escenari, els governs locals i les empreses de serveis públics d'energia s'estan centrant cada vegada més en el desenvolupament d'estratègies d'eficiència energètica pels edificis, com un component clau en els plans de reducció d'emissions i en les estratègies de subministrament d'energia. Per donar suport a la planificació en aquest àmbit, s'estan desenvolupant diferents experiències orientades a generar una metodologia capaç de processar la informació urbana existent i tornar-la en forma de models comprensibles que puguin ser utilitzats en la presa de decisions.

En aquest document es presenta una experiència de treball sobre un cas d'estudi a Andorra, que proposa una metodologia de recoll de dades, processament i construcció d'arquetips per establir les bases de la construcció d'un model energètic d'edificis urbans. Atesa la voluntat de perfeccionar aquesta metodologia i replicar-la en altres nuclis urbans, es posa especial èmfasi en definir criteris de treball i identificar barreres i oportunitats sorgides durant el procés.

PARAULES CLAUS: Canvi Climàtic, Models urbans, Planificació energètica, Clúster Jeràrquic, Arquetips, Dades georeferenciades

ABSTRACT (Inglés)

The climate change is a problem produced by collective action on a global scale, since the emissions accumulate over time and combine globally. In the last decades, climate variation has caused impacts all over the world in both natural and human systems, what shows system's sensitivity to its effects. To cope with this situation, cooperative and generalized responses are required to mitigate the causes and deal with the consequences. The action's efficiency can be improved by complementary measures in the different areas and levels.

There is an undeniable relation between the reduction of emissions and the energy system reform, as vast majority of the anthropogenic emissions is the result of fossil fuels burning. It is considered essential for future development to establish new guidelines linked to the use of energy, rethinking its chain of production, distribution and consumption, in order to analyze the impact reduction possibilities in each of the stages. The evolution to more sustainable alternatives that don't compromise the resources and the natural environment, it has become one of the main concerns of the current energy problem.

In this scenario, local governments and public utility companies are increasingly focusing on strategies for energy efficiency in buildings, as a key component in emission reduction plans and energy supply strategies. Different experiences are being developed to support energy planning in urban scale, involving the application of methodologies that process existing urban information and build models that can be used in decision-making.

This document presents an experience on a case study in Andorra that proposes a work flow for data collection, treatment and the construction of archetypes. The aim is to build the foundations for Urban Building Energy Models (UBEM) that contribute to explain the behavior of energy consumption and to predict future reactions. Being the main purpose of the research to define work criteria and identify barriers and opportunities, special attention will be paid to these activities in order to improve the methodology and make it applicable for other urban centers.

KEY WORDS: Climate Change, Urban modeling, Energy planning, Hierarchical Cluster, Building archetypes, Geospatial data

Índice general

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN (Castellano)	III
RESUM (Catalán)	IV
ABSTRACT (Inglés)	V
Índice general	VI
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	XI
1. Introducción	1
1.1. Estructura del trabajo.....	2
2. Antecedentes	3
2.1. Tendencias climáticas globales	3
2.2. Aporte de la energía a las emisiones de carbono	5
2.3. Aporte de ciudades a emisiones de carbono	7
2.4. Aporte de los edificios en emisiones de carbono.....	9
2.5. Objetivo general y específicos.....	10
3. Caso de estudio	12
3.1. Situación climática.....	12
3.2. Situación energética	14
3.3. Situación urbanística Escaldes-Engordany	18
3.4. Parque edificatorio	24
3.4.1. Viviendas	27
3.4.2. Alojamientos.....	29
3.4.3. Emisiones.....	30
4. Metodología	33
4.1. Antecedentes metodológicos.....	33
4.2. Marco metodológico	37
4.3. Metodología aplicada al caso de estudio	39
4.3.1. Fuentes de datos	39
4.3.2. Pretratamiento	40
4.3.3. Tratamiento	46
4.3.4. Definición de tipologías	51
5. Resultados	58
5.1. Residencial.....	58

5.1.1.	Viviendas unifamiliares	60
5.1.2.	Viviendas plurifamiliares	64
5.2.	Alojamiento	68
5.3.	Comercial.....	71
5.4.	Equipamientos.....	74
5.5.	Industrial.....	77
5.6.	Almacenamiento/aparcamiento	77
5.7.	Agrícola.....	78
6.	Discusión	79
6.1.	Comparativa con métodos anteriores.....	79
6.1.1.	Variables de ingreso	79
6.1.2.	Metodología	81
6.1.3.	Resultados	82
6.2.	Diagnóstico del parque edificatorio	84
7.	Conclusiones.....	88
7.1.	Conclusiones generales	88
7.2.	Urban Building Energy Model (UBEM)	89
8.	Bibliografía.....	91
9.	Anexos	95
	ANEXO I	95
	ANEXO II	96
	ANEXO III	103
	ANEXO IV	104
	ANEXO V	106
	ANEXO VI	110
	ANEXO VII	112

Índice de figuras

Figura 1. Trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero, 2000-2100.....	4
Figura 2. A. Anomalía del promedio mundial en temperatura en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, 1850-2012. B. Cambio de temperatura observado en la superficie, 1901-2012.....	4
Figura 3. A. Porcentajes mundiales estimados de participación en emisiones de GEI por uso. B. Tendencia de emisiones de dióxido de carbono producidas por combustibles fósiles.	6
Figura 4. Emisiones de GEI por sector económico.	7
Figura 5. División administrativa de Andorra.	12
Figura 6. Regiones climáticas de los Pirineos, 1950-2010.....	12
Figura 7. Climatograma del período 1950-2010 representando precipitación acumulada, temperaturas máximas, mínimas y medias.	13
Figura 8. Consumo histórico de energía final en Andorra, 1993-2017.	14
Figura 9. Consumo histórico de energía final según combustible en Andorra, 1993-2017.	15
Figura 10. Consumo histórico de electricidad según usos en Andorra, 1993-2017.	15
Figura 11. Composición de la matriz energética en Andorra durante 2017.	16
Figura 12. Composición de la matriz energética en Andorra durante 2017, según origen.	16
Figura 13. Emisiones de GEI registradas en Andorra entre 1990 y 2013 para el sector energético....	17
Figura 14. Proyección de la evolución del consumo de energía de Andorra con el modelo actual.	17
Figura 15. Mapa físico-político de Andorra con la delimitación de la zona de estudio.	18
Figura 16. Evolución del crecimiento poblacional en Escaldes-Engordany, 1970-2050.	19
Figura 17. Vista aérea actual de la ciudad de Escaldes-Engordany.	20
Figura 18. Huella constructiva de la ciudad de Escaldes-Engordany.	21
Figura 19. Huella constructiva de la ciudad de Escaldes-Engordany según antigüedad de los edificios.	22
Figura 20. Distribución de usos dentro de la ciudad.	23
Figura 21. Esquema del Plan de Ordenamiento y Urbanismo Parroquial de Escaldes-Engordany.....	24
Figura 22. Distribución del parque edificatorio según uso.	25
Figura 23. Construcción de edificios según año y destino del edificio.	25
Figura 24. Distribución del parque edificatorio según tipologías constructivas.	26
Figura 25. Distribución de los hogares según cantidad de miembros.	28
Figura 26. Distribución del parque edificatorio según combustible utilizado para calefacción.	28
Figura 27. Porcentaje de penetración de las distintas tecnologías en los hogares de Andorra.	29
Figura 28. Residencias según tipo de ocupación.....	29
Figura 29. Pernoctaciones de visitantes en Escaldes-Engordany.....	30
Figura 30. Distribución de emisiones generadas según origen.	30
Figura 31. Enfoques top-down y bottom-up.	38
Figura 32. Vector de climatización necesaria para alcanzar la temperatura de confort interior.	50
Figura 33. Vector de climatización necesaria para alcanzar la temperatura de confort interior.	51
Figura 34 Distribución del parque edificatorio y consumo (2017) según uso.....	53
Figura 35. Dendrogramas resultantes de variar la inclusión del uso principal en el trazado de los grupos.....	55
Figura 36. Dendrograma resultante de la aplicación del método de clúster jerárquico al uso residencial.	58
Figura 37. Descriptiva de la división de grupos residenciales en el dendrograma.	60
Figura 38. Relación de antigüedad con el adosamiento en edificios unifamiliares según clúster.	61
Figura 39. Relación de la antigüedad con el coeficiente de transmitancia en edificios unifamiliares según clúster.	62

Figura 40. Relación de la antigüedad con el coeficiente de transmitancia en edificios unifamiliares según clústers.....	63
Figura 41. Relación de la antigüedad con el coeficiente de transmitancia en edificios unifamiliares según clústers.....	63
Figura 42. Distribución geográfica de los edificios unifamiliares según grupo de pertenencia.....	64
Figura 43. Relación del año de construcción con el adosamiento en edificios plurifamiliares según clúster.....	66
Figura 44. Relación del año de construcción con la transmitancia en edificios plurifamiliares según clúster.....	66
Figura 45. Relación de la transmitancia con el consumo eléctrico en edificios plurifamiliares según clúster.....	67
Figura 46. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en edificios plurifamiliares según clúster.	67
Figura 47. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en viviendas plurifamiliares según clúster.....	68
Figura 48. Distribución geográfica de las viviendas plurifamiliares según grupo de pertenencia.....	68
Figura 49. Dendrograma resultante de la aplicación del método de clúster jerárquico al uso de alojamiento	69
Figura 50. Descriptiva de la división de grupos de alojamiento en el dendrograma.....	69
Figura 51. Relación entre superficie y consumo anual para edificios de alojamiento según clúster ..	70
Figura 52. Distribución geográfica de los alojamientos según grupo de pertenencia.....	71
Figura 53. Dendrograma resultante de la aplicación del método de clúster jerárquico al uso de alojamiento	71
Figura 54. Descriptiva de la división de grupos residenciales en el dendrograma.....	72
Figura 55. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en usos comerciales según clúster.....	74
Figura 56. Distribución geográfica de los edificios comerciales según grupo de pertenencia.	74
Figura 57. Distribución según destino del edificio de equipamiento.....	75
Figura 58. Distribución de edificios de equipamiento por año de construcción y coeficiente de transmitancia global según clúster.....	75
Figura 59. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en equipamientos según rubro.	76
Figura 60. Consumo de edificios de equipamiento en 2017.....	76
Figura 61. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en equipamientos según rubro.	77
Figura 62. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en edificios de almacenamiento según uso.	78
Figura 63. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en edificios agrícolas según uso.	78
Figura 64. Arquetipos resultantes de la Metodología 1.....	83
Figura 65. Arquetipos resultantes de la Metodología 2.....	83
Figura 66. Arquetipos resultantes del stock de edificios de Escaldes-Engordany.	85
Figura 67. Distribución del coeficiente de transmitancia térmica (W/m^2K) en edificios de Escaldes-Engordany.....	86
Figura 68. Distribución del consumo por unidad de superficie (kWh/m^2a) en edificios de Escaldes-Engordany.....	87
Figura 69. Visualización de maqueta 3D.	90
Figura 70. Vista inicial del mapa en Carto.	105
Figura 71. Display de visualizaciones de los widgets.....	105
Figura 72. Display de visualizaciones de los widgets.....	106
Figura 73. Visualización de datos de los edificios.	106
Figura 74. Distribución de uso principal según clúster.....	107

Figura 75. Distribución de agrupamiento de edificios según clúster.....	107
Figura 76. Distribución de edificios por año de construcción según clúster.....	108
Figura 77. Distribución de edificio por coeficiente de transmitancia según clúster.....	108
Figura 78. Distribución de edificio por superficie total según clúster.....	109
Figura 79. Distribución de edificio por consumo eléctrico en 2017 según clúster.	109
Figura 80. Distribución de edificio por consumo superficial en 2017 según clúster.....	110
Figura 81. Distribución de edificios de alojamiento por superficie total según clúster.....	110
Figura 82. Distribución de edificios de alojamiento por consumo total en 2017 según clúster.....	111
Figura 83. Distribución de edificios de alojamiento por consumo por unidad de superficie en 2017 según clúster.	111
Figura 84. Distribución de edificios de alojamiento por coeficiente de transmitancia global según clúster.....	112
Figura 85. Distribución de edificios comerciales por uso de la unidad catastral según clúster.....	112
Figura 86. Distribución de edificios comerciales por año de construcción según clúster.	113
Figura 87. Distribución de edificios comerciales por superficie comercial según clúster.....	113
Figura 88. Distribución de edificios comerciales por coeficiente de transmisión global según clúster.	114
Figura 89. Distribución de edificios comerciales por consumo por metro cuadrado según clúster...	114

Índice de tablas

Tabla 1. Estrategias de reducción de emisiones de GEI en la edificación.	10
Tabla 2. Emisiones de GEI registradas en Andorra entre 1990 y 2013.	13
Tabla 3. Emisiones de GEI registradas en Andorra entre 1990 y 2013 para el sector energético.	16
Tabla 4. Lineamientos y acciones emprendidas para la reducción de emisiones en la edificación.....	32
Tabla 5. Tipologías de edificios definidos para el Proyecto TABULA por España.	35
Tabla 6. Tipologías de edificios definidos para el Proyecto TABULA por Francia.	36
Tabla 7. Tipologías de edificios definidos para parque edificatorio residencial de Escaldes-Engordany.	37
Tabla 8. Resumen de variables resultantes del pretratamiento.	46
Tabla 9. Resumen de variables resultantes del tratamiento, mediante método ascendente.	49
Tabla 10. Mapa de confort climático exterior.....	50
Tabla 11. Variable resultante del tratamiento, mediante método descendente.	51
Tabla 12. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios unifamiliares.	61
Tabla 13. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios plurifamiliares.....	65
Tabla 14. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios de alojamiento.....	70
Tabla 15. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios comerciales.....	73
Tabla 16. Resumen de input de las dos metodologías.	81
Tabla 17. Mapa de confort climático exterior para el año 2014.....	103
Tabla 18. Mapa de confort climático exterior para el año 2015.....	103
Tabla 19. Mapa de confort climático exterior para el año 2016.....	104
Tabla 20. Grados mensuales para confort térmico 2014-2017.....	104

1. Introducción

En respuesta a los desafíos medioambientales globales de alcanzar un desarrollo sostenible, los gobiernos de todo el mundo han elaborado ambiciosas agendas, con objetivos a largo plazo, para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y contribuir a revertir los cambios que ya se están observando en la variabilidad climática.

El Principado de Andorra no es la excepción en este campo de acción, especialmente por su condición de área montañosa de alta sensibilidad donde los efectos climáticos se ven maximizados. Contar con planes de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático resulta imprescindibles para evitar consecuencias de mayor gravedad en un futuro cercano.

Las emisiones producidas por Andorra proceden principalmente del sector energético y, en menor medida, de la utilización de productos industriales, de la agricultura y los desechos. Dentro del sector energético se contemplan los usos industriales, de transporte, comerciales y residenciales, proviniendo de actividades realizadas en edificios el 32,2% de dichas emisiones. En la Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Govern d'Andorra, 2016) ya se advierten las oportunidades que ofrece este sector, a través de cálculos de volúmenes de gases generados y propuestas para minimizarlos.

Los ejes del plan de transición energética, hacia un modelo de generación y consumo más sostenibles, se encuentran plasmados en el Libro Blanco de la Energía de Andorra (Govern d'Andorra, 2012). Destaca la importancia de planificar un abastecimiento para las necesidades energéticas de la población y garantizar un modelo medioambientalmente más sostenible, que resulte acorde a las condiciones de desarrollo del País. Los principales retos que enfrenta el sistema energético del Principado es superar la dependencia energética generada por la importación, del orden del 95%; fortalecer la producción local de electricidad, que actualmente es de sólo el 17%; y contener el crecimiento continuo de la demanda energética.

Según estudios recientes, realizados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el aporte de emisiones de GEI correspondiente a las ciudades se encuentran entre un 40 y un 70 por ciento sobre el total de emisiones antropogénicas (UN-Habitat, 2011). En este contexto, los gobiernos locales deberían involucrarse en estos procesos por medio de una mejor planificación y gestión del metabolismo urbano, traducido en normativas y planes sectoriales relacionados al suministro de energía, los usos de suelo y el parque edificatorio. Las iniciativas locales en materia de emisiones se centran en esencialmente en la eficiencia energética de las edificaciones, tanto a través de buenas prácticas en el consumo como en la rehabilitación de edificios, para mejorar su comportamiento bioclimático.

Para poder realizar una aplicación generalizada y eficaz de estas medidas es necesario contar con instrumentos de análisis, que maximicen el efecto de los planes, programas y proyectos emprendidos. Este trabajo plantea una alternativa en esta dirección, proponiendo nuevas herramientas de información que contribuyan a la planificación energética a escala urbana, brindando datos claros sobre la demanda. Para iniciar y coordinar medidas en este ámbito se necesita contar, además de con la voluntad política y los mecanismos de financiación, con una comprensión técnica de las condicionantes del consumo energético y de las oportunidades de accionar sobre ellas.

La utilización de bases de datos combinadas con representaciones cartográficas contribuye a un mejor conocimiento de la situación y a la implementación de medidas específicas, con una mayor probabilidad de éxito o un mayor alcance de las intervenciones realizadas. Los modelos energéticos de edificios urbanos (UBEM, por su sigla en inglés) resultan útiles para observar la variación de la demanda

en la escala local, así como para evaluar el impacto de nuevas políticas. Es necesario recordar que la robustez y precisión del modelo radicará en contar con múltiples fuentes de datos de información relevante, que pueda ser útiles para establecer áreas estratégicas o regiones prioritarias de acción.

1.1. Estructura del trabajo

El trabajo se encuentra estructurado en 7 capítulos, que a su vez se dividen en múltiples apartados.

El *Primer Capítulo*, en el que nos encontramos actualmente, tiene como fin poner en contexto y justificar el interés en el trabajo.

El *Segundo Capítulo* fija el punto de partida, exponiendo las relaciones existentes entre el cambio climático y las emisiones correspondientes al sector energético, con especial énfasis en las originadas en las ciudades y los edificios. A partir de este análisis se plantean los objetivos general y específicos, presentados al final de este capítulo.

En el *Tercer Capítulo* se presenta el caso de estudio: la Parroquia de Escaldes-Engordany, en el Principado de Andorra. La primera parte resulta introductoria a la situación del Principado de Andorra, analizando su posición frente al cambio climático y el modelo energético del país. Consiguientemente se realiza un acercamiento a la escala local y al stock de edificios de la ciudad.

El *Cuarto Capítulo* presenta las metodologías existentes en planificación energética de escala local, así como los lineamientos y procesos que se utilizarán para caracterizar el parque edificatorio.

Los resultados obtenidos serán ilustrados en el *Quinto Capítulo*, a través de descripciones, planillas de datos y gráficas.

En el *Sexto Capítulo* se realizará una discusión sobre los resultados, contrastándolos con los derivados de otros métodos, con el fin de identificar las fortalezas y debilidades de la metodología propuesta. Se realizará un diagnóstico del caso de estudio, ofreciendo un panorama general del stock de edificios.

En último lugar, el *Séptimo Capítulo* recoge las conclusiones generales de la tesis, con una perspectiva a posibles mejoras futuras y la aplicación tentativa de los resultados obtenidos.

2. Antecedentes

Se entiende “desarrollo sostenible” como la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades, según su primera definición presente en el Informe Brundtland (Brundtland, 1987). A esta concepción puede agregarse la correspondiente a la Declaración de Río, que establece que “deben proporcionar vidas saludables y plenas para la generación actual dando al mismo tiempo a las generaciones futuras los medios para hacer lo mismo” (Naciones Unidas, 1992).

Esta conjunción de conceptos parte de la idea de que el desarrollo ayuda a generar sostenibilidad, así como la sostenibilidad es el sistema de sustentación de la vida para el desarrollo (Naciones Unidas, 2010a). Asimismo, surge de la necesidad de tomar conciencia de la finitud del mundo, lo que la ha convertido en la actualidad en el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo (Naciones Unidas, 2010b). Sus tres pilares fundamentales se encuentran orientados al desarrollo económico, la equidad social y la protección medioambiental, objetivos que se encuentran en constante tensión, pero que deben tender a un equilibrio para asegurar la sostenibilidad del sistema.

Estas directrices se enfrentan a grandes retos como la erradicación de la pobreza, la modificación de modalidades insostenibles de producción y consumo y la ordenación de la base de recursos naturales del desarrollo económico y social, ya que constituyen objetivos y requisitos esenciales para el desarrollo sostenible tal como es entendido (Naciones Unidas, 2010b). En términos prácticos, el desarrollo sostenible tiene una impronta global que no podría conseguirse sin el consenso que requiere la cooperación internacional y el liderazgo nacional para lograr la convergencia de los tres pilares. El objetivo final del desarrollo sostenible es lograr progresos constantes hacia un futuro de mayor bienestar y prosperidad de los sistemas humanos, pero sin perder de vista la finitud de los recursos del planeta, desacelerando o invirtiendo los impactos negativos que se generan sobre ellos (Naciones Unidas, 2010a).

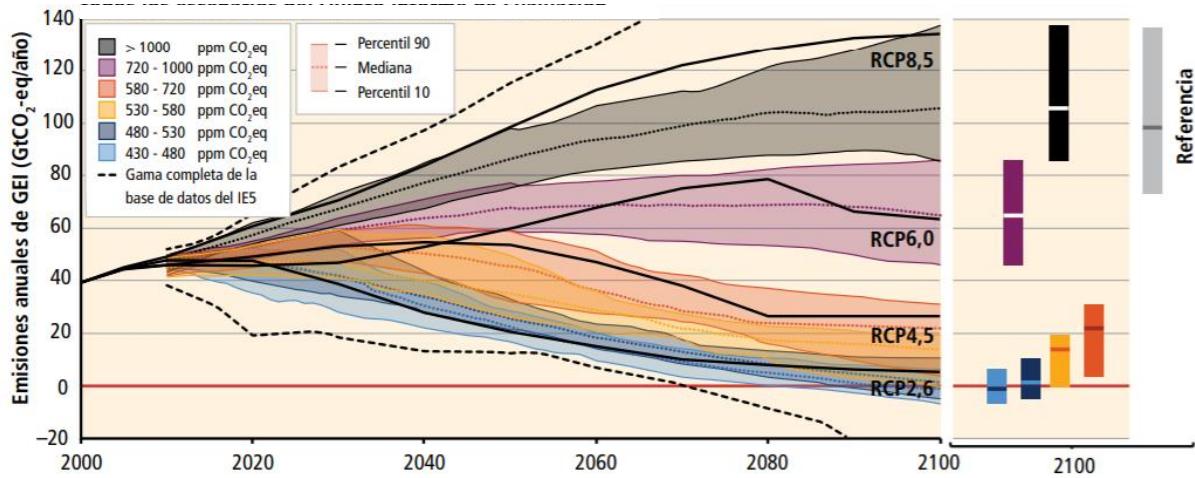
Uno de los vectores que amenaza este canon fundamental es el modelo energético, ya que el mismo condiciona el crecimiento económico, cuestiona la equidad social por diferencias en el acceso y pone en riesgo los sistemas ambientales. Poniendo el foco en la perspectiva ambiental, se propone un análisis de la problemática climática ligada a las emisiones, siendo la producción energética una de las causas principales, y la finitud de los recursos ligados a la producción energética.

En este capítulo se propone un análisis global de los impactos del cambio climático en el desarrollo de los sistemas naturales y humanos, poniendo especial énfasis en la participación del modelo energético en dicho proceso y determinar las oportunidades existentes en el sector, en las diferentes escalas de análisis.

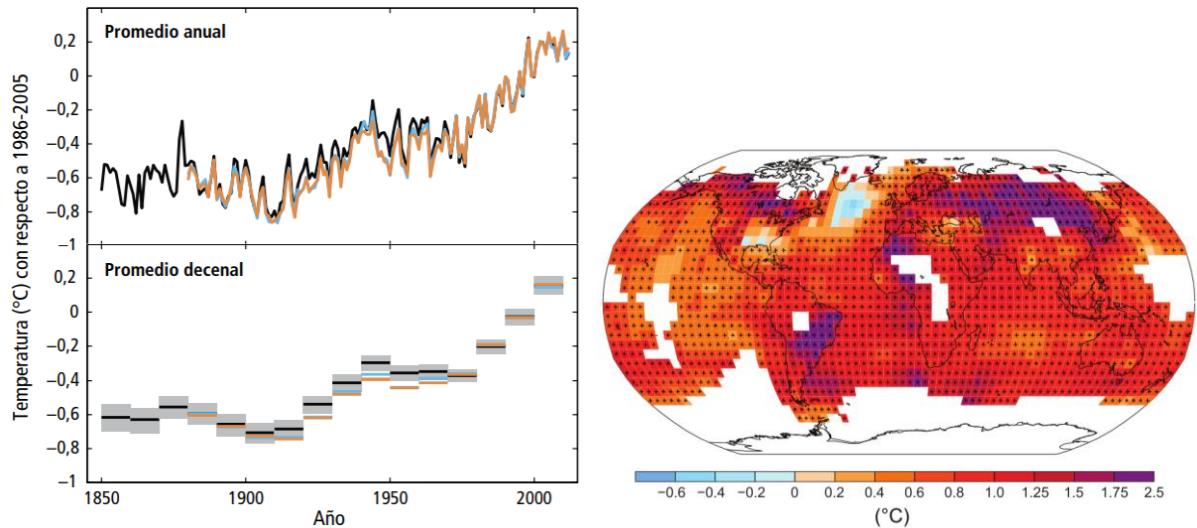
2.1. Tendencias climáticas globales

Las evidencias que indican una influencia humana en el sistema climático son claras e innegables: en las últimas tres décadas se han observado temperaturas cada vez más cálidas, considerablemente mayores a las temperaturas medias registradas de cualquier otro año anterior a 1850, fenómenos que coinciden con el aumento de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (IPCC, 2013). El forzamiento radiativo total reporta balances positivos, producidos por la absorción de energía por el sistema climático. Se ha establecido que el principal contribuyente al forzamiento radiativo es el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera, siendo la actual la mayor registrada desde 1750.

Es probable que para finales del siglo XXI la temperatura global en la superficie de la tierra sea superior en al menos 1,5°C, en referencia a las registradas entre 1850-1900, teniendo en cuenta los escenarios modelados para 2100 por el IPCC. La temperatura puede aumentar en valores cercanos a los 2°C en algunos escenarios e incluso superarla en parte de ellos, como se muestra en la Figura 1, incremento que continuaría después de 2100 en todos exceptuando el escenario de mitigación estricto (RCP2,6). Este calentamiento continuaría presentando una variabilidad interanual y decenal (Figura 2.A), siendo su distribución desigual entre las regiones (Figura 2.B).



*Figura 1. Trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero, 2000-2100.
(IPCC, 2013)*



*Figura 2. A. Anomalía del promedio mundial en temperatura en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, 1850-2012. B. Cambio de temperatura observado en la superficie, 1901-2012.
(IPCC, 2013)*

Estas alteraciones tienen un gran impacto en los ciclos globales del agua, acrecentando la diferencia existente entre las precipitaciones de regiones húmedas y secas y de las distintas estaciones. Los océanos continuarán calentándose, con la posibilidad de que este efecto penetre a las capas más profundas, produciendo modificaciones en la circulación de corrientes oceánicas. Asimismo, los casquetes polares continuarán menguando y reduciéndose la cobertura de hielo a medida que aumente la temperatura media global de la superficie aumente, impactando en el nivel medio global del mar, que continuará en aumento. El cambio climático afectará también el ciclo del carbono, de

forma tal que agudizará el aumento de CO₂ en la atmósfera, provocando una mayor acidificación de los océanos por la incorporación de carbono.

En las últimas décadas, la variación climática ha causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos, lo que evidencia la sensibilidad de los mismos a los efectos climáticos (IPCC, 2014b). La alteración de los ciclos hidrológicos, los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, la disminución de las temperaturas frías extremas y el aumento de las temperaturas cálidas extremas, son algunas de las consecuencias visibles de este cambio en el equilibrio de los sistemas naturales en distintas regiones. Estas consecuencias poseen la particularidad de tener un impacto global a largo plazo, por lo que se cree que los efectos perdurarán aun si se reduce la causa que los ha originado, es decir, eliminando la liberación de emisiones de carbono a la atmósfera. La emisión continua de gases de efecto invernadero (GEI) causará un mayor calentamiento y cambios perdurables en todos los componentes del sistema climático, lo que se traducirá en un aumento de la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para el sistema humano y ecosistémico. Para poder contener el cambio climático, sería necesario reducir de manera sustancial y sostenida las emisiones de GEI, junto con planes de adaptación que limiten los riesgos del mismo.

La toma de decisiones efectivas para limitar las causas del cambio climático y, por lo tanto, sus efectos, puede realizarse a través de una amplia gama de métodos analíticos para evaluar riesgos y beneficios esperados, pudiendo actuarse desde distintos ámbitos de acción y disciplinas.

El desarrollo sostenible y la equidad actúan como catalizadores de las acciones emprendidas con fines climáticos, ya que sus consecuencias impactan negativamente sobre la situación que se intenta mejorar. Actualmente, gran parte de la población más vulnerable apenas ha contribuido ni contribuye a las emisiones, de igual forma que las generaciones futuras se enfrentarán a nuevos retos por las cargas producidas por las variaciones climáticas, por lo que se estaría socavando el principio fundamental del desarrollo sostenible de “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987).

El cambio climático tiene las características de un problema de acción colectiva a escala mundial, puesto que la mayoría de las emisiones se acumulan con el tiempo y combinan globalmente, aun las realizadas por cualquier agente (personas, comunidades, empresas o países) afectan a los demás agentes (IPCC, 2014b). Por este motivo, puede establecerse que no se alcanzará una mitigación efectiva si los distintos actores anteponen sus propios intereses de forma independiente. Por consiguiente, se requieren de respuestas cooperativas y generalizadas para mitigar de manera eficaz las causas y abordar otros problemas del cambio climático. La eficacia puede mejorarse mediante medidas complementarias en todos los niveles. Reducir las emisiones de los distintos agentes puede ser un importante elemento de mitigación, ya que las mismas impactan directamente en el ritmo y la magnitud que tendrá el forzamiento radiativo a futuro y, por lo tanto, en los efectos del cambio climático.

2.2. Aporte de la energía a las emisiones de carbono

Desde mediados del siglo XIX, la utilización de combustibles fósiles para producción energética se ha posicionado como el modelo dominante, disparando la cantidad de emisiones de carbono resultantes de esta actividad por la alta intensidad de liberación de carbono que los mismos producen. Este aumento de emisiones ha contribuido considerablemente a aumentar las concentraciones de GEI en la atmósfera, constituyéndose como la primera causa antropogénica en cuanto a intensidad de emisiones por amplia diferencia (IPCC, 2014a).

De esta forma, se intenta continuar progresando con miras a la mejora del bienestar de la sociedad, pero reduciendo el impacto en el entorno, en pos de conservar la estabilidad de los sistemas ambientales y humanos. Se puede hablar de tres objetivos principales que deben ser considerados para asegurar un buen suministro energético (Camacho, 2012):

- Seguridad energética, entendida como gestión eficaz a partir de fuentes de acceso nacional o externas, la fiabilidad de las infraestructuras y la capacidad de satisfacer la necesidad actual y futura.
- Equidad social, accesibilidad y asequibilidad del suministro a toda la población.
- Mitigación del impacto ambiental: eficiencia y ahorro energético, incluyendo la incorporación de fuentes de generación bajas en carbono.

Actualmente, la demanda de energía se encuentra intrínsecamente ligada al desarrollo económico y social, a la mejora del bienestar y la salud de las personas. Todas las sociedades necesitan de servicios energéticos para cubrir las necesidades básicas humanas y para los procesos productivos. Debido al crecimiento poblacional y al aumento de la demanda energética individual, las emisiones producidas se encuentran en aumento y, en 2016, las concentraciones de CO₂ ya eran superiores a 403 ppm, lo que representa un 40% por encima de los niveles preindustriales, y con un crecimiento medio de 2ppm anual en los últimos 10 años (IEA, 2017). El suministro de energía es responsable de aproximadamente 68% de las emisiones globales de GEI (Figura 3.A). La quema de combustibles fósiles es la fuente más importante y se emplea en todo el mundo para la generación de electricidad, calefacción, refrigeración, transporte, producción industrial y para cocinar. Las emisiones producidas por esta actividad a nivel mundial ha aumentado considerablemente desde la segunda mitad del siglo XX, alcanzando valores nunca antes vistos y con perspectivas de seguir aumentando en las siguientes décadas si no se revierten las tendencias actuales (Figura 3.B).

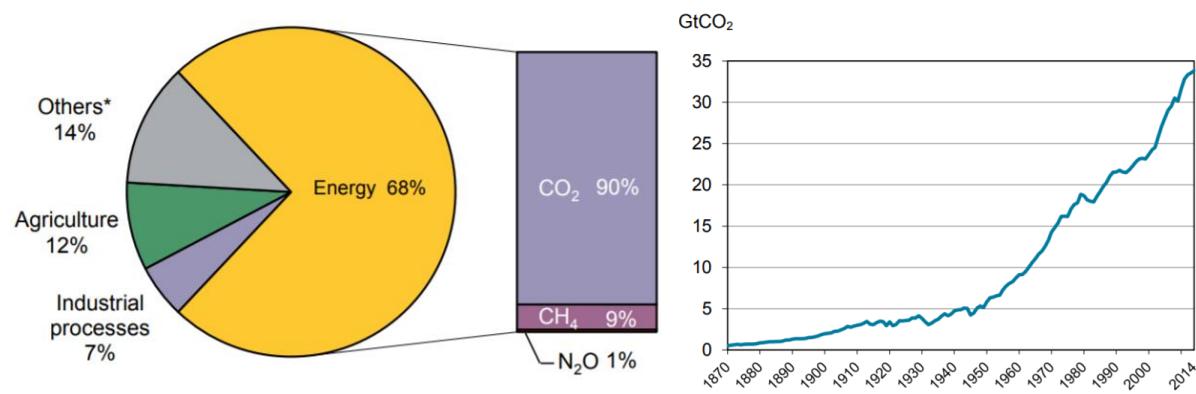


Figura 3. A. Porcentajes mundiales estimados de participación en emisiones de GEI por uso. B. Tendencia de emisiones de dióxido de carbono producidas por combustibles fósiles.
(IEA, 2017)

Debido a los motivos expuestos anteriormente respecto a las posibles consecuencias del cambio climático, se considera indispensable tomar conciencia de la dimensión de la problemática y del impacto que tiene cada una de nuestras actividades en agravar el problema existente. De esta forma, se considera indispensable para el desarrollo futuro establecer nuevas pautas de desarrollo ligadas al uso de la energía, repensando completamente su cadena de producción, distribución y consumo, analizando las posibilidades reales de reducción de impacto en cada una de las etapas.

La búsqueda de alternativas que se orienten al desarrollo sostenible, sin comprometer los recursos ni el ambiente circundante, se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la problemática energética actual. Las mejoras en la eficiencia energética y la reducción de emisiones

fugitivas en la extracción de combustibles, así como en la conversión, transmisión y distribución de energía, cambio de fuentes energéticas y tecnologías, dejando de lado las intensivas en carbono por otras más limpias, la implementación de métodos complementarios de captura y almacenamiento de carbono, son las estrategias principales de acción en este campo (IPCC, 2014a).

2.3. Aporte de ciudades a emisiones de carbono

Según estudios recientes realizados por el IPCC, el aporte de emisiones de GEI correspondiente a las ciudades se encuentran entre un 40 y un 70 por ciento sobre el total de emisiones antropogénicas (UN-Habitat, 2011). Estos valores varían según el criterio utilizado dependiendo si se considera la producción de emisiones provenientes del territorio ocupado por las ciudades o los valores correspondientes a actividades y consumos realizados en la ciudad, sin tener en cuenta la localización de su producción (Dodman & Satterthwaite, 2008).

Las principales fuentes de emisión de las ciudades están relacionadas con el uso de combustibles fósiles, ligados al suministro de energía para la producción eléctrica y al transporte, la producción industrial y los residuos. Por otro lado, si se tienen en consideración flujos de metabolismo urbano, encontramos que las ciudades dependen de la circulación de alimentos, agua y bienes de consumo que pueden provocar emisiones que proceden de territorios tanto dentro como fuera de los límites urbanos, pero que, si se computan como emisiones dependientes de los usos urbanos, contribuyen a dimensionar los impactos totales que la vida diaria de los ciudadanos tiene en la atmósfera. Dimensionar el aporte de emisiones de cada ciudad permite realizar comparaciones y crear competición interurbana y cooperación para reducir las emisiones. Asimismo, este tipo de análisis es el primer paso para identificar posibles soluciones, así como la correcta distribución de responsabilidades. De esta forma, se pueden emprender acciones orientadas a la reducción de emisiones en el ámbito local, a través de estrategias multidimensionales que abarquen distintos sectores.

Distintas actividades y sectores emiten distintos gases y en distintas cantidades, con distintos efectos sobre el cambio climático (Figura 4). Asimismo, las consecuencias resultantes de estos cambios se viven de manera distinta según las características particulares de las ciudades y de la población residente.

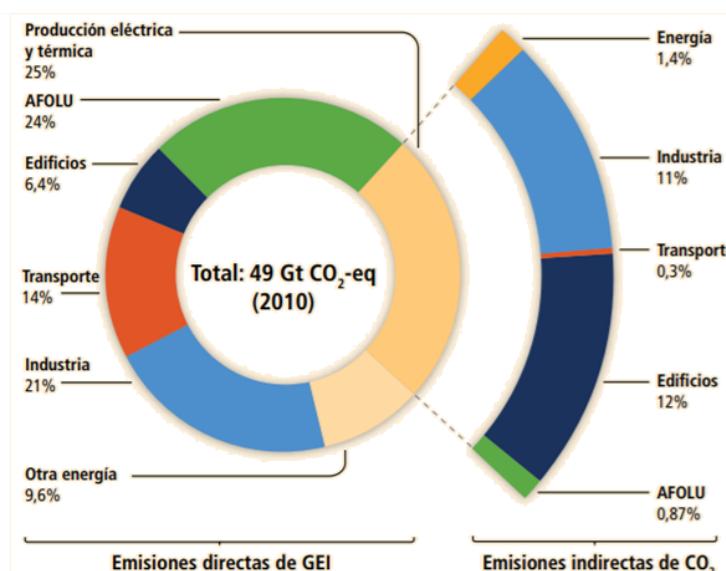


Figura 4. Emisiones de GEI por sector económico.
(IPCC, 2014)

Las zonas urbanas dependen en gran medida de los sistemas energéticos, cuyas emisiones varían según el tipo de fuente utilizada para su producción y la eficiencia de los sistemas asociados. Estos sistemas se encuentran conectados con los consumidores a través de infraestructuras de transporte y distribución que vinculan la generación con el consumo, que varía según la demanda de las actividades desarrolladas en cada núcleo urbano.

Las emisiones de los edificios comerciales y residenciales están directamente relacionadas al uso de la electricidad, a la calefacción y refrigeración de locales. El IPCC calcula que un 8 por ciento de las emisiones globales de GEI corresponden a estos usos, siendo el comportamiento de sus ocupantes un factor clave para explicar su intensidad y variabilidad. Existen otros aspectos como el tipo de combustible utilizado en acondicionamiento o la compacidad, la situación climática, altitud, localización y densidad de las ciudades que contribuyen a determinar el total de emisiones.

La forma urbana y la organización espacial urbana pueden representar un gran número de implicaciones en las emisiones de GEI de la ciudad. Las altas concentraciones de las actividades personales y económicas en las zonas urbanas pueden conducir a economías de escala, proximidad y aglomeración, factores que pueden tener un efecto positivo en el consumo de energía y las emisiones asociadas. La densidad podría también influir en el consumo doméstico de energía, si la vivienda es compacta y se encuentra agrupada, se reducen las pérdidas por envolvente y se emplea menos energía para acondicionamiento térmico. Los asentamientos urbanos compactos pueden por lo tanto lograr estilos de vida que reduzcan las emisiones de GEI per cápita a través de la concentración de servicios que reduzca la necesidad de desplazarse largas distancias, la oferta de mejores redes de transporte público y las restricciones en el tamaño de las viviendas residenciales impuesto por la escasez y el precio elevado del suelo.

Los tipos de actividades económicas que se desarrollan en zonas urbanas influyen directamente en las emisiones de GEI. Todas las zonas urbanas dependen de una amplia gama de bienes fabricados (producidos en zonas urbanas o en cualquier otro lugar), y las zonas de fabricación también dependen de los servicios que prestan determinados centros urbanos. Muchas ciudades del mundo funcionan hoy como centros para el comercio de mercancías y consumo de bienes fabricados, generando menos emisiones dentro de sus propias fronteras.

De la misma forma que puede atribuirse una gran parte de la responsabilidad de las emisiones a las ciudades, son estos sitios también donde se harán más patentes las consecuencias del cambio climático. La forma urbana y la densidad pueden traer aparejadas consecuencias sociales y medioambientales (UN-Habitat, 2011). Por una parte, las densidades extremadamente altas de muchas ciudades en países en desarrollo, especialmente en asentamientos informales y barrios precarios, originan mayores riesgos para la salud y altos niveles de vulnerabilidad al cambio climático y eventos extremos. En el otro extremo, las bajas densidades de muchas zonas suburbanas de países desarrollados están vinculadas a los altos niveles de consumo doméstico de energía como resultado del crecimiento descontrolado y del gran uso del vehículo privado.

Existen otros motivos para considerar las ciudades como una oportunidad para emprender acciones de gran impacto, ya que concentran un gran porcentaje de la población mundial, de las industrias y las infraestructuras y su campo de acción estratégico es más cercano a los ciudadanos que otros niveles gubernamentales. Es este campo en el que deben desarrollarse estrategias cohesivas de mitigación y adaptación frente al cambio climático. De esta forma, las comunidades, las empresas y las autoridades de los centros urbanos desempeñarán a futuro un papel fundamental para el desarrollo de estas estrategias.

Con este fin, se requiere que el entorno local comience a concientizarse de las consecuencias y posibilidades existentes en este campo para la innovación local. Las autoridades locales deberían ser capaces de definir una visión a futuro y de encontrar nuevos modos de mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático, sin dejar de lado las aspiraciones de desarrollo humano. Ampliar el campo de acción de estas administraciones y la participación comunitaria resulta fundamental a la hora de implementar medidas estratégicas, a fin de identificar riesgos y establecer objetivos y acciones para reducirlos.

Con este fin, deben desarrollarse nuevas herramientas que puedan responder a las nuevas necesidades de participación activa que tienen las ciudades en problemáticas actuales, que ofrezcan un claro panorama de la situación de manera desagregada y, de esta forma, facilite a los tomadores de decisiones la determinación de áreas de acción estratégicas y factores de riesgo que requieren atención inmediata.

2.4. Aporte de los edificios en emisiones de carbono

Como se ha establecido anteriormente, las ciudades son responsables de una gran cantidad de las emisiones antropogénicas que son liberadas a la atmósfera, estando una gran mayoría de las mismas relacionadas con usos energéticos. Dentro del campo edificatorio, la reducción en la demanda de energía a corto plazo representa un elemento fundamental en las estrategias de mitigación, ya que confiere mayor flexibilidad para responder a los valores de consumo al revertir la tendencia ascendente de la demanda, protege ante el riesgo de desabastecimiento de la oferta, reduce las perdidas generales del sistema e impacta directamente en el número total de GEI liberados.

Las emisiones pueden reducirse sustancialmente mediante cambios en las tecnologías, las técnicas constructivas y en los patrones de consumo. El comportamiento, el estilo de vida y la cultura tienen una considerable influencia en el uso de la energía y en las emisiones asociadas, con grandes potenciales de mitigación en algunos sectores. En el sector de los edificios, los recientes avances en tecnologías, conocimientos técnicos y políticas ofrecen la posibilidad de estabilizar los niveles actuales e incluso de reducir el uso energético a nivel mundial. De igual forma, las grandes mejoras introducidas recientemente en el rendimiento y costos hacen los edificios con consumos energéticos muy bajos y los reacondicionados resulten atractivos económicoamente, produciendo ahorros netos superiores a los costos de inversión (IPCC, 2014a).

Las medidas de mitigación tienen elementos comunes con otros objetivos sociales, lo que genera posibilidades de conseguir otros beneficios: la mitigación y la adaptación pueden influir de forma positiva o negativa en otros aspectos tal como la salud humana, la calidad del medio ambiente local, el acceso a la energía, los medios de subsistencia y el desarrollo sostenible equitativo. Existen otros beneficios relativos al bienestar general que son difíciles de cuantificar, pero se destaca la importancia de este tipo de objetivos multidisciplinarios ya que contribuyen a identificar las esferas en que se contará con un fuerte apoyo a las políticas que impulsan los progresos de estos objetivos.

Existen tres estrategias fundamentales para la reducción de emisiones provenientes de las edificaciones (IPCC, 2014): cambios de comportamiento del usuario, eficiencia energética en la edificación e incorporación de generación a partir de energías renovables. Cada una de estas estrategias trae aparejados beneficios en los tres ámbitos asociados a la sostenibilidad, como puede observarse en la Tabla 1.

Estrategia	Beneficios asociados		
	Económicos	Sociales	Ambientales
Cambios de comportamiento del usuario (reducción de la demanda energética).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguridad energética. ▪ Menor necesidad de subsidios a la energía. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor accesibilidad a la energía por disminución de la demanda. ▪ Asequibilidad de la energía por menores costos energéticos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción de la contaminación del aire en interiores y exteriores.
Eficiencia energética en la edificación.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguridad energética. ▪ Nuevos puestos laborales. ▪ Menor necesidad de subsidios a la energía. ▪ Valor del activo de los edificios. ▪ Resiliencia ante escasez o desastres. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor accesibilidad a la energía por disminución de la demanda. ▪ Asequibilidad de la energía por menores costos energéticos. ▪ Mejora de condiciones de confort interior que se traducen en impacto en la salud de los ocupantes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción de la contaminación del aire en interiores y exteriores. ▪ Reducción del efecto isla de calor urbana.
Energías renovables.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguridad energética. ▪ Nuevos puestos laborales. ▪ Menor necesidad subsidios a la energía. ▪ Valor del activo de los edificios. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Asequibilidad de la energía por menores costos energéticos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción del impacto en la salud debido a la reducción de la contaminación del aire, agua y suelos. ▪ Reducción de la isla de calor urbana.

*Tabla 1. Estrategias de reducción de emisiones de GEI en la edificación.
(IPCC, 2014)*

La definición de qué estrategia de mitigación resulta más adecuada para cada caso estará condicionada por el conocimiento de la situación, por lo que el uso de herramientas para la toma de decisiones resultará fundamental para garantizar el éxito de las medidas adoptadas.

2.5. Objetivo general y específicos

Siguiendo los lineamientos estipulados en los antecedentes, este trabajo persigue el fin de crear una herramienta innovadora de análisis y simulación de consumo energético para la parroquia de Escaldes-Engordany, trabajando desde las variables que condicionan el mismo y tratando de explicar los flujos energéticos existentes. Este fin se entiende en el contexto nacional e internacional de políticas para la reducción de emisiones, con el fin de revertir las tendencias observadas en cuanto a cambio climático a escala global.

A continuación, se enunciarán los objetivos general y específicos del trabajo:

- Desarrollar las bases para la construcción de un modelo de energía urbano de edificios (UBEM) para la planificación energética de la Parroquia de Escaldes-Engordany.

- Cartografiar en Sistemas de Información Geográfica (SIG) el parque edificatorio de la parroquia, para poder almacenar la información de manera ordenada, permitiendo visualizar de manera clara y accesible el stock y los parámetros que influyen en la demanda energética de los edificios de la parroquia.
- Caracterizar el parque edificatorio a través de arquetipos, que representen las posibles combinaciones de factores existentes en los edificios del territorio comprendido por la parroquia.
- Demostrar la viabilidad de generar un UBEM a partir de las bases de datos existentes, identificando posibles barreras y dificultades en los procesos que obstaculicen la realización del mismo.

3. Caso de estudio

El Principado de Andorra es un país de montaña situado en el eje central de los Pirineos orientales con una altitud media de 2.044 metros, una superficie de 468 km² y una población estimada de 74.794 habitantes. Limita en la frontera norte con la región de Occitania (Francia) y al sur con Catalunya (España). Administrativamente, el territorio se divide en siete parroquias (Figura 5), cada una con su propia administración local, conocidas como “comuns”.



Figura 5. División administrativa de Andorra.
(Andorraprincipat.com)

Actualmente, el sector terciario representa gran parte del producto bruto interno (PBI) del país siendo el turismo unos de los pilares fundamentales de la economía andorrana, representando el 60% del PBI con casi 8 millones de visitantes al año. Las actividades relacionadas a deportes de nieve son la base de 2.000 puestos de trabajo, con 3.200 hectáreas de terreno esquiable (Govern d'Andorra, 2014). Destaca la afluencia de visitantes atraídos también por los precios y condiciones fiscales favorables respecto a los países vecinos.

Constituido como estado independiente, de derecho, democrático y social, Andorra forma parte de organismos internacionales como la Organización de Naciones Unidas (ONU), pero no es miembro de la Unión Europea (UE) por mantener particularidades históricas del país.

3.1. Situación climática

El clima corresponde a un clima de montaña húmedo de latitudes medias con influencia mediterránea en el sector sur, características similares a las regiones mediterráneas continentales, y diferentes hábitats ricos en biodiversidad. Las temperaturas están evolucionando de acuerdo a las curvas de temperatura de las zonas templadas del hemisferio norte, con un promedio anual de 5,3°C y unas precipitaciones medias de 1.000mm/año (Figura 6).

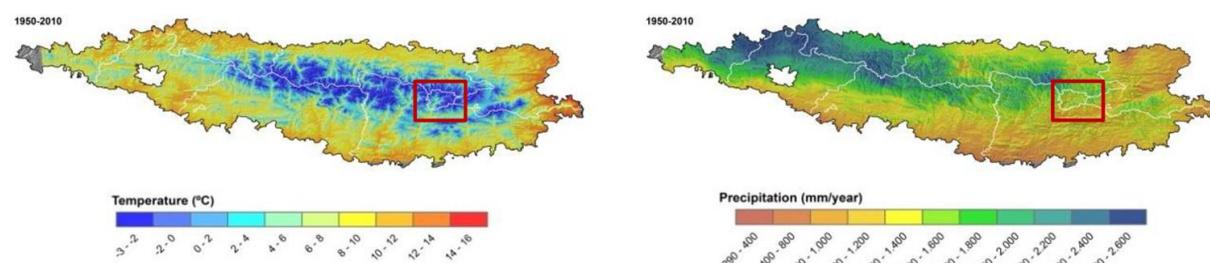


Figura 6. Regiones climáticas de los Pirineos, 1950-2010.
A. Temperaturas medias anuales. B. Precipitaciones medias acumuladas. (Govern d'Andorra, 2014)

En la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) celebrada en Copenhague en 2009 (COP15), el Principado de Andorra manifestó su voluntad de adherirse a la convención, hecho que se concretó en 2011 como Parte no incluida en el Anexo I. En el año 2007, el IPCC identificó las áreas de montaña como áreas particularmente sensibles al cambio climático (IPCC, 2007). Siendo Andorra un país cuya extensión territorial se encuentra completamente en terreno montañoso, se prevé que los efectos del cambio climático se manifiesten en mayor medida que en otras regiones.

El escenario más probable para finales del siglo XXI en los Pirineos según el IPCC, anticipa un aumento en las temperaturas entre el 2,4 y el 3,7°C y una disminución en las precipitaciones de entre el 6 y el 19%, teniendo como período 1961-1990 (IPCC, 2013). Dentro de estos valores, se prevé para Andorra un aumento de 3,6°C y una disminución de las precipitaciones del 17%. Se tienen evidencias (Figura 7) de que en los últimos 30 años las temperaturas medias han variado en +0,17°C/década y se han experimentado una disminución de 49mm/década en las lluvias de la región (1986-2015). Estos cambios pueden causar alteraciones en el equilibrio natural de los ciclos hídricos, el funcionamiento de los ecosistemas y la riqueza de la biodiversidad, así como producir consecuencias en los sistemas humanos y sus actividades económicas. Siendo el turismo el pilar fundamental de la economía, resulta muy vulnerable a las alteraciones climáticas ya que gran parte del mismo está relacionado con los deportes de nieve, por lo que una variación significativa en la superficie cubierta de nieve podría impactar en la actividad.

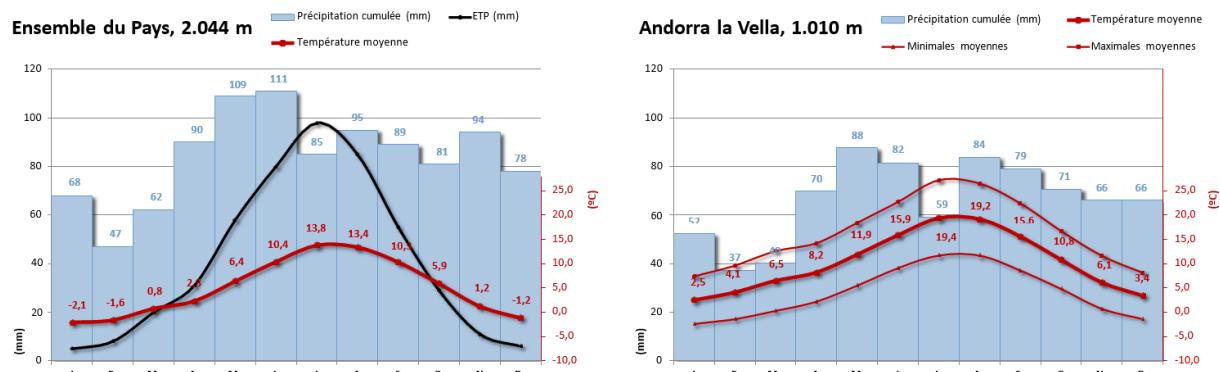


Figura 7. Climatograma del período 1950-2010 representando precipitación acumulada, temperaturas máximas, mínimas y medias.
(Govern d'Andorra, 2014)

A través de su adhesión, Andorra se compromete a presentar informes y a emprender acciones de mitigación para reducir el impacto que tienen sus emisiones en la atmósfera. La Primera Comunicación Nacional, realizada en año 2016, muestra que las emisiones equivalentes no absorbidas generadas por Andorra ascienden a 381,79 gigagramos de dióxido de carbono equivalente (GgCO₂-eq) en el año 2013. Desde el año 2005, se han observado disminuciones en las emisiones anuales, de alrededor del 16% para el período entre 2005 y 2013, como puede observarse en la Tabla 2.

Bilan national (Gg CO ₂ éq.)	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
1 - Énergie	393,03	446,77	551,42	596,90	534,07	506,39	504,59	493,37
2 - Procédés industriels et utilisation des produits	0,11	0,26	0,18	0,09	0,16	2,79	2,65	2,74
3 - Agriculture, foresterie et autres affectations des terres	-124,17	-125,34	-126,40	-126,86	-129,03	-122,00	-122,00	-121,31
Agriculture et foresterie	-129,31	-130,07	-131,08	-132,51	-135,16	-128,08	-128,03	-127,29
Élevage et gestion des déjections	5,13	4,73	4,68	5,65	6,14	6,08	6,03	5,98
4 - Déchets	9,97	11,12	10,14	4,09	7,90	7,38	6,66	6,99
5 - Autres	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total des émissions non absorbées	278,93	332,82	435,34	474,20	413,10	394,56	391,90	381,79
Total des émissions globales	408,24	462,88	566,42	606,72	548,26	522,64	519,94	509,08
Total des émissions absorbées (puits de carbone)	-129,31	-130,07	-131,08	-132,51	-135,16	-128,08	-128,03	-127,29

Tabla 2. Emisiones de GEI registradas en Andorra entre 1990 y 2013.
(Govern d'Andorra, 2016)

El 96,9% del total de las emisiones de CO₂ equivalente provienen del sector energético (2013), de las cuales el transporte por carretera es el principal contribuyente, siendo el transporte automotor la única forma de acceso al país. Se ha estimado que el consumo nacional de combustible para locomoción representa el 23,9% del volumen de hidrocarburos importados, siendo las emisiones base de alrededor del 255,38GgCO₂eq para 2011. Si adicionamos al transporte las subcategorías de calefacción de los usos comercial, institucional y residencial y las actividades forestales, obtenemos que entre las 3 constituyen el 90,3% del total de inventario de gases a nivel país (Govern d'Andorra, 2016).

3.2. Situación energética

Desde la década de 1940, el Principado de Andorra ha pasado de ser un país prácticamente aislado y con una economía de escasos recursos, a gozar de un importante crecimiento económico. Esto se ha traducido en un crecimiento demográfico sin precedentes durante el siglo XX, multiplicándose por alrededor de 16 veces la cantidad original en menos de 70 años (Travesset Baró, 2012).

El crecimiento se dio estrechamente ligado al desarrollo del sector energético del país. En el año 1929, se concedió la explotación hidroeléctrica a la empresa Fuerzas Hidroeléctricas de Andorra SA (FHASA, actualmente FEDA) a cambio de la construcción de las carreteras de Pas de la Casa a Soldeu, de Escaldes a Encamp y de Andorra la Vella a Ordino por la Massana. Este emprendimiento situó al país como exportador de energía eléctrica, condición que se revirtió a partir de 1973, debido al aumento del consumo hasta los 100GWh anuales. Esta tendencia se mantuvo durante años, con un crecimiento sostenido de la población y del consumo.

Desde el año 1993, primer dato disponible de Andorra en la temática, el consumo de energía ha aumentado considerablemente, reportando un incremento acumulado del 39,8% en el período 1994 y 2005, pero con una tendencia a la baja desde entonces, con una reducción acumulada del 15,2% al año 2017 (Figura 8).

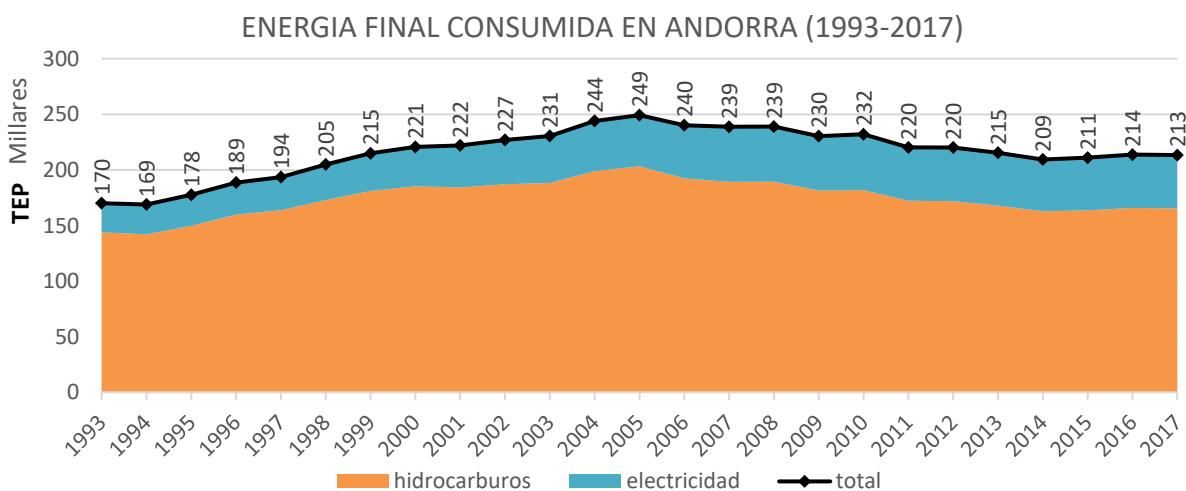


Figura 8. Consumo histórico de energía final en Andorra, 1993-2017.
(Elaboración propia con datos del Departament d'Estadística de Andorra)

A pesar de esta tendencia general referente al consumo energético en Andorra, no todos los tipos de energía han tenido la misma evolución debido principalmente a las diferentes lógicas de consumo a los que los mismos responden (Figura 9). Los tipos de energía más consumidos en Andorra son el gasoil de locomoción, utilizado por el sector transporte, el fuel doméstico, utilizado para acondicionamiento térmico residencial, y la electricidad. Asimismo, el consumo de gasolina constituye también una importante fuente de energía, pero con una marcada tendencia al decrecimiento, y otros

combustibles como el propano, el butano o el carbón, cuyos consumos resultan mínimos en comparación al resto.

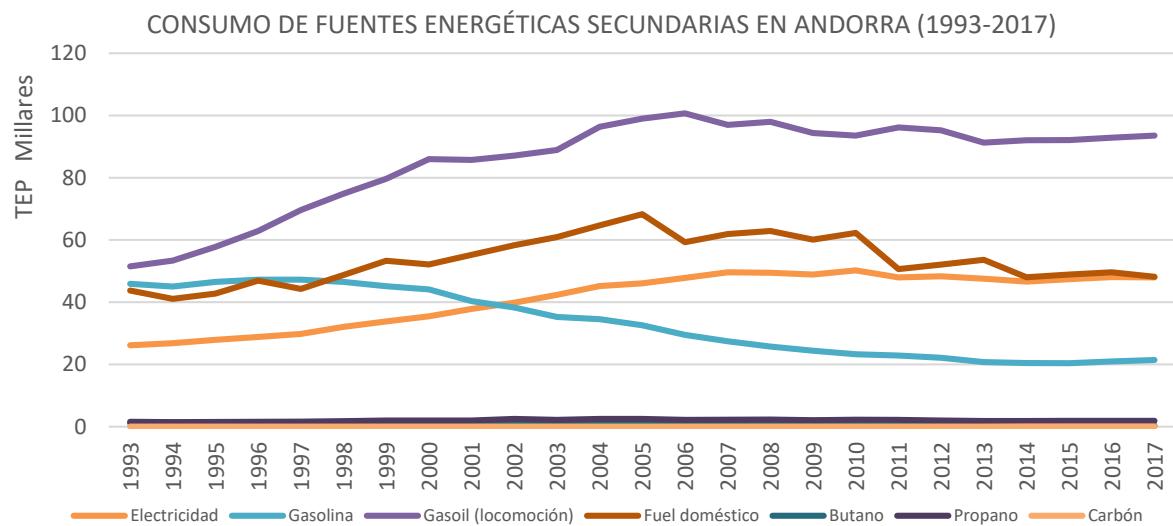


Figura 9. Consumo histórico de energía final según combustible en Andorra, 1993-2017.

(Elaboración propia con datos del Departament d'Estadística de Andorra)

Al analizar en detalle la electricidad, ya que su utilización responde a distintos usos, se observa una tendencia en la última década (2007-2017) a mantener el consumo sin aumentos o disminuciones significativas. El mayor volumen de consumo corresponde a la categoría “otros servicios” (32%), seguido por uso doméstico (18%) y otros servicios (13%). El sector doméstico posee la particularidad de ser el único sector que posee una tendencia a aumentar, como puede observarse en la Figura 10.

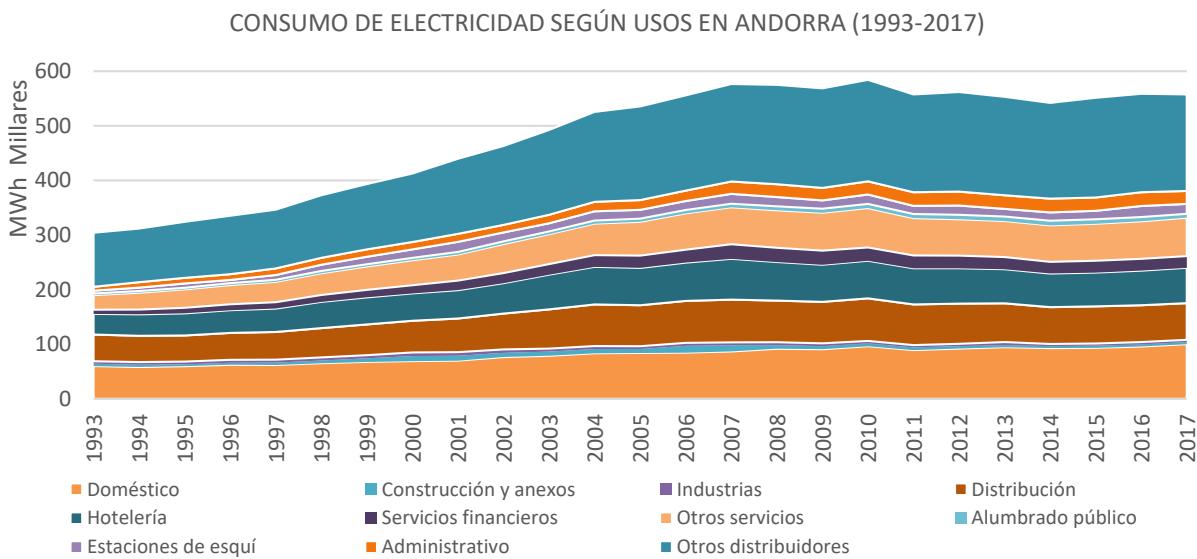
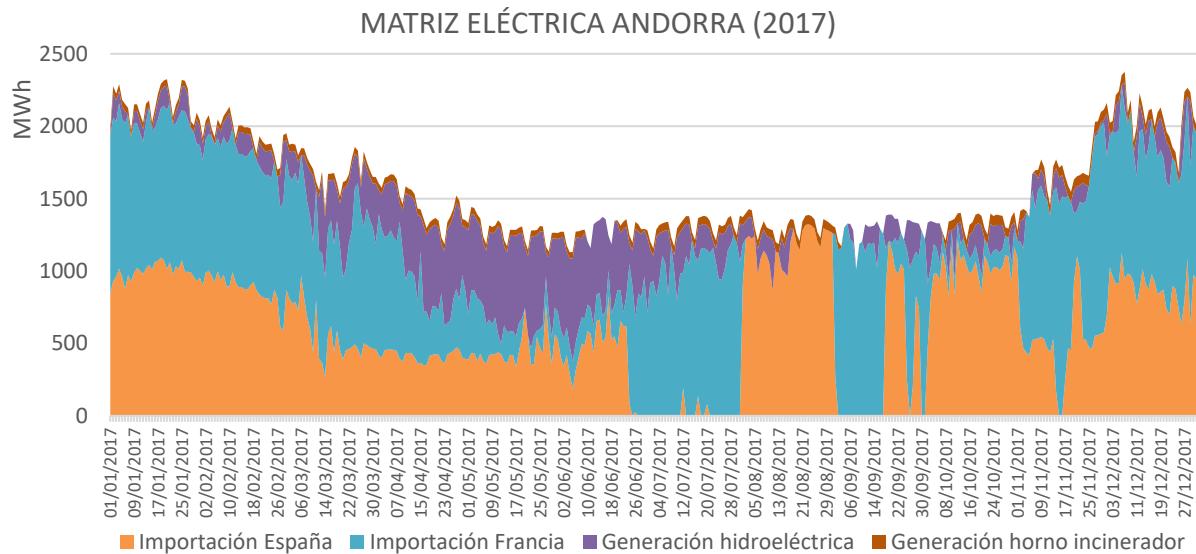


Figura 10. Consumo histórico de electricidad según usos en Andorra, 1993-2017.

(Elaboración propia con datos del Departament d'Estadística de Andorra)

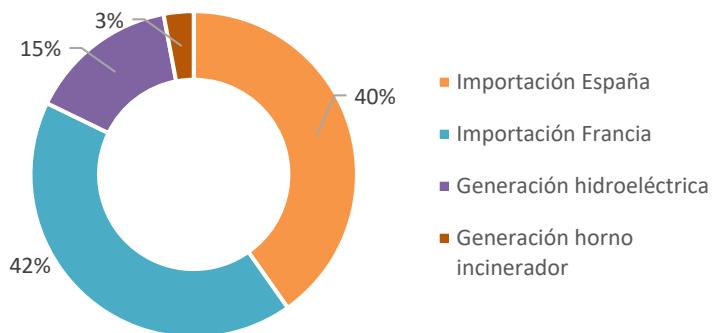
Como se anticipó anteriormente, Andorra se encuentra en una situación de gran dependencia energética, debido a la necesidad de importación de combustibles fósiles y electricidad. El 76% de la energía total consumida depende directamente del petróleo, recurso no explotado en el país por lo que es importado totalmente (Govern d'Andorra, 2014). Esta situación se replica en el sector eléctrico, donde la producción nacional sólo alcanzó el 17,8% en 2017 del total de 573 GWh/año consumidos, siendo el resto importado de los sistemas eléctricos vecinos de España y Francia (Figura 11/Figura 12). La producción interna se basa en una planta hidroeléctrica (3x15 MW, promedio anual de 85 GWh)

ubicada en el borde de las parroquias de Escaldes-Engordany y Encamp, que opera con su sistema regulatorio, en la cuenca hidrográfica de Valira Orient. Desde 2006, el centro de tratamiento de residuos completa la producción nacional, con una recuperación de energía de los residuos que resulta en la producción de electricidad (alrededor de 12,000 MWh anuales).



*Figura 11. Composición de la matriz energética en Andorra durante 2017.
(FEDA)*

ELECTRICIDAD SEGÚN ORIGEN CONSUMIDA EN ANDORRA (2017)



*Figura 12. Composición de la matriz energética en Andorra durante 2017, según origen.
(FEDA)*

Si analizamos el volumen de emisiones resultantes de la categoría energía, podemos observar que es la que presenta mayor cantidad total de emisiones liberadas a la atmósfera. Un análisis detallado del sector (Tabla 3/Figura 13) muestra que el subsector transporte genera 329 GgCO₂-eq (2013), un 69,2% del total, proveniente de la importación de combustibles para locomoción; los subsectores comercial/institucional y residencial generan 78,4 y 66 GgCO₂-eq, representando el 15,5% y el 13%, correspondientemente. Las emisiones totales se completan con 66 GgCO₂-eq del sector fabricación/construcción, con el 2,3% (Govern d'Andorra, 2016).

Total (Gg CO ₂ eq.)	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
Industrie	8,38	9,81	11,95	15,66	14,28	11,61	11,94	12,30
Transport (a)	279,32	313,92	390,05	387,25	343,68	350,26	345,03	329,35
Commerciel / Institutionnel	57,17	66,84	81,16	105,46	95,78	78,43	78,43	78,43
Résidentiel	48,16	56,20	68,26	88,52	80,33	66,08	66,08	66,08
Total secteur "Énergie" (a)	393,03	446,77	551,42	596,90	534,07	506,38	501,48	486,16

*Tabla 3. Emisiones de GEI registradas en Andorra entre 1990 y 2013 para el sector energético.
(Govern d'Andorra, 2016)*

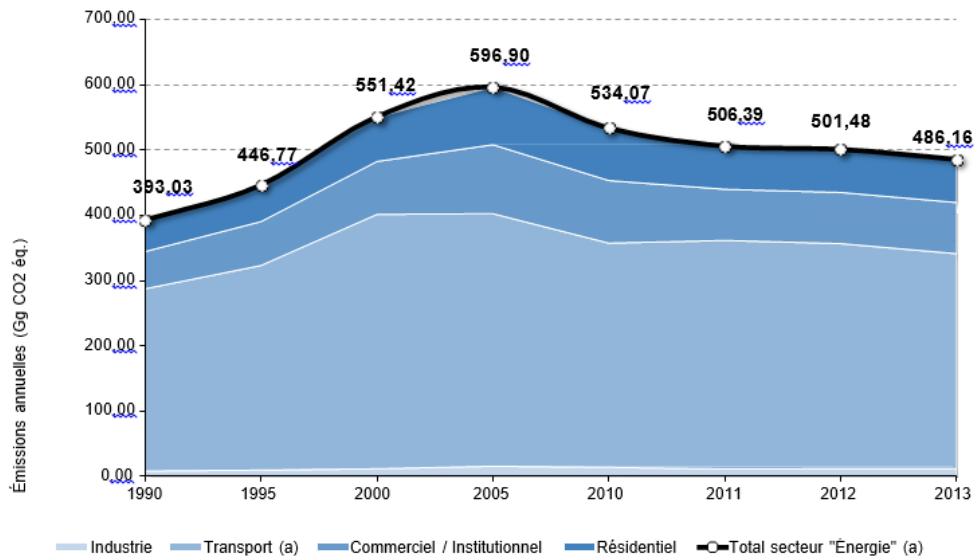


Figura 13. Emisiones de GEI registradas en Andorra entre 1990 y 2013 para el sector energético.
(Govern d'Andorra, 2016)

Según el Libro Blanco de la Energía de Andorra, de continuar con las tendencias actuales en cuanto a eficiencia y fuentes energéticas, la demanda total del país podría aumentar en un 63%, variando de 2.521 a 3.993 GWh para el año 2050 (Govern d'Andorra, 2012). Esta situación llevaría a incrementar la dependencia del país de fuentes externas por el considerable aumento en la demanda eléctrica (Figura 14).

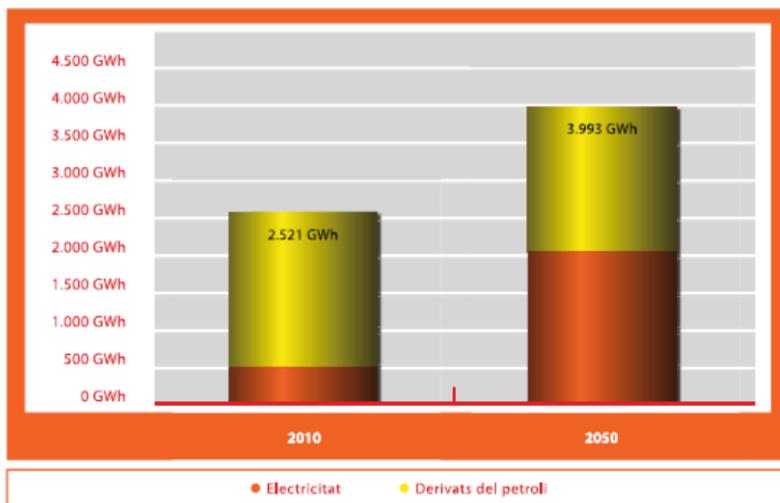


Figura 14. Proyección de la evolución del consumo de energía de Andorra con el modelo actual.
(Govern d'Andorra, 2012)

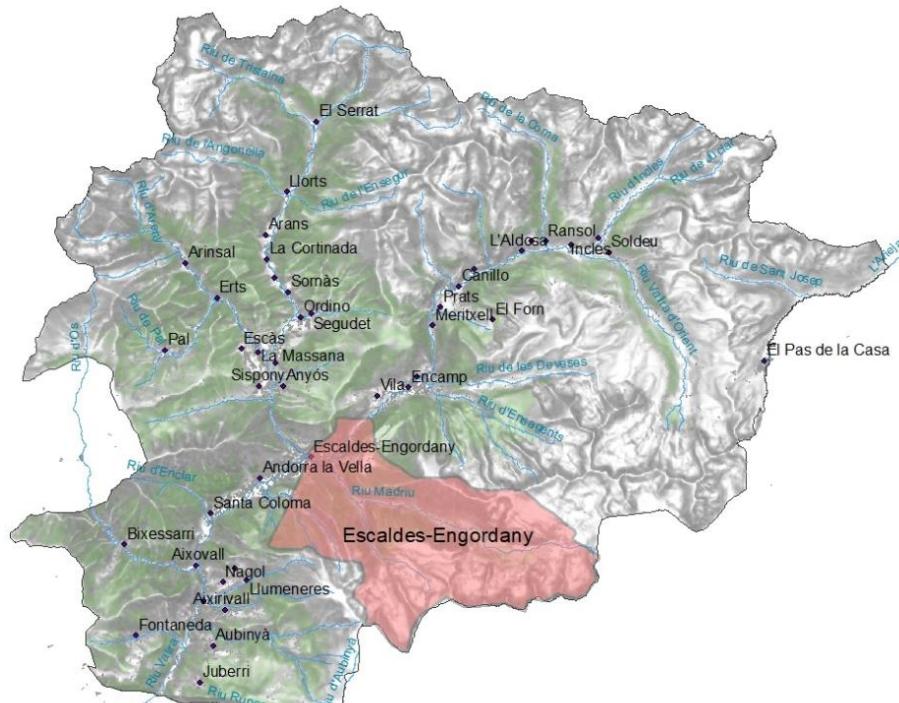
El Gobierno de Andorra se ha propuesto revertir esta situación a través de un modelo de consumo energético alternativo, el cual se encuentra reflejado en el Libro Blanco de la Energía (Govern d'Andorra, 2012). El mismo detalla posibles acciones futuras que incluyen:

- Revisión de los requisitos técnicos de eficiencia energética en la edificación, con un aumento en los requerimientos de los mismos.
- Implementación de etiquetado energético en la edificación.
- Facilidad para obtener ayudas económicas y préstamos preferenciales a invertir en rehabilitación edificatoria orientada a la eficiencia energética.
- La construcción de nuevas infraestructuras energéticas a través de tres plantas de cogeneración con producción y distribución de calor a través de una red de calefacción urbana.

- Fomento de pequeños productores de electricidad a partir de instalaciones fotovoltaicas, inferiores a 500kW.
 - Incentivo a la implementación de energía solar fotovoltaica y solar térmica mediante la implementación de tarifas preferenciales.

3.3. Situación urbanística Escaldes-Engordany

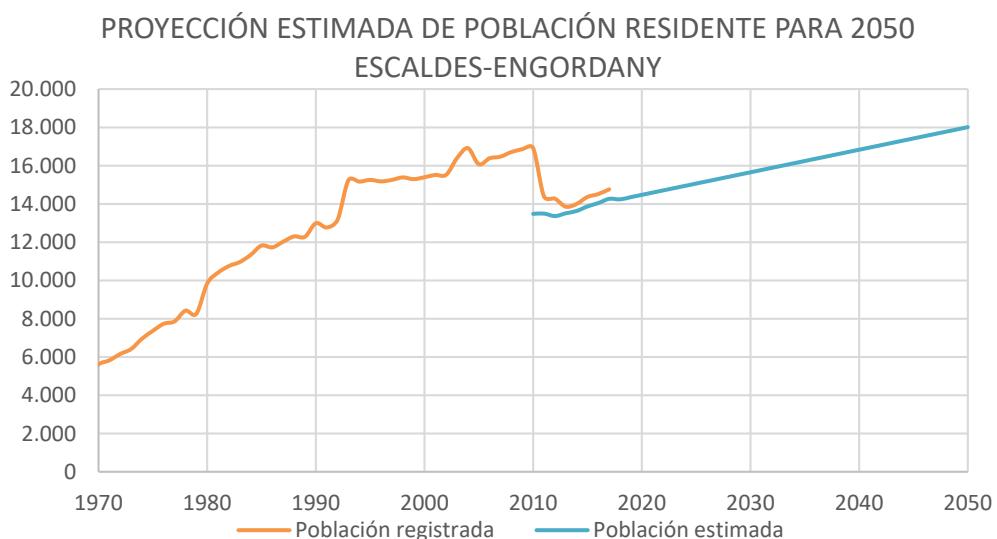
La ciudad de Escaldes-Engordany se sitúa en la confluencia de dos grandes ríos del Principado: el Valira del Norte y el Valira de Oriente, al fondo de un valle (Figura 15). Está formada por dos grandes núcleos urbanos, que originalmente estaban separados Escaldes y Engordany.



**Figura 15. Mapa físico-político de Andorra con la delimitación de la zona de estudio.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)**

Es la urbanización más poblada de la segunda parroquia más poblada del principado con 14.271 habitantes, después de Andorra la Vella, con 22.001 habitantes, representando el 19% de la población total. Su población presentó en 2017 un incremento de 1,6%, respecto a 2016 con 14.048 habitantes, ligeramente por debajo de la media nacional. El crecimiento natural fue del 3,52%, con una población autóctona del 50%, y fracciones de población extranjera de España (29%), Portugal (13%) y Francia (3%). Ocupa el 10% del territorio andorrano con 47 km², convirtiéndose así en la segunda parroquia con mayor densidad poblacional (305,7 hab/km²), después de Andorra la Vella (1.907,2 hab/km²) y seguida por la Massana con (169,8 hab/km²).

Teniendo en cuenta los crecimientos proyectados en la Primer Comunicación Nacional (Govern d'Andorra, 2016), se prevé un crecimiento del 55% de la población para 2050, alcanzando los 117.675 habitantes. A este valor deben hacerse las correcciones de estimación correspondientes al año en que fue proyectado el estudio. Considerando las tendencias de crecimiento poblacional de Escaldes-Engordany, ligeramente por debajo de la media nacional, se ha calculado que la población estimada alcanzaría los 18.000 habitantes para el 2050 (Figura 16).



*Figura 16. Evolución del crecimiento poblacional en Escaldes-Engordany, 1970-2050.
(Govern d'Andorra, 2016)*

Como ya se ha mencionado, Escaldes-Engordany está formada por dos grandes núcleos urbanos, originalmente Escaldes y Engordany, a los que pueden agregarse otros más pequeños como los Vilars de Engordany y los Feners. Antiguamente todos ellos correspondían a comunidades recolectoras, ganaderas y campesinas. Engordany, constituye el núcleo más antiguo, ya que se han encontrado indicios de haber sido habitado desde el siglo I A.C., principalmente por ganaderos y labradores. Poco a poco fueron apareciendo artesanos, especialmente dedicados al trabajo de la lana, lo que originó la aparición de una nueva industria rudimentaria, lo que impulsó el crecimiento del núcleo de Escaldes. Este último experimentó durante el siglo XVIII un fuerte crecimiento económico, gracias a la manufactura textil y del hierro (Comú d'Escaldes-Engordany, 2018).

Pero no fue hasta los años 30, que se produjo un gran cambio, con la construcción de la red viaria y la concesión de FHASA, lo que marca una evolución divergente entre Engordany, que mantuvo su carácter agrícola y ganadero tradicional y es en la actualidad una zona residencial, y Escaldes más orientada a la explotación turística y el comercio, en la actualidad una zona comercial. La evolución durante el siglo pasado de la parroquia de Escaldes-Engordany está íntimamente ligada a la utilización del agua caliente y a los hoteles-balneario, con su mayor exponente en la construcción del centro termo-lúdico Caldea, en 1994.

El cambio más profundo se vivió entre 1930 y 1940, cuando el fuerte desarrollo comercial de la zona sustituyó el turismo minoritario que acudía por el agua termal, por la masificación del turismo puramente comercial. A lo largo de la década de los 80, se fueron planteando alternativas a este desarrollo económico centrado, casi en exclusiva, al turismo comercial, pero esto no ha evitado que la parroquia haya ido creciendo a pasos agigantados y constituya en la actualidad uno de los ejes comerciales más importantes del Principado.

La parroquia de Escaldes-Engordany se constituyó en 1978 como autónoma, al separarse del Comuns d'Andorra La Vella, aunque ambas comparten el mismo núcleo urbano. Si se analiza la relación de la ciudad con el contexto topográfico puede reconocerse una correspondencia del desarrollo de la ciudad con la proximidad a los márgenes de los ríos y el aprovechamiento de la planicie correspondiente al valle (Figura 17).



*Figura 17. Vista aérea actual de la ciudad de Escaldes-Engordany.
(www.vilagesl.com)*

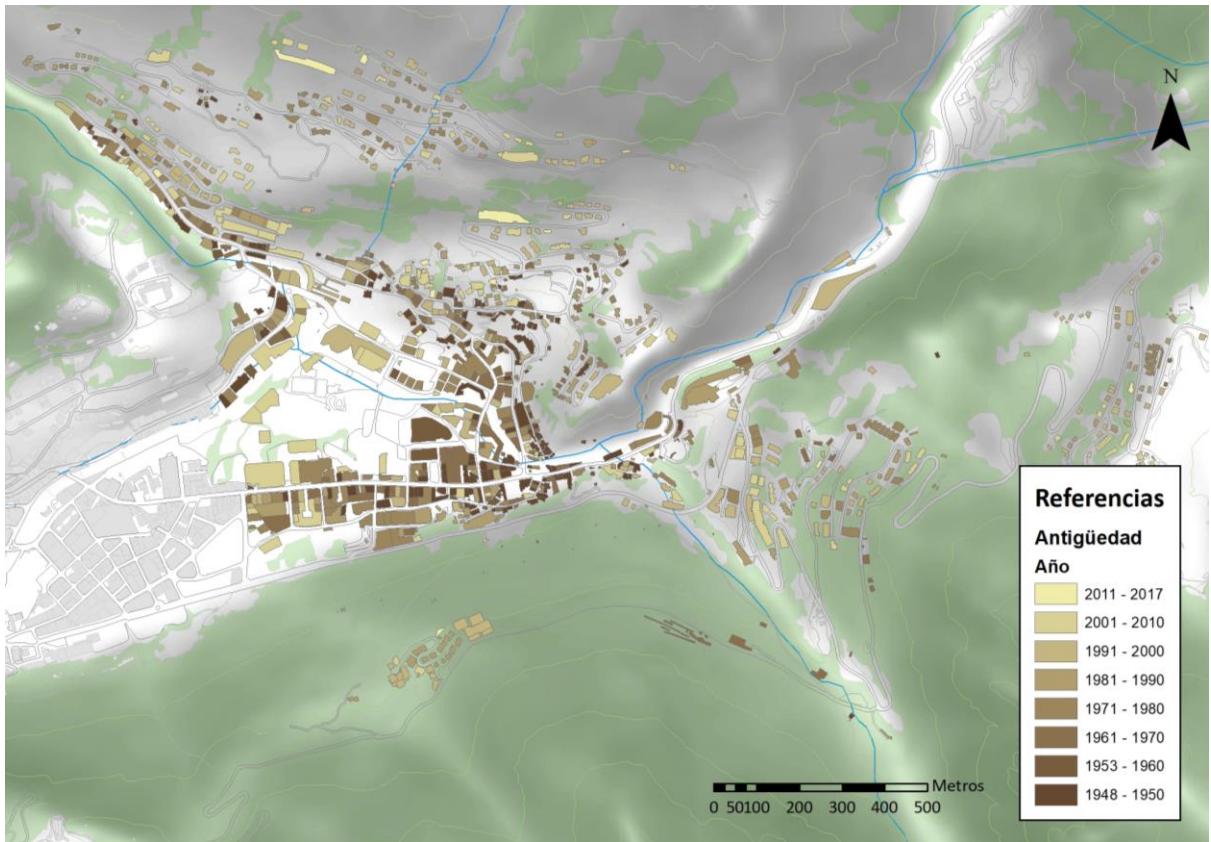
El espacio urbano se encuentra estructurado a partir de la relación entre dominio público y privado del suelo. Si analizamos el significado básico del proceso de urbanización, es decir, de transformación de espacio rural a urbano, vemos que se trata de una segregación de espacio, dando lugar a la diferenciación entre el espacio público, la calle, y el privado, los solares (Noguera, 2011). La relación entre ambos espacios en el territorio define el carácter de la ciudad. A diferencia de las regiones rurales, en el espacio urbano la diferenciación entre los elementos públicos y los privados es clara y rotunda. El espacio urbano se configura, entonces, a través de dos categorías de suelo físicamente interrelacionadas: la red de espacios públicos y los espacios parcelados. La primera, con carácter de espacio vacío y continuo, y la segunda, con propiedades de espacios compartimentados y edificados.

La ciudad tiene una estructura urbana expresable en forma de modelo, entendido como expresión simplificada de la realidad, que ha de expresar sintéticamente las líneas básicas del desarrollo futuro de la estructura urbanística de la ciudad. Mediante un análisis de llenos y vacíos urbanos y de los principales elementos determinantes de la estructura urbana (Figura 18), pueden reconocerse dos maneras de ocupación del territorio bien delimitadas: una “ciudad compacta” continuando el trazado de Andorra la Vella y en cercanía a los cauces de los ríos, y una “ciudad difusa” expandiéndose en las laderas de las montañas contiguas. La ciudad compacta es aquella que presenta una estructura y trama de cierta compacidad, creando un territorio con cercanía a los servicios, con una mayor densidad poblacional. Este modelo se contrapone a un desarrollo que ha aparecido posteriormente, ligado a la accesibilidad generada por los nuevos medios de transporte, caracterizado por una ocupación del territorio de manera diseminada, generalmente destinados a usos residenciales cuya conexión al resto de los usos depende de las infraestructuras de transporte.



*Figura 18. Huella constructiva de la ciudad de Escaldes-Engordany.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)*

Dado que el concepto de urbanización es el resultado de una serie de intervenciones físicas de alteración del espacio natural, producidas en tiempos y épocas diversas, un análisis de la evolución del crecimiento de la ciudad podría determinar las condicionantes iniciales del origen de la misma. Un análisis histórico de la huella de la ciudad de Escaldes-Engordany (Figura 19) muestra que las viviendas más antiguas se encuentran en donde hoy en día se emplaza la “ciudad compacta”, cercana al cauce de los ríos y en el llano del valle. Se observa un crecimiento que se expande desde estos núcleos originarios, avanzando sobre el valle y, posteriormente, sobre las laderas aledañas. De esta forma, las viviendas más nuevas suelen localizarse sobre las laderas aprovechando las curvas de nivel o en las áreas afectadas por grandes intervenciones urbanas de la “ciudad compacta”.



*Figura 19. Huella constructiva de la ciudad de Escaldes-Engordany según antigüedad de los edificios.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)*

Reforzando la dualidad ciudad compacta-ciudad dispersa, el análisis de distribución de los usos urbanos muestra una mayor complejidad de actividades en las zonas centrales, con una mixtura de usos (aparcamiento, comercial, equipamiento, residencial) que no aparece en las urbanizaciones de la periferia, predominantemente residenciales. Se observa la presencia de algunas industrias en las carreteras cercanas al núcleo urbano, pero por su cuantía resultan casi anecdóticas (Figura 20).

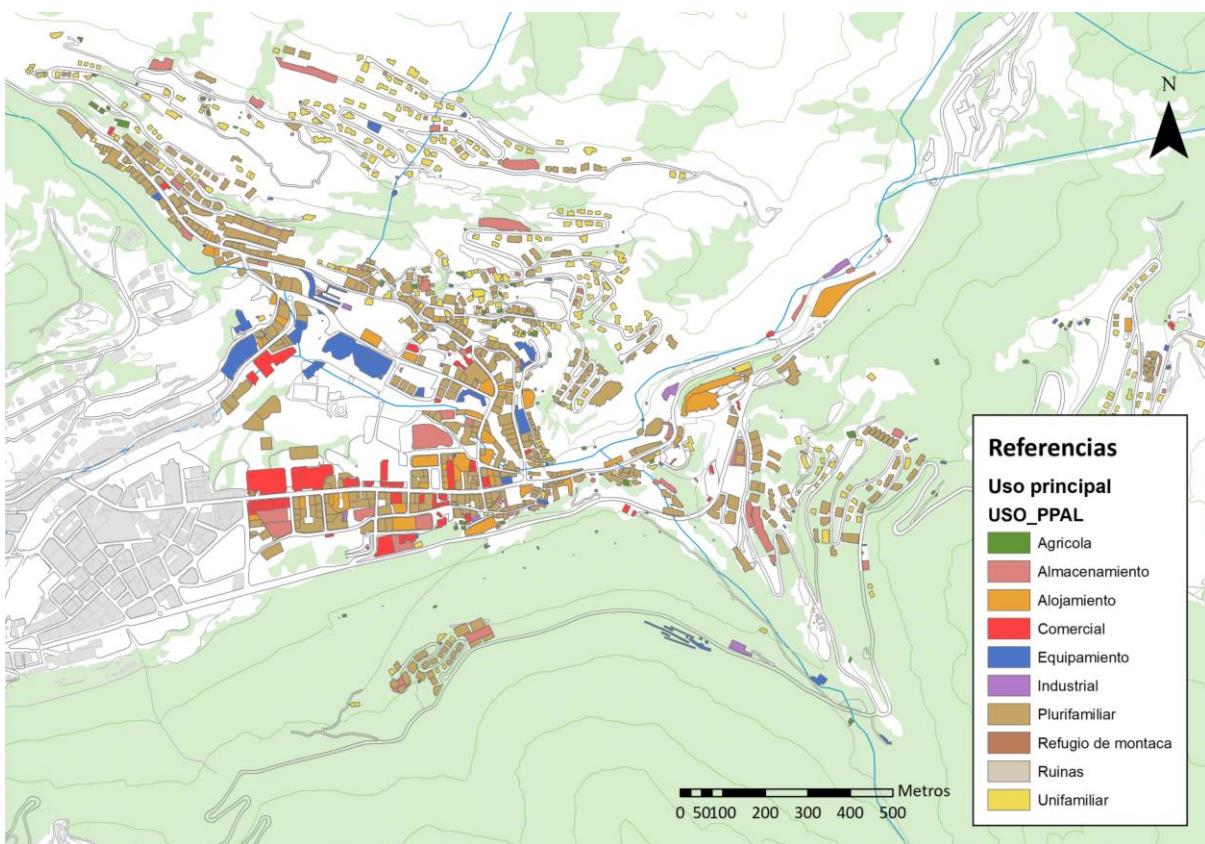


Figura 20. Distribución de usos dentro de la ciudad.

(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)

El plan de ordenación municipal es el instrumento urbanístico por excelencia, en la medida que pretende definir el proyecto general de las ciudades, a partir de la consideración de las diversas situaciones y circunstancias que se dan en su entorno espacial. Los planes urbanísticos son los que están directamente encaminados a ordenar la ciudad o, más genéricamente, el espacio urbano. Son instrumentos que, desde el siglo XIX, han sido regulados por una legislación específica. Son, asimismo, instrumentos de efectos directos sobre el destino del suelo y sus posibilidades de utilización por los entes privados y son, por tanto, instrumentos imprescindibles para cualquier acción de desarrollo urbano (Noguera, 2011).

El Comuns d'Escaldes-Engordany aprobó su Plan de Ordenamiento y Urbanismo Parroquial (Figura 21) en 2007, publicado en el Boletín Oficial en 2008. Este plan actúa actualizando y completando el plan anterior en materia de caracterización de los suelos edificables, no edificables y las zonas de conservación de la ciudad y sus áreas circundantes. A través del mismo se pretende establecer lineamientos sobre el futuro crecimiento de las áreas urbanas del comuns, priorizando la densificación de las áreas centrales, el completamiento de las áreas periféricas y la protección de las áreas forestales aledañas, junto con sus cualidades y biodiversidad.

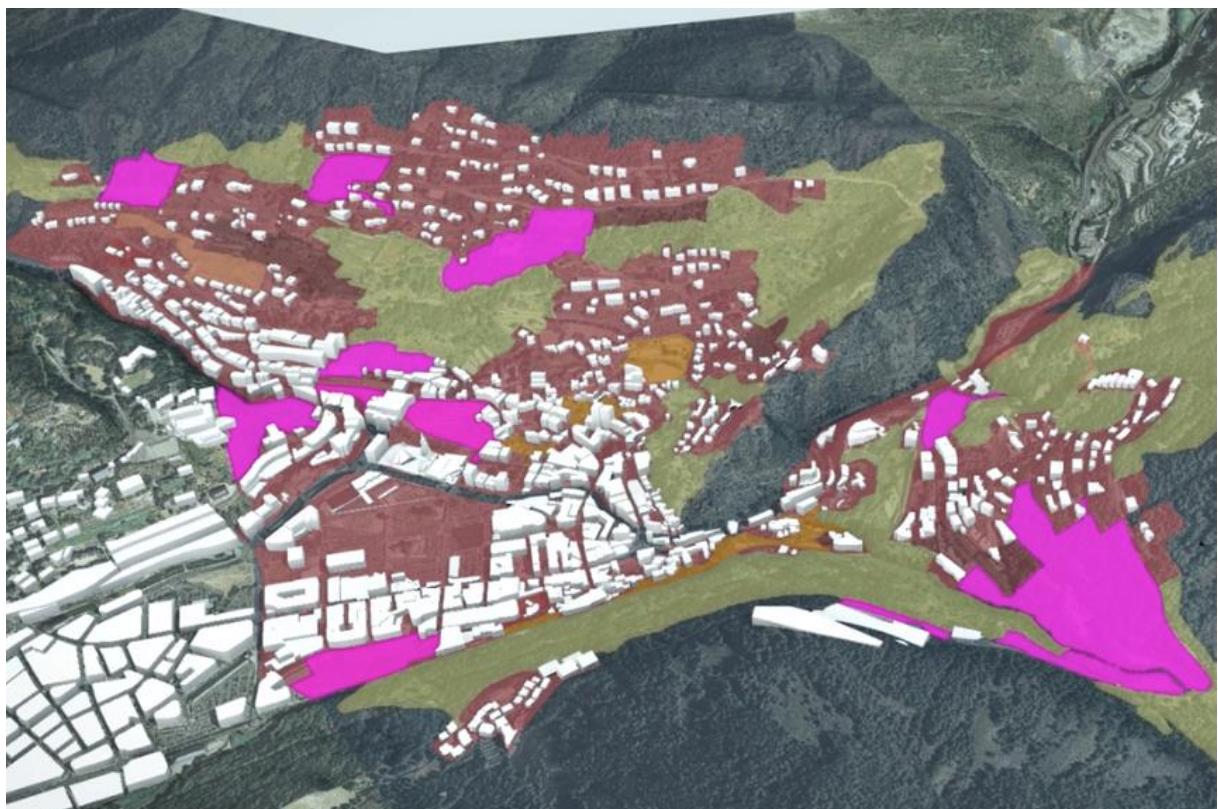
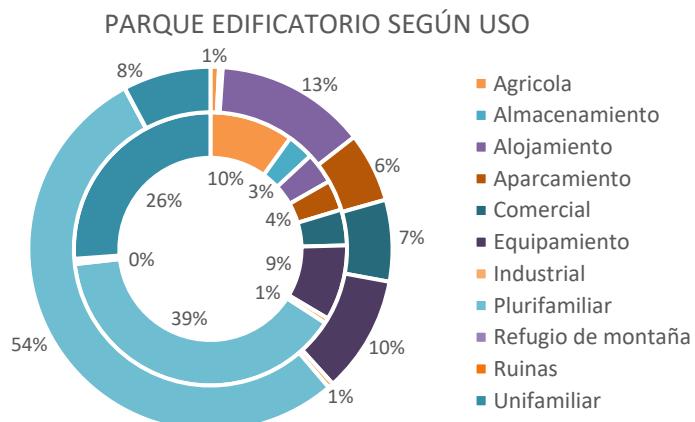


Figura 21. Esquema del Plan de Ordenamiento y Urbanismo Parroquial de Escaldes-Engordany.
(Comú d'Escaldes Engordany, 2017)

3.4. Parque edificatorio

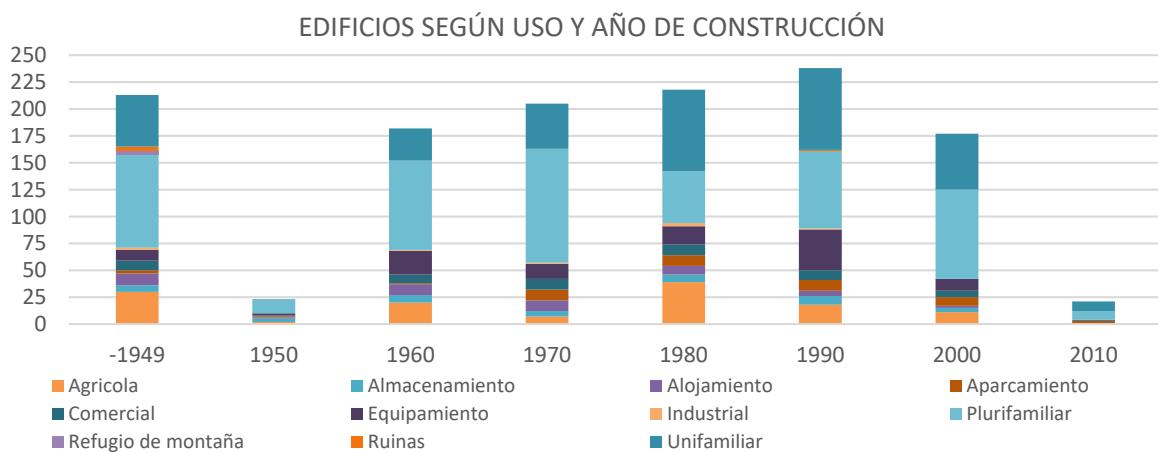
En áreas urbanas, la delimitación de parcelas conlleva, en la mayoría de los casos, a la edificación de la misma. De esta forma, se puede decir que la parcelación urbanística se orienta a la edificación, por lo que las mismas deben responder a las necesidades de forma y dimensiones de los usos que van a contener en un futuro. En la ciudad actual, conviven tipologías muy diversas de edificios privados, como resultado de diferentes combinaciones en respuesta a requerimientos funcionales: de vivienda, oficinas, industria, etc.; y formas de agrupación de los edificios: entre medianeras, aislados, por volumetrías, etc. Por este motivo, en la ciudad actual los tejidos tienen diversos grados de homogeneidad, en función de qué tipologías predominen en la edificación de los espacios parcelados (Noguera, 2011).

La parroquia de Escaldes Engordany cuenta con 1.277 edificios registrados, según datos de catastro del Comuns, que representan una huella aproximada de 344.492 m² en terreno y unos 2.231.442 m² de superficie edificada. Si determinamos la distribución del stock de edificios según uso mediante dos criterios distintos (Figura 22), primero por cantidad de edificios (anilla exterior) y luego por m² construidos (anilla interior), podemos observar que el peso de cada uso varía. Los edificios plurifamiliares encabezan indistintamente ambos criterios, con un 39% de los edificios y un 54% de la superficie construida, seguidos por los unifamiliares, con un 26% de los edificios, pero sólo un 8% de la superficie. Los alojamientos representan sólo un 4% de los edificios, pero un 13% de la superficie construida, debido a que poseen mayores dimensiones que las viviendas. Los equipamientos representan el 9% de los edificios y el 10% de la superficie construida. El resto de los usos poseen menor importancia, con bajos valores en alguno o ambos de los criterios.



*Figura 22. Distribución del parque edificatorio según uso.
En m² (anilla exterior) y cantidad de edificios (anilla interior).
(Elaboración propia con datos de Comú d'Escaldes Engordany, 2017)*

Las edificaciones más antiguas datan de antes de 1950, pero no se conservan datos registrados de mayor precisión sobre el momento en que fueron edificadas. Dado que las edificaciones residenciales son el uso principal, se pondrá especial atención a su evolución y características. En la Figura 23 puede observarse que la construcción de edificios residenciales plurifamiliares se dio en mayor medida que los unifamiliares en los anteriores a 1950, así como en la década de 1960, 1970 y 2000. Esta tendencia se revierte con un gran incremento en la construcción de viviendas unifamiliares en 1980 y 1990.



*Figura 23. Construcción de edificios según año y destino del edificio.
(Comú d'Escaldes Engordany, 2017)*

Para evaluar el funcionamiento energético de los edificios, resulta clave caracterizar sus envolventes de acuerdo al sistema constructivo aplicado en sus componentes: paredes, cubiertas, pisos y carpinterías. Generalmente, las técnicas constructivas utilizadas son un correlato de las tecnologías y materiales disponibles en una época determinada, las normativas vigentes, los modelos constructivos imperantes, etc., lo que tiende a hacer que edificios construidos en un mismo período resulten constructivamente similares (COAA, 2012). Dado que la construcción es, principalmente, un saber técnico desarrollado a través de la tradición y práctica, la técnica utilizada no suele variar salvo en casos en que es empujada por motivaciones externas, tal como pueden ser las reglamentaciones. Por este motivo, se hará una breve reseña de los principales cambios normativos acontecidos en la zona de estudio o en su entorno de influencia.

El caso de Andorra resulta particular ya que, debido a la falta de una estructura estatal moderna, no ha existido un código constructivo o normas de ahorro energético hasta el año 1993, a diferencia de lo ocurrido en sus países limítrofes. La ausencia de normativa propia fue suplida con la utilización

de normativa de referencia de casos vecinos: por ejemplo, los modelos constructivos de finales de los setenta siguieron norma básica de la edificación española (NBE-CT 79). Esta norma ha surgido como una respuesta algo tardía a la crisis del petróleo del año 1973, con la necesidad de ahorrar en energía debido a la subida de precio del petróleo, y se trata de una norma básica de aislamiento térmico. Con la recuperación de su gobierno autónomo, la Generalitat de Catalunya emprendió una reforma a la citada norma que resultó en la Norma Reglamentaria de Aislamiento Térmico (NRE-AT 87). Las edificaciones andorranas pertenecen a la tipología constructiva de Pirineo y, desde su aparición, responden de manera más o menos generalizada a ambas normas. En el año 2010, aparece el Reglamento Energético de la Edificación (REE) que cambia el enfoque actual y dota a Andorra de una normativa avanzada respecto a ahorro energético en la edificación (COAA, 2012), complementada en 2015 por el Reglamento de la Construcción.

Como las construcciones y los sistemas de construcción cambian localmente y con el tiempo, y normalmente no están documentados individualmente, su definición en una biblioteca de tipologías urbanas requiere un conocimiento profundo del material de construcción local y su evolución. En el mejor de los casos, el stock de construcción de un país ya se ha dividido en tipologías y se ha caracterizado por algún esfuerzo de investigación nacional (Cerezo, Sokol, Reinhart, & Al-Mumin, 2015). Generalmente, los hitos en la normativa suponen un cambio en la técnica constructiva, que se ve reflejada en nuevas construcciones que adoptan estos conceptos y los incorporan, mejorando su situación de aislación con el ambiente circundante. Se utilizarán estos años como orientativos, se requieren un tiempo para la adaptación e implementación, para identificar los cambios que definen a qué tipología corresponde cada edificación, según su año de construcción. El resultado son cuatro grupos claramente delimitados y que poseen características particulares: el tipo 1, viviendas construidas hasta 1955 que responden al modelo tradicional de construcciones de montaña; el tipo 2, viviendas tipo "chalet" y apartamentos construidos entre 1956 y 1980; el tipo 3, viviendas construidas entre 1981 y 1995 que empiezan a incorporar aislamiento térmico; y el tipo 4, viviendas posteriores a 1996 que mejoran sus propiedades de aislación. La descriptiva de estas tipologías se encuentra en el ANEXO I.

Analizando la preponderancia de cada una sobre el total de edificios en la parroquia (Figura 24), se puede determinar que el Tipo 2 (1955-1980) es el mayoritario con 32% de los casos y 34% de la superficie, seguido por el Tipo 4 (1996-) con 26% de los casos y 31% de la superficie, luego el Tipo 3 (1981-1995) con 25% de los casos y 26% de la superficie, y por último el Tipo 1, con 17% de los casos, pero sólo el 9% de la superficie. No existen datos sobre el estado actual de los edificios y sus posibles restauraciones, por lo que se tomará como válida la clasificación basada en su año constructivo.

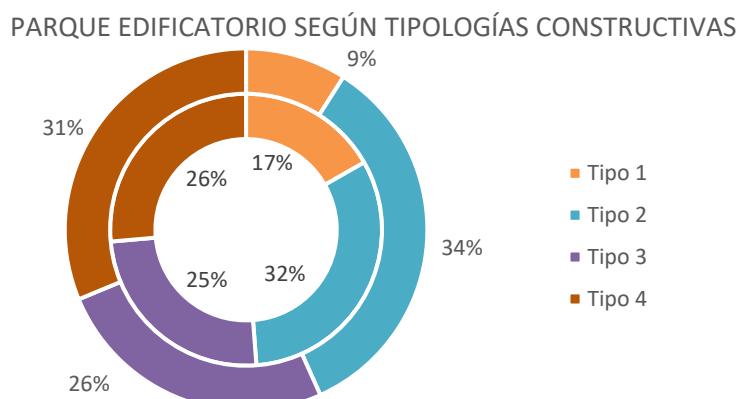


Figura 24. Distribución del parque edificatorio según tipologías constructivas.

En m² (anilla exterior) y cantidad de edificios (anilla interior).

(Elaboración propia con datos de Comú d'Escaldes Engordany, 2017)

En cuanto a eficiencia en la edificación, Andorra es aún un país con poca tradición y desarrollo de legislaciones y normativas en lo que respecta al sector de la construcción y la edificación, en comparación con sus países vecinos u otros miembros de la UE. Se destacan esfuerzos por seguir las directivas europeas en este ámbito, orientadas a la eficiencia energética en la edificación, la certificación de edificios existentes o la rehabilitación del parque inmobiliario.

Puede citarse como acción destacada la aprobación del Reglamento Energético de Edificaciones en el año 2010 (Govern d'Andorra, 2010), basado en gran parte en la norma suiza 380/1 ed. 2009, que aplica criterios de eficiencia energética a nuevas edificaciones, ampliaciones y reformas de edificios existentes. Asimismo, introduce nuevas posibilidades en el ámbito de la generación distribuida a partir de energías renovables, en vistas de posibilitar productores-consumidores que puedan inyectar a la red, una vez que se hayan ajustado las condiciones técnicas para llevarlo a cabo.

En el año 2015 se hizo otro importante avance en esta dirección, con la aprobación del Reglamento de la Construcción (Govern d'Andorra, 2015). Este documento se estructura a partir de cuatro ejes estratégicos: mejorar la eficiencia energética en edificaciones a partir de mejoras en su aislamiento; incorporar energías renovables, principalmente solar fotovoltaica y solar térmica; fomentar la utilización de vehículos eléctricos, con puntos de carga en la vía pública; y disposiciones técnicas al momento de la construcción, como gestión eficiente de aguas, ahorro energético y recogida selectiva de residuos.

Se han llevado a cabo experiencias en este ámbito, como la acontecida en el año 2012 en un informe en que el Colegio Oficial de Arquitectos de Andorra (COAA), las Fuerzas Eléctricas de Andorra (FEDA) y el despacho de Arquitectos Sabaté Asociados (SAAS) se encontraban asociados. El objetivo principal de dicho trabajo era cualificar y cuantificar el parque edificatorio para crear un panorama claro del sector de la edificación, y dirigir la adopción de políticas y estrategias que reduzcan la demanda energética (COAA, 2012). En el informe se analizan los diferentes consumos energéticos y se proponen diferentes mecanismos de actuación sobre la edificación existente, para reducir su consumo evaluando los costes que ello implicaría, así como los períodos de amortización de éstos. A pesar de ello, debido principalmente a la falta de información sobre el parque edificado andorrano, el informe carece de detalle y no llega a conclusiones concretas.

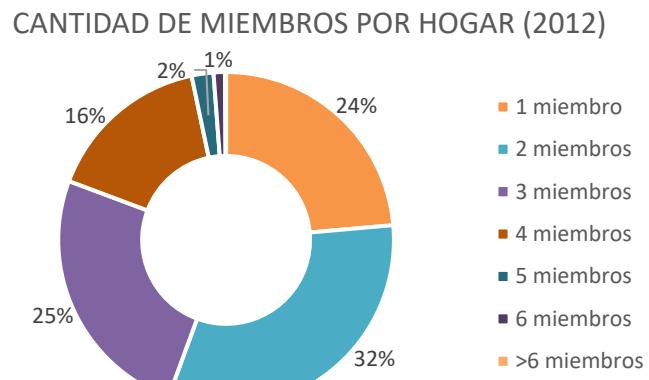
Existe un amplio consenso a la hora de reconocer la importancia del consumo de energía de los edificios en el consumo global del Principado, así como de las oportunidades que ofrece este sector para hacer ahorros. De igual forma, existe una situación de entorno ideal para emprender acciones en esta dirección, dado el creciente interés de la administración pública en la temática, que se hace patente a través de publicaciones como el Libro Blanco de la Energía o las reglamentaciones de eficiencia en la construcción.

3.4.1. Viviendas

Para conocer datos más cercanos a la realidad de los hogares, se ha recurrido a los registros realizados por las Encuestas de Presupuestos Familiares (EPF) realizada en el año 2012 (Departament d'Estadística, 2017), ya que son los últimos datos que se encuentran publicados. Parte de la información del mismo no se encuentra disponible desagregada por parroquias, por lo que se proyectarán los porcentajes nacionales a la escala local, suponiendo que la misma sigue las mismas tendencias distributivas.

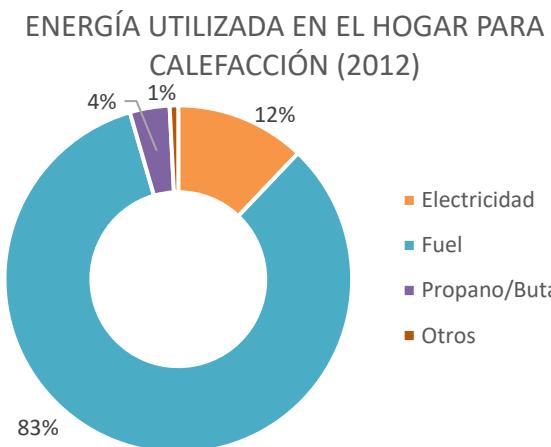
Las tendencias nacionales (Figura 25) indican que el 23,6% de hogares se encuentran conformados por un único miembro, dentro de los cuales el 76% son menores de 65 años; 32% por dos miembros,

representando un 52% de este total las parejas menores de 65 años y 24% parejas mayores de 65 años; 25,1% por 3 miembros, siendo el 94% de los mismos hogares formados por una pareja y un hijo; 16% por 4 miembros , siendo la tipología de pareja con dos hijos la más frecuente con un 94%, y un 3,3% por familias de 5 o más miembros, con una diversidad de conformaciones. De estos surge una media nacional un total de 2,5 miembros por hogar. Estos datos, al no encontrarse de manera desagregada en el territorio, se utilizarán sólo como datos orientativos. De esta manera, se puede establecer de manera general que las viviendas ocupadas por más de 4 habitantes resultan atípicas.



*Figura 25. Distribución de los hogares según cantidad de miembros.
(Elaboración propia con datos de Departament d'Estadística, 2017)*

Las estadísticas recabadas a través de la EPF en 2012 reflejaron que un 84% de los hogares utiliza energía proveniente del fuel para aclimatarse, un 3,7% utilizan propano o butano, 0,8% utiliza otras fuentes, y sólo un 11% utiliza energía eléctrica (Figura 26).



*Figura 26. Distribución del parque edificatorio según combustible utilizado para calefacción.
(Elaboración propia con datos de Departament d'Estadística, 2017)*

Existen otras estadísticas de carácter general resultantes de la EPF que computan la utilización de electrodomésticos y equipamientos tecnológicos en las viviendas, los correspondientes porcentajes de penetración de los distintos artefactos se encuentran detallados en las Figura 27 A y B.

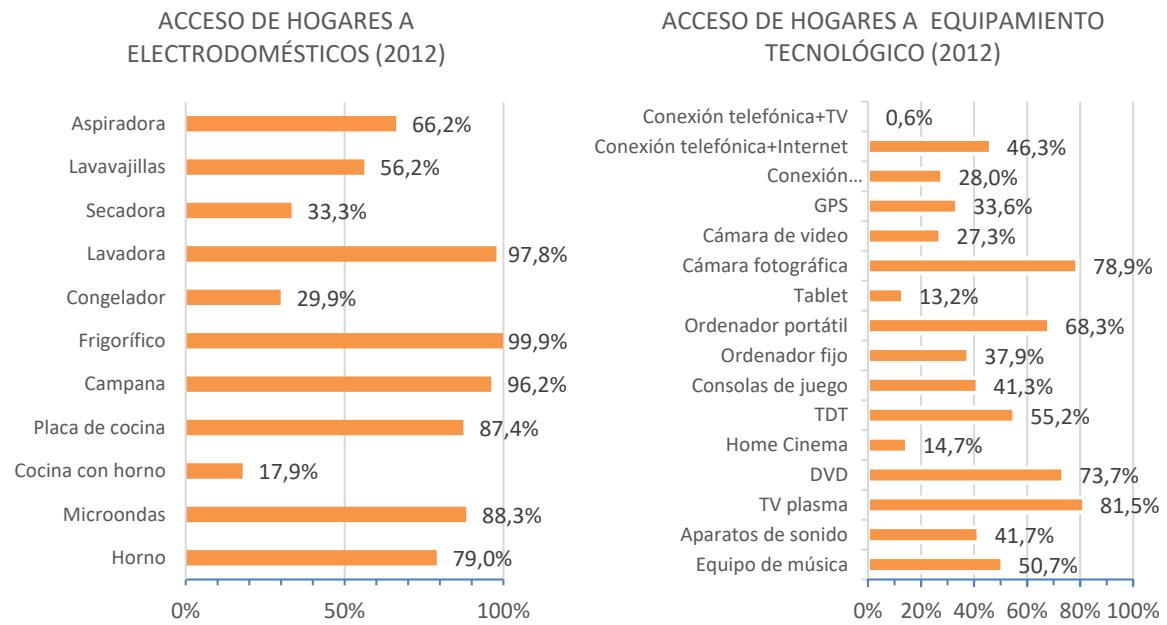


Figura 27. Porcentaje de penetración de las distintas tecnologías en los hogares de Andorra.

A. Acceso a electrodomésticos; B. Acceso a equipamiento tecnológico.

(Elaboración propia con datos de Departament d'Estadística, 2017)

El sector residencial posee algunas alternativas a la ocupación permanente de una vivienda, como puede ser contar con una segunda residencia. La extrapolación de datos de eléctricos de la Parroquia de Escaldes (Figura 28) mostró un 79% de viviendas de carácter permanente, con 21% de segundas viviendas (COAA, 2012).

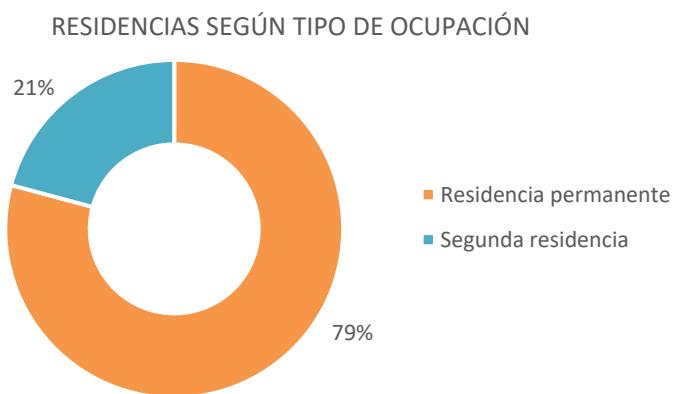


Figura 28. Residencias según tipo de ocupación.
(Elaboración propia con datos de COAA & SaAS, 2012)

3.4.2. Alojamientos

Como se mencionó anteriormente, el turismo es el principal pilar de la economía andorrana, responsable directa o indirectamente del 60% del PIB con 8 millones de visitantes al año. El país posee distintos atractivos que convocan a visitantes como los deportes de invierno, el senderismo, las aguas termales o los tours de compras. Esta diversidad de actividades se refleja en flujos desiguales según la época del año, concentrando su mayor pico en enero y febrero, temporada alta de deportes de inviernos, y con otro en agosto, donde destaca la presencia de excursionistas (Figura 29). Esta afluencia de visitantes hace que la ocupación varíe, impactando en gran medida en los consumos de complejos hoteleros y alojamientos.

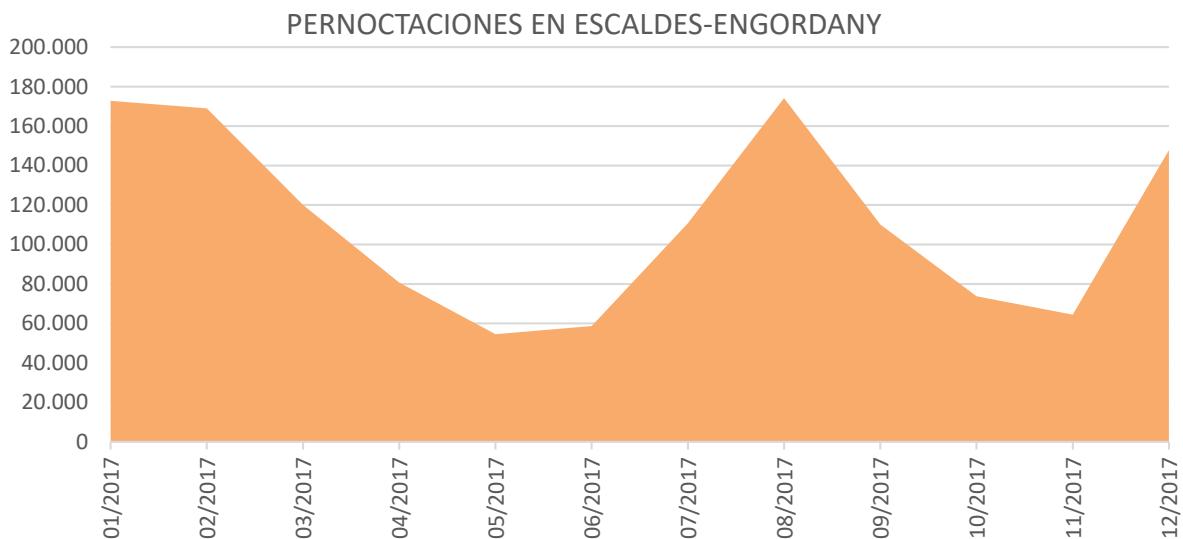


Figura 29. Pernoctaciones de visitantes en Escaldes-Engordany.
(Elaboración propia con datos de COAA & SaAS, 2012)

3.4.3. Emisiones

En concordancia con las tendencias globales, el sector de la edificación de Andorra posee una gran cantidad de emisiones indirectas, asociadas a la producción de calor y a la electricidad. En efecto, en el año 2011 el sector de la energía produjo el 96,4% de las emisiones, siendo el sector de la edificación responsable del 32,2% de las mismas. Este volumen de emisiones es constituido por 16,1% de usos comerciales e institucionales, 13,6% de uso residencial y 2,5% de la industria (Figura 30).



Figura 30. Distribución de emisiones generadas según origen.
(Elaboración propia con datos de COAA & SaAS, 2012)

Siendo el sector de la edificación responsable de un gran porcentaje de las emisiones totales producidas por el Principado, el mismo representa una oportunidad para la reducción del consumo energético y, por lo tanto, de las emisiones. Asimismo, este sector debe contemplar la incorporación de estrategias de mitigación que permitan adaptarse a los posibles efectos del cambio climático, especialmente a las variaciones de las temperaturas, la reducción de recursos hídricos y a los eventos climáticos extremos.

La creación de distintos escenarios (Govern d'Andorra, 2016), que incluyan el modelo utilizado hasta ahora (BAU) y otros con medidas existentes o adicionales, para estimar las emisiones asociadas con horizontes a 2050, podría contribuir a realizar los ajustes necesarios en materia edificatoria y energética para permitir ahorros significativos en emisiones. Para el año 2050, el escenario con las

medidas existentes no absorbidos incluye las emisiones de alrededor de 576,10 GgCO₂-eq (10.5% menor al BAU). En cuanto al escenario con medidas adicionales, dos sub-escenarios se presentan, basado en el supuesto de la capacidad del vehículo eléctrico para influir en la participación del petróleo vendido en el país:

- A. Reducción del 50% en el consumo previsto para todas las importaciones de combustible, para el que se consideran a 206,17 GgCO₂-eq para 2050 (-68% menor al BAU).
- B. Reducción del 50% en el consumo esperado en comparación con la proporción de estas importaciones relacionadas con el desplazamiento interno., para el que se estiman 386.52 GgCO₂-eq para 2050 (39,9% menor al BAU).

En el año 2012, con la presentación del Libro Blanco de la Energía (Govern d'Andorra, 2012), se establecieron como líneas prioritarias el fomento de las energías renovables y la reducción de las necesidades energéticas nacionales, teniendo como objetivos la reducción de las emisiones, el aumento de la producción nacional y la reducción de la dependencia energética. Estos objetivos se fundamentan en varias acciones que visualizan la posibilidad de un ahorro de 392 GWh de las necesidades energéticas de la edificación y el aumento de la producción nacional en 370 GWh.

Los cambios sustanciales en la normativa edificatoria impulsan la mejora de la eficiencia energética a través de modificaciones que permitan aumentar el aislamiento (Govern d'Andorra, 2015). En los edificios existentes, se permite incrementar la envolvente exterior, excepto los límites de edificación en planta baja con respecto a la vía pública, para mejoras en la eficiencia energética y de producción de energías renovables, y se permite superar la altura máxima.

Existen algunos lineamientos concretos en la Primer Comunicación Nacional (Govern d'Andorra, 2016) que orientan la adopción de medidas de reducción de emisiones en el sector de la edificación.

METODOLOGÍAS	HIPÓTESIS
i. Reducción de las necesidades energéticas del edificio, mediante la adopción de medidas constructivas de acuerdo con estrictos requisitos técnicos.	1.a. Ahorro potencial para todos los edificios combinados (392 GWh): eficiencia energética mejorada de las ventanas, aislamiento mejorado de las fachadas, aislamiento mejorado del techo, recuperación de energía en la ventilación, reemplazo de los sistemas tradicionales de producción centralizada de calor mediante tecnologías más eficientes (50% de calderas de condensación, 50% de bombas de calor).
	1.b. Número estimado de hogares: 40,000 (30,600 en equivalentes permanentes anuales).
ii. Promoción de acciones de rehabilitación con financiamiento y préstamos preferenciales garantizados por el Gobierno.	1.c. Ayuda directa para la rehabilitación con porcentajes que van del 10% al 30% de la cantidad de acciones protegidas (biomasa, energía solar térmica, energía geotérmica, energía aerotérmica, eficiencia energética, ahorro de energía).

Objetivos y progreso de la implementación				
Objetivos de la acción	Acciones		Resultados (Datos a diciembre de 2016)	Reducciones de emisiones
	Acciones tomadas	Acciones previstas		
i. Reducir las necesidades energéticas del edificio	i. Programa "Renova": asistencia financiera y préstamos preferenciales garantizados por el Gobierno (2011-2016)	i. Continuación del programa "Renova" para 2017.	<p><i>Subvenciones directas: € 2,774,092</i></p> <p><i>ii. Préstamos garantizados: € 8.600.393</i></p> <p><i>iii. Número de proyectos aceptados: 649</i></p>	i. No estimadas
	ii. Promoción de la etiqueta energética	ii. Popularice el uso de la etiqueta energética	iv. Cantidad de etiquetas energía registrada: 34 edificios	ii. No estimadas
	iii. Requisitos técnicos en edificios	iii. Promoción de requisitos técnicos y los beneficios de su uso en la rehabilitación	v. Publicación de las prescripciones técnicas en el Boletín Oficial del Principado de Andorra (BOPA Nº 57 de 06/10/2010)	iii. No estimadas

Tabla 4. Lineamientos y acciones emprendidas para la reducción de emisiones en la edificación (Govern d'Andorra, 2016).

4. Metodología

En los últimos años, se ha desarrollado una multitud de modelos de demanda de energía que varían considerablemente en cuanto a los requisitos de entrada de datos y niveles de desagregación, las suposiciones socio-técnicas sobre el funcionamiento del edificio y, por lo tanto, en el tipo de resultados y escenarios que pueden evaluar de manera confiable (Kavcic et al., 2010). El perfeccionamiento de estos modelos beneficiaría tanto a los desarrolladores de políticas como los arquitectos e ingenieros de la construcción debido a una mejor comprensión de la aplicación y resultados del modelo, percibiendo asimismo los condicionamientos energéticos necesarios al momento de construirlos. Los tomadores de decisiones en todas las escalas de la administración pública ganarían al establecer qué parámetros de construcción son clave para las estrategias de reducción de carbono para los edificios, respondiendo más adecuadamente a los desafíos políticos para la energía y el cambio climático.

En el presente trabajo se busca analizar el flujo de trabajo utilizado para generar arquetipos, posteriormente utilizables en la creación de modelos energéticos de edificios urbanos. Por este motivo, se posee la ambición de crear una metodología que pueda ser fácilmente replicable en otros núcleos urbanos, por lo que deberá privilegiarse la estandarización y generalización del tratamiento de los datos, evitando caer en el análisis caso a caso. Dado que la información disponible varía según las existencias de cada municipio, se pretenderá generar criterios generales de procesamiento de datos que permita elaborar una base unificada del stock de edificios. Se pondrá especial énfasis en identificar las barreras logísticas y técnicas que se presenten al momento de recopilar los datos, para reconocer obstáculos que deban resolverse a futuro, con el fin de facilitar el proceso de análisis y construcción de modelos.

Para caracterizar la totalidad del parque edificatorio se recurre a la utilización de “arquetipos” representativos que agrupen los edificios individuales en modelos que concentren las características más sobresalientes del conjunto. Esta simplificación es necesaria, ya que sería imposible un análisis de una escala considerable analizando cada edificio individualmente, pero presenta una inconveniente reducción de la diversidad original de los patrones propios de cada caso, lo que puede conducir a resultados que tergiversan las demandas de energía (Cerezo et al., 2015).

Para elaborar y verificar la metodología, se procederá a la recolección de los datos existentes relacionados a los edificios y los patrones de consumo del caso de estudio, para la definición de arquetipos. La vocación del trabajo es, no sólo la caracterización del parque edificatorio de Escaldes-Engordany, sino también la reflexión sobre las metodologías existentes en este ámbito y la proposición de nuevas estrategias para arribar a los resultados, poniendo especial énfasis en la fidelidad del modelo a la situación real. En vistas de construir el método, se partirá de los procedimientos existentes, analizados críticamente, de los resultados a los que han arribado y su correspondencia con los patrones de consumo reales.

4.1. Antecedentes metodológicos

En el campo de los modelos de energía de edificios urbanos, se han realizado distintos esfuerzos por trazar una metodología que responda apropiadamente a la realidad urbana de cada ciudad. Dentro de los métodos más difundidos orientados en esta dirección, existen varios de carácter determinista, que utilizan datos provenientes de bibliografía existente y datos generales, aplicando el juicio de experto para construir arquetipos. Ejemplos de la aplicación de esta metodología son la utilizada por la UE para el proyecto TABULA y algunas experiencias similares en Andorra, como el modelo anteriormente citado construido por COAA, SAAS y FEDA para Andorra (COAA, 2012).

Dentro del Proyecto *Intelligent Energy Europe* (IEE) se desarrolló el Proyecto TABULA (*Typology Approach for Building Stock Energy Assessment*), donde se propuso a cada país trabajar con un enfoque sistemático acordado para clasificar las existencias de edificios de acuerdo con sus propiedades relacionadas con la energía. Cada tipología nacional consiste en un esquema de clasificación que agrupa los edificios por su tamaño, edad y otros parámetros, y un conjunto de edificios ejemplares que representan a los tipos de edificios. Se pretendía poseer una base de datos que podía ser fácilmente comparable entre países, proyectar el consumo real nacional de edificios y el potencial de ahorro en energía. Posteriormente, los resultados generados por TABULA fueron tomados por el Proyecto EPISCOPE (*Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks*) con el objetivo de hacer más transparente y efectivos los procesos de renovación energética de la vivienda en Europa.

Dado que el Principado de Andorra no formó parte del proyecto por tratarse de un emprendimiento de la UE, se analizarán los resultados obtenidos por las naciones vecinas de España y Francia.

En el informe final de España presentado por el Instituto Valenciano de la Edificación (Valencian Institute of Building, 2011) se detalla el proceso seguido y la descriptiva de las 9 tipologías resultantes (Tabla 5). España posee diferentes regiones climáticas, condicionadas por las particularidades meteorológicas y topográficas, con climas mediterráneos en sur y este de la península, continental en el centro, clima oceánico al norte, clima de montaña en los altos picos de cada región y en Pirineos, y subtropical en Canarias. Se establece en el citado documento que las peculiaridades geográficas y climáticas tienen un mayor impacto en edificaciones rurales, ya que en las ciudades se observan mayores similitudes en toda la extensión del país.

La metodología analiza los usos particulares de las edificaciones y su antigüedad, sus sistemas de climatización interior, la energía primaria y final utilizada, las condiciones normativas subyacentes, etc. La definición de las tipologías responde a tres tipos de agrupación de viviendas (grandes complejos multifamiliares, pequeños edificios multifamiliares, casas con terraza), y a tres períodos de construcción (antes de 1960, de 1960 a 1979, después de 1980). Este último criterio de año de construcción responde a la creencia de que la construcción de cada edificio se encuentre regulada por el código técnico de la edificación presente en cada período, lo que impactaría en su técnica constructiva y, por lo tanto, en su consumo de energía.

	Big multifamily house	Small multifamily house (4storeys)	terrace house
- 1960	A tall, modern residential building with multiple balconies and a light-colored facade.	A row of multi-story apartment buildings with yellow and white facades, parked cars in front.	A row of two-story terraced houses with white facades and small yards.
1960 - 1979	A tall residential building with a light-colored facade and many windows.	A modern residential building with a yellow facade and large windows.	A row of two-story terraced houses with white facades and small yards.
1979 -	A modern residential building with a light-colored facade and many windows.	A modern residential building with a reddish-brown brick facade and large windows.	A modern terraced house with a reddish-brown brick facade and large windows.

*Tabla 5. Tipologías de edificios definidos para el Proyecto TABULA por España.
(Valencian Institute of Building, 2011)*

El documento francés para el Proyecto TABULA fue elaborado por Pouget Consultants (Rochard, Shanthirablan, & Brejon, 2015) y determina la existencia de 40 tipologías en el territorio nacional (Tabla 6). La primera clasificación que se realiza sobre el stock edilicio está relacionada con los censos anuales de población y vivienda, con el año construcción y los cambios de rendimiento térmico por la variación de regulaciones térmicas, se establecen entonces 10 períodos claramente delimitados (antes de 1915, período 1915-1948, período 1949-1967, período 1968-1974, período 1975-1981, período 1982-1989, período 1990-1999, período 2000-2005, período 2006-2012, después de 2012). Por otro lado, se analizan 4 tipos de vivienda según la forma de agrupación de las mismas (vivienda individual aislada, vivienda individual entre medianeras, pequeño alojamiento colectivo, gran alojamiento colectivo).

Classe bâtiment		Maison Individuelle détachée SFH	Maison Individuelle mitoyenne TH	Petit logement collectif (<10 log.) MFH	Grand logement collectif (≥ 10 log) AB
Période constructive					
1	Avant 1915				
2	1915 - 1948				
3	1949 - 1967				
4	1968 - 1974				
5	1975 - 1981				
6	1982 - 1989				
7	1990 - 1999				
8	2000 - 2005				
9	2006 - 2012				
10	après 2012				

Tabla 6. Tipologías de edificios definidos para el Proyecto TABULA por Francia.
(Rochard et al., 2015)

Existe una experiencia de aplicar la metodología de TABULA a partir de los datos disponibles en Escaldes-Engordany (Borges Martins, 2016). Se definen igualmente períodos de tiempo correspondientes a las normativas existentes (antes de 1955, período 1955-1980, período 1981-1995, después de 1995), usos residenciales (unifamiliar, plurifamiliar) y forma (aislado, entre medianeras). El resultado son 16 tipologías constructivas en que el 50% de los casos corresponden a sólo 4 de ellas (Tabla 7).

	Unifamiliar		Plurifamiliar	
	UA	UM	PA	PM
Ant. 1955	17	47	14	101
1956-1980	47	20	33	136
1980-1995	46	37	8	13
Post 1995	133	30	96	41

Tabla 7. Tipologías de edificios definidos para parque edificatorio residencial de Escaldes-Engordany.
(Borges Martins, 2016)

Como se anticipaba anteriormente, estas metodologías tienen un carácter determinista, es decir, que elaboran sus teorías a partir de la existencia de una causa-efecto en los hechos. Aplicado este concepto a la temática edificatoria demostraría que cada edificación se comportará de determinada forma según sus condicionantes originales de usos y normativas técnicas del período de construcción. Dentro de las debilidades del método, se observa una simplificación de las condiciones de forma, diseño y situación de los edificios, considerándose poco apropiada para la predicción de consumos energéticos.

Estas metodologías se constituyen como antecedentes a la metodología en el presente trabajo, ya que el fin es mejorar la precisión de los modelos que se construyen a través de las mismas. Por otro lado, existen otras corrientes que encuentran su origen en la evaluación de eficiencia energética de edificios unitarios, cuyos criterios son generalizados para responder a modelos de escala urbana. Experiencias de este tipo han sido llevadas a cabo por el Massachusetts Institute of Technology (MIT), entre otros, bajo el nombre de *Urban Building Energy Model* (Reinhart & Cerezo Davila, 2016) en donde se concentran bases de datos para definir a través de una metodología bottom-up qué comportamientos edificatorios resultan afines para agruparlos en arquetipos. Su forma de trabajo combina todo a través de un modelo probabilístico basado en la caracterización de parámetros inciertos relacionados con la ocupación del edificio utilizando datos de energía medidos. Las distribuciones de frecuencia para el número de ocupantes, la potencia de iluminación y los puntos de ajuste de refrigeración se generan a través de la simulación paramétrica de una muestra urbana (Cerezo et al., 2015).

El presente trabajo utiliza conceptos provenientes de la metodología UBEM, con el fin de caracterizar los edificios de la mejor manera posible para poder obtener arquetipos bien caracterizados que respondan de la manera más realista posible a las variaciones en el consumo al aplicar medidas de eficiencia en los mismos.

4.2. Marco metodológico

En términos generales, existen dos clases fundamentales de métodos de modelado utilizados para predecir y analizar diversos aspectos del rendimiento general del uso de energía del edificio y las emisiones de CO₂ asociadas: los enfoques top-down y bottom-up (Kavgic et al., 2010). La Energy

Information Administration (EIA) ha sintetizado esquemáticamente la metodología general detrás de ambos modelos, cuyas principales características aparecen en la Figura 31.

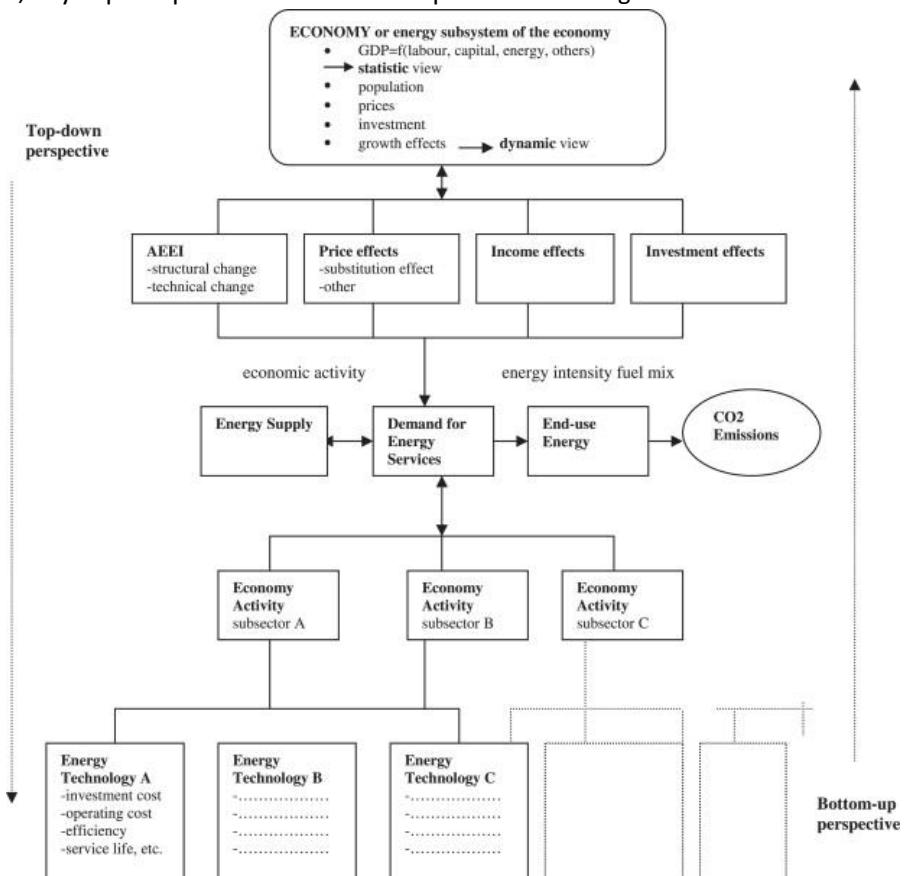


Figura 31. Enfoques top-down y bottom-up.
(International Energy Agency, 1998)

La metodología descendente o **top-down** trabaja a un nivel agregado, vinculando las tendencias a variables generales, como las macroeconómicas, poblacionales o climáticas. Dichos modelos tienden a ser utilizados para investigar las relaciones existentes entre el comportamiento de indicadores generales y predecir comportamientos futuros asociados. La debilidad de este tipo de modelos radica en que carecen de detalles al poseer un enfoque generalizado, focalizado especialmente en identificar tendencias e interacciones en líneas históricas, en vez de los factores particulares que influencian el comportamiento de cada caso. Asimismo, dado que las predicciones de estos modelos se basan en series históricas, poseen una mayor inercia a comportamientos pasados y no registran adecuadamente situaciones atípicas o cambios de tendencia (Kavcic et al., 2010).

A diferencia del caso anterior, la metodología **bottom-up** es construida a partir de bases de datos que recogen comportamientos de casos particulares, es decir, una jerarquía de componentes desagregados. Estas individualidades son analizadas y agrupadas posteriormente según las similitudes existentes con otros casos. De esta forma, se obtiene una visión de conjunto entendiendo el comportamiento individual, y es posible analizar los cambios de tendencia a través de la agregación de cambios unitarios. Usualmente estos modelos son considerados como una forma de identificar relaciones de costo-beneficio de una determinada opción o proyecto, teniendo una visión completa de sus alcances. Una de las principales complicaciones al momento de utilizar esta metodología es la dependencia que posee la misma de la disponibilidad de datos empíricos desagregados, ya que debe contarse con una gran base de datos para dar precisión a la descripción de cada componente. Asimismo, su posterior agregación para entender las tendencias resultantes depende en gran medida

de la aproximación estadística que se realice de los datos, debiendo recurrirse a técnicas de calibración y validación para no perder la fidelidad de los datos (Kavgić et al., 2010).

Sin embargo, también es cierto que algunos de los modelos más sofisticados pueden combinar componentes en los que se ha utilizado cada uno de estos enfoques. La aplicación de esta metodología de modelización para la predicción de consumos energéticos y la evaluación de posibles ahorros no es nueva, ya que existen diversas experiencias de aproximación que difieren ligeramente en la forma de cálculo y la escala de análisis.

Los UBEM se construyen a partir del método bottom-up a través de la construcción de un modelo que estime la demanda total a través del cálculo de uso final energético unitario. Dicha construcción se realiza a través de un inventario edificatorio, representando edificios individuales como modelos térmicos dinámicos, basados en las mismas ecuaciones y principios de transferencia de calor que rigen los modelos de energía de edificios individuales, conocidos como Building Energy Model (BEM). Esta metodología de cálculo de comportamiento térmico se encuentra ampliamente aceptada en análisis de eficiencia edificatoria y se encuentra presente en numerosas reglamentaciones afines como pueden ser códigos de edificación o sistemas de certificación energética.

La diferencia principal entre ambas metodologías radica en un factor de escala: mientras los BEM se concentran en la precisión del comportamiento energético individual, los UBEM aspiran a visiones del conjunto sin perder la particularización, a partir del análisis de bases de datos existentes en las administraciones locales y los proveedores de servicios. Para poder generar y simular el comportamiento de miles de edificios en un mismo momento, se eliminan las particularidades características de un análisis BEM, ya que sería terriblemente ineficiente realizar un modelo urbano a través de la sumatoria de modelos BEM por el esfuerzo y tiempo que ello conllevaría. Como alternativa al análisis individual, UBEM trabaja con la sistematización de flujos de información de la construcción individual, caracterizando cada caso a través de parámetros generales y agrupándolos posteriormente en tipologías, o arquetipos, que representen los rasgos comunes de cada grupo.

Este estudio se complementa con el método top-down, a través de la descripción de correlatos entre el consumo nacional de energía y factores socio-económicos y socio-técnicos, a través de una perspectiva histórica. De esta forma se agregan al modelo datos que no se encuentran registrados de manera desagregada o que obedecen a lógicas más generales, como pueden ser tendencias poblacionales, penetración de tecnologías o variables climáticas. Por ejemplo, la simulación del comportamiento térmico se utilizan datos meteorológicos únicos de la ciudad, como un año meteorológico típico (TMY). Los archivos TMY contienen variables ambientales medidas por hora para un sitio determinado, como la radiación solar, la temperatura del bulbo seco, la humedad relativa o la velocidad y dirección del viento.

4.3. Metodología aplicada al caso de estudio

4.3.1. Fuentes de datos

Para la construcción del modelo, generalmente se requiere combinar datos de múltiples fuentes en un solo modelo de datos. En el presente caso, se han consultado distintas fuentes correspondientes tanto a datos oficiales de la administración pública, como a datos de empresas privadas y publicaciones existentes del caso de estudio. Las fuentes principales fueron:

- Comú de Escaldes-Engordany, a través de un parcelario elaborado por un sistema de información geográfico (GIS), donde figuran las dimensiones y posición en el terreno de edificios georreferenciadas, y su correspondiente planilla de datos, que aportan datos

significativos como el código de identificación del edificio, su descripción, dirección postal, usos existentes, año de construcción, cantidad de plantas y de unidades por piso.

- Trabajos académicos y profesionales, realizados sobre la zona de estudio. Con ellos se consiguió aumentar el volumen de datos disponibles, por ejemplo, los correspondientes a año de construcción o tipología constructiva.
- FEDA, datos de facturación de consumo de clientes individuales o agregados correspondientes al período 2014-1017.

Por otro lado, se trabajó con datos generales provenientes de diversas fuentes pero que, a diferencia de los anteriores, no se encontraban desagregados. Se incorporaron datos generales obtenidos de:

- Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra (COAA), para determinar las especificaciones de sistemas constructivos existentes en los edificios del territorio de Andorra.
- Departamento de Estadística de Andorra, a través de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF): tendencias poblacionales, afluencia turística, acceso a servicios y tecnologías, etc.
- Infraestructura de Dades Espacials (IDE) del área de cartografía del Gobierno de Andorra, para agregar variables de entorno a la representación geográfica, tales como la topografía del terreno, la existencia de redes de transporte o cobertura del terreno.
- Servei de Meteorología del Gobierno de Andorra, para determinar los vectores de variación climática del período de análisis.

4.3.2. Pretratamiento

El pretratamiento incluye la recopilación de los datos existentes en una única base de datos, en la cual cada edificio corresponda a una única línea de datos con todas las características disponibles del mismo. Dado que los datos provienen de distintas fuentes de información, con distintas nomenclaturas para cada unidad catastral, el trabajo más complejo es la unificación de criterios de unidad edilicia y correspondencia de las distintas bases de datos. Se describirá de una manera detallada el trabajo realizado con cada una de las fuentes y las dificultades encontradas en cada etapa del proceso.

Se inició con un análisis espacial de la parroquia, realizado a partir del *shapefile* facilitado por el **Comú de Escaldes-Engordany**. Se obtuvieron los datos de *superficie* y *perímetro* a partir de los datos autogenerados de los polígonos. También se observaron las variables de *agrupación* de los edificios, determinando si se encuentran agrupados compartiendo medianeras o si se encontraban exentos, aislados de otros edificios. Asimismo, se apostó por graduar este contacto con edificios vecinos determinando en cuantas caras se compartía medianera, logrando un valor estimativo de *adosamiento*. Cabe destacar que las observaciones extraídas del análisis del modelo geográfico han debido ser realizadas caso a caso, incumpliendo una de las premisas fundamentales del flujo de trabajo.

Por consiguiente, se realizó el procesamiento de la **planilla de datos adjunta**. La depuración de la misma resultó muy difícil por la falta de claridad del criterio con que fue generada. En la misma, cada parcela posee múltiples líneas, algunas veces en correspondencia a los distintos usos existentes, otras a subdivisión de las viviendas que componen el conjunto y en casos a la tipología del espacio. Asimismo, se observa la presencia de datos incorrectos y faltantes en lo que respecta a la fecha de construcción, de modificación, las superficies interiores o la cantidad de locales que conforman el edificio. A pesar de estas problemáticas, se consiguió extraer datos muy valiosos de la misma como son los *usos del edificio*, la *dirección* y *caracterización* del edificio, el *año de construcción* (de manera parcial), el *número de plantas* bajo y sobre rasante, y la *cantidad de viviendas* en las residencias

plurifamiliares. A partir de los datos de superficie y de cantidad de plantas, se calculó la superficie total del edificio multiplicando ambos datos, teniendo presente que esta operación podía producir numerosos sobredimensionamientos por variación de la planta, espacios semicubiertos o abiertos. De la misma forma, se estimaron las superficies destinada a cada uso particular dentro de los edificios mixtos, restando los usos minoritarios a la superficie total. Este proceso podría mejorarse contando con datos fehacientes sobre las superficies interiores de cada edificio y de su correspondencia con cada uno de los usos presentes.

A partir de **trabajos académicos existentes** sobre la zona de estudio (Borges Martins, 2016), se lograron completar datos como el año de construcción de algunas edificaciones, cuya información no figuraba en las planillas del Comú. Dado la diferencia en las nomenclaturas del trabajo en cuestión y las designaciones parcelarias, este trabajo debió ser realizado caso a caso. La unificación del criterio de designación de edificios, parcelas o viviendas podría facilitar el proceso, evitando la pérdida de tiempo realizar este tipo de correspondencias.

Por último, se trabajó con datos de consumo reales facilitados por la **compañía eléctrica** (FEDA), en los que se detallaba la cantidad de MWh facturados mensualmente a cada cliente en los períodos comprendidos entre enero de 2014 y diciembre de 2017. Se considera muy valiosa esta información dado que aporta mucha información sobre la variación de consumo anual y el nivel de consumo de cada cliente. Se considera que al cruzar esta información con las características particulares de cada edificio se podría entrever patrones de comportamiento, a pesar de que no sea de una manera desagregada en cuanto a consumo horario o porcentaje de consumo correspondiente a cada actividad particular. Al igual que en el caso anterior, se presentaron grandes conflictos al momento de incorporar estos datos a los existentes, ya que las nomenclaturas utilizadas por la compañía eléctrica no poseen ninguna referencia que pueda asociarlas con las correspondientes al parcelario del ayuntamiento. Esto provocó una enorme inversión de tiempo en descubrir qué medidor correspondía a cada edificio, utilizando las coordenadas de los mismos y estudiando caso a caso a qué parcela correspondía en el shapefile facilitado por el gobierno local. El resultado es bastante preciso en las áreas que comprenden la ciudad compacta, pero pierde precisión en las viviendas que se encuentran disgregadas por el territorio, resultando en una gran cantidad de datos sin correspondencia, un 28,89% del total de casos. Por otro lado, se observó la presencia de algunos datos negativos en la planilla, correspondiente a compensaciones por error de lectura de los medidores según aclaraciones de la propia compañía, que alteraban la lectura de la variación mensual. Se decidió dejar de lado los mismos al analizar los valores mensuales, considerándolos como 0, y recurrir a subtotales anuales que compensaran la presencia de estos datos para el análisis general de consumo.

Se cree necesario hacer una aclaración acerca de la obtención de los datos. A pesar de que la vocación de este procedimiento es trabajar con datos públicos, tanto los datos del Comú de Escaldes-Engordany como los datos de la compañía eléctrica no son datos de libre acceso, por lo que debió recurrirse a convenios de colaboración para obtenerlos. Esto limita la disponibilidad de los mismos para trabajos académicos o profesionales, haciendo necesaria la aprobación de la entidad correspondiente para poder utilizarlos, situación que contradice los principios de la open data (datos abiertos).

Se recurrió también a fuentes de datos generales, es decir, no desagregados. La utilización de las mismas responde a la necesidad de comprender de una mejor manera la dinámica del núcleo urbano, por no contarse con datos más precisos sobre el comportamiento individual de sus partes.

Se recurrió a la utilización de un informe del **COAA** para determinar la tipología y composición material de los edificios pertenecientes a la parroquia. En el mismo, se establecen cuatro tipologías

tentativas junto con sus técnicas y detalles constructivos, que establecen los coeficientes de transmitancia de cada una de las partes componentes del edificio. Esta publicación posee un carácter determinista, ya que asocia la técnica constructiva al momento histórico técnico y legal en que fueron construidos. Esta información debe considerarse como orientativa, dado que no existe documentación individual que contradiga ni que reafirme lo presente en dicho informe. Con el fin de obtener tipologías más precisas sobre las edificaciones, en vistas de crear medidas acordes, se recomienda la consideración a futuro de recolectar datos materiales de las edificaciones, datos que probablemente sean requeridos actualmente al momento de otorgar un permiso de construcción.

Los datos ofrecidos por el **Departamento de Estadística de Andorra** poseen distintos niveles de precisión, siendo presentados en algunos casos a escala nacional y otras a escala parroquial. La escala nacional es utilizada frecuentemente para mostrar tendencias nacionales, tal como el uso de la energía o la importación de hidrocarburos, se presupone que estos datos no se encuentran disgregados en ninguna fuente de información. Por otro lado, los datos de la EPF y de la afluencia turística se encuentran separados por parroquia, lo que permite ver las diferencias existentes en el territorio del principado y central la atención en el caso de estudio, más particularmente. Los datos ofrecidos cubren un amplio abanico de temas, desde datos poblacionales, composición de los hogares, acceso a servicios y tecnologías, combustible utilizado para climatización, etc. La única dificultad detectada es la falta de actualización de algunos de los datos, lo que resulta en la utilización de información correspondiente a 6 años atrás, sin tener conocimiento de cómo pudieron variar las cosas desde entonces.

La **Infraestructura de Datos Espaciales** ofrece numerosos recursos descargables que corresponden a la totalidad del territorio del Principado. De esta forma, el acceso a mapas topográficos, climáticos, de hábitats, de infraestructuras de transporte o de territorio edificado resulta muy sencillo y fácil de incorporar al presente análisis.

Por último, el **servicio de meteorología** ofrece la posibilidad de obtener datos climáticos de las distintas estaciones presentes en el territorio, con una precisión hasta horaria. De esta forma, se pueden calcular las necesidades de climatización en cualquier momento del año, partiendo de la temperatura externa registrada en cada período de tiempo.

Luego de analizar y estandarizar las distintas fuentes, se determinó la existencia de 1.281 edificios dentro de los límites de la parroquia de Escaldes-Engordany, para los cuales se establecieron las variables características que figuran en la Tabla 8. En la misma se detalla el nombre de la variable, la fuente de datos de la que proviene, el año de actualización de la base de datos, el tipo de variable y una breve descripción con su rango o niveles, faltantes y aclaraciones de procedimiento.

NOMBRE DE LA VARIABLE	FUENTE DE DATOS	AÑO DE ACTUALIZACIÓN	TIPO DE VARIABLE	DESCRIPCIÓN
ID	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Identificadora	Código de identificación catastral. 1.281 edificios Faltantes: 0 (0,00%)
REF	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Identificadora	Referencia respecto al uso o la ocupación, con que usualmente es reconocido. Faltantes: 13 (1,01%)
DIREC	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Identificadora	Calle y número con que es reconocido el edificio. Faltantes: 88 (6,87%)
USO_UC	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cualitativa	Uso correspondiente a la unidad catastral del edificio. Faltantes: 0 (0,00%) Niveles: agrícola ganadero, alojamiento, aparcamiento, comercial, equipamiento, industrial, mixto, otros, residencial.

				<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se creó el uso “Mixto” para designar cualquier edificio que posea más de un uso, sin importar cuál sea la combinación de ellos. ▪ Se agruparon “Oficinas” y “Comercial” dentro de “Comercial”. ▪ Se agruparon “Equipamientos” con “Servicios” dentro de “Equipamientos”. ▪ Se agruparon los usos de “Almacenamiento”, “Refugio de montaña” y “Ruinas” dentro de la categoría “Otros”.
USO_PPAL	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cualitativa	<p>Uso mayoritario de la unidad catastral.</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p>Niveles: agrícola, almacenamiento, alojamiento, aparcamiento, comercial, cultural, deportivo, educativo, gubernamental, industrial, plurifamiliar, refugio de montaña, religioso, ruinas, sanitario, servicios, social, unifamiliar.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ El uso “Residencial” se encuentran separados en “Unifamiliar” y “Plurifamiliar”. ▪ Existe un detalle de los destinos de los USOS_UC “Equipamientos” en la columna de uso primario, con las siguientes categorías: cultural, deportivo, educativo, gubernamental, religioso, sanitario, servicios y social.
USO_SEC	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cualitativa	<p>Uso minoritario de la unidad catastral.</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p>Niveles: aparcamiento, comercial, no tiene.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sólo se considera aparcamiento como uso secundario en viviendas plurifamiliares que les destinan grandes áreas a este uso, en unifamiliar o plurifamiliar de pequeña escala se considera dentro de vivienda por ser rubro afín.
ANO	Comú d'Escaldes-Engordany TFM Patricia Borges (Borges Martins, 2016)	2017 2016	Cuantitativa	<p>Año en que fue construida la edificación.</p> <p>Faltantes: 362 (28,26%)</p> <p>Rango: 1948 – 2017</p> <p>Unidad: años</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, facilitada por el Comú de Escaldes-Engordany, y completados por datos relevados en estudios anteriores. ▪ Los valores faltantes han sido llenados utilizando el criterio de edad de las edificaciones que comparten la parcela o aledañas.
PLANTA	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Cantidad de niveles que posee el edificio.</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p>Rango: 1 – 21</p> <p>Unidad: niveles</p>
S_RAS	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Cantidad de niveles que posee el edificio sobre el nivel del terreno natural.</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p>Rango: 0 – 17</p> <p>Unidad: niveles</p>
B_RAS	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Cantidad de niveles que posee el edificio bajo el nivel del terreno natural.</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p>Rango: 0 – 9</p> <p>Unidad: niveles</p>
SUP_TERR	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Ocupación del edificio sobre la superficie del terreno en metros cuadrados (m²).</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p>Rango: 1,83 – 5.089,83</p> <p>Unidad: m²</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos obtenidos a través del shapefile, facilitado por el Comú de Escaldes-Engordany.
PERIM	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	Metros lineales (m) resultantes del contorno de la superficie del edificio en planta.

				<p>Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 5,42 – 484,53 <u>Unidad:</u> m ▪ Datos obtenidos a través del shapefile, facilitado por el Comú de Escaldes-Engordany.</p>
AGRУ	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cualitativa	<p>Existencia de asociación entre edificios compartiendo medianera o edificios aislados. Faltantes: 0 (0,00%) <u>Niveles:</u> medianera, aislado. ▪ Datos obtenidos a través del shapefile, facilitado por el Comú de Escaldes-Engordany.</p>
CANT_M	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Cantidad de lados compartidos con otras edificaciones. Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 0 – 4 ▪ Datos obtenidos a través del shapefile, facilitado por el Comú de Escaldes-Engordany.</p>
SUP_RES	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada al uso residencial en el edificio en metros cuadrados (m²). Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 0 – 18.829,49 <u>Unidad:</u> m² ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.</p>
CANT_VIV	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Cantidad de viviendas existentes dentro de la unidad catastral. Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 0 – 80 <u>Unidad:</u> viviendas</p>
SUP_VIV	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie media ocupada por cada vivienda en metros cuadrados (m²). Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 0 – 1714,66 <u>Unidad:</u> m² ▪ Datos obtenidos de la división de la superficie residencial por la cantidad de viviendas de la unidad catastral, los espacios comunes no se encuentran discriminados sino computados como parte de las viviendas por falta de datos específicos.</p>
SUP_ALOJ	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada al uso de alojamiento en el edificio en metros cuadrados (m²). Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 0 – 34.310,86 <u>Unidad:</u> m² ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.</p>
SUP_AGR	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada al uso agrario en el edificio en metros cuadrados (m²). Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 0 – 1.091,49 <u>Unidad:</u> m² ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.</p>
SUP_COM	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada al uso comercial en el edificio en metros cuadrados (m²). Faltantes: 0 (0,00%) <u>Rango:</u> 0 – 34.991,85 <u>Unidad:</u> m² ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.</p>

SUP_IND	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada al uso industrial en el edificio en metros cuadrados (m²).</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Rango:</u> 0 – 4.591,73</p> <p><u>Unidad:</u> m²</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.
SUP_PARK	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada al uso de aparcamiento en el edificio en metros cuadrados (m²).</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Rango:</u> 0 – 21.246,94</p> <p><u>Unidad:</u> m²</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.
SUP_EQUI	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada al uso de equipamiento en el edificio en metros cuadrados (m²).</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Rango:</u> 0 – 106.886,39</p> <p><u>Unidad:</u> m²</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.
SUP_OTR	Comú d'Escaldes-Engordany	2017	Cuantitativa	<p>Superficie destinada a otros usos en el edificio en metros cuadrados (m²).</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Rango:</u> 0 – 4.591,73</p> <p><u>Unidad:</u> m²</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos obtenidos de la planilla de datos de edificaciones, restando el resto de usos a la superficie total.
TIPO_CONS	COAA (COAA, 2012)	2012	Cualitativa	<p>Indica los sistemas constructivos, los materiales utilizados, sus espesores y conductividad térmica.</p> <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Niveles:</u> Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Tipo 4.</p>
U_PT	COAA (COAA, 2012) Arquitectura y energía natural (Serra & Coch, 2001)	2012	Cuantitativa	<p>Conductividad térmica de paredes, correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman el muro.</p> <p>Fórmula:</p> $U_{pt} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Rango:</u> 0,42 – 2,97.</p> <p><u>Unidad:</u> W/(m²·K)</p>
U_AS	COAA (COAA, 2012) Arquitectura y energía natural (Serra & Coch, 2001)	2012	Cuantitativa	<p>Conductividad térmica de piso, correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman la envolvente en contacto con el suelo natural.</p> <p>Fórmula:</p> $U_{as} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Rango:</u></p> <p><u>Unidad:</u> W/(m²·K)</p>
U_TE	COAA (COAA, 2012) Arquitectura y energía natural (Serra & Coch, 2001)	2012	Cuantitativa	<p>Conductividad térmica de techos, correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman la cubierta.</p> <p>Fórmula:</p> $U_{te} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ <p>Faltantes: 0 (0,00%)</p> <p><u>Rango:</u> 0,41 – 2,49.</p> <p><u>Unidad:</u> W/(m²·K)</p>

U_PR	COAA (COAA, 2012) Arquitectura y energía natural (Serra & Coch, 2001)	2012	Cuantitativa	Conductividad térmica de techos, correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman la cubierta. Fórmula: $U_{pr} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ <u>Faltantes: 0 (0,00%)</u> <u>Rango: 2,20 – 5,70.</u> <u>Unidad: W/(m}^2\cdot\text{K})</u>
X2014_01	FEDA	2018	Cuantitativa	Facturación de energía eléctrica correspondiente al mes de enero de 2014. <u>Faltantes: 369 (28,89%)</u> <u>Rango: 0 – 783.550.</u> <u>Unidad: kWh</u>
X2014_02	FEDA	2018	Cuantitativa	Facturación de energía eléctrica correspondiente al mes de febrero de 2014. <u>Faltantes: 369 (28,89%)</u> <u>Rango: 0 – 691.346.</u> <u>Unidad: kWh</u>
X201X_XX	FEDA	2018	Cuantitativa	Facturación de energía eléctrica correspondiente al período comprendido entre enero de 2014 y diciembre de 2017. <u>Faltantes: 369 (28,89%)</u> <u>Rango: 0 – 1.297.596.</u> <u>Unidad: kWh</u>

*Tabla 8. Resumen de variables resultantes del pretratamiento.
(Elaboración propia) Para detalle de las fórmulas ver ANEXO I.*

4.3.3. Tratamiento

A partir de la base de datos generada, es posible caracterizar de una manera más completa los edificios estudiados. Se propone en el apartado de tratamiento la ampliación de la base de datos para que incorpore las variables deducibles a través de la información existente.

Recordando que el objetivo principal del proceso es definir tipologías edificatorias en el área de estudio incorporando la descripción de toda condición que intervenga en el consumo energético de cada edificio, se proponen nuevos indicadores para poder mejorar la precisión en dicha tarea. Se utilizarán las dos estrategias detalladas en el apartado de marco metodológico: aplicando métodos ascendentes para los datos que se encuentren desagregados, y descendentes para los datos generales que puedan explicar los comportamientos individuales.

4.3.3.1. Metodología bottom-up

Se calcularán, en un primer momento, variables de forma de los edificios, utilizando relaciones de dimensiones que definen la compacidad, esbeltez, asentamiento y adosamiento de los edificios (Serra & Coch, 2001), para determinar de qué manera estos valores pueden estar relacionados con el consumo.

Por consiguiente, se recurrirá a la base teórica y numérica de los estudios de Building Energy Model, ya que gran parte del consumo energético es el resultado de los recursos necesarios para mantener el confort térmico constante en el interior del edificio ante los cambios de temperatura exterior. Esta metodología es aplicable en los casos que posean usos “habitables” es decir, en los que exista una presencia humana por largos períodos de tiempo que justifique la regulación de la temperatura exterior, dejando de lado otros usos como el agrario, el almacenaje, los aparcamientos, los espacios técnicos de las infraestructuras de servicios y los edificios considerados en ruinas.

El resultado del proceso descripto se encuentra detallado en la Tabla 9.

NOMBRE DE LA VARIABLE	VARIABLES UTILIZADAS	TIPO DE VARIABLE	DESCRIPCIÓN
SUP_G	SUP_TERR PERIM PLANTA	Cuantitativa	<p>Superficie global de la envolvente del edificio.</p> <p>Fórmula:</p> $S_G = (2 S_0) + (p_G h)$ <p>Rango: 19,9 - 39064,0</p> <p>Unidad: m²</p>
COMP	SUP_TERR PLANTA SUP_G	Cuantitativa (Adimensional)	<p>El concepto de “compacidad” establece la relación existente entre la superficie de envolvente del edificio y su volumen.</p> <p>Fórmula:</p> $c = \frac{S_{eq}}{S_G} = 4,836 \frac{V_T^{2/3}}{S_G}$ <p>Rango: 0,36 – 0,82</p>
ESB	SUP_TERR PLANTA	Cuantitativa (Adimensional)	<p>El concepto de “esbeltez” se refiere a las proporciones generales del edificio desde el sentido vertical, relacionando la altura del edificio (h) con el radio de un círculo de igual superficie que la media de la planta (d).</p> <p>Fórmula:</p> $e = \frac{h}{d} = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{S_0}{\pi} + h^2\right)}}$ <p>Rango: 0,16 – 1,00</p>
ASEN	SUP_TERR B_RAS SUP_G	Cuantitativa (Adimensional)	<p>El concepto “asentamiento” indica el grado de contacto de la envolvente del edificio con el terreno.</p> <p>Fórmula:</p> $as = \frac{S_{as}}{S_G} = \frac{S_{as}}{S_{as} + S_{ad} + S_{pt}}$ <p>Rango: 0,02 – 0,78</p>
ADOS	PERIM CANT_M SUP_G	Cuantitativa (Adimensional)	<p>El concepto “adosamiento” indica el grado de contacto de las superficies de la envolvente con edificios vecinos.</p> <p>Fórmula:</p> $ad = \frac{S_{ad}}{S_G} = \frac{S_{ad}}{S_{as} + S_{ad} + S_{pt}}$ <p>Rango: 0,00 – 0,62</p>
PERF	SUP_G TFD Nuria Garrido (Garrido Soriano, 2010)	Cuantitativa (Adimensional)	<p>El concepto de perforación es un concepto que establece a grandes rasgos la permeabilidad del paso de aire por la envolvente, relativas a la superficie de la perforación, dimensiones y posición relativa de las aberturas.</p> <p>Fórmula:</p> $pr = \frac{S_{pr}}{S_G}$ <p>Rango: 0,02 – 0,11</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para establecer los valores, se recurrirán a los datos existentes en estudios previos en el que se analizan las características principales de las tipologías, las perforaciones entre ellas. Se tomarán como referencias las descripciones para establecer correspondencias entre las tipologías presentes en Catalunya y en Andorra.
HAB	USO_UC USO_PPAL USO_SEC	Cualitativa	<p>Distingue los usos habitables de los no habitables, es decir, que reúne las condiciones de confort necesarias para ser habitado por personas.</p> <p>Niveles: habitable, no habitable.</p>
SUP_PT	PERIM S_RAS ADOS PERF	Cuantitativa	<p>La superficie de pared corresponde a la superficie de envolvente en contacto con el aire exterior.</p> <p>Fórmula:</p> $S_{pt} = (P_G - P_G \left(\frac{m_{ad}}{4} \right)) h_{sr} - S_{pr}$ <p>Rango: 0 – 18772,5</p> <p>Unidad: m²</p>

SUP_AD	SUP_G ADOS	Cuantitativa	<p>La superficie de adosamiento corresponde a la superficie de envolvente en contacto con edificios vecinos.</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $S_{ad} = \left(P_G \left(\frac{m_{ad}}{4} \right) \right) h_{sr}$ <p><u>Rango:</u> 0 – 5845,6 <u>Unidad:</u> m²</p>
SUP_AS	SUP_G SUP_AS	Cuantitativa	<p>La superficie de asentamiento corresponde a la superficie de envolvente en contacto con edificios vecinos</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $S_{as} = S_0 + P_G h_{br}$ <p><u>Rango:</u> 1,8 – 10591,6 <u>Unidad:</u> m²</p>
SUP_TEC	SUP_TERR	Cuantitativa	<p>La superficie de techo corresponde a la superficie de envolvente de la cubierta.</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $S_t = S_0$ <p><u>Rango:</u> 1,8 – 5089,8 <u>Unidad:</u> m²</p>
SUP_VENT	SUP_G PERF	Cuantitativa	<p>La superficie de ventilación corresponde a la superficie de envolvente con perforaciones.</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $S_{pr} = S_0 * pr$ <p><u>Rango:</u> 1,8 – 2890,7 <u>Unidad:</u> m²</p>
SUP_VI	SUP_VENT	Cuantitativa	<p>La superficie de vidrio es la superficie de las perforaciones correspondientes al vidrio</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $S_v = S_t * (1 - pm)$ <p><u>Rango:</u> 0,02 – 0,11 <u>Unidad:</u> m²</p>
SUP_MAR	SUP_VENT	Cuantitativa	<p>La superficie de marco es la superficie de las perforaciones correspondientes al marco.</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $S_m = S_t * pm$ <p><u>Rango:</u> 0,2 – 289,1 <u>Unidad:</u> m²</p>
K_G	U_PT, U_AS, U_TE, U_PR, SUP_G, SUP_PT, SUP_AS, SUP_TE, SUP_VENT, SUP_VI, SUP_MAR	Cuantitativa (Adimensional)	<p>El coeficiente global de transmisión de calor establece la resistencia que opone la envolvente al paso del calor por conducción a través de la envolvente por unidad de superficie, producido por la diferencia de temperaturas del aire interior y exterior.</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $K_G = \frac{\sum S_i K_i \alpha_i}{S_G} \quad (W/(m^2 \cdot K))$ <p><u>Rango:</u> 0,4 - 3,9 <u>Unidad:</u> W/(m²·K)</p>
TRANSM_G	SUP_G K_G	Cuantitativa	<p>La transmisión global de calor establece la resistencia que opone la envolvente al paso del calor por conducción a través de la envolvente, producido por la diferencia de temperaturas del aire interior y exterior.</p> <p><u>Fórmula:</u></p> $T_G = \sum S_i K_i \alpha_i \quad \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$ <p><u>Rango:</u> 23,2 - 39867,7 <u>Unidad:</u> W/m²K</p>
CONS_2014	X2014_01, X2014_02, ... X2014_12	Cuantitativa	<p>Adición de las facturaciones mensuales de energía eléctrica correspondientes al año 2014.</p> <p>Faltantes: 143 (7,21%)</p> <p><u>Rango:</u> 0 – 8.882.800 <u>Unidad:</u> kWh</p>

CONS_2015	X2015_01, X2015_02, ... X2015_12	Cuantitativa	Adición de las facturaciones mensuales de energía eléctrica correspondientes al año 2015. Faltantes: 132 (6,66%) <u>Rango:</u> 0 – 8.212.939 <u>Unidad:</u> kWh
CONS_2016	X2016_01, X2016_02, ... X2016_12	Cuantitativa	Adición de las facturaciones mensuales de energía eléctrica correspondientes al año 2016. Faltantes: 116(5,85%) <u>Rango:</u> 0 – 8.975.532. <u>Unidad:</u> kWh
CONS_2017	X2017_01, X2017_02, ... X2017_12	Cuantitativa	Adición de las facturaciones mensuales de energía eléctrica correspondientes al año 2017. Faltantes: 100 (5,04%) <u>Rango:</u> 0 – 8.876.296. <u>Unidad:</u> kWh
CONSVIV_2017	CANT_VIV CONS_2017	Cuantitativa	Consumo correspondiente a cada vivienda en el año 2017. <u>Rango:</u> 0 – 119.404 <u>Unidad:</u> kWh
CONSSUP_2017	SUP_TOT CONS_2017	Cuantitativa (adimensional)	Consumo correspondiente por unidad de superficie en el año 2017. <u>Rango:</u> 0 – 319,59 <u>Unidad:</u> kWh

Tabla 9. Resumen de variables resultantes del tratamiento, mediante método ascendente.

(Elaboración propia) Para detalle de las fórmulas ver ANEXO II.

4.3.3.2. Metodología top-down

Dado que para el presente estudio no se cuenta con información desagregada de comercialización de productos derivados del petróleo, se tratará de establecer de manera analítica el combustible utilizado en cada hogar para calefaccionar.

Para esto se recurrirá a bases de datos de temperatura exterior (Servei de Meteorologia del Gobierno de Andorra) de los períodos analizados. Los datos utilizados fueron recolectados por la Estación Roc de St. Pere (42,5130º, 1,5324º), siendo la misma la más próxima al núcleo de Escaldes-Engordany.

A partir de las temperaturas medias mensuales en cada rango horario se elaboró un calendario de climatización, en el cual se indica si debe utilizarse calefacción o refrigeración para alcanzar la zona de confort térmico, delimitada entre los 18 y los 26°C. La sumatoria de la diferencia de grados necesarios de climatización determina los grados-día totales de cada mes y de cada año. En la Tabla 10 puede observarse el calendario correspondiente al año 2017, pudiendo encontrarse los correspondientes al resto de los años analizados en el Anexo III. El hecho de trabajar con datos reales de cada año en correspondencia con los datos de consumo del mismo período permite identificar la correlación existente entre ambos. De esta forma, si un año es más frío, como el caso de 2014, esto debería traducirse en mayores consumos de calefacción. Dado que la temperatura durante las horas de más calor de los meses de verano no resulta significativamente mayor a la temperatura de confort, no serán considerados gastos energéticos asociados a la refrigeración por no considerarse necesarios.

AÑO 2017 HORA	TEMPERATURAS HORARIAS											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0,2	3,2	5,6	6,8	10,8	15,3	16,9	17,2	10,9	11,0	4,4	1,4
2	0,0	3,0	5,2	6,2	10,2	14,8	16,3	16,6	10,4	10,6	3,9	1,2
3	-0,1	2,8	4,9	5,7	9,6	14,3	15,7	16,0	10,0	10,3	3,8	1,2
4	-0,3	2,6	4,6	5,2	9,2	13,9	15,3	15,5	9,6	10,0	3,7	0,9
5	-0,3	2,3	4,2	4,9	8,8	13,5	14,9	15,1	9,4	9,5	3,5	0,6
6	-0,3	2,0	3,9	4,4	8,6	13,3	14,5	14,8	9,1	9,0	3,3	0,7
7	-0,5	1,9	3,8	4,3	9,1	13,9	14,7	14,8	8,9	8,7	3,3	0,8
8	-0,5	2,0	3,7	5,4	11,2	16,4	17,2	16,2	9,2	8,7	3,3	0,8
9	-0,3	2,3	5,2	9,3	14,0	19,3	20,3	19,3	12,0	10,1	3,6	0,9
10	0,6	4,3	8,2	11,8	16,2	21,6	22,8	22,0	14,8	13,4	5,6	1,7
11	1,9	6,9	10,7	14,0	18,0	23,7	25,0	24,8	17,0	16,1	8,4	2,7
12	4,3	8,9	12,7	15,4	19,2	24,9	26,5	26,4	18,7	18,4	10,2	5,0
13	5,6	10,3	14,1	16,1	19,9	25,5	27,3	27,2	19,9	19,8	11,6	5,9
14	6,3	11,3	14,9	16,5	20,2	25,9	27,5	27,8	20,3	21,1	12,4	6,8
15	6,4	12,2	15,2	16,5	20,3	25,5	27,6	27,8	20,0	21,1	12,1	6,9
16	6,1	12,0	14,9	16,0	19,7	24,7	27,6	27,7	19,7	20,5	11,4	6,5
17	5,0	10,9	14,0	15,1	19,0	24,0	27,5	26,7	19,0	19,3	9,6	5,0
18	3,6	8,8	12,3	13,8	18,3	23,1	26,8	25,2	17,5	17,1	7,8	3,8
19	2,7	7,0	10,8	12,7	17,2	21,9	25,2	23,7	16,4	15,4	7,0	3,3
20	2,0	6,0	9,3	11,5	16,2	20,5	24,1	22,5	14,9	13,8	6,2	3,0
21	1,6	5,2	8,2	10,2	14,7	19,3	22,4	20,9	13,8	13,0	5,6	2,4
22	1,3	4,6	7,5	9,0	13,4	17,9	20,7	19,5	12,9	12,2	5,1	2,1
23	0,8	4,0	6,7	8,1	12,4	16,8	19,2	18,4	12,1	11,6	4,8	1,9
24	0,5	3,6	6,2	7,4	11,7	15,9	18,1	17,5	11,4	11,2	4,4	1,6
GRADOS CALEF.	385	294	225	186	95	32	18	18	104	112	277	365
GRADOS REFRIG.	0	0	0	0	0	0	9	8	0	0	0	0
BALANCE	385	294	225	186	95	32	10	11	104	112	277	365
CALEF. MENSUAL	11947	8224	6979	5568	2939	963	573	565	3108	3483	8311	11310
REFRIG. MENSUAL	0	0	0	0	0	0	275	235	0	0	0	0
Confort INVIERNO y VERANO entre 18 y 26 grados												FRIO -18
CALOR +26												

Tabla 10. Mapa de confort climático exterior.

(Elaboración propia con datos de Servei de Meteorología del Gobierno de Andorra)

A partir de la sumatoria de todos los meses correspondientes a los cuatro años analizados (2014-2017), se elaboró un vector de 48 valores, un valor por mes, construido por los grados de calefacción necesarios en cada uno de ellos. La variación resultante (Figura 32) posee unos marcados picos durante los meses de invierno, que puede variar en cada año según se extienda la temporada invernal con sus bajas temperaturas.

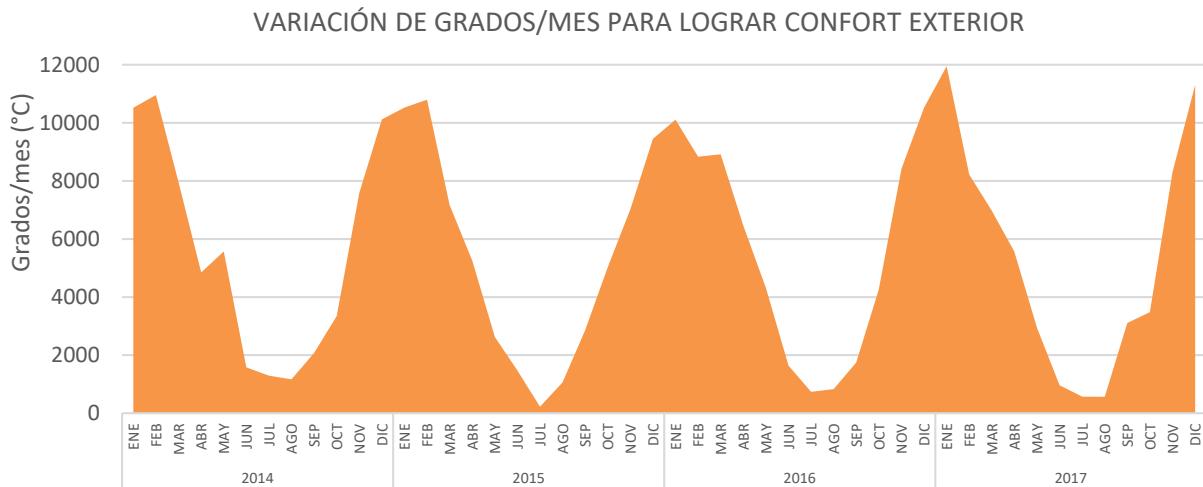


Figura 32. Vector de climatización necesaria para alcanzar la temperatura de confort interior.

(Elaboración propia con datos de Servei de Meteorología del Gobierno de Andorra)

Citando nuevamente los datos presentados en la caracterización de los hogares de Andorra, el 84% de los hogares utiliza fuel doméstico para calefaccionarse, el 11% sistemas eléctricos, un 3,7% butano o propano y el 0,8% otras fuentes.

De esta forma, debería existir una correlación entre las importaciones de fuel doméstico y el vector de temperaturas, ya que el país no cuenta con reservas de este hidrocarburo, por lo que debe importar todo el que utiliza. Una superposición gráfica de ambos vectores (Figura 33), el de importación de fuel

doméstico y el de temperaturas, muestra una clara correlación. Puede afirmarse entonces que la importación de fuel doméstico está directamente condicionada por las variables climáticas que aumentan la necesidad de climatizar los hogares. La importancia de esta conclusión radica en que la relación establecida depende de muchos factores como pueden ser la eficiencia de la tecnología utilizada para climatizar, la aislación propia de las viviendas, etc. De esta forma, se podría “achatar” la curva de importaciones produciendo mejoras en las viviendas o los sistemas de climatización.

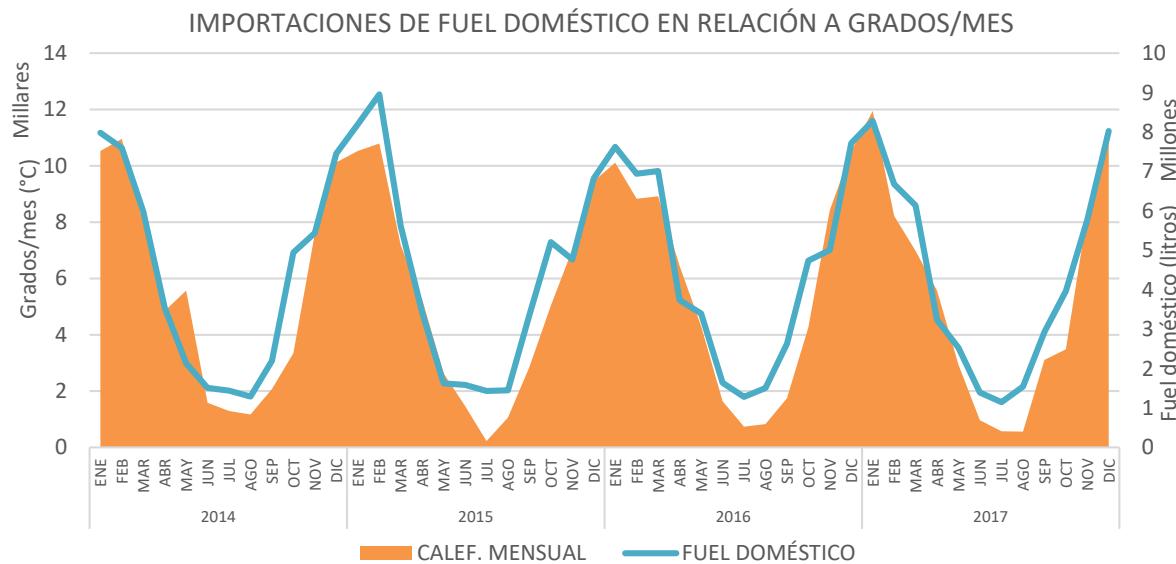


Figura 33. Vector de climatización necesario para alcanzar la temperatura de confort interior.
(Elaboración propia con datos de Servei de Meteorologia y de Departament d'Estadística de Andorra)

Respecto a las viviendas con climatización eléctrica, la correlación es más difícil de detectar ya que los consumos eléctricos corresponden a todos los artefactos eléctricos que sean utilizados en el hogar, no sólo los que están relacionados con climatización. Se han intentado aplicar diversas metodologías estadísticas para poder establecer qué casos poseían un comportamiento más cercano a la variación de necesidades de climatización que se da entre las distintas estaciones, sin ser ninguno de ellos concluyente. La dificultad fundamental radica en que existen diversos motivos que provocan la variación de consumos estacionales tal como la afluencia de visitantes, la temperatura del agua caliente sanitaria, la variación de la cantidad de horas de luz solar diarias, etc.

De esta forma, se ha decidido dejar de lado la incorporación de esta variable (Tabla 11) al presente trabajo hasta dar con un método más adecuado de análisis de datos que determine la existencia de edificios con consumo eléctrico para climatización.

NOMBRE DE LA VARIABLE	VARIABLES UTILIZADAS	TIPO DE VARIABLE	DESCRIPCIÓN
COMB_CAL	X2014_01, X2014_02, ... X2017_12	Cualitativa	Tipo de combustible utilizado para calefaccionar. <u>Niveles:</u> electricidad, fuel.

Tabla 11. Variable resultante del tratamiento, mediante método descendente.
(Elaboración propia)

4.3.4. Definición de tipologías

En Europa, según la Comisión Europea (Comisión Europea, 2010), los edificios son responsables del 40% del consumo de energía y aproximadamente el 35% del parque actual tiene más de 50 años. Una

parte importante de este consumo de energía está determinada por las características de los edificios. Dado que el parque de edificios está compuesto por millones de unidades, incluso a nivel de la ciudad, un modelo para una gran área urbana teniendo en cuenta todas las características individuales de los edificios existentes puede no ser factible. Por lo tanto, es necesario limitar el número de edificios para analizar en detalle, en un compromiso entre factibilidad y precisión (Monteiro, Pina, Cerezo, Reinhart, & Ferrão, 2017).

Al igual que en los métodos deterministas descriptos anteriormente, se trabajará con definición de arquetipos, es decir, conjuntos de características que representan un grupo de edificios similares. Dado que esta división resulta clave al momento de crear modelos de consumo energético o de predecir los posibles ahorros de energía en las intervenciones propuestas, se buscará utilizar la mayor cantidad de variables descriptivas para caracterizar de la mejor manera posible cada grupo. Dadas las dificultades por obtener datos sobre el comportamiento particular de los ocupantes, se recurrirá a datos medidos de consumo eléctrico para suplir esta falencia, siendo consciente de que esto sólo muestra el consumo total y no el detalle disagregado del comportamiento que originó dicho consumo. Si bien no es realista esperar que los modelos urbanos coincidan exactamente con las demandas de los usuarios individuales, al menos deberían poder reproducir los extremos y la distribución de consumo para un arquetipo particular.

Existen dos pasos necesarios en la definición de grupos: el primero es la segmentación, donde se dividen los casos en grupos, y el segundo la caracterización, donde se determina cuáles son las características comunes en que comparten los casos de cada grupo y que los hacen distintos del resto de los casos.

El análisis de cada uno de los usos será acorde a las posibilidades de análisis y a las características particulares de cada uso. Para realizar esta tarea será tenida en cuenta la contribución proporcional de cada sector al stock de edificios y al consumo total (Figura 34).

Dado que el 63% de las edificaciones y el 55% del consumo corresponden a usos residenciales, se hará un estudio detallado de dicho uso, constituido por viviendas unifamiliares y plurifamiliares. Lo mismo se hará con los alojamientos, representando el 3% de los edificios, pero el 16% del consumo; y con el comercio, constituyendo 4% de los edificios y 9% del consumo.

A pesar de ser responsable de un gran porcentaje del total de edificios y de consumo, no se hará lo propio con los equipamientos ya que sus usos (cultural, deportivo, educativo, etc.) obedecen a lógicas distintas por lo que no se considera apropiado trabajarlos como un uso único para su análisis, pero disgregarlo representaría un análisis cercano a la individualidad de casos.

Respecto al resto de los usos (agrícola, almacenamiento, aparcamiento e industrial), no se considera que por su número o proporción en el consumo representen áreas estratégicas para la construcción de arquetipos. De todas formas, se realizará un análisis descriptivo de las variables generales para tener conocimiento de sus particularidades.

DISTRIBUCIÓN DEL STOCK DE EDIFICIOS Y CONSUMO SEGÚN USOS

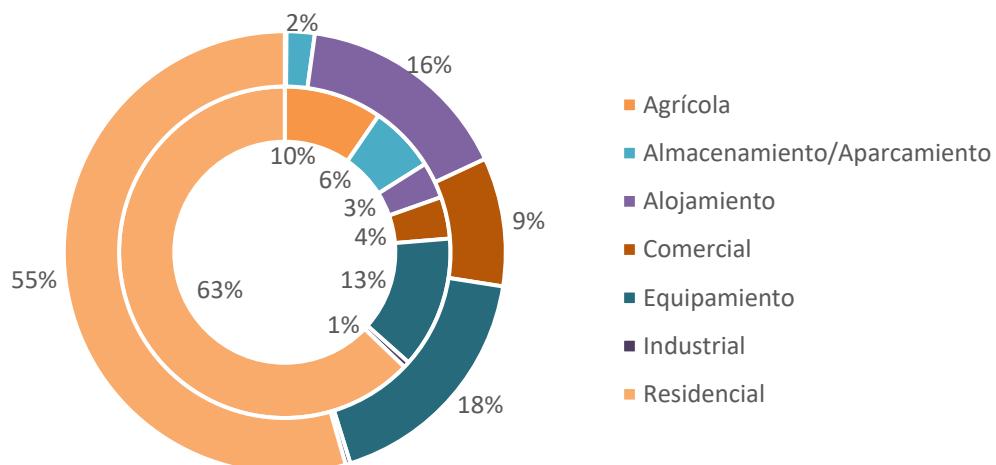


Figura 34 Distribución del parque edificatorio y consumo (2017) según uso.

En kWh/año (anilla exterior) y cantidad de edificios (anilla interior).

(Elaboración propia con datos de Comú d'Escaldes Engordany, 2017)

4.3.4.1. Residencial

El sector residencial incluye aquellas actividades relacionadas con viviendas privadas. Ello cubre todas las actividades que utilizan energía en apartamentos y casas, incluyendo la calefacción y el calentamiento de agua, aire acondicionado, iluminación, cocina y el uso de electrodomésticos (incluyendo tanto grandes como pequeños electrodomésticos con conexión a la red eléctrica). Las tendencias de consumo energético en el sector residencial y los diferentes usos finales están condicionados por un amplio espectro de factores, incluyendo las mejoras en eficiencia energética, cambios en la población, el mix de fuentes de energía, la tasa de urbanización, número de viviendas ocupadas, ocupantes por hogar, tamaño de la vivienda, tipo de vivienda, características del edificio, y perfil de antigüedad, nivel de ingresos y crecimiento, preferencia de los consumidores y comportamiento, disponibilidad energética, condiciones climáticas, tasa de penetración de equipos y electrodomésticos, y aplicación de estándares.

Existen tres indicadores principales para medir la intensidad energética residencial agregada: cantidad total de consumo residencial de energía per cápita, vivienda ocupada o superficie útil (International Energy Agency, 2015). Estos indicadores de aceptación internacional poseen sus fortalezas y limitaciones:

- El consumo energético per cápita indica cuánta energía es utilizada por cada persona en un país o región. El consumo energético por vivienda ocupada o por área edificada se consideran mejor indicador que la energía residencial per cápita, ya que está normalizado por el factor clave del sector residencial: la escala de la vivienda.
- El consumo energético por vivienda ocupada tiene en cuenta los cambios en el número de habitantes por hogar, y puede ser utilizado para explicar por qué países similares tienen consumos per cápita diferentes. Para una población similar, un país puede tener un número menor de viviendas ocupadas si hay más personas por vivienda. Un número menor de viviendas ocupadas significa menos viviendas que calentar y refrigerar, y una menor cantidad total de equipos.
- El consumo energético por unidad de superficie tiene en cuenta el tamaño relativo de la vivienda. Nuevamente, en países de población similar y número similar de viviendas ocupadas, el consumo energético total puede ser más alto en el país donde las viviendas son en promedio

más grandes, ya que requieren más energía para mantener una temperatura interior similar. Por otra parte, el consumo energético para iluminación, calentamiento de agua y electrodomésticos está más relacionado con el número de viviendas y los habitantes por vivienda, que con el efectivo tamaño de la vivienda.

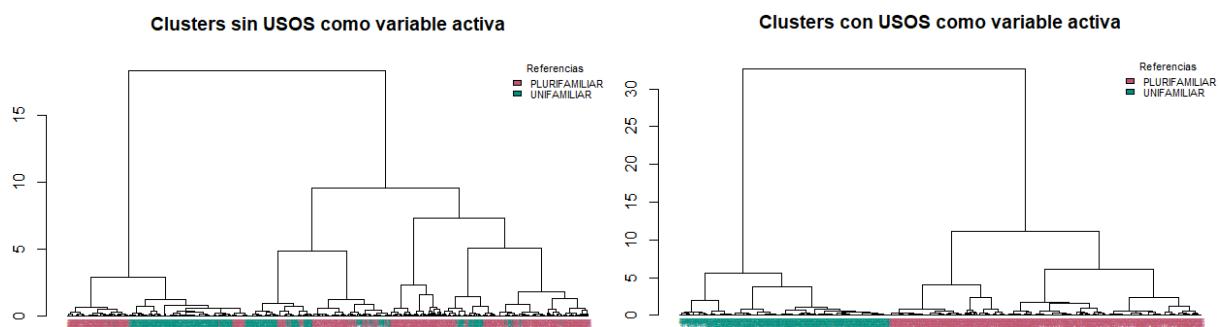
Dada las dificultades para trabajar con los dos primeros indicadores, no existen datos desagregados de cuántas personas viven en cada residencia o de cuáles de ellas se encuentran ocupadas, se apelará al indicador de consumo energético por unidad de superficie para medir la eficiencia de la misma.

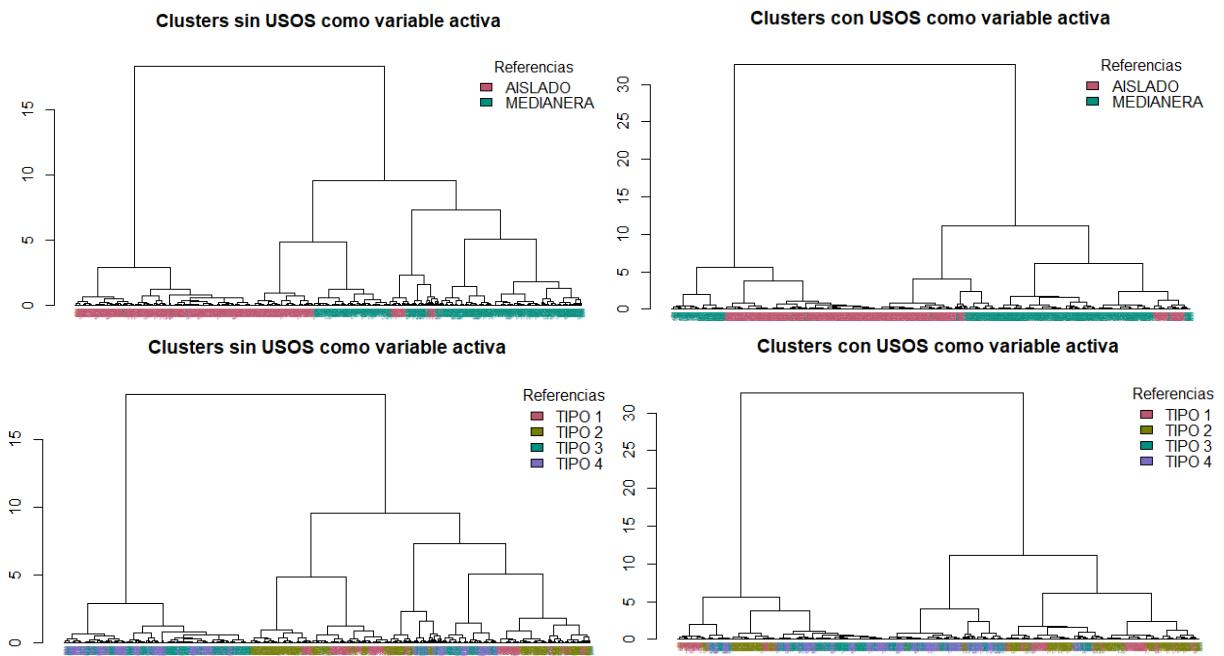
Al igual que se ha realizado anteriormente, se recurrió a la herramienta RStudio (RStudio, 2018) para realizar la división del stock de edificios en grupos. El método escogido para dicho propósito es el de agrupamiento jerárquico, con la determinación de grupos a partir de las distancias observadas de manera gráfica en un dendrograma. Se utilizará el método de Ward de varianza mínima, en el cual el criterio para la elección del par de clústers a mezclar en cada paso se basa en el valor óptimo de una función objetivo que es el error de la suma de los cuadrados o varianza. En cada paso el par de clúster con distancia mínima entre ellos son mezclados. Para implementar este método, en cada paso se debe encontrar el par de clúster que llevan al incremento mínimo del total de la varianza del clúster después de mezclarlos. Este incremento es la distancia cuadrada con un peso asignado entre los centros de los clústers.

El dendrograma es un tipo de representación gráfica en forma de árbol, que organiza los datos en subcategorías que se van dividiendo hasta llegar al nivel de detalle deseado. De esta forma, permite apreciar claramente las relaciones de agrupación entre los datos o entre grupos de ellos, aunque no las relaciones de similitud o cercanía entre las categorías.

Se trabajará únicamente con los datos residenciales, incluyendo viviendas unifamiliares y plurifamiliares, ya que son usos con características similares: los consumos provienen de acondicionamiento, agua caliente, iluminación y uso de aparatos eléctricos. El caso de estudio cuenta con 335 viviendas unifamiliares y 501 edificios plurifamiliares que concentran 6.464 viviendas.

Para determinar las categorías que serían incluidas en el trazado de los grupos, se realizó una prueba de contraste entre los grupos resultantes de incluir el uso y de no incluirlo dentro de las variables activas. La intención de esta comparativa es determinar si a través del resto de las variables, se pueden detectar condiciones particulares de cada uso, ya que es un condicionante muy importante al consumo. Se trazaron dos dendrogramas a partir de la situación propuesta en los que se distingue con distintos colores los nombres de los casos según usos, agrupamiento y período de construcción, que dieron como resultado las visualizaciones observables en la Figura 35.





*Figura 35. Dendrogramas resultantes de variar la inclusión del uso principal en el trazado de los grupos.
(Elaboración propia)*

En ambos casos se observa una gran distancia inicial que, en el caso de los clústers que no incluyen la variable uso principal, no es reconocible un parámetro que delimite esta división, y, en el caso de las que incluyen el uso principal, están delimitados claramente los usos entre unifamiliares y plurifamiliar. De la misma forma en que varían las distancias de división en grupos, el alterar las variables de ingreso impacta también en la distribución de los casos en grupos. Puede probarse así la sensibilidad del modelo a las variables categóricas, por lo que se incluirán sólo las que se consideren fundamentales en el proceso de armado de los grupos, como el uso principal.

Se han suprimido variables cualitativas que no se consideraron importantes por desequilibrar el orden de los grupos. Por ejemplo, la variable Uso de la Unidad Catastral (USO_UC) posee el mismo peso en la designación de grupos que Uso Principal, siendo que no determina en gran medida las actividades que se desarrollan en el interior del edificio por la existencia de niveles “Mixto”, por lo que no es significativa al momento de determinar el consumo.

Asimismo, se suprimieron algunas variables que resultaban reiterativas y que otorgaban demasiado peso a ciertas condicionantes. Un ejemplo claro de esto son los consumos mensuales y anuales de electricidad, optándose por dejar sólo uno de ellos que resultara representativo del conjunto y que correspondiera a la última situación de la que se tuviera registro, es decir, el consumo del último año.

Las variables utilizadas para agrupar los clústers jerárquicamente son: uso principal, año de construcción, superficie del terreno, superficie total, perímetro, cantidad de medianeras, superficie residencial, cantidad de viviendas, compacidad, esbeltez, asentamiento, adosamiento, superficie de envolvente, transmitancia total, coeficiente de transmisión superficial, consumo en 2017, consumo por vivienda en 2017 y consumo superficial en 2017.

4.3.4.2. *Alojamiento*

Hostelería es el nombre genérico de las actividades económicas consistentes en la prestación de servicios ligados al alojamiento y la alimentación esporádicos, muy usualmente ligados al turismo. Abarca la energía consumida para calefacción de locales, enfriamiento de locales y ventilación;

calentamiento de agua; iluminación; y otros equipos diversos que utilizan energía tales como los electrodomésticos comerciales y equipos de cocina, equipamiento de oficina y generadores.

El principal factor que afecta al consumo energético en el sector servicios es el nivel de actividad económica, que suele ser representado por el valor añadido resultante del sector. Niveles más altos de actividad económica inducen a un incremento en la actividad comercial, y a un mayor número de empleados en el sector. Ambos efectos llevan a un incremento en la demanda de servicios energéticos. Las tendencias en el consumo de energía final total también son influenciadas por el clima, la superficie edificada, el tipo de alojamiento, la antigüedad de los edificios, la calidad de gestión energética del edificio y las mejoras en la eficiencia energética. Para evitar caer en tendencias influenciadas por la estacionalidad del turismo en el sector o la acción climática, se trabajará a partir de datos anuales que conserven una cierta estabilidad de consumo global.

Para el análisis del consumo energético en el sector servicios existen distintos criterios con sus correspondientes indicadores (International Energy Agency, 2015):

- El consumo energético por valor añadido indica la relación general entre el consumo energético y el desarrollo económico.
- El consumo energético por unidad de superficie puede proporcionar una visión respecto a cómo el consumo final produce cambios en el uso de la energía. Además, puede proporcionar indicaciones sobre la naturaleza del sector que promueve el consumo energético cuando se combina con la información de consumo energético por valor añadido. Este sector es complejo e involucra una amplia variedad de tipos de edificación, proporciona servicios diversos y requiere energía para diferentes propósitos. Por ejemplo, el perfil de consumo energético en los hospitales será muy diferente al de los restaurantes o almacenes. Entender las tendencias en el consumo energético del sector servicios requiere por tanto información detallada por tipo de servicio y por uso final.

Dadas las dificultades para establecer la relación propuesta por el primer indicador, se utilizará el segundo indicador que ofrece, asimismo, la posibilidad de comparar los resultados de este uso con el residencial.

La metodología utilizada fue el clúster jerárquico, utilizando los mismos criterios que fueron explicitados para el uso residencial. La única diferencia pertinente en este proceso son las variables activas utilizadas para crear los grupos, que para el presente caso fueron: año de construcción, superficie del terreno, superficie total, perímetro, cantidad de medianeras, superficie de alojamiento, compacidad, esbeltez, asentamiento, adosamiento, transmitancia total, coeficiente de transmisión superficial, consumo en 2017 y consumo superficial en 2017.

4.3.4.3. Comercial

Establecimiento comercial es el espacio físico donde se ofrecen bienes económicos (servicios o mercancías) para su venta al público. Con algunas excepciones (como ciertas panaderías y pastelerías), en los establecimientos comerciales no se suele realizar la fase de producción de los productos que distribuye, limitándose a ejercer un papel intermediario entre el fabricante y el consumidor. Al ser habitualmente el consumidor final el que acude a los establecimientos comerciales, y ser estos abastecidos por mayoristas, su papel intermediador es el denominado de comercio minorista.

El sector comercial comparte las particularidades del sector de servicios, siendo altamente condicionados por las variables de afluencia de visitantes, el desarrollo económico del país y las variables climáticas. Dada la versatilidad de este sector, que comprende muchos usos particulares de

acuerdo al destino de los locales, no se trabajará con indicadores particulares de las mismas sino con generalidades.

Los indicadores propuestos para este tipo de usos a nivel internacional coinciden con los anteriormente mencionados en el sector de alojamientos: consumo energético por valor añadido y consumo por unidad de superficie. Al igual que en los casos anteriores, se trabajará con este último por contarse con la información necesaria para su desarrollo y por ser fácilmente comparable su resultado final con el de los otros usos.

La metodología a utilizar coincide con la establecida para el sector residencial, difiriendo en las variables activas al momento de seleccionar los grupos: uso de la unidad funcional, año de construcción, superficie del terreno, superficie total, perímetro, cantidad de medianeras, superficie comercial, compacidad, esbeltez, asentamiento, adosamiento, transmitancia total, coeficiente de transmisión superficial, consumo en 2017 y consumo superficial en 2017.

5. Resultados

Se puede acceder a un mapa interactivo de los grupos resultantes y las características particulares de cada caso a través del link que figura en el pie de página¹, elaborado en la plataforma Carto (Carto, 2018). Asimismo, en el ANEXO IV se dispone de instrucciones de funcionamiento del mapa.

5.1. Residencial

El dendrograma resultante (Figura 36) posee dos grandes grupos iniciales, que corresponden a viviendas individuales y a viviendas agrupadas. Luego se producen sucesivas divisiones que varían la cantidad de grupos resultantes según la altura en que se realiza el corte, minimizando la distancia entre los grupos a medida que se producen las divisiones. La simplificación del stock de edificios en arquetipos resulta necesaria para realizar estudio de energía en las ciudades, pero la definición de los mismos puede afectar la precisión del mismo: a mayor cantidad de grupos mayor gradiente y precisión. Sin embargo, poseer un número acotado de grupos bien definidos puede resultar conveniente para trabajar con una mayor claridad en la toma de decisiones, identificando fácilmente los grupos sobre los que emprender acciones estratégicas para producir cambios significativos en la situación. Los resultados muestran que, si bien la simplificación excesiva puede generar grandes diferencias, tampoco es necesario considerar una caracterización muy detallada de las construcciones para obtener resultados consistentes (Monteiro et al., 2017).

Se considera necesario realizar el corte en la altura 3, graficada con línea de trazos, que corresponde a la división de los edificios residenciales en 7 grupos, delimitados por los recuadros rojos.

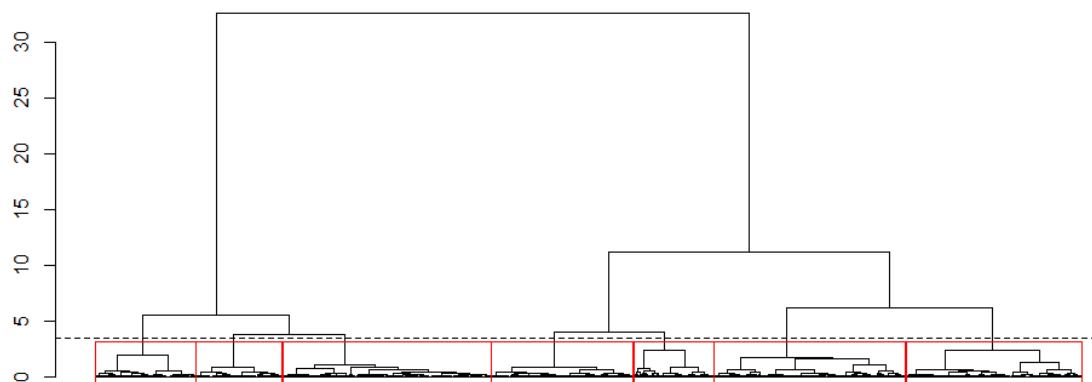


Figura 36. Dendrograma resultante de la aplicación del método de clúster jerárquico al uso residencial.
(Elaboración propia)

Siendo que los motivos de las divisiones del dendrograma no resultan tan evidentes a través de la visualización de dicha gráfica, se recurrirá a la caracterización de los mismos en todas las variables que resulten significativas. Este análisis puede encontrarse en la sección de anexos, bajo el título de ANEXO V.

A partir del análisis de la distribución de variables divididas en grupos, pueden empezar a vislumbrarse las características particulares de cada uno. Para la construcción de arquetipos se pormenorizará el comportamiento de los grupos ante las distintas variables, a modo de descripción de los casos.

De la caracterización de los grupos se intentó generar un árbol similar al obtenido a través de clúster jerárquico (Figura 37), determinando la variable dominante en cada subdivisión. Se parte de un total de

¹ <https://paugui.carto.com/builder/8c989326-6329-4bf4-92a4-d05776f2b054/embed>

833 casos de edificios residenciales que se subdividen en 334 casos de viviendas unifamiliares y 399 de viviendas plurifamiliares. El primer grupo determina la existencia de dos subgrupos, el de viviendas entre medianeras y el de viviendas aisladas, dentro de las cuales se identifican las de construcción más antigua y más recientes (antigüedad menor a 30 años). El segundo subgrupo de viviendas múltiples se divide en viviendas de construcción más antigua, dentro de las que se identifican las aisladas de las agrupadas, y viviendas más recientes, subdivididas según la dimensión superficial de las mismas.

Se creyó pertinente incluir en la gráfica el valor medio hallado en cada subdivisión de coeficiente de transmitancia térmica y consumo eléctrico por unidad de superficie, ya que ambos valores resultan claves para caracterizar los grupos y dan cuenta de la precisión que cada subdivisión aporta a la interpretación de los casos.

El análisis de estos datos muestra cómo las viviendas unifamiliares poseen menor consumo superficial y mejor coeficiente de transmitancia térmica en general. Asimismo, dentro de las individuales existe una menor transmitancia en las aisladas, factor que puede encontrarse distorsionado por la proporción de casos de nueva construcción con una transmitancia mucho menor que los de construcción más antigua pero un mayor consumo eléctrico, posiblemente por una mayor penetración de artefactos eléctricos.

En el caso de los edificios de múltiples viviendas, se distinguen en un primer momento por año de construcción, donde los antiguos poseen un valor de transmitancia y un consumo mucho mayor que los de nueva construcción. Dentro de los edificios antiguos se destacan los aislados, con mayor transmitancia, pero menor consumo, de los agrupados, con menor transmitancia y mayor consumo que estos últimos. Considerando los edificios de construcción más reciente, la escala del edificio parece ser un factor clave para determinar subgrupos, con la particularidad de que ambos grupos poseen valores de transmitancia y consumo similares.

El dendrograma otorga la posibilidad de realizar cortes en mayor cantidad de grupos, lo que resultaría en mayor precisión al momento de determinar rangos y medias de los valores clave, pero se pierde la claridad de las clasificaciones ya que se reduce la distancia diferencial de los grupos.

A pesar de que la visualización de la Figura 37 es tentativa, ya que trabaja con valores medios y determinación estimada del criterio de subdivisión, este tipo de gráficas resultan claves para la toma de decisiones por la facilidad con que pueden identificarse los grupos en condiciones más desfavorables, como los que poseen mala aislación térmica de la envolvente o mayores consumos superficiales, circunstancias que podrían ser abordadas estratégicamente para mejorar la situación general del stock de edificios. Por ejemplo, tanto en las viviendas unifamiliares como en las plurifamiliares, los edificios más antiguos y aislados son los que presentan mayor precariedad en la aislación de la envolvente.



Figura 37. Descriptiva de la división de grupos residenciales en el dendrograma.

(Elaboración propia)

5.1.1. Viviendas unifamiliares

La división de los edificios residenciales determinó la existencia de 3 tipologías dentro de las viviendas unifamiliares: los grupos 5, 6 y 7.

El **grupo 5** se encuentra formado por 85 casos que corresponden a viviendas unifamiliares entre medianeras, en un 98% de los casos, y un consumo energético menor al resto de los casos de este uso. Sus dimensiones varían entre 79 y 899m², con una media de 320m², por lo que son viviendas de mediana a gran escala. Se observa una gran amplitud en sus propiedades de transmitancia de envolvente con valores desde 0,45 W/m²K, de una excelente aislación, a 3,35 W/m²K, lo que se considera deficiente de acuerdo a los parámetros actuales. Esta gran amplitud se da también en el consumo por unidad de superficie, con valores hasta 124 kWh/m²a, y una media de 21,8 kWh/m²a.

El **grupo 6** agrupa las viviendas unifamiliares aisladas construidas desde 1981 hasta la actualidad y cuenta con 176 casos. Sus dimensiones van desde 40m² a 1.871m², incluyendo todas las áreas cubiertas del edificio, con una media de 590m², por lo que son viviendas de un tamaño considerablemente mayor a las entre medianeras del grupo 4. Sus valores de coeficiente de transmitancia global se encuentran en el rango entre 0,59 W/m²K y 1,39 W/m²K, con una media de 0,92 W/m²K. Sus consumos anuales por unidad de superficie registran valores hasta 261 kWh/m²a, con una media de 29,5 kWh/m²a. Esta media puede parecer similar a la registrada en el grupo anterior, pero dadas las mayores dimensiones de las viviendas y su mayor consumo, el total de consumo anual por edificio resulta extraordinariamente superior, con una media de 15.179 kWh/a contra los 5.371 kWh/a del grupo 4.

El **grupo 7** concentra las viviendas unifamiliares aisladas construidas hasta 1987, con un pequeño solapamiento en los años con el grupo anterior. A diferencia del mismo, las propiedades de transmitancia de estas viviendas resultan deficientes, con valores entre 2,21 W/m²K y 3,93 W/m²K y una media de 2,69 W/m²K. Los 73 casos que constituyen este grupo poseen superficies entre 174m² y 1.748m², con una media en 584m². El rango de consumo por unidad de superficie se extiende hasta los 226 kWh/m²a, con una media de 24,8 kWh/m²a. Este valor se constituye como un intermedio entre los de los grupos anteriormente mencionados y reportan unos consumos totales de 11.193 kWh/a de media.

La Tabla 12 concentra los rangos y medias obtenidas en cada uno de los grupos para las distintas variables analizadas.

VARIABLES		GRUPO 5	GRUPO 6	GRUPO 7
Cantidad de casos		85	176	73
Antigüedad	Media	1972	1995	1970
	Rango	1950-2012	1981-2015	1950-1980
Tipo de construcción		Tipo 1, Tipo 4, Tipo 3 y Tipo 2.	Tipo 3 y Tipo 4.	Tipo 2, Tipo 1 y Tipo 3.
Agrupamiento		98% con medianeras	99% aislados	100% aislados
Dimensiones	Media	320 m ²	590 m ²	584 m ²
	Rango	79-899m ²	40-1871m ²	174-1748m ²
Coeficiente de transmitancia global	Media	1,52 W/m ² K	0,92 W/m ² K	2,69 W/m ² K
	Rango	0,45-3,35 W/m ² K	0,59-1,39 W/m ² K	2,21-3,93 W/m ² K
Consumo anual del edificio	Media	5.371 kWh/a	15.179 kWh/a	11.193 kWh/a
	Rango	0 – 35.267 kWh/a	0 – 119.404 kWh/a	0 – 57.118 kWh/a
Consumo anual por unidad de superficie	Media	21,8 kWh/m ² a	29,5 kWh/m ² a	24,8 kWh/m ² a
	Rango	0-124 kWh/m ² a	0-261 kWh/m ² a	0-226 kWh/m ² a

Tabla 12. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios unifamiliares.

(Elaboración propia)

Para una mejor aproximación a las similitudes y diferencias entre los grupos de viviendas unifamiliares, se realizará un estudio comparativo según distintas variables para observar cómo se comportan los grupos ante las mismas.

El primer par de variables a graficar será la relación entre año de construcción y adosamiento, ya que esta relación parece determinar la definición de los grupos. En la Figura 38 se ven representados los grupos con distintos colores, puede observarse que el Grupo 5 queda determinado por edificios con valores de adosamiento distintos de cero sin importar su año de construcción, el Grupo 6 mayoritariamente por edificios sin adosamiento y construidos después de 1980, con dos casos excepcionales de bajo adosamiento y el Grupo 7 por edificios sin adosamiento anteriores a 1980.

Relación antigüedad y adosamiento en viviendas unifamiliares

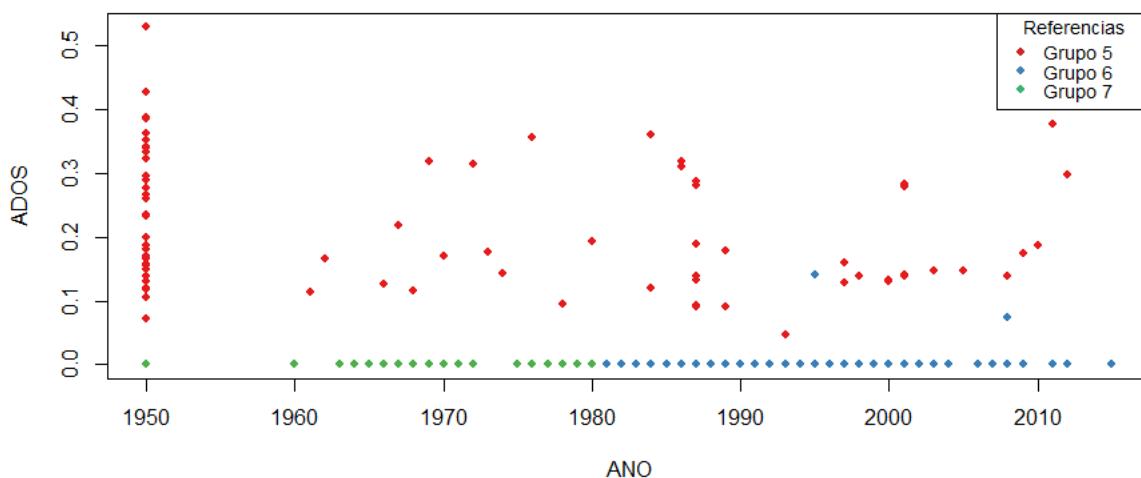


Figura 38. Relación de antigüedad con el adosamiento en edificios unifamiliares según clúster.
(Elaboración propia)

Dado que anteriormente los grupos eran definidos a priori por la tipología constructiva correspondiente al año de construcción, se graficará la relación existente entre el coeficiente de transmitancia global, valor que determina la relación del edificio con la temperatura exterior a través de la envolvente, y el momento de su construcción. Dado que los valores iniciales para el cálculo de

transmitancia de cada edificio provienen de una clasificación de períodos, en la Figura 39 puede verse una clara disminución de los valores de transmitancia a medida que se actualizan las normativas y requerimientos de aislación para los edificios. Recordando los cambios normativos anteriormente explicados, los años de corte para las distintas técnicas constructivas se dan en 1955, 1980 y 1995, observables en la gráfica con una disminución. Dado que los valores de cálculo del coeficiente global de transmitancia de los edificios no depende sólo de sus propiedades materiales, sino que también de su forma y dimensiones, existe una variabilidad dentro de cada período de este valor. Asimismo, puede observarse como el Grupo 5 destaca por poseer valores de transmitancia relativamente más bajos que los que corresponden al mismo período de tiempo, consecuencia de la reducción de pérdidas volumétricas por poseer parte de la envolvente en contacto con edificios aledaños.

Relación antigüedad y la transmitancia en viviendas unifamiliares

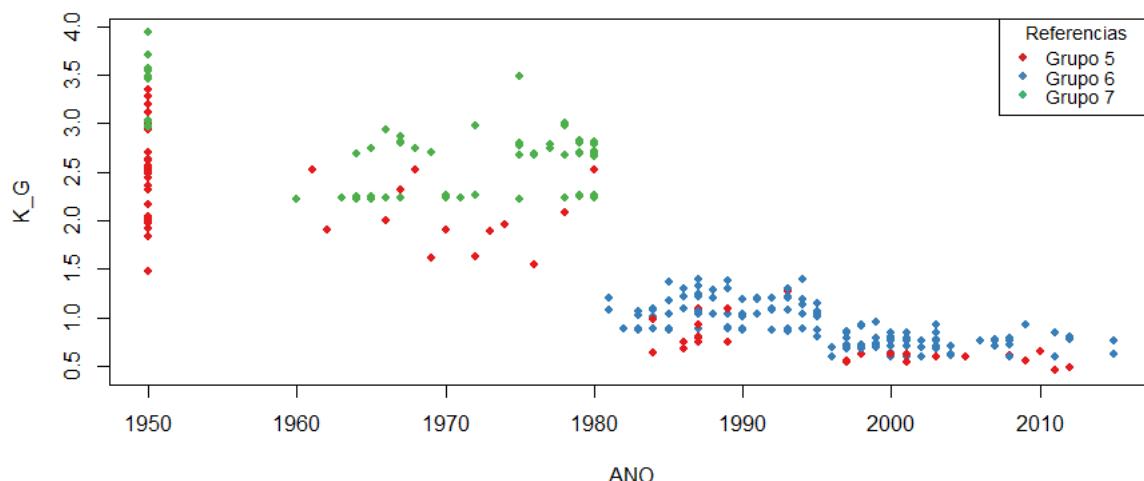


Figura 39. Relación de la antigüedad con el coeficiente de transmitancia en edificios unifamiliares según clúster.
(Elaboración propia)

Se plantea entonces la necesidad de determinar si estos valores de alta transmitancia térmica de los edificios se corresponde con altos valores de consumo eléctrico, contrastando gráficamente la relación existente entre la transmitancia global del edificio y el consumo global.

La Figura 40 muestra que las mayores transmitancia globales se corresponden con casos del Grupo 7 (edificios aislados antiguos), pero que no son quienes reportan los mayores consumos, ya que los mayores consumos son reportados por el Grupo 6 (edificios aislados recientes). Esta divergencia entre las variables de transmitancia y consumo tiene su origen en el tipo de datos que se está analizando: mientras que la transmitancia responde a valores globales del edificio, el consumo corresponde a valores parciales, ya que lo que se está contabilizando es sólo la electricidad y no el total del vector energético por falta de datos de consumo de hidrocarburos de calefacción. Dado que la calefacción a partir de fuente eléctrica se da en sólo un 12% de los edificios, el consumo eléctrico no representa adecuadamente el consumo energético para calefacción, impidiendo una correlación entre ambas variables en el análisis propuesto.

Relación transmitancia global y consumo (2017) en viviendas unifamiliares

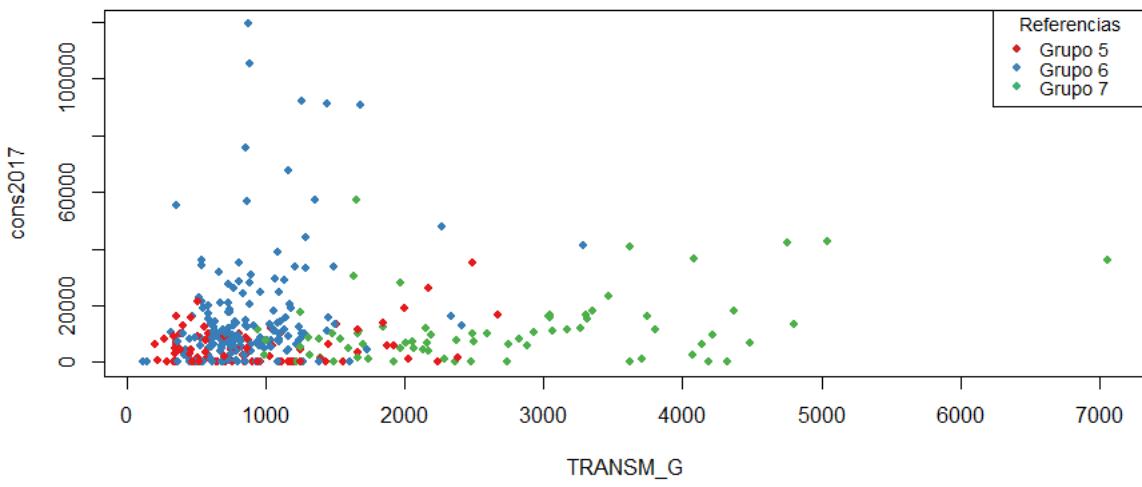


Figura 40. Relación de la antigüedad con el coeficiente de transmitancia en edificios unifamiliares según clústers.
(Elaboración propia)

La relación existente entre la superficie del edificio y su consumo eléctrico resulta interesante, ya que su representación gráfica muestra las tendencias del valor de consumo por unidad de superficie para cada grupo. La relación media entre ambos valores será representada con una línea de regresión para los distintos grupos, siendo la pendiente de la misma el indicador de mayor o menor consumo por unidad de superficie.

En la Figura 41 puede observarse que el Grupo 6, correspondiente a las viviendas aisladas posteriores a 1980, posee una mayor pendiente y, por lo tanto, un mayor consumo por unidad de superficie. Este mayor consumo no se corresponde a una mayor transmitancia térmica, pero no debe perderse de vista que el consumo corresponde únicamente a electricidad, por lo que podría entenderse que estas viviendas de construcción más reciente poseen una mayor penetración de artefactos eléctricos, aumentando el consumo eléctrico.

Relación consumo (2017) y la superficie en viviendas unifamiliares

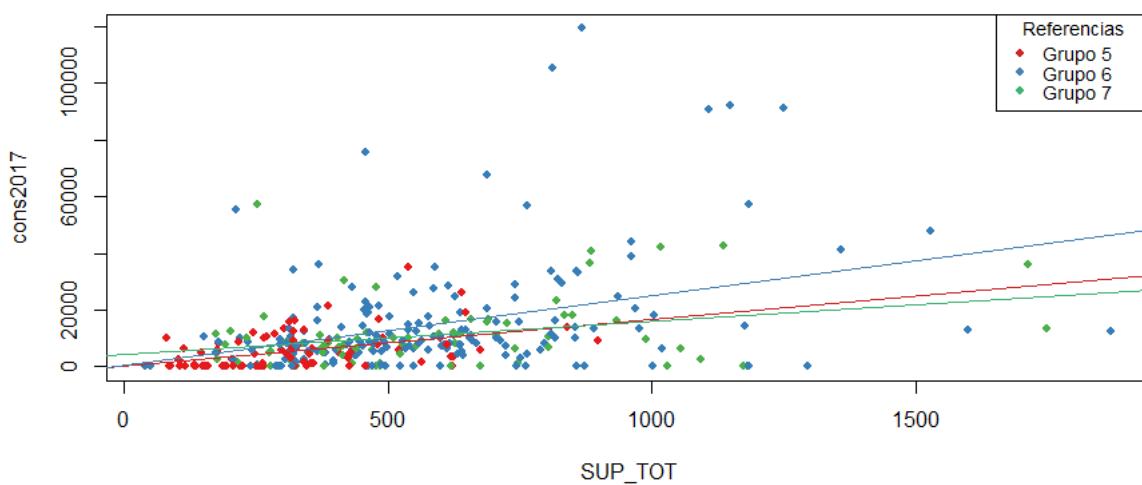


Figura 41. Relación de la antigüedad con el coeficiente de transmitancia en edificios unifamiliares según clústers.
(Elaboración propia)

La distribución de los grupos en el territorio (Figura 42) muestra la centralidad de las viviendas pertenecientes al Grupo 5, mayoritariamente en la “ciudad compacta”, mientras que los grupos 6 y 7 se ubican en las laderas de la montaña o en barrios periféricos.

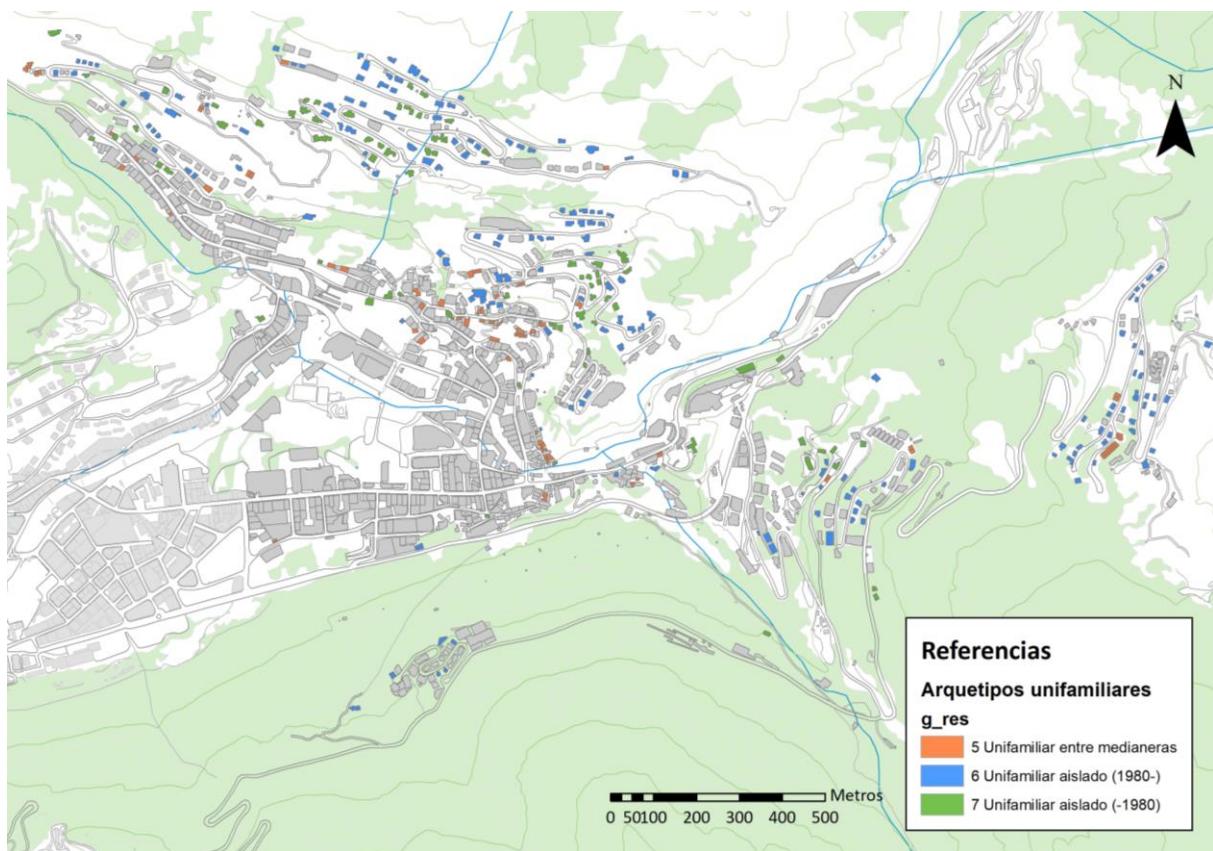


Figura 42. Distribución geográfica de los edificios unifamiliares según grupo de pertenencia.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)

5.1.2. Viviendas plurifamiliares

La división de los edificios residenciales determinó la existencia de 4 tipologías ([Tabla 12](#)) dentro de las viviendas plurifamiliares: los grupos 1, 2, 3 y 4.

El **grupo 1** se encuentra constituido por 149 casos construidos hasta el año 1983, y posee mayoritariamente edificios entre medianeras. La superficie de los edificios incluidos en esta categoría posee una gran amplitud ya que va de los 231 m² a los 8.168 m², con una media en 1.661 m². La cantidad de viviendas agrupadas que los integran es de 2 a 60 viviendas, con una media de 10.8 y una mediana de 9, y una superficie de 36 m² a 509 m², con media de 142 m². El coeficiente de transmisión global oscila en valores de 1,87 W/m²K a 3,86 W/m²K, con 2,51 W/m²K de media, valores demasiado altos para los estándares actuales. Los consumos por unidad de superficie alcanzan valores hasta 236 kWh/a, con un valor medio de 40 kWh/m²a.

El **grupo 2** incluye 162 casos, siendo todos ellos edificios entre medianeras. Sus superficies totales van desde los 126 m² a los 4.625 m², con un valor medio de 1.483 m², y las correspondientes a las viviendas de 27 m²a 305 m², con una media de 129 m², la más de los cuatro grupos. La cantidad de viviendas por edificios va de 2 a 27 hogares, con una media y mediana en 10. Posee el mayor consumo por unidad de vivienda, así como de consumo por unidad de superficie con 53 kWh/m²a.

El **grupo 3** contiene 120 edificios, todos ellos construidos después de 1976, por lo que es el grupo que presenta un mejor coeficiente de transmitancia global, con media en 0,93 W/m²K y un rango que

no excede los 1,33 W/m²K. Son principalmente edificios entre medianeras, con un bajo porcentaje de edificios aislados. Sus superficies totales van de 192m² a 5.675m², con media en 1.697m², y en viviendas de 24m² a 679m², con media en 159m². La cantidad de viviendas por conjunto va de 3 a 42 viviendas, con media en 11 y mediana en 10. Presentan valores especialmente bajos de consumo por vivienda, siendo la media 4.660 kWh/a, reflejándose esta situación en bajos valores de consumo por metro cuadrado, siendo la media de 27 kWh/m²a.

El **grupo 4** incluye 68 edificios que poseen la particularidad de ser todos ellos de grandes dimensiones, el rango va de 319 m² a 23.399 m² con media en 6.116 m². La cantidad de viviendas por edificio se encuentra en el rango de 3 a 80, con media en 24 y mediana en 19. Asimismo, las viviendas destacan por sus grandes dimensiones, con una media de 212m². Poseen un coeficiente de transmitancia muy variado, que va de 0,55 W/m²K a 3,63 W/m²K, pero una media general de 1,19 W/m²K. Sus valores de consumo por vivienda son de los más altos, con media de 7.506 kWh/a, pero con mejor posicionamiento en su consumo por unidad de superficie, siendo la media de 31 kWh/m²a, debido a sus grandes superficies.

La Tabla 13 muestra los valores de rango y medias obtenidos para cada grupo en las variables analizadas.

VARIABLES		GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
Cantidad de casos		149	162	120	68
Antigüedad	Media	1964	1970	1998	1999
	Rango	1950-1983	1950-2008	1976-2017	1975-2015
Tipo de construcción		Tipo 2 y Tipo 1	Tipo 2, Tipo 1, Tipo 3 y Tipo 4	Tipo 4 y Tipo 3	Tipo 4, Tipo 3, Tipo 2 y Tipo 1
Agrupamiento		70% medianeras – 30% aislados.	100% medianeras	80% medianeras – 20% aislados	100% aislados
Superficie total	Media	1.636 m ²	2.036 m ²	1.667 m ²	6.158 m ²
	Rango	231-8.168 m ²	126-23.399 m ²	192-5.675 m ²	319-23.206 m ²
Cantidad de viviendas	Media	10,8	11,9	10,6	24,1
	Mediana	9	11	10	18
	Rango	2-60	2-46	3-30	4-80
Superficie de la vivienda	Media	139 m ²	138 m ²	164 m ²	219 m ²
	Rango	36-509 m ²	27-324 m ²	48-679 m ²	24-564 m ²
Coeficiente de Transmisión global	Media	2,49 W/m ² K	1,54 W/m ² K	0,98 W/m ² K	0,97 W/m ² K
	Rango	0,90-3,86 W/m ² K	0,39-2,50 W/m ² K	0,69-2,89 W/m ² K	0,55-3,63 W/m ² K
Consumo anual del edificio	Media	62.110 kWh/a	98.527 kWh/a	36.677 kWh/a	139.352 kWh/a
	Rango	0-317.258 kWh/a	0 – 1.120.408 kWh/a	495-165.826 kWh/a	0 – 1.130.923 kWh/a
Consumo anual de la vivienda	Media	6.166 kWh/a	9.003 kWh/a	4.095 kWh/a	5.836 kWh/a
	Rango	0 – 34.771 kWh/a	0 – 82.341 kWh/a	82-33.001 kWh/a	0 – 26.926 kWh/a
Consumo anual por unidad de superficie	Media	43,0 kWh/m ² a	53,9 kWh/m ² a	26,5 kWh/m ² a	29,3 kWh/m ² a
	Rango	0 – 236 kWh/m ² a	0 – 284 kWh/m ² a	0 – 117 kWh/m ² a	0-217 kWh/m ² a

Tabla 13. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios plurifamiliares.
(Elaboración propia)

Dado que la división de edificios plurifamiliares en grupos depende numerosas variables al mismo tiempo, se utilizarán distintas gráficas relacionando variables para observar el distinto comportamiento que adopta cada grupo.

La primera de ellas (Figura 43) relaciona el año de construcción con el adosamiento y puede observarse como los grupos 1 y 2 se encuentran localizados mayoritariamente a la izquierda de 1980, es decir que fueron construidos antes de este año, mientras que los grupos 3 y 4 se encuentran a la derecha, por lo que corresponden a edificios más recientes. De la misma forma, el Grupo 1 reporta valores de menor adosamiento que el Grupo 2, y el Grupo 4 reporta un adosamiento nulo en todos sus casos.

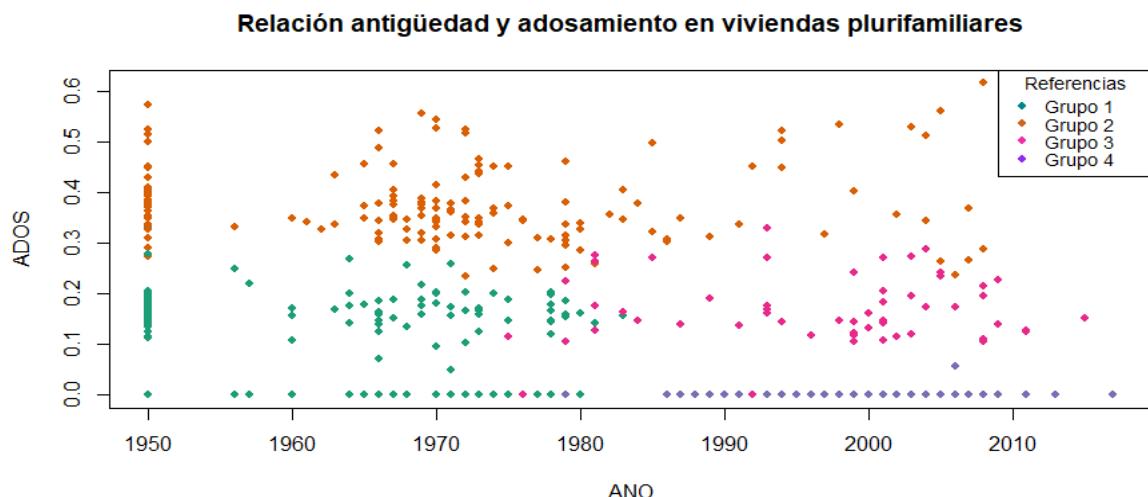


Figura 43. Relación del año de construcción con el adosamiento en edificios plurifamiliares según clúster.
(Elaboración propia)

Al igual que se realizó anteriormente para las viviendas unifamiliares, se evaluará la relación de la transmitancia térmica con el año de construcción (Figura 44) para verificar la relación entre las mismas. Puede observarse claramente la variación de transmitancia según la técnica constructiva correspondiente a la antigüedad del edificio. El Grupo 2 posee la particularidad de poseer una transmitancia menor que los casos correspondientes al mismo período normativo, situación que coincide con una mayor superficie de envolvente en contacto con edificaciones vecinas. Por el contrario, el Grupo 4 siempre se encuentra sobre los límites de mayor transmitancia de edificaciones en cada período, siendo dicho grupo completamente constituido por viviendas aisladas.

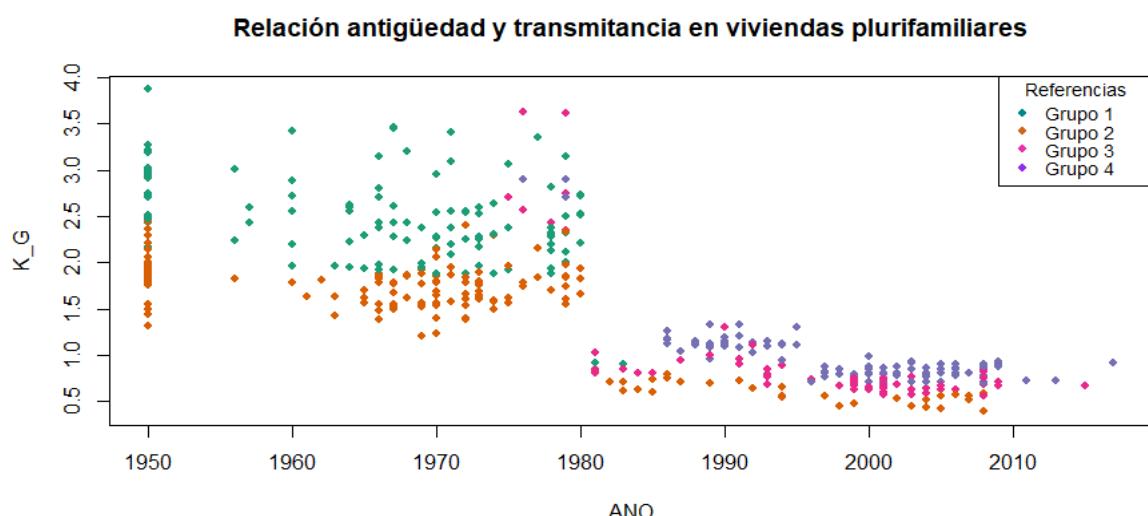
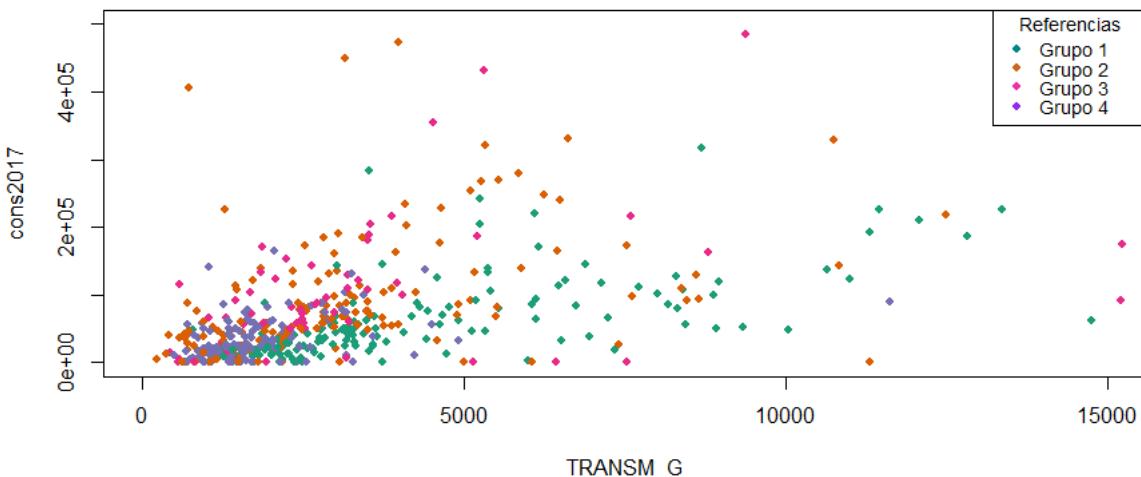


Figura 44. Relación del año de construcción con la transmitancia en edificios plurifamiliares según clúster.
(Elaboración propia)

Se comprobará la posible relación entre transmitancia térmica y consumo eléctrico para detectar si existe alguna relación entre ambas variables. La Figura 45 muestra que no existe una correspondencia entre los grupos y la distribución de los puntos de acuerdo a la relación entre estas variables, por lo que no se puede afirmar que la transmitancia afecte directamente al consumo del edificio, posiblemente por tratarse de consumo únicamente eléctrico.

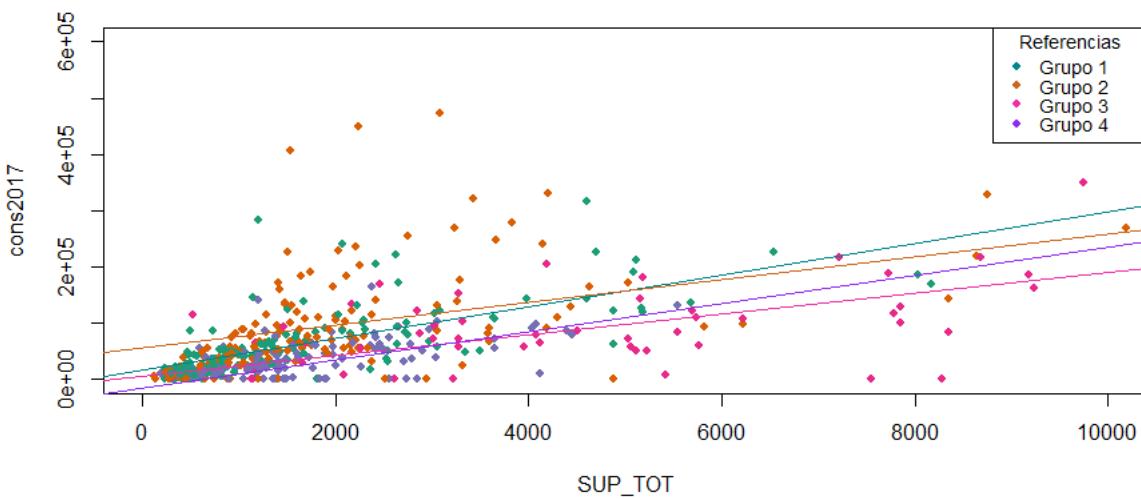
Relación transmitancia y consumo en viviendas plurifamiliares



*Figura 45. Relación de la transmitancia con el consumo eléctrico en edificios plurifamiliares según clúster.
(Elaboración propia)*

Existen otras variables claves para entender el comportamiento de los grupos, tal como la relación entre consumo anual y superficie total (Figura 46). Al graficar esta relación se ve que existen pendientes distintas según los grupos para esta relación, siendo los grupos 3 y 4 los que poseen menos pendiente y los grupos 1 y 2 quienes se encuentran por encima. Esta división se corresponde con división entre grupos de edificios de año de construcción más antiguos o recientes.

Relación superficie y consumo en viviendas plurifamiliares



*Figura 46. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en edificios plurifamiliares según clúster.
(Elaboración propia)*

Dado que cada uno de los edificios plurifamiliares se componen de un determinado número de viviendas, se cree necesario realizar un comparativa entre la superficie media y el consumo medio de electricidad según vivienda, para ver si los resultados son más concluyentes respecto a las tendencias. La Figura 47 muestra una mayor diferencia entre las pendientes de los grupos, siendo claramente el Grupo 2 el que posee un mayor consumo de energía por superficie de vivienda.

Relación superficie y consumo por vivienda edificios plurifamiliares

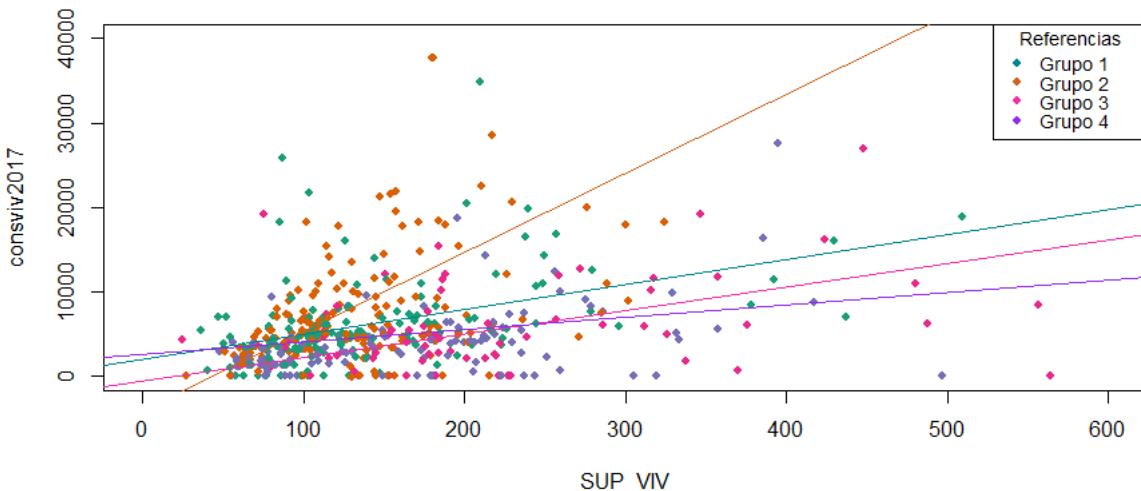


Figura 47. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en viviendas plurifamiliares según clúster.
(Elaboración propia)

Tal como puede observarse en la Figura 48, los edificios del grupo 1, 2 y 4 se encuentran en la parte más compacta de la ciudad, destacando el Grupo 2 por sus grandes dimensiones. Las viviendas del Grupo 3 se ubican en sectores de la periferia de la ciudad, en barrios aislados o la ladera de las montañas.

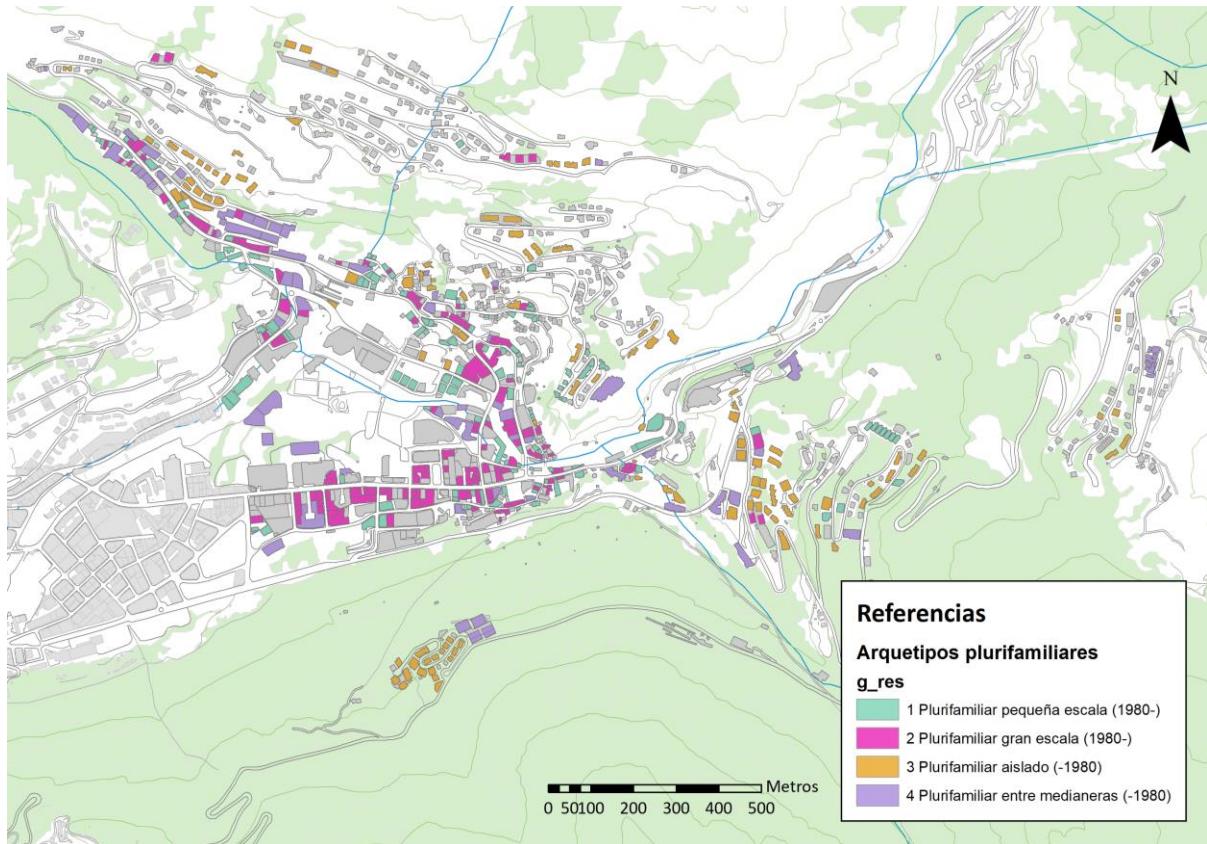
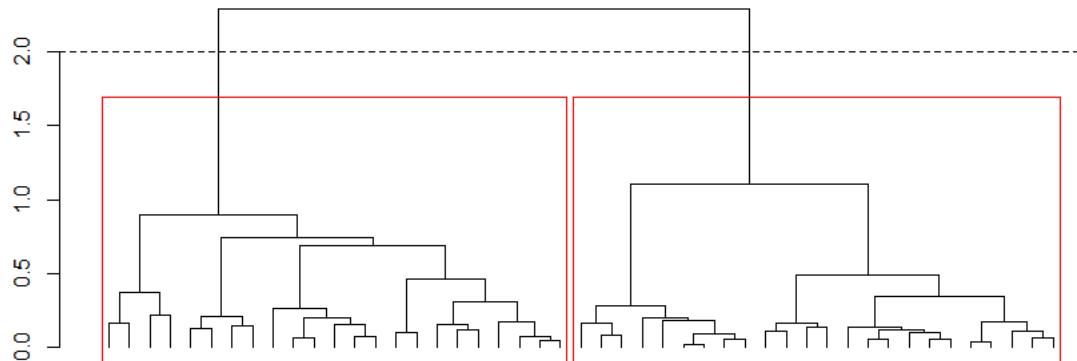


Figura 48. Distribución geográfica de las viviendas plurifamiliares según grupo de pertenencia.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)

5.2. Alojamiento

Existen 47 edificios catalogados como alojamientos, sin hacer distinciones del tipo de denominación del mismo (hotel, apart hotel, hostel, pensión, etc.) o el tipo de servicios ofrecidos por el mismo. Al

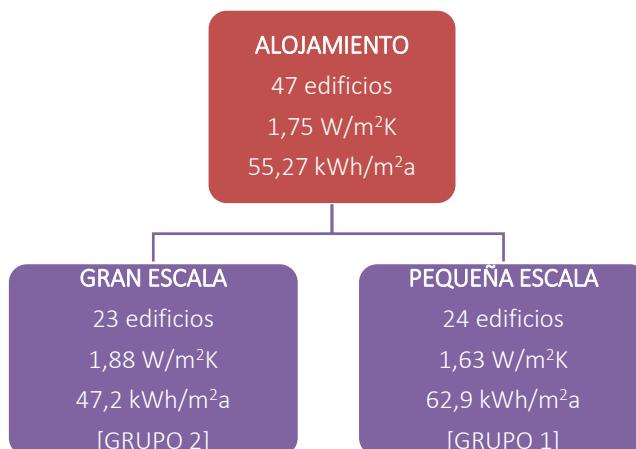
aplicar la metodología de agrupación jerárquica, se obtiene un dendrograma (Figura 49) en el que se observa una división inicial que da como resultado dos ramas que luego continúan subdividiéndose. Dado el acotado número de casos de este uso y la clara distancia de esta primera división, se contemplará un corte a dicha altura, resultando en dos grandes grupos de dimensiones similares.



*Figura 49. Dendrograma resultante de la aplicación del método de clúster jerárquico al uso de alojamiento.
(Elaboración propia)*

Se realizará un estudio de las variables principales para determinar las diferencias existentes entre los casos de ambos grupos. El mismo se encuentra como ANEXO VI al final de este documento.

El análisis realizado otorga una mayor comprensión de los grupos, haciendo posible una aproximación a las divisiones observadas en el dendrograma, estableciendo la variable principal que determina la división y los valores medios en cada instancia, como es representado en la Figura 50.



*Figura 50. Descriptiva de la división de grupos de alojamiento en el dendrograma.
(Elaboración propia)*

La aplicación de la metodología de formación de clúster a través del método jerárquico en edificios de alojamientos, como se afirmó anteriormente, determinó la existencia de dos grupos: el Grupo 1 y el Grupo 2.

El **Grupo 1** se encuentra conformado por 24 edificios, todos ellos agrupados en la modalidad de edificio entre medianeras. Su superficie característica va desde los 200m² a los 4800m², con una media de 1386m². Su coeficiente de transmisión global posee una gran amplitud, variando entre 0,47 W/m²K y 3,03 W/m²K. Su consumo alcanza valores de hasta 600.000 kWh/a, con una media de 115.000 kWh/a, lo que resulta en un valor medio de consumo por unidad de superficie de 63 kWh/m²a.

El **Grupo 2** incluye 23 edificios, la mitad de ellos entre medianeras y la otra mitad aislados. Poseen superficie de grandes dimensiones con valores entre 2.000m² y 51.000m², siendo la media de 11.205m². Su coeficiente de transmisión global medio es de 1,88 W/m²K y su rango de variabilidad va

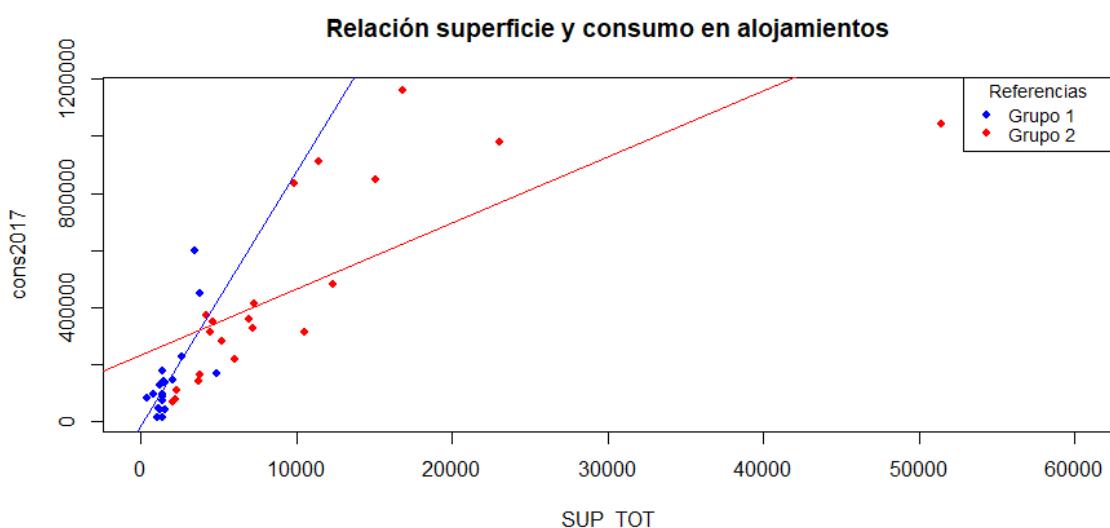
de 0,81 W/m²K a 3,74 W/m²K, valores similares a los encontrados en el primer grupo. Su consumo total anual va en concordancia con sus grandes superficies, con valores de hasta 1.150.000 kWh/a, pero con una media superficial por debajo de la del grupo anterior, en 45 kWh/m²a por metro cuadrado.

La Tabla 14 ilustra los valores observados en las distintas variables para los grupos.

		GRUPO 1	GRUPO 2
Cantidad de casos		24	23
Antigüedad	Media	1968	1978
	Rango	1950-2004	1948-2008
Tipo de construcción		Tipo 2, Tipo 1 , Tipo 3 y Tipo 4	Tipo 2, Tipo 3, Tipo 1 y Tipo 4
Agrupamiento		100% medianeras	50% medianeras, 50% aislado
Superficie total	Media	1.386 m ²	11.205 m ²
	Rango	212-4.867m ²	2.031-51.466m ²
Coef. Transmitancia Global	Media	1,78 W/m ² K	1,88 W/m ² K
	Rango	0,47-3,03 W/m ² K	0,81-3,74 W/m ² K
Consumo anual	Media	115.704 kWh/a	425.115 kWh/a
	Rango	0 – 600.628 kWh/a	0 – 1.158.866 kWh/a
Consumo/m ² anual	Media	63 kWh/m ² a	45 kWh/m ² a
	Rango	0 – 190 kWh/m ² a	0 – 88 kWh/m ² a

*Tabla 14. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios de alojamiento.
(Elaboración propia)*

Como se estableció anteriormente en el apartado metodológico, la eficiencia del consumo en hoteles se medirá a través de la relación de la superficie del edificio con el consumo anual. La Figura 51 muestra cómo el consumo de los edificios del Grupo 1 resulta más intensivo por unidad de superficie, pero con unas dimensiones superficiales más limitadas. La relación que se da en el Grupo 2 posee una gran variabilidad, con consumos muy por encima y muy por debajo de la línea de regresión, destacando la presencia de valores extremos que distorsionan la predicción.



*Figura 51. Relación entre superficie y consumo anual para edificios de alojamiento según clúster.
(Elaboración propia)*

En la Figura 52 puede corroborarse que los alojamientos que poseen grandes superficies totales generalmente poseen grandes huellas urbanas. La ubicación de los mismos responde a zonas centrales o muy bien conectadas.

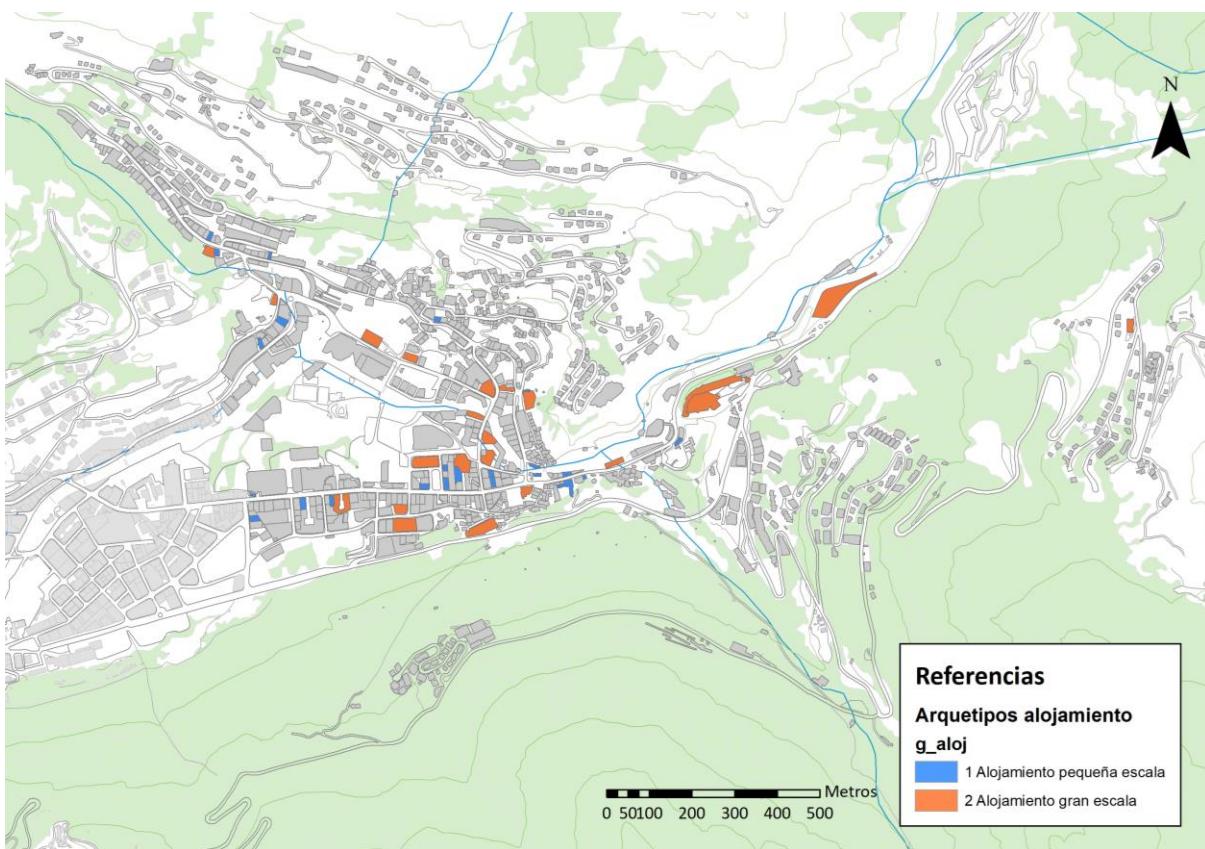


Figura 52. Distribución geográfica de los alojamientos según grupo de pertenencia.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)

5.3. Comercial

Existen 346 edificios de uso comercial, dentro de los cuales sólo 54 de ellos poseen este uso en la totalidad de la superficie útil y 292 comparten superficies con otros usos. Dada la diversidad de rubros catalogados bajo el rótulo de “comercial”, este uso posee una gran variedad de actividades que originan consumo, siendo las fundamentales la energía consumida para calefacción de locales, enfriamiento de locales y ventilación, calentamiento de agua, iluminación, electrodomésticos comerciales, equipamiento de oficina, etc.

El dendrograma resultante de la aplicación de la metodología (Figura 53) muestra 4 divisiones principales que poseen una gran distancia con las subdivisiones posteriores, lo que resulta en la definición de 4 clúster diferenciados.

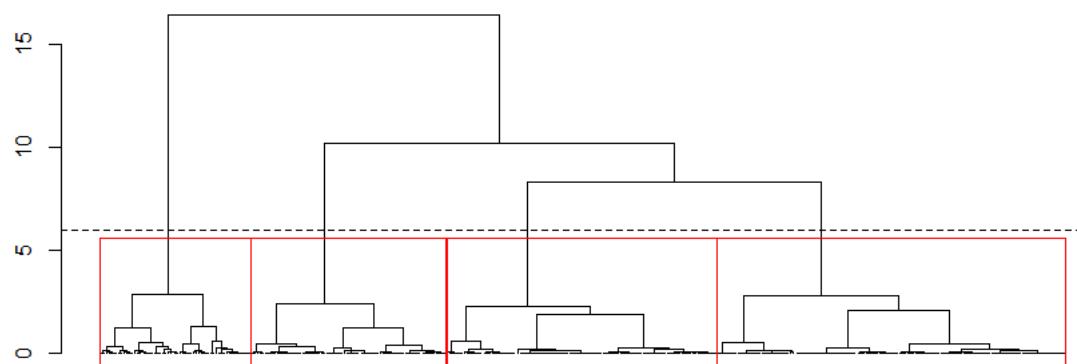
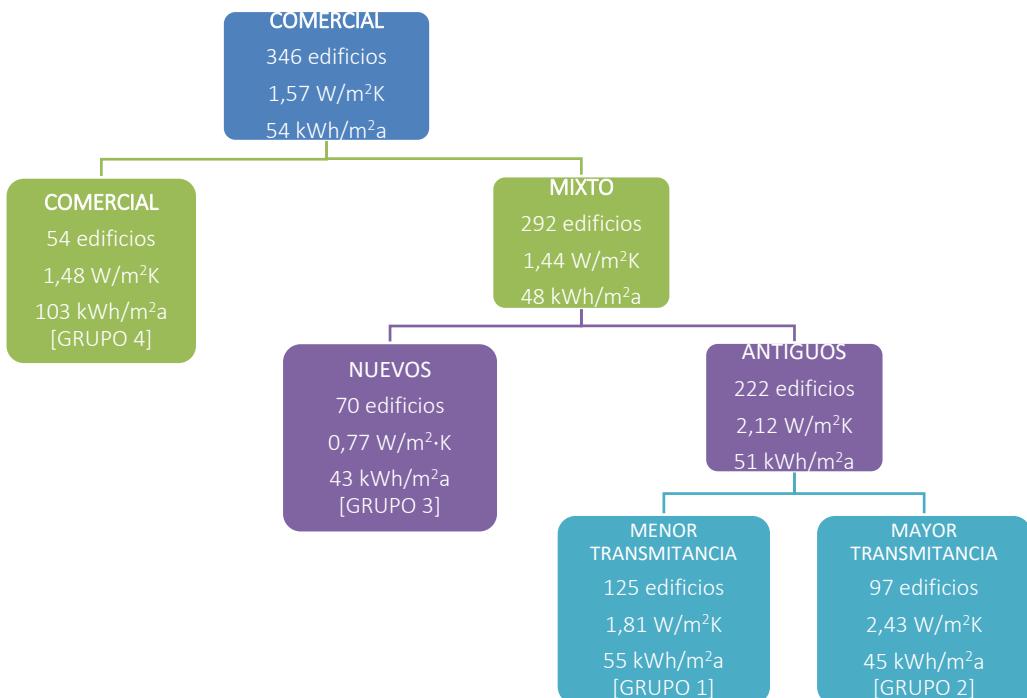


Figura 53. Dendrograma resultante de la aplicación del método de clúster jerárquico al uso de alojamiento.
(Elaboración propia)

Se realizará un análisis de las variables principales para identificar el criterio de subdivisión de las distintas ramas del dendrograma y, de esta forma, caracterizar los grupos. El mismo puede encontrarse en el ANEXO VII.



*Figura 54. Descriptiva de la división de grupos residenciales en el dendrograma.
(Elaboración propia)*

Como se especificó anteriormente, el método estableció la existencia de 4 grupos bien delimitados dentro de los usos comerciales, que se procederá a caracterizar.

El **Grupo 1** contiene 125 casos, siendo el más numeroso de los grupos, en los que la totalidad corresponden a usos mixtos, compartido mayoritariamente con usos residenciales. Estos comercios se encuentran en edificios que fueron construidos antes de 1980 y pertenecen a la modalidad de agrupación entre medianeras. Las superficies destinadas a comercio van de 25 m² a 13.500 m², siendo la media de 577 m². El coeficiente de transmitancia de los edificios que los contienen tiene una media de 1,81 W/m²K y un consumo medio por unidad de superficie de 55 kWh/m²a.

El **Grupo 2** contiene 97 casos y muestra características similares al Grupo 1 en lo que respecta a año de construcción y superficie destinada a comercio dentro de los usos del edificio. Posee un cuarto de su totalidad de edificios que se encuentran aislados, a diferencia del grupo anterior, y sus propiedades térmicas contemplan valores más elevados, con una media de 2,43 W/m²K. Los valores medios observados por unidad de superficie son de 45 kWh/m²a.

El **Grupo 3** cuenta con 70 casos y, al igual que los grupos anteriores, pertenece a edificios de uso mixto, pero su año de construcción es posterior a 1980. Esto le confiere propiedades térmicas en mejores condiciones que los anteriores casos analizados, debido a un cambio de los requerimientos normativos, por lo que su media de coeficiente de transmitancia global es de 0,77 W/m²K. Estos edificios reportan un consumo por unidad de superficie levemente menor a los registrados por el Grupo 2, con 43 kWh/m²a.

El **Grupo 4** resulta el más disímil de la clasificación ya que corresponde a los edificios cuyo uso es enteramente comercial, contando con 54 casos que cumplen esta característica. Su año de construcción cubre todo el rango indistintamente, y en él se pueden encontrar tanto edificios entre

medianeras (60%) como aislados (40%). Las superficies destinadas a usos comerciales alcanzan valores de hasta 7.900m², pero con una media similar a los dos primeros grupos. Su coeficiente de transmitancia varía en gran medida debido a la multiplicidad de situaciones que son agrupadas en esta categoría, reportando valores entre 0,46 W/m²K y 3,53 W/m²K. Su consumo por unidad de superficie resulta llamativo, ya que alcanza valores de hasta 1.384 kWh/m²a, marcando una media de 103 kWh/m²a, duplicando los valores encontrados en los otros grupos.

En la Tabla 15 puede observarse un resumen de los valores reportados en las distintas variables por los grupos anteriormente descriptos.

		GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
Cantidad de casos		125	97	70	54
Uso unidad catastral		100% Mixto	100% Mixto	100% Mixto	100% Comercial
Uso principal		89% Residencial 11% Alojamiento	85% Residencial 14% Alojamiento 1% Aparcamiento	85% Residencial 14% Alojamiento 1% Aparcamiento	100% Comercial
Antigüedad	Media	1964	1964	1995	1980
	Rango	1950-1980	1948-1980	1981-2009	1950-2015
Tipo de construcción		Tipo 2, Tipo 1	Tipo 2, Tipo 1	Tipo 3, Tipo 4	Tipo 2, Tipo 3, Tipo 1, Tipo 4
Agrupamiento		100% medianeras	75% medianeras 25% aislado	75% medianeras 25% aislado	40% aislado 60% medianeras
Superficie comercial	Media	577 m ²	438 m ²	958 m ²	438 m ²
	Rango	27-13.649 m ²	16-7.921 m ²	30-17.155 m ²	16-7.921 m ²
Coef. Transm. Global	Media	1,81 W/m ² K	2,43 W/m ² K	0,77 W/m ² K	1,54 W/m ² K
	Rango	1,16-2,72 W/m ² K	0-3,74 W/m ² K	0-1,29 W/m ² K	0,46-3,53 W/m ² K
Consumo/m² anual	Media	55 kWh/m ² a	45 kWh/m ² a	43 kWh/m ² a	103 kWh/m ² .a
	Rango	0 – 200 kWh/m ² a	0 – 236 kWh/m ² a	0-284 kWh/m ² a	0-1.384 kWh/m ² a

*Tabla 15. Rangos y medias de las variables en los grupos de edificios comerciales.
(Elaboración propia)*

Anteriormente se ha determinado que para evaluar este tipo de uso se utilizaría el mismo criterio que para los usos anteriores, por lo que se hará un análisis basado en la relación entre superficie y consumo, con base en el año 2017. Dado que la gran mayoría de los usos comerciales comparten edificio con otros usos y que los datos de consumo eléctrico con los que se cuenta están agregados, se simplificará el cálculo para el análisis creando una nueva variable llamada “consumo comercial 2017”, obtenida a partir de la multiplicación de la superficie comercial y el consumo superficial del edificio. La Figura 55 ilustra esta relación y en ella pueden observarse en líneas de regresión las distintas proyecciones de consumo características de cada grupo.

El Grupo 4 destaca por su gran pendiente, recordando que el mismo se encuentra conformado por los edificios que no comparten superficie con otros usos. El resto de los grupos poseen pendientes muy próximas, siendo el Grupo 1 el con mayor consumo por unidad de superficie, seguido por el Grupo 3 y finalmente el 2.

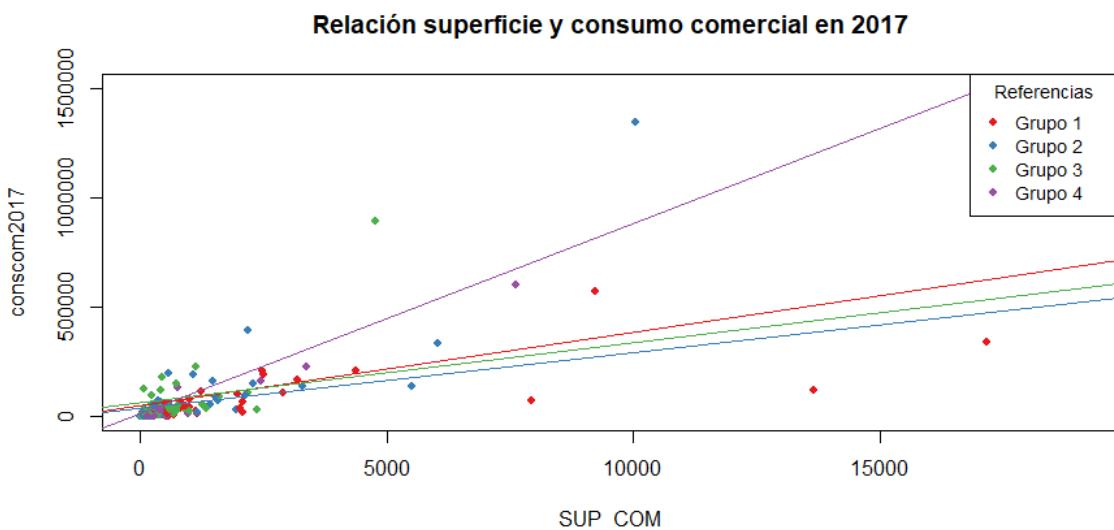


Figura 55. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en usos comerciales según clúster.
(Elaboración propia)

En la Figura 56 puede observarse la posición que ocupan los edificios comerciales o mixtos con componente comercial en el territorio. Al igual que los alojamientos, su presencia en la ciudad responde a sectores centrales o lugares bien conectados por la facilidad de acceso a los mismos.

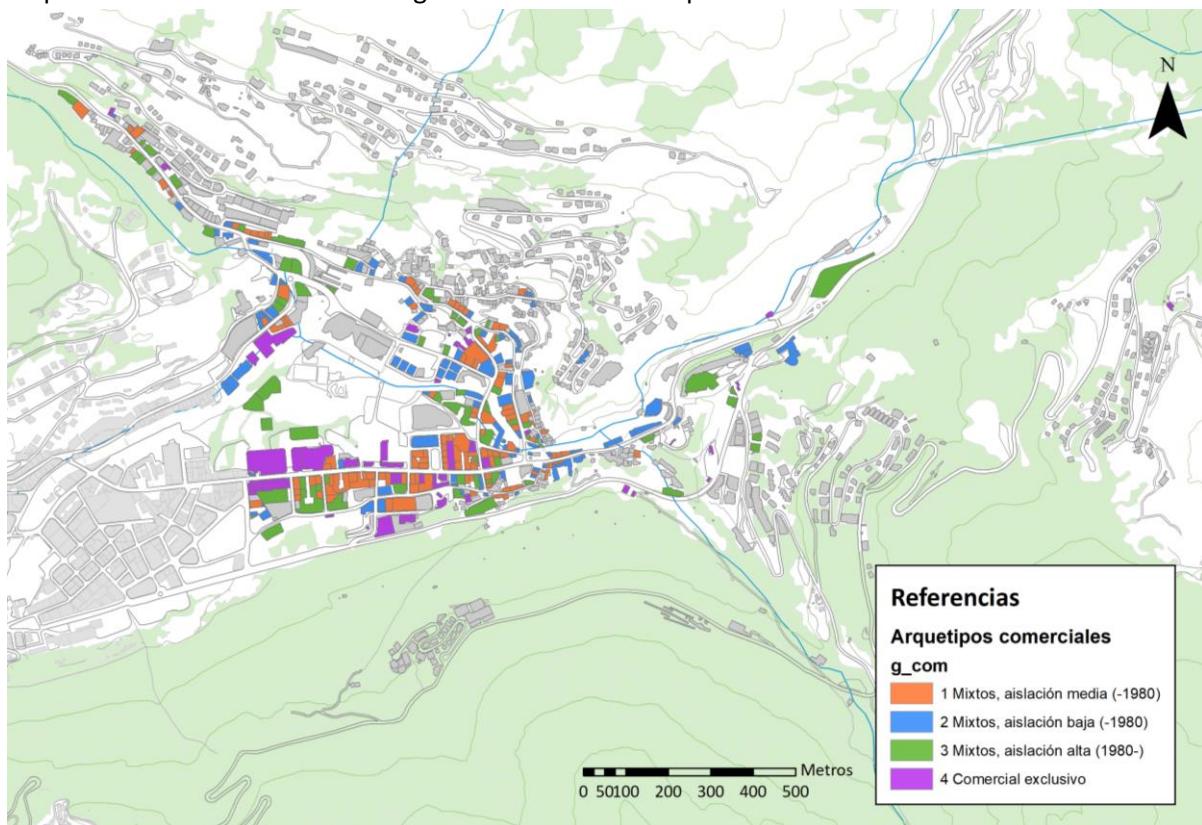


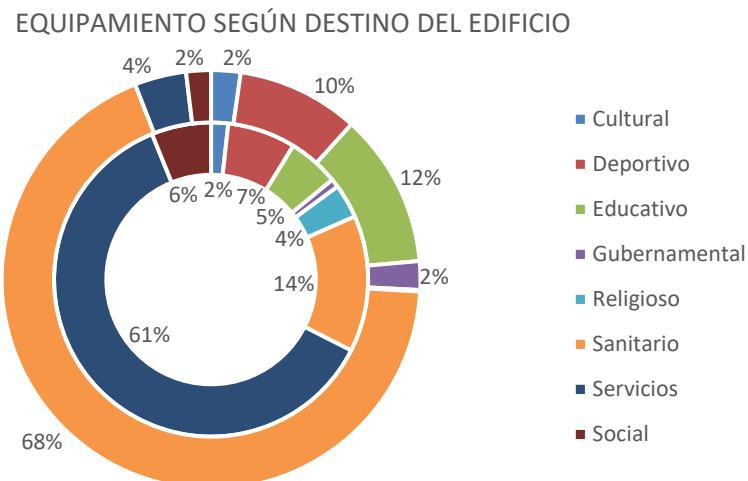
Figura 56. Distribución geográfica de los edificios comerciales según grupo de pertenencia.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)

5.4. Equipamientos

El término equipamiento está relacionado al uso de suelo para fines colectivos o institucionales, pudiendo ser públicos o privados. Estos bienes, de utilidad pública, se encuentran destinados a la prestación de servicios necesarios al funcionamiento de la ciudad que puede ser de carácter educativo, sanitario, religioso, cultural, gubernamental, deportivo, social, etc. Según los fines particulares del

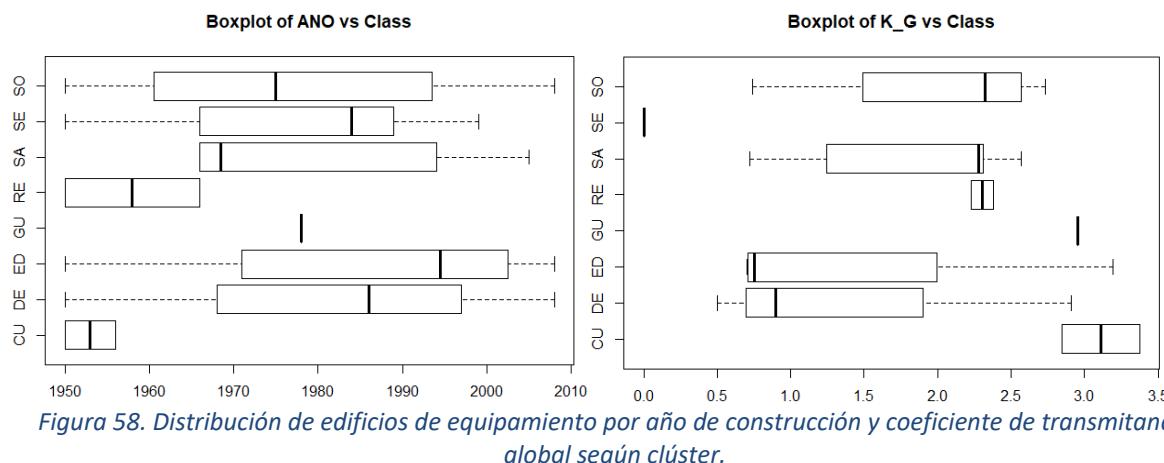
edificio, la demanda energética varía tanto en intensidad como en horas de uso. Por este motivo, no se considera apropiado intentar de formar clúster de esta categoría por lo particular de cada uno de sus casos, por lo que se procederá a una descriptiva del comportamiento de los casos según las distintas variables para un mejor conocimiento de la situación. Sin embargo, se mantendrán delimitados los equipamientos según el área al que pertenece cada uno de los edificios.

Existen 115 edificios correspondientes al uso equipamiento, que se distribuyen en 8 usos principales. El 68% del consumo es generado por el 14% de los edificios, correspondientes al rubro sanitario que incluye hospitales, clínicas, lavabos y dependencias del cementerio. Los siguientes rubros en orden de participación son el educativo, con 12% del consumo, y el deportivo, con 10% del consumo. El resto de los rubros resultan menores, con porcentajes que no alcanzan el 5% del consumo total.



*Figura 57. Distribución según destino del edificio de equipamiento.
En kWh/año (anilla exterior) y cantidad de edificios (anilla interior).
(Elaboración propia con datos de Comú d'Escaldes Engordany, 2017)*

El análisis de la antigüedad de los edificios de equipamientos (Figura 58) muestra que algunos rubros como el cultural (CU), el sanitario (SA) y el social (SO) poseen una media anterior a 1980. Esto llevaría a pensar que las propiedades térmicas de su envolvente no serían las adecuadas para hacer un uso eficiente de la energía, situación que podría encontrarse actualmente subsanada a través de una rehabilitación edilicia. Dado que no existen datos sobre este tipo de acciones, se recomienda un estudio más detallado de los edificios en cuestión, privilegiando aquellos que presentan los mayores consumos energéticos.



*Figura 58. Distribución de edificios de equipamiento por año de construcción y coeficiente de transmitancia global según clúster.
(Elaboración propia)*

Si trazamos gráficamente la relación existente entre la superficie y el consumo, los resultados deben ser plasmados en una escala logarítmica por las grandes diferencias que existen entre los distintos equipamientos. Asimismo, los datos existentes de consumo de los mismos no permiten realizar regresiones que ilustren la pendiente de consumo debido a que no existe suficiente cantidad de casos de cada rubro como para poder analizarlo.

Relación superficie y consumo en equipamientos en 2017

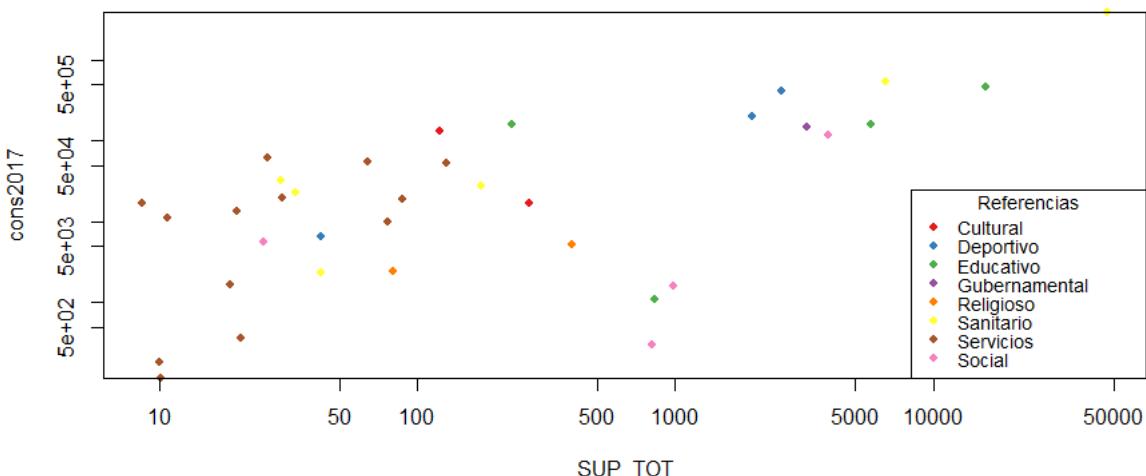


Figura 59. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en equipamientos según rubro.
(Elaboración propia)

Las numerosas dificultades que presenta el aplicar un tratamiento de datos según criterios generales en edificios con lógicas tan particulares como son los equipamientos, sugiere la necesidad de un tratamiento distinto para estos casos. En respuesta a esto, el tipo de gráfica a utilizar debería permitir identificar individualmente los edificios que poseen altos consumos para estratégicamente tomar medidas sobre los mismos. La Figura 60 muestra que el edificio identificado catastralmente como 701-798 posee un gran consumo, muy por encima del resto. Este edificio corresponde al Hospital Nostra Senyora de Meritxell, por lo que el consumo es una característica particular del tipo e intensidad de las actividades que se desempeñan en el mismo. Los tres edificios que aparecen seguidamente con consumos considerables son 700-671, correspondiente a Clínica Nostra Senyora de Meritxell, el 700-988, correspondiente a las Piscines Comunals Plaça Creu Blanca, y el 701-802, correspondiente a una escuela.

CONSUMO DE EDIFICIOS DE EQUIPAMIENTO EN 2017

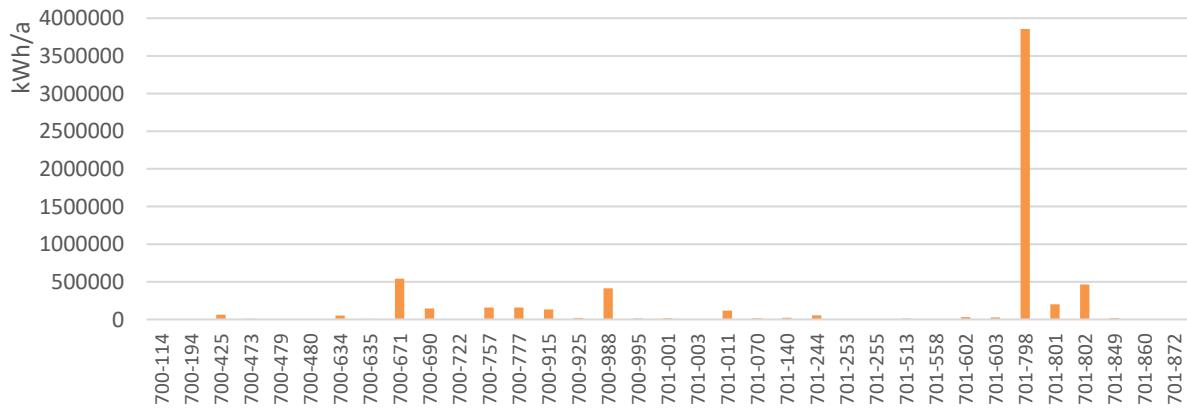


Figura 60. Consumo de edificios de equipamiento en 2017.
(Elaboración propia)

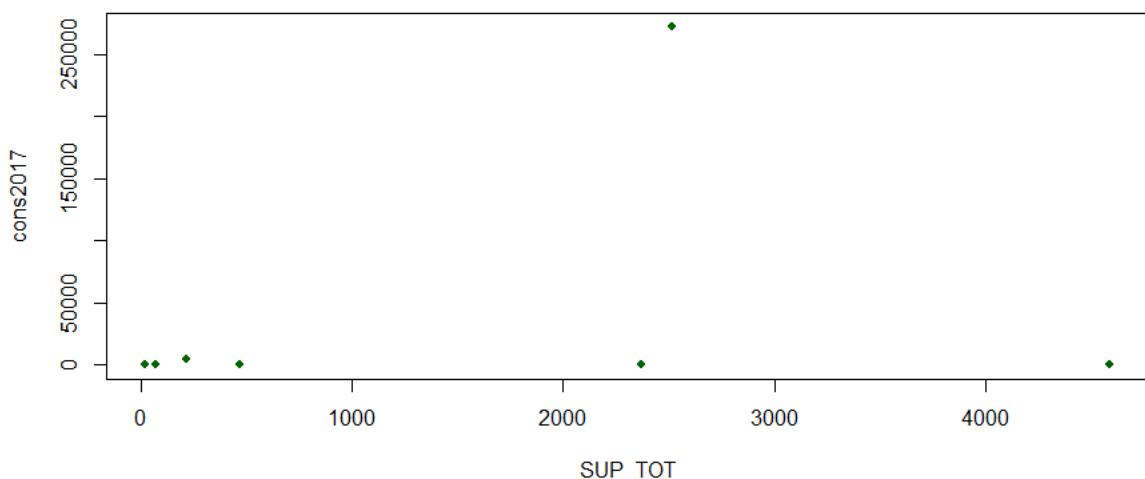
5.5. Industrial

El sector industrial es heterogéneo y de gran complejidad. No existe una definición única respecto a que se incluye o no dentro de este sector. Asimismo, las clasificaciones de las actividades (valor económico añadido o índice de producción física) no necesariamente concuerdan de forma directa con la asignación del consumo energético. En general, el sector industrial incluye la manufactura de bienes y productos, minería y extracción de materias primas, y la construcción.

Como ha sido detallado anteriormente en la descriptiva del caso de estudio, la industria de Andorra es de carácter incipiente, es decir, no se encuentra muy desarrollada. La parroquia de Escaldes-Engordany no es una excepción, por lo que dentro de sus límites administrativos sólo pueden computarse 8 industrias, todas ellas ubicadas en las afueras de la ciudad.

El análisis de la relación entre superficie y consumo en industrias Figura 61 revela la inexistencia de datos de consumo en 5 de los 8 casos por dificultades de realizar la correspondencia entre los datos del Comú y los datos de la compañía eléctrica. Por otro lado, muestra un caso que posee un gran consumo, que debería ser abordado individualmente y establecer una evaluación de eficiencia en el uso de la energía.

Relación superficie y consumo en edificios industriales en 2017



*Figura 61. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en equipamientos según rubro.
(Elaboración propia)*

5.6. Almacenamiento/aparcamiento

Se han agrupado las categorías almacenamiento y aparcamiento ya que poseen un uso común: almacenar bienes. Estos edificios poseen la particularidad de, en la mayoría de los casos, no necesitar una climatización que mantenga el confort térmico interior ya que no constituyen edificios habitables, es decir, con una permanencia prolongada de personas en su interior.

Existen 86 edificios catalogados de esta forma, dentro de los cuales 40 sirven de almacenamiento sin especificaciones y 46 para el almacenamiento de coches.

El análisis de la relación entre superficie y consumo eléctrico muestra que de los 86 edificios, sólo ha sido establecida la correspondencia entre denominación del catastro y de la empresa eléctrica en 29 de ellos, que son los representados en la Figura 62. En la misma puede verse cómo ambos rubros se distribuyen sin diferenciarse.

Relación superficie y consumo en almacenamiento en 2017

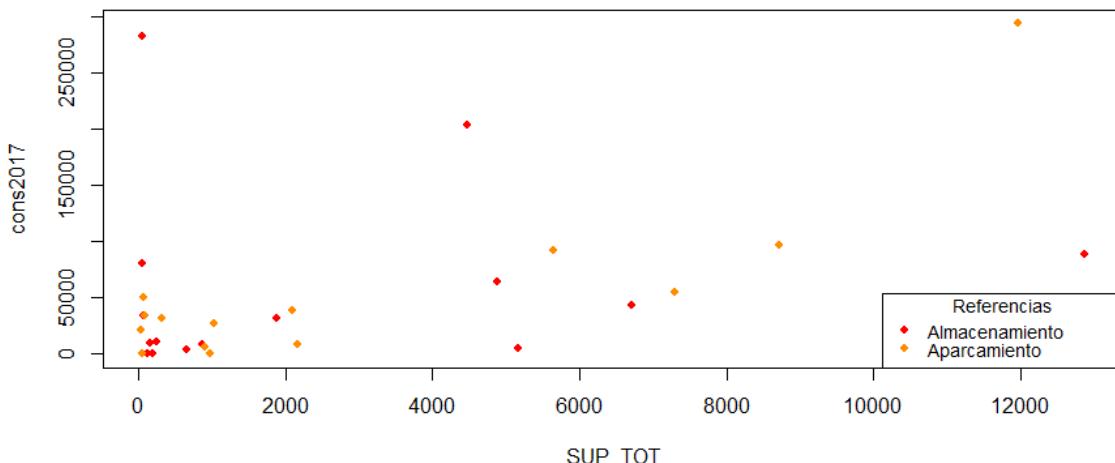


Figura 62. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en edificios de almacenamiento según uso.
(Elaboración propia)

5.7. Agrícola

Los edificios catalogados como “agrícola” responde a construcciones que sirven a usos agrícolas, tales como almacenes de herramientas, granos, animales, cobertizos, etc.

En el caso de estudio se 127 casos bajo esta denominación, la mayor parte de ellos dependiendo de otras edificaciones con que comparten el lote, generalmente viviendas. Al tratarse de un rubro de características casi rurales, se cuenta con muy pocos datos al respecto. De los 127 edificios, sólo 14 cuentan con datos de consumo eléctrico. Esto puede deberse a la dificultad de correspondencia de datos o a que simplemente no cuentan con conexión eléctrica.

El análisis de la relación entre superficie (Figura 63) y consumo no aporta datos sustanciales, ya que no da cuenta de las actividades que se realizan en estos recintos ni puede observarse una tendencia clara de incremento de consumo al incrementarse la superficie.

Relación superficie y consumo en edificios agrícolas en 2017

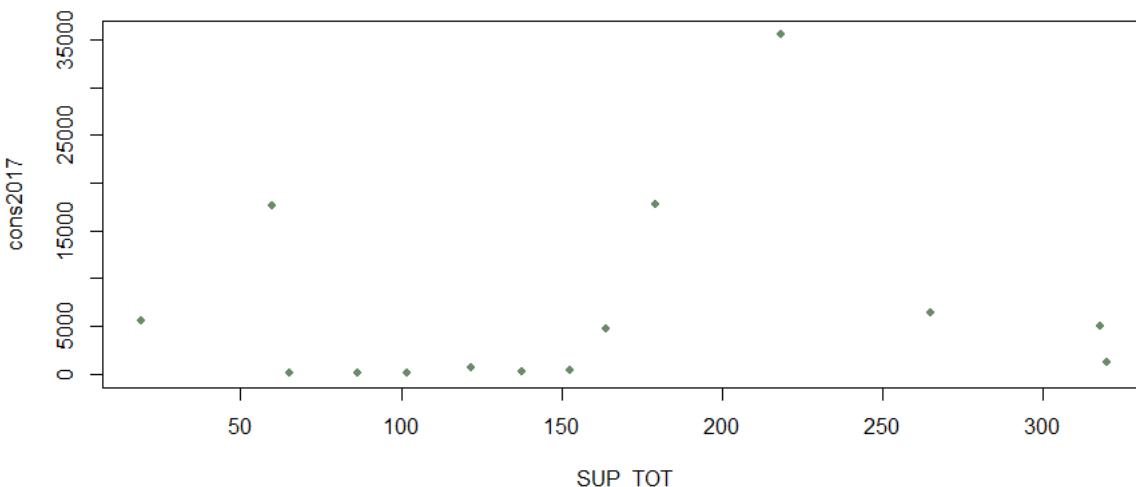


Figura 63. Relación de la superficie con el consumo eléctrico en edificios agrícolas según uso.
(Elaboración propia)

6. Discusión

Recordando que el objetivo del trabajo se encuentra orientado a generar nuevas herramientas para la toma de decisiones, resulta necesario revisar tanto las posibilidades de utilizar y replicar la metodología como los resultados de la misma, su correspondencia con la realidad y su utilidad para los tomadores de decisiones.

Teniendo en cuenta la metodología resulta de una amplia trayectoria de intentar abordar las dimensiones de la estructura construida de las ciudades, lo primero que se hará será realizar una comparativa entre el nuevo método propuesto y el existente, representado por la aplicación de la metodología del proyecto TABULA en territorio andorrano.

Seguidamente, se elaborará un diagnóstico del parque edificatorio de Escaldes-Engordany con el fin de tener un panorama general a partir de los datos obtenidos. A partir de la misma, se debería poder identificar claramente los sectores de edificios con características más desfavorables, mayor impacto en el consumo, etc.

Finalmente, se hará una reflexión entre los resultados obtenidos y la posibilidad de construir un modelo de consumo energético, que permita evaluar la implementación de políticas y predecir la respuesta del parque de edificios ante las mismas.

6.1. Comparativa con métodos anteriores

Con el fin de considerar sistemáticamente el método, se apelará a analizar cada una de sus partes: en un primer momento, los *inputs* en forma de variables analizadas; seguidamente se evaluarán los criterios y métodos de la estandarización de datos y su procesamiento; para culminar analizando los resultados obtenidos en ambos casos. Como antecedente inmediato sobre el mismo caso de estudio, existe un trabajo de investigación titulado “Cambio climático y consumo energético del parque edificatorio en Andorra: el caso de Escaldes-Engordany”, que corresponde a una publicación de trabajo de fin de máster (Borges Martins, 2016).

Este trabajo trabaja con una metodología bottom-up, basada en la propuesta en el proyecto TABULA por la UE, cuyo objetivo era crear tipologías nacionales de edificios que clasifiquen de manera esquemática los mismos a partir de sus dimensiones, año de construcción, etc. Se procede de esta forma a catalogar a través de una matriz de doble entrada el stock edilicio según su uso, agrupación y técnica constructiva, de acuerdo al año en que fue construido. La forma de representar los grupos es a partir de un edificio tipo que resulta representativo de las características propias de la tipología.

6.1.1. Variables de ingreso

El análisis de *inputs* considerados en ambas metodologías será evaluado de manera organizada a través de la Tabla 16 que ilustra qué variables de ingreso han sido consideradas en cada caso.

Del análisis de *inputs* se puede establecer que la propuesta de la Metodología 2 resulta más robusta en cuanto a especificaciones del parque de edificios, por lo que completa algunos aspectos que anteriormente no habían sido considerados.

Considerando las variables identificadoras, se realiza una mejora que permite cruzar los datos recolectados del parque edificatorio con las nomenclaturas propias del ayuntamiento, a través de la identificación catastral, o de la compañía eléctrica, a través del número de contrato. Esto permite tener pleno conocimiento de qué edificio se trata sin tener que recurrir a sistemas de información geográfica o coordenadas.

Las variables formales tienen una misma base en ambos métodos, a partir de la obtención de datos por medio de *shapefiles* del Comú. Esto produce cierta imprecisión en cuanto a los metros cuadrados útiles del edificio, que terminan siendo sobredimensionados al considerar una planta única que se

repite en altura según el número de plantas. Para poder subsanar esta problemática sería necesario contar con datos más certeros de superficie útil según usos de cada uno de los edificios. Respecto al resto de los datos en esta sección, se considera que el poseer nuevos datos facilitados por el Comú contribuye a la precisión del modelo. La destilación de datos a través de otros existentes contribuye a precisar cómo son los edificios o por qué se comportan de determinada forma.

Las variables urbanísticas se concentran en los usos específicos y la agrupación de los edificios, ambas metodologías dan cuenta de ello, existiendo poca distancia entre la forma de trabajar de ambos métodos. La diferencia más sobresaliente es el desdoblamiento de los usos para dar lugar a incluir edificios mixtos dentro del análisis, pudiendo evaluarse más de un uso por edificio.

Las cuestiones constructivas y técnicas presentan un caso similar en cuanto a la fuente de obtención de datos, ambas metodologías dan por válida la clasificación tipológica realizadas por el COAA (COAA, 2012) por no existir datos más específicos sobre la forma en que se encuentran construidas las viviendas y los materiales utilizados por las mismas. La Metodología 2 intenta un acercamiento con la aplicación del método de *Building Energy Model* para edificios individuales, que consiste en evaluar las propiedades térmicas del edificio cruzando datos materiales, superficiales y volumétricos del edificio. Esta metodología es utilizada exitosamente para el etiquetado edificatorio, pero en el presente caso no termina de completarse por desconocimiento de algunos datos o la generalización de otros. De todas formas, el cálculo del coeficiente de transmitancia global (K) permite una primera noción de las propiedades térmicas de cada caso particular.

La gran innovación en *inputs* de la Metodología 2 respecto a la Metodología 1 se da en el área de la información energética que se tiene de los edificios. Incluir datos reales de consumo permite tener un mejor conocimiento de la diferencia de comportamiento que se da dentro de los edificios. Esto permite distinguir a los edificios no sólo a partir de las propiedades del edificio, sino también a través de sus ocupantes. Debe volver a mencionarse que los datos energéticos disponibles sólo son eléctricos, por lo que para completar el panorama de consumo energético de los edificios faltaría incluir el uso de hidrocarburos, principal combustible utilizado para calefacción.

Tipo de variables	METODOLOGÍA 1 (basado en proyecto TABULA)	METODOLOGÍA 2 (propuesta en este documento)
Identificadoras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordenadas ▪ Numeración propia del trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordenadas ▪ Identificación catastral ▪ Referencia ▪ Dirección postal ▪ Número de contrato servicio eléctrico
Formales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie del edificio en planta (*) ▪ Superficie total del edificio (*) ▪ Número de plantas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie del edificio en planta (*) ▪ Superficie total del edificio (*) ▪ Perímetro (*) ▪ Número de plantas totales ▪ Número de plantas sobre rasante ▪ Número de plantas bajo rasante ▪ Superficie residencial (*) ▪ Cantidad de viviendas ▪ Superficie de la vivienda (*) ▪ Superficie de alojamiento (*) ▪ Compacidad (*) ▪ Ebeltez (*) ▪ Asentamiento (*) ▪ Adosamiento (*) ▪ Perforación (*, ***) ▪ Superficie de envolvente (*)

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie de pared (*) ▪ Superficie adosada (*) ▪ Superficie asentada (*) ▪ Superficie de cubierta (*) ▪ Superficie de aberturas (*)
Urbanísticas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de las plantas ▪ Agrupamiento del edificio (**) ▪ Cantidad de medianeras compartidas (**) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de la unidad catastral ▪ Uso principal ▪ Uso secundario ▪ Agrupamiento del edificio (**) ▪ Cantidad de medianeras compartidas (**)
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Año de construcción ▪ Tipología constructiva (***) ▪ Transmitancia térmica paredes (***) ▪ Transmitancia térmica cubiertas (***) ▪ Transmitancia térmica aberturas (***) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Año de construcción ▪ Tipología constructiva (***) ▪ Transmitancia térmica paredes (***) ▪ Transmitancia térmica cubiertas (***) ▪ Transmitancia térmica aberturas (***) ▪ Transmitancia térmica del edificio (*) ▪ Coeficiente global de transmitancia térmica (*)
Energéticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesidad energética del edificio (***) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumos eléctricos mensuales 2014-2017 ▪ Consumo eléctrico anual 2014-2017 (*) ▪ Consumo eléctrico por vivienda (*) ▪ Consumo eléctrico por unidad de superficie (*)

*Datos obtenidos a través del cálculo. **Datos obtenidos a través de la observación. *** Datos bibliográficos.

*Tabla 16. Resumen de input de las dos metodologías.
(Elaboración propia)*

Como conclusión al análisis de las variables de ingreso de ambas metodologías puede decirse que, a pesar de un origen compartido, la segunda metodología completa la primera con la agregación de numerosos datos que pueden contribuir a entender y, posteriormente, actuar sobre el consumo energético del parque edificatorio. Existen aún algunos ámbitos de los edificios que permanecen poco claros como la superficie útil real, la técnica constructiva aplicada, el consumo total de energía, la selección de tecnologías utilizadas, mayor precisión en el comportamiento de los usuarios, etc., que deberían ser abordados a futuro para mejorar la información disponible del stock de edificios.

6.1.2. Metodología

Una vez conocidas las variables de ingreso, se estudiará de qué forma son trabajadas las mismas en ambas metodologías para resultar en la definición de los distintos arquetipos.

Recordando la forma de operar del Proyecto TABULA, la definición de arquetipos responde a la escala nacional, por lo que la clasificación de los mismos se da a través de parámetros generales conocidos tal como la edad del edificio, su agrupación, su uso o tamaño. A partir de estos grupos, se escoge un edificio representativo y se establecen los valores típicos de consumo para cada tipología. Debe destacarse la gran subjetividad del método al ser construido a partir de criterio de experto, que define los cortes de antigüedad del edificio, de tamaño, etc. Se considera necesario mencionar que el método es únicamente aplicable a usos residenciales, por lo que el resto de los edificios queda fuera de consideración para la construcción de arquetipos.

La metodología propuesta en el presente trabajo posee una base estadística, en la que son seleccionados los datos con un impacto conocido en el consumo del edificio, partiendo de criterios propios de los *Building Energy Model* individuales. Estas variables son procesadas se utilizan para trazar

árboles de subdivisiones, mediante el método de clúster jerárquico, en que se puede observar la fragmentación de los casos a distintos niveles de desagregación. Sigue existiendo un nivel de subjetividad al momento de determinar la cantidad de grupos según los objetivos perseguidos, pero manteniendo las divisiones generadas estadísticamente. Este método es aplicable a todos los usos, existiendo una única condición que es la de poseer una muestra lo suficientemente grande como para poder encontrar los criterios internos de similitudes y diferencias.

Desde una perspectiva general, puede establecerse que la primera metodología está fundada en el conocimiento previo que se tiene de la situación y del conocimiento de los expertos en el tema para poder discernir las características de los edificios que impactan en su consumo. La segunda metodología intenta dar un paso más en dirección al *machine learning*, realizando un mix entre los criterios de experto probados en el campo del análisis energético individual de edificios y la aplicación de métodos no supervisados de clasificación de observaciones por una medida de similitud específica, por un nivel de proximidad interno, y la separación existente entre los distintos grupos.

Ambos caminos se consideran igualmente válidos, pero teniendo en cuenta hacia dónde avanzan las nuevas tecnologías de recopilación y procesamiento de datos, se considera apropiada la utilización de métodos que minimicen la participación de los saberes tradicionales, muchas veces desactualizados, y maximicen la toma de decisiones fundada en la existencia de datos reales, que han sido procesados y preparados visualmente para ser útiles a la toma de decisiones.

6.1.3. Resultados

Los resultados arrojados por ambas metodologías apuntan a la definición de arquetipos que resulten representativos para un gran número de edificios, dada la dificultad de construir modelos y de establecer políticas basadas en múltiples casos individuales. De esta forma, la bondad de un arquetipo radicará en presentar la mayor cantidad de variables posibles que lo acerquen lo más posible a la realidad de los edificios que representan. Como datos característicos de los mismos, a fines comparativos, se utilizarán los datos definidos de coeficiente de transmitancia térmica global y consumo característico de energía por metro cuadrado de superficie. Dado que ambas metodologías sólo se solapan en el análisis de los edificios de uso residencial, se utilizará sólo esta parte del stock de edificios para realizar la comparativa.

El trabajo presentado en 2016 sobre el stock de edificios de Escaldes-Engordany (Borges Martins, 2016), como ha sido establecido anteriormente en la sección de antecedentes del presente documento, determina la existencia de 16 arquetipos residenciales agrupados a partir de su uso (unifamiliar o plurifamiliar), su agrupación (entre medianeras, aislado) y su año de construcción. Resultando en un esquema como el determinado por la Figura 64, en el que se determinan las sucesivas divisiones del parque edificatorio y sus valores característicos de consumo por metro cuadrado anual según tipología.

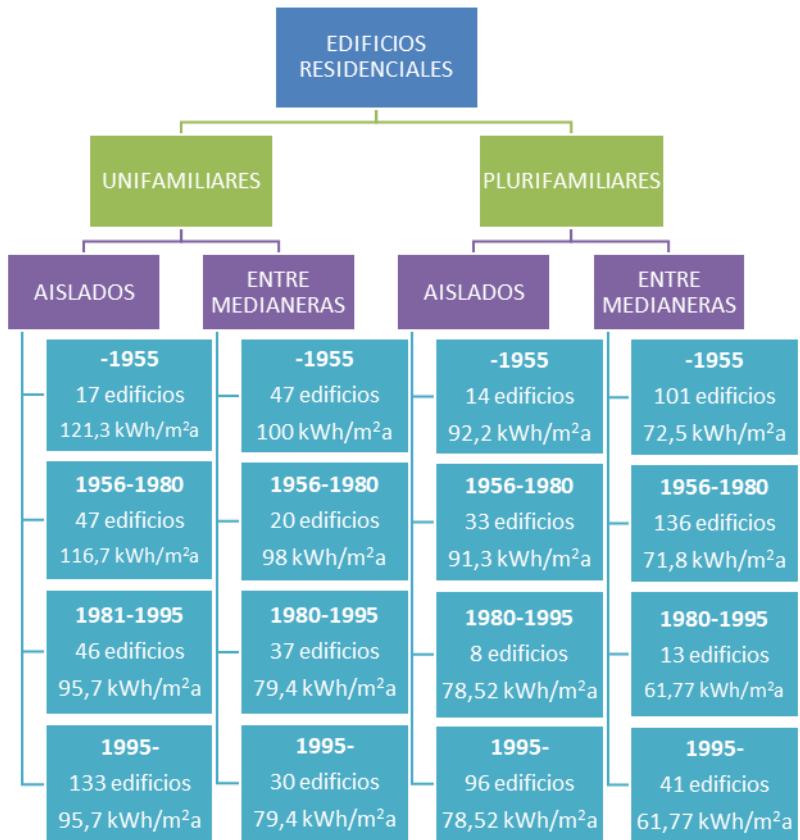


Figura 64. Arquetipos resultantes de la Metodología 1.

(Elaboración propia con datos de Borges Martins, 2016)

En el presente trabajo, se han caracterizado 7 arquetipos residenciales definidos a través de la aplicación de una metodología multicriterio de fragmentación por clúster jerárquico, que se encuentran representados en la Figura 65.

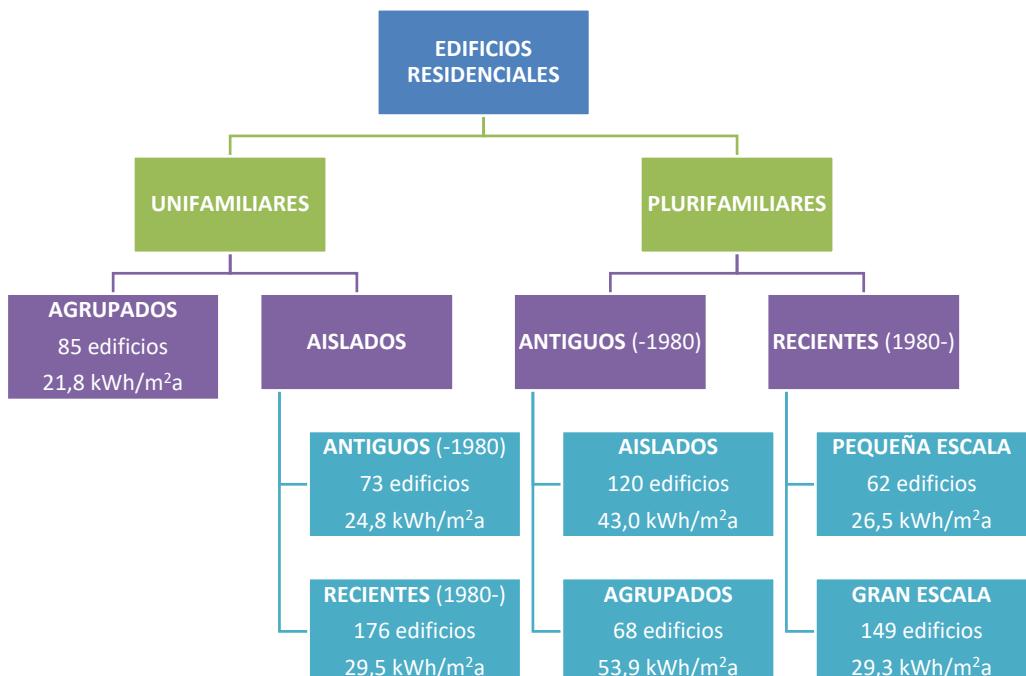


Figura 65. Arquetipos resultantes de la Metodología 2.

(Elaboración propia)

En la subdivisión de los grupos puede observarse un cierto patrón común, ya que se repiten criterios de subdivisión tal como el uso, la agrupación y la antigüedad del edificio. En la Metodología 2 aparece un nuevo criterio para viviendas unifamiliares que está relacionado con la escala del edificio. Resultan llamativos los valores medios de consumo anuales por unidad de superficie del primer caso ya que presentan valores mucho mayores que los del segundo, probablemente debido a la inclusión de una estimación de consumos de calefacción no contemplados en el segundo caso. Dado que los valores medios de la segunda metodología provienen de medias de datos reales, se considera que poseen cierta aproximación a los consumos eléctricos reales reportados por las viviendas, pero continúa siendo difícil llegar a un balance energético total por la inexistencia de datos de consumo de hidrocarburos para calefacción.

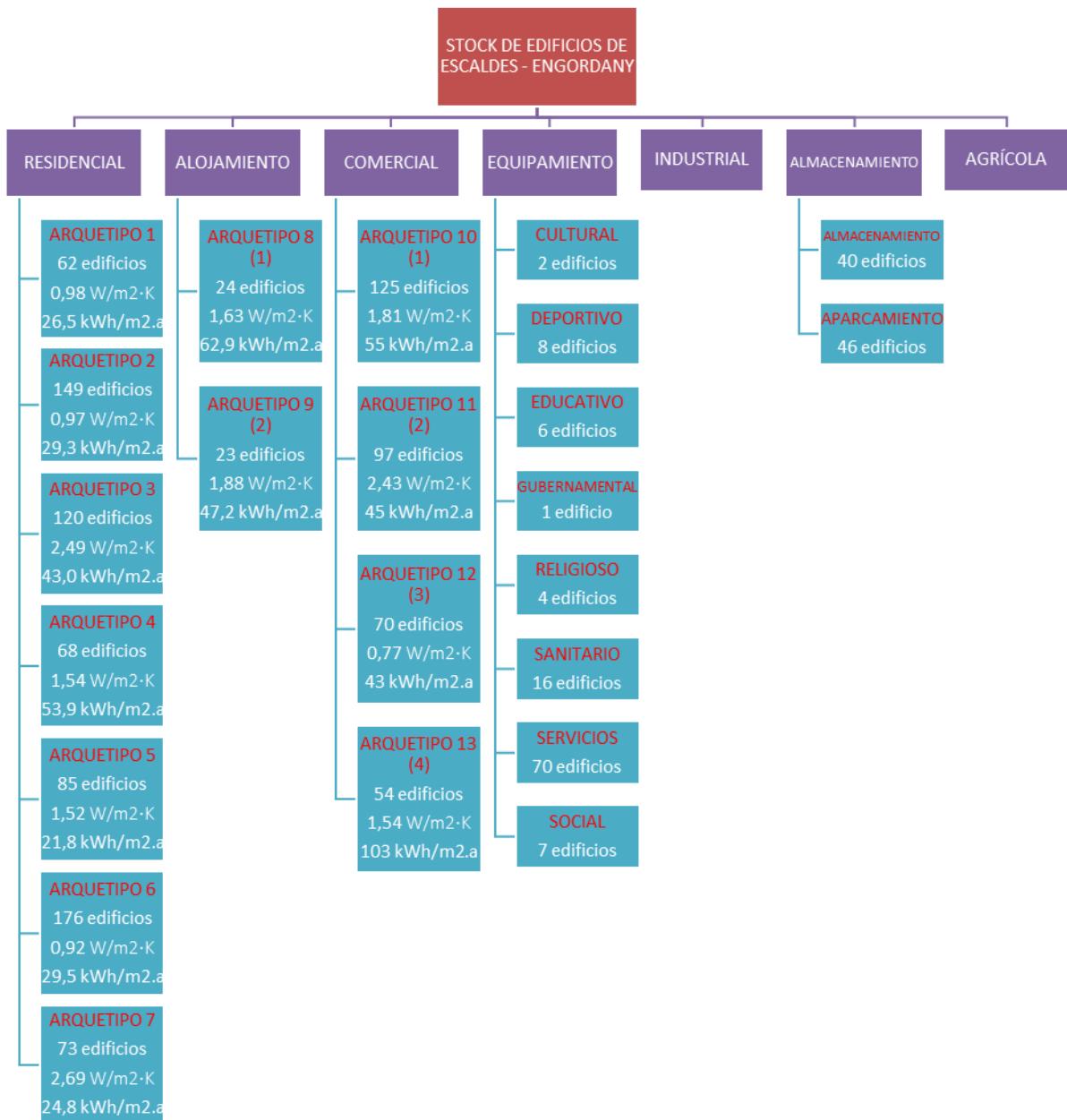
La descriptiva de los arquetipos destaca como bondad del método ya que, no sólo es posible acceder a los datos medios y las varianzas de todas las variables de la tipología, sino que también se puede hacer uso de los datos específicos de edificios individuales dentro de cada grupo. Cabe destacar que el número de grupos dependerá de la especificidad de lo que quiere medirse, por lo el poder acceder a los datos individuales permite reformar fácilmente el método hasta ajustarlo a la precisión requerida para la toma de decisiones.

La validación de las metodologías resulta un punto complicado ya que su validez y precisión se encontrarán ligadas a la experimentación de las mismas a partir de casos puntuales, lo que podría hacer que un método resulte muy adecuado para un caso particular y nada adecuada para otro. La aplicación de una misma metodología a distintos casos de estudio podría permitir un perfeccionamiento de la misma, corrigiendo los ajustes que resulten demasiado adaptados a cada caso para otorgarle una mayor universalidad que la convierta en algo fácilmente replicable. Volviendo a la finalidad de la aplicación de este tipo de metodologías, una buena metodología será la que aporte nuevos conocimientos de manera ordenada para la toma de decisiones, permitiendo una mayor comprensión de la realidad y la posibilidad de accionar sobre ella midiendo el impacto de las acciones propuestas.

6.2. Diagnóstico del parque edificatorio

El análisis del área de estudio ha reportado la existencia de 7 usos diferenciados, algunos de ellos con sus correspondientes subdivisiones y arquetipos. La metodología propuesta ha podido ser aplicada a 3 de ellos, dando origen a 7 arquetipos residenciales, 2 arquetipos de alojamiento y 4 arquetipos comerciales. Se ha considerado que los equipamientos constitúan un grupo muy heterogéneo, por lo que debían conservarse las etiquetas correspondientes a los distintos rubros, a fin de mejorar la aproximación a su consumo. Los usos restantes no han reportado consumos significativos ni información suficiente para poder ser analizados de la misma forma.

La constitución de cada uno de estos grupos responde a la necesidad de entender el funcionamiento del parque edificatorio de la ciudad, por lo que cada uno de los mismos ha sido caracterizado con sus valores medios de coeficiente de transmitancia global y consumo anual por unidad de superficie en la Figura 66. La visualización de todos estos datos en una única gráfica ofrece la posibilidad de tener una noción, en un simple golpe de vista, de la cantidad de edificios de cada tipo, su comportamiento térmico y consumo eléctrico. De esta forma, pueden identificarse fácilmente dentro de una misma categoría los grupos que requieren mayor atención de la administración local si se desea tomar medidas estratégicas para la reducción del consumo energético y, por consiguiente, de las emisiones de carbono producidas por los edificios. Debe tenerse siempre presente que los consumos de los distintos usos no deben ser contrastados fuera del mismo, ya que obedecen a lógicas de comportamiento y actividades particulares.



*Figura 66. Arquetipos resultantes del stock de edificios de Escaldes-Engordany.
(Elaboración propia)*

Por lo tanto, puede decirse respecto al uso residencial que los grupos 3 y 7 requieren atención respecto a sus propiedades térmicas, ya que una alta transmitancia térmica se traduce en un gran consumo energético para calefacción al tener grandes pérdidas de calor por una envolvente inadecuada. Si se constata la información pertinente a ambos grupos, se descubre que el Grupo 7 corresponde a viviendas aisladas construidas antes de 1980, caso similar para el Grupo 3 en viviendas plurifamiliares. El desempeño térmico de los grupos 4 y 5 son mejorables también, para adaptarlos a los valores recomendados actuales de aislación térmica en edificios. Estos dos grupos poseen el formato de vivienda entre medianeras, pero con una gran componente de viviendas construidas anterior a 1980. Si se computan la cantidad y la superficie de estos edificios, el 23% de los edificios residenciales (grupos 3 y 7) como el 18% (grupos 4 y 5) poseen muy malas condiciones térmicas (Figura 67).

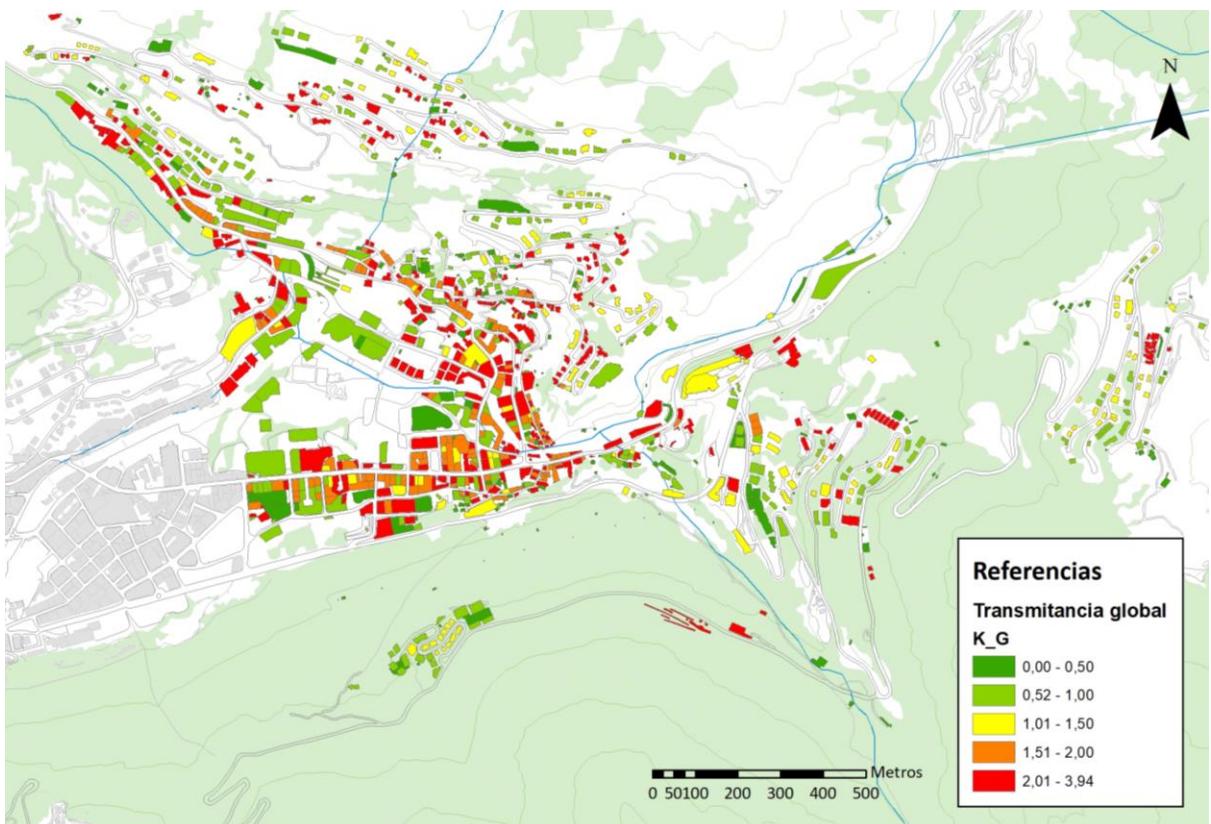
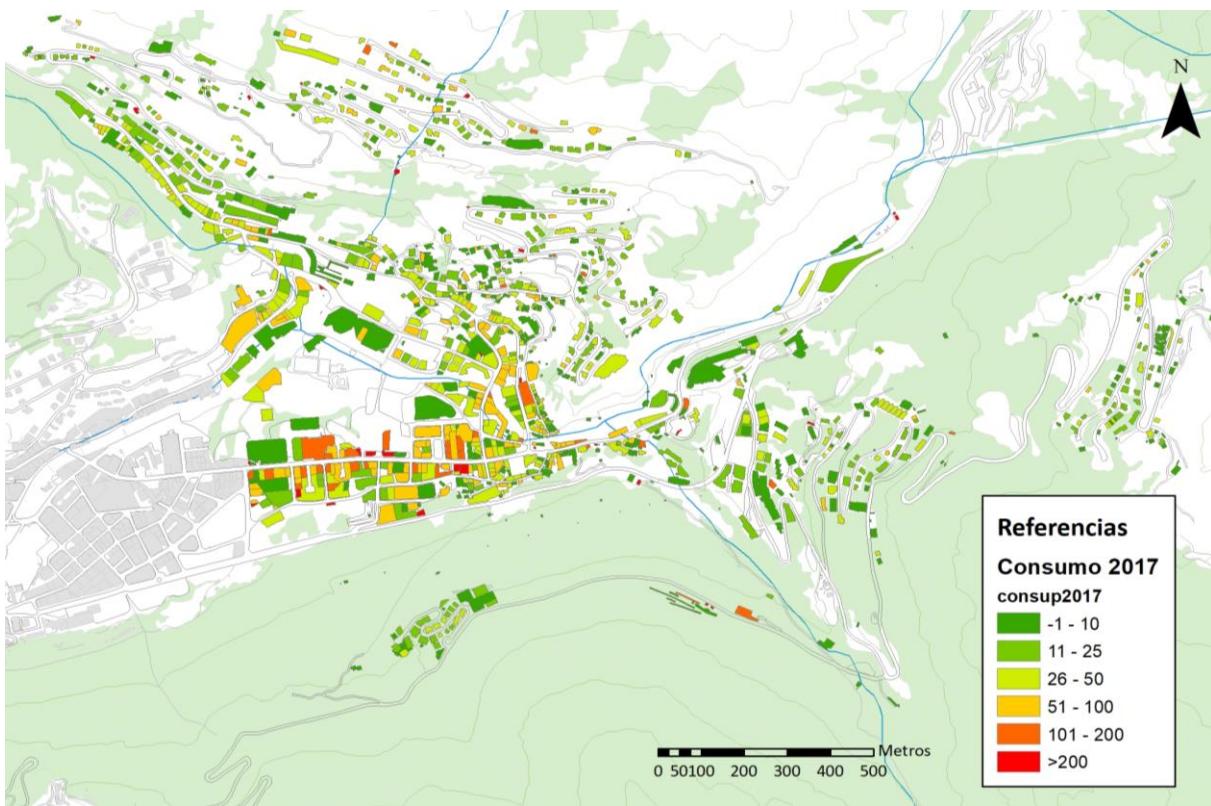


Figura 67. Distribución del coeficiente de transmitancia térmica (W/m^2K) en edificios de Escaldes-Engordany.
 (Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)

Este mismo análisis puede realizarse asimismo respecto al consumo eléctrico en usos residenciales (Figura 68). Los grupos 3 y 4, correspondientes a viviendas plurifamiliares anteriores a 1980 tanto aisladas como agrupadas, presentan consumos significativamente mayores por unidad de superficie que el resto de los grupos. Este debería ser suficiente para captar la atención de tomadores de decisiones hacia este grupo, estudiando las características del arquetipo representativo de ambos grupos y tratando de rastrear qué factores pueden estar causando este consumo atípicamente alto, para poder revertir la situación.



*Figura 68. Distribución del consumo por unidad de superficie (kWh/m^2a) en edificios de Escaldes-Engordany.
(Elaboración propia con datos de Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra)*

El simple análisis de los valores medios de transmitancia térmica y consumo eléctrico ha mostrado condiciones desfavorables en los grupos que concentran las viviendas de mayor antigüedad, por lo que la atención debería concentrarse en fomentar planes de renovación de las mismas, tal como se encuentra realizando actualmente el Plan Renova².

Respecto al sector de alojamiento, el poseer dos grupos claramente diferenciados de acuerdo a la escala permite interpretar más claramente los datos: a pesar de que el Grupo 1 muestre un mayor consumo por unidad de superficie, este valor no es lo suficientemente significativo como para opacar la escala de consumo del Grupo 2, cuyas dimensiones superficiales llevarán a concentrar la mayor demanda del sector, aún con menor consumo por metro cuadrado.

El sector comercial muestra dos formatos bien diferenciados: los edificios puramente comerciales y los mixtos, es decir, que comparten superficie del edificio con otros usos. Los primeros, poseen niveles de consumo muy por encima del resto, por lo que debería analizarse qué variables llevan a alcanzar estos valores. En cuanto a los edificios mixtos, el Grupo 2 presenta valores preocupantes de transmitancia térmica, posiblemente por la antigüedad de sus casos.

El sector de equipamientos se encuentra polarizado por el gran consumo que presenta un edificio particular: Hospital Nostra Senyora de Meritxell. Esto lleva a entender que las regulaciones en el sector deben realizarse de manera individual, apelando a las posibilidades de aplicar medidas de eficiencia que presenta cada rubro en particular.

Los tres rubros restantes no presentan mayores consumos ni datos llamativos que indiquen la necesidad de prestar especial atención a las variables que intervienen en su consumo energético.

² <https://www.mediambient.ad/renova>

7. Conclusiones

7.1. Conclusiones generales

Esta memoria describió la generación y ejecución exitosa de una metodología para la creación de arquetipos urbanos bien diferenciados y caracterizados, de manera que aporten nuevos conocimientos respecto a las existencias urbanas y puedan ser utilizados para la construcción de modelos energéticos de edificios urbanos. Recordando que el presente trabajo encuentra su origen en la búsqueda de nuevas herramientas de planificación energética, con el fin de revertir la tendencia creciente de emisiones de carbono y otorgar mayor seguridad energética reduciendo la demanda y, por tanto, la importación de países vecinos, se evaluarán los resultados del proceso desarrollado.

En este contexto, la situación de Andorra presenta una mayor vulnerabilidad por encontrarse la totalidad de su territorio en zona de montaña, identificadas como especialmente sensibles a los cambios, donde la mayor parte de sus emisiones no absorbidas son en el sector energético. En este área, el País no posee una completa independencia para emprender acciones de mitigación, por encontrarse en una gran dependencia energética, ya que las fuentes provienen de la importación. Esto presenta un gran desafío en términos de planificación energética, puesto que la diversificación de fuentes energéticas hacia recursos más limpios no se orienta al reemplazo de fuentes existentes, sino a la creación de nuevos aprovechamientos en el interior del país. Un cambio de paradigma en la generación para la descarbonización de los recursos energéticos requiere, asimismo, un uso eficiente de la energía generada para maximizar los resultados.

En la Primera comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático pueden observarse algunos lineamientos existentes orientados a la atenuación de las emisiones generadas, entre las que se encuentran el ahorro de 392 GWh en necesidades energéticas en la edificación. Las acciones principales se orientan a emprender acciones concretas que impacten sobre el consumo final del edificio durante su vida útil. El principal eje abordado es la renovación de la envolvente de los edificios, a través de planes de asistencia financiera y préstamos preferenciales garantizados por el gobierno (Programa Renova), la promoción de la etiqueta energética y la reforma de los requisitos técnicos para los edificios de nueva construcción. Estas acciones se encuentran encaminadas en la dirección correcta, pero el alcance de cada una de estas políticas y sus resultados poseen un cierto grado de incertidumbre, por la falta de precisión al momento de cuantificar el impacto que tendrán sobre el consumo real de los edificios.

A pesar de estos esfuerzos normativos, con el fin de alcanzar la meta fijada de 392 GWh, es necesario establecer unos objetivos vinculantes en el tiempo, para llegar a un determinado ahorro de energía del parque edificado en un período determinado. Dado el volumen de edificaciones de cierta antigüedad respecto a las de nueva construcción, debería hacerse una revisión detallada del parque edificadorio en vistas de identificar medidas, actuaciones, plazos y presupuestos de posibles planes de rehabilitación de las mismas, de manera que se mejoren sus índices de transmitancia térmica respecto al exterior.

Existe una amplia variedad de metodologías para estimar el rendimiento energético de los edificios con propósito muy diferentes, que pueden ir desde la determinación de las necesidades de suministro futuras hasta estudios sobre el impacto de cambios en el consumo energético, ya sean de comportamiento, mejoras de eficiencia energética, o cambios de sistemas de suministro y tipo de energía. El parque edificado es amplio, heterogéneo y compuesto mayoritariamente por edificios de características energéticas deficientes en relación a las exigencias de las normativas sobre eficiencia energética. De ahí el interés en el análisis del rendimiento energético de los amplios stocks de edificios ha aumentado en todas partes durante las últimas décadas. Sin duda, la manera más efectiva para

reducir el consumo energético de un edificio es conseguir mejorar el uso que hace el usuario, pero además de ser una tarea difícil de valorar o de cambiar, este no es el único factor que entra en juego. Sin duda otros aspectos como la mejora de la aislación del edificio o del rendimiento de los equipos y sistemas son también muy importantes, pero éstas requieren de una inversión económica más o menos importante.

Es en este contexto que se apuesta al desarrollo de modelos informáticos que concentren toda la información existente respecto a la edificación, la procesen y devuelvan datos más comprensibles, que permitan identificar oportunidades para la planificación de acciones específicas. La implementación de este tipo de estrategias no es un trabajo sencillo, ya que depende casi exclusivamente de poseer información disponible con la cual nutrir el modelo, de manera que se asemeje lo más posible a la realidad.

Se han identificado durante el proceso de obtención y procesamiento de datos numerosas barreras existentes para la construcción de bases de datos de la edificación. La falta de datos de libre acceso dificulta el conocimiento de la existencia de datos, para poder incorporarlos al análisis, y las tareas burocráticas derivadas de la firma de convenios y la solicitud de acceso extienden enormemente los tiempos de trabajo. Asimismo, la estructuración de los datos no siempre los hace plausibles de ser utilizados, por no poseer una denominación que sea identificable y de fácil correspondencia con el resto de los datos disponibles, perdiéndose una gran cantidad de información en la transformación o dando como resultado grandes vacíos de datos desconocidos. Por otro lado, la disponibilidad de datos desagregados, tanto en series temporales como en casos individuales, hace posible una mayor comprensión de la situación y de los fenómenos que en ella acontecen, por lo que es fundamental avanzar en esta dirección. Evolucionar hacia datos estandarizados y de fácil acceso permitiría automatizar las tareas a realizar, asegurando que la metodología sea replicable y escalable, teniendo en cuenta las variables económicas y tecnológicas que sustentan la elaboración de este tipo de modelos. Asimismo, esto supondría un gran avance hacia el perfeccionamiento de los resultados, que se beneficiarían aportando una mayor claridad y precisión.

7.2. Urban Building Energy Model (UBEM)

La presente tesis ha surgido en colaboración con el Observatorio de Sostenibilidad de Andorra (OBSA) en el entorno de un proyecto que plantea la caracterización del sistema energético de las poblaciones de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany, para la construcción de un modelo tecnológico de alto detalle que permita evaluar posibles acciones de eficiencia energética y estudiar retos y potencialidades del cambio de paradigma energético hacia generación distribuida, gestión inteligente de la demanda y redes urbanas de calor. La generación del modelo informático persigue el fin de generar nuevas herramientas para la toma de decisiones para la planificación energética y urbanística de las parroquias, y servir como herramienta educativa y de sensibilización para la ciudadanía en general. La modelización de sistemas complejos como el sector energético es un instrumento fundamental en el apoyo a la toma de decisiones, aunque en muchos casos las herramientas desarrolladas están destinadas a expertos en la materia y son poco accesibles al público general. Disponer de interfaces intuitivas destinadas al apoyo a la toma de decisiones permite crear espacios de interacción colaborativa donde los responsables de la toma de decisiones pueden trabajar conjuntamente y ver representado inmediatamente el resultado de sus interacciones en el modelo haciendo el proceso de planificación más eficiente.

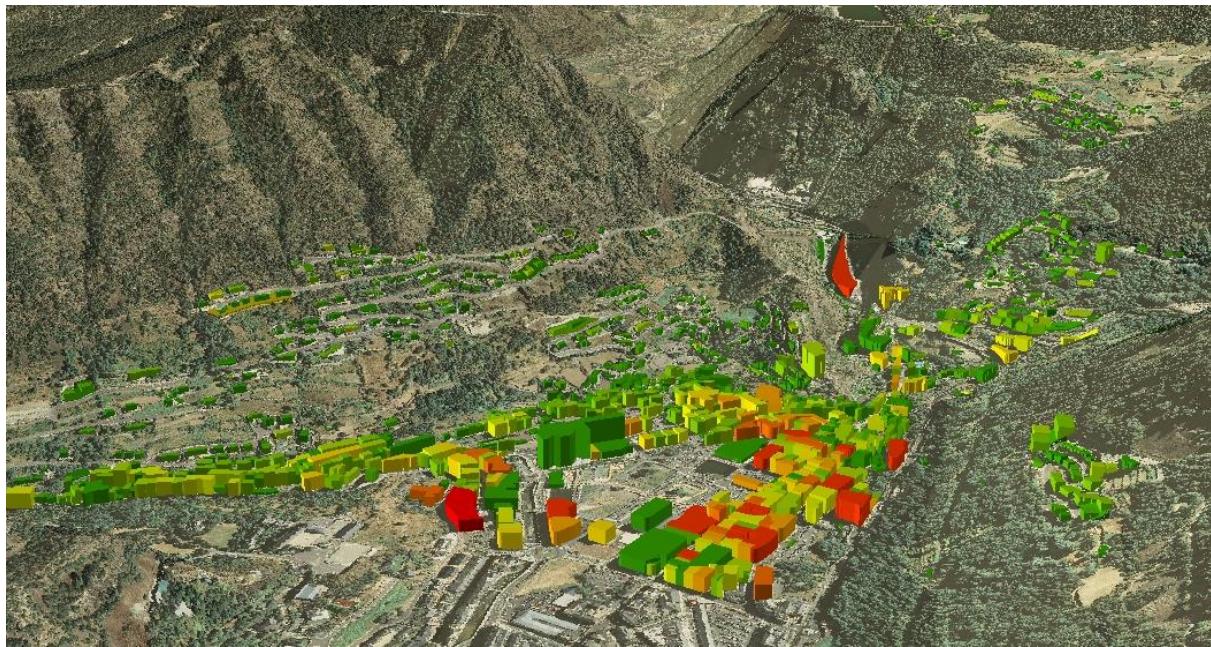


Figura 69. Visualización de maqueta 3D.
(Elaboración propia)

De esta forma, la construcción de un UBEM de la zona de estudio integraría la modelización de la demanda y las potencialidades de generación de energía. A través de estos conocimientos, se podría estudiar el potencial de reducción de energía y emisiones a través de la introducción de medidas centradas en la eficiencia, el ahorro y las energías renovables en los edificios modelizados. Para realizar la transición de un sistema energético centralizado como el actual hacia un sistema moderno basado en la generación distribuida, es necesario conocer el potencial de generación autóctono de la zona de estudio.

La caracterización del modelo constituye el punto de partida en la construcción de un UBEM, siendo la recopilación y la estructuración de toda la información necesaria una actividad previa que debe alimentar el modelo. Se reúnen entonces datos de geometría y propiedades de los edificios, de consumo energético, de entorno y climáticos en los que se fundarán las futuras simulaciones.

El siguiente paso es la implementación del mismo. Una vez construida la base de datos del stock edificatorio, construidos los arquetipos y reunida la información climática, se procede a la construcción de un modelo 3D a través de recursos informáticos que permiten geolocalizar los edificios con sus variables de entorno en una maqueta virtual que se utilizará posteriormente para simular consumos de energía.

El último paso consiste en realizar la simulación energética del modelo completo y obtener resultados de los cálculos, que pueden validarse a través de datos reales de consumos energéticos y realizar los ajustes necesarios. De este estudio se derivan actividades orientadas a la elaboración de políticas de ahorro, de eficiencia y de introducción de energías renovables.

8. Bibliografía

Carto, 2018. www.carto.com

Comú de Escaldes-Engordany. *Edificis Comú*. Consultado: diciembre, 2017.

Departament d'Estadística. Govern d'Andorra. www.estadistica.ad. Consultado: abril, 2018.

Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA). *Consumo elèctrico 2014-2017*. Planilla de datos. Consultado: marzo, 2018.

Infraestructura de Dades Espacials (IDE). Govern d'Andorra. www.cartografia.ad. Consultado: abril, 2018.

Institut d'Estudis Andorrans. Govern d'Andorra. www.iea.ad. Consultado: diciembre, 2017.

RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. www.rstudio.com. Boston, 2018.

Servei de Meteorologia. Govern d'Andorra. meteo.ad. Consultado: abril, 2018.

Böhringer, C., & Rutherford, T. F. (2008). Combining bottom-up and top-down. *Energy Economics*, 30(2), 574–596. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.03.004>

Borges Martins, P. (2016). *Canvi climàtic i consums energètics del parc edificat a Andorra: el cas d'Escaldes-Engordany*. Retrieved from http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/21266/1/81433_memòria.pdf

Britta Stein, Loga, T., & Diefenbach, N. (2016). *Monitor Progress Towards Climate Targets in European Housing Stocks Main Results of the EPISCOPE Project - Final Project Report - (Deliverable D1.2)*. Retrieved from <http://episcope.eu/monitoring/overview/>

Brøgger, M., & Wittchen, K. B. (2018). Estimating the energy-saving potential in national building stocks – A methodology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(July 2017), 1489–1496. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.239>

Brundtland, G. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. *Oxford Paperbacks, Report of*, 400. <https://doi.org/10.2307/2621529>

Camacho, M. (2012). El Trilema Energético. *Cuadernos de Energía*, (38), 28. <https://doi.org/ISSN:1698-3009>

Cerezo Davila, C., Reinhart, C. F., & Bemis, J. L. (2016). Modeling Boston: A workflow for the efficient generation and maintenance of urban building energy models from existing geospatial datasets. *Energy*, 117, 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.057>

Cerezo, C., Sokol, J., AlKhaled, S., Reinhart, C., Al-Mumin, A., & Hajiah, A. (2017). Comparison of four building archetype characterization methods in urban building energy modeling (UBEM): A residential case study in Kuwait City. *Energy and Buildings*, 154, 321–334. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.029>

Cerezo, C., Sokol, J., Reinhart, C., & Al-Mumin, A. (2015). Three methods for characterizing building archetypes in urban energy simulation. A case study in Kuwait City. *14th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 2873–2880.

COAA. (2012). *Quantificació del potencial d'eficiència energètica en el sector de l'edificació a Andorra*.

- Comisión Europea. (2010). Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Boletín Oficial*, L135, 13–35.
- Dhakal, S. (2010). GHG emissions from urbanization and opportunities for urban carbon mitigation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4), 277–283.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.007>
- Dodman, D., & Satterthwaite, D. (2008). ¿De verdad hay que culpar a las ciudades? *Urban World, Volumen 1*, 12–13.
- Fujii, H., Iwata, K., & Managi, S. (2017). How do urban characteristics affect climate change mitigation policies? *Journal of Cleaner Production*, 168, 271–278.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.221>
- Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of Urban Economics*, 67(3), 404–418.
<https://doi.org/10.1016/j.jue.2009.11.006>
- Gómez, P., Swarts, M., Soza, P., Shaw, J., Macdaniel, J., & Moore, D. (2013). Campus Landscape Information Modeling: Intermediate Scale Model that Embeds Information and Multidisciplinary Knowledge for Landscape Planning. *SIGraDi*, 1, 61–65.
<https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2013-0009>
- Govern d'Andorra. (2010). Decret d'aprovació del Reglament Energetic en l'edificació.
- Govern d'Andorra. (2012). *Llibre Blanc de l'Energia d'Andorra*. Retrieved from http://www.energia.ad/images/stories/portada/LibreBlanc_2012.pdf
- Govern d'Andorra. (2014). *Premier rapport bisannuel de l'Andorre à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. Govern d'Andorra, Andorra la Vella.
- Govern d'Andorra. (2017). *Andorra en xifres 2017*.
- Govern d'Andorra. (2015). *Andorra en cifras 2015*. Retrieved from http://www.estadistica.ad/serveiestudis/publicacions/Publicacions/Andorra_en_Xifres_cast.pdf
- Govern d'Andorra. (2016). *Première Communication Nationale À La Convention-Cadre Des Nations Unies Sur Les Changements Climatiques*.
- Govern d'Andorra. (2015). Decret d'aprovació de la modificació del Reglament de construcció. *Butlletí Oficial Del Principat d'Andorra*. Retrieved from www.bopa.ad
- International Energy Agency. (2015). Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas, 182.
- International Energy Agency. (1998). Mapping the energy future: energy modelling and climate change policy. Paris: International Energy Agency. Retrieved from <file:///catalog.hathitrust.org/Record/003325778>
- International Energy Agency. (2017). *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 - Highlights* (Vol. 1).
https://doi.org/10.1787/co2_fuel-2017-en
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. *Nature* (Vol. 446). <https://doi.org/10.1038/446727a>

- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416>
- IPCC. (2012). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* <https://doi.org/10.5860/CHOICE.49-6309>
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 5).*
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: global and sectoral aspects.* Retrieved from http://hcl.harvard.edu/collections/ipcc/docs/27_WGIITAR_FINAL.pdf
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part B: Regional Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Kavcic, M., Mavrogiani, a., Mumovic, D., Summerfield, a., Stevanovic, Z., & Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7), 1683–1697. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>
- Lee, C. M., & Erickson, P. (2017). How does local economic development in cities affect global GHG emissions? *Sustainable Cities and Society*, 35(June 2016), 626–636. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.027>
- Li, Q., Quan, S. J., Augenbroe, G., Pei, P., Yang, -Ju, & Brown, J. (2015). Building Energy Modelling at Urban Scale: Integration of Reduced Order Energy Model with Geographical Information. In *14th Conference of International Building Performance Simulation Association*. (pp. 190–199). Hyderabad, India.
- Louis, S. M., & Cerezo Davila, C. (2016). Data sources toward urban scale energy modeling through building archetype calibration Improving Urban Building Energy Models (UBEM) Seminar 39. In *2016 ASHRAE Annual Conference*.
- Monteiro, C. S., Pina, A., Cerezo, C., Reinhart, C., & Ferrão, P. (2017). The Use of Multi-Detail Building Archetypes in Urban Energy Modelling. *Energy Procedia*, 111(September 2016), 817–825. <https://doi.org/10.1016/j,egypro.2017.03.244>
- Naciones Unidas. (1992). Declaración de Rio sobre el medio ambiente y el desarrollo. In *Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo*.
- Naciones Unidas. (2010). *Resolución de Asamblea General 64/236. Ejecución del Programa 21 y del Plan para su ulterior ejecución, y aplicación de los resultados de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible.*
- Naciones Unidas. (2010). *Avances logrados hasta el momento y lagunas que aún persisten en la aplicación de los resultados de las principales cumbres en la esfera del desarrollo sostenible y análisis de los temas de la Conferencia Informe del Secretario General (Vol. A/CONF.216).* Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/668prepcommittee.pdf>
- Noguera, J. E. (2011). *La ordenación urbanística: conceptos, herramientas y prácticas.*

- Reinhart, C. F., & Cerezo Davila, C. (2016). Urban building energy modeling - A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>
- Rochard, U., Shanthirablan, S., & Brejon, C. (2015). Bâtiments résidentiels.
- Serra, R., & Coch, H. (2001). *Arquitectura y Energía Natural*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>
- The World Bank. (2010). Cities and Climate Change: An Urgent Agenda - Part III: Cities' Contribution to Climate Change. *World Bank*, 10, 14–32.
- Travasset Baró, O. (2012). *Modelització del consum energètic a Andorra: apunts per a la definició d'un Model Integrat a escala regional*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1243.2726>
- Travasset-Baro, O. (2017). *Prospectiva energètica al Principat d'Andorra. Model integrat d'avaluació de la seguretat energètica per a la transició cap a un escenari sostenibilista*. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/460913>
- UN-Habitat. (2011). A global report on human settlement 2011. *GLOBAL REPORT ON HUMAN SETTLEMENT 2011*, 2–3.
- UN-Habitat. (2011). *Global Report on Human Settlements 2011. Cities and Climate Change*. <https://doi.org/10.1787/9789264091375-en>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, Online Edition.
- Valencian Institute of Building. (2011). Use of Building Typologies for of National Building Stock. Existent Experiences in Spain, 31. Retrieved from http://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/scientific/ES_TABULA_Report_IVE.pdf
- Wate, P., & Coors, V. (2015). 3D data models for urban energy simulation. *Energy Procedia*, 78(0), 3372–3377. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.753>

9. Anexos

ANEXO I

- **Hasta 1955 (Tipo 1):** responden al modelo tradicional de construcciones de montaña, presentes en todo el Pirineo.

Estructura y fachadas: pared de piedra de 40 a 50 centímetros de espesor, graníticas en la parte alta del valle y calizas en la sur, acabados en enlucido. ($U = 2,97 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Techos: vigas de madera y entrevigado de tablones, con solera cerámica o bovedilla. Estructura con vigas de madera, tesella y cubierta de pizarra clavada. ($U = 2,49 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Ventanas: ventanas de madera con vidrio simple y alta permeabilidad al aire.

- **De 1955 a 1980 (Tipo 2):** comienza el fenómeno del turismo y se autoriza la compra a no residentes de "chalets" y, posteriormente, de apartamentos, por lo que se incrementa la edificación.

Estructura y fachadas:

- Fachadas con acabado enlucido, formadas por una hoja exterior cerámica estructural de 14 centímetros, cámara de aire y tabique interior enyesado. ($U = 1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Fachadas con acabado de piedra, hoja cerámica de 14 centímetros doblada exteriormente por una pared de 18 a 20 centímetros de piedra granítica, caliza o de pizarra, acabado interior de la hoja trayendo enyesado. ($U = 2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Techos: techos de vigueta pretensada y bovedilla cerámica "in situ" y, posteriormente, "bovedilla". Estructura de cubierta con viga o tablón de madera, machihembrado interior de pino, teselas, lámina impermeable y cubierta de pizarra clavada. ($U = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Ventanas: ventanas de madera con vidrio simple.

- **De 1981 a 1995 (Tipo 3):** a partir de la segunda mitad de los '70, se incrementa la preocupación por el aislamiento térmico por la crisis del petróleo. La referencia es la norma española NBE-CT 79, que introduce el aislamiento a las nuevas edificaciones con espesores de 3 a 5 centímetros.

Estructura y fachadas:

- Fachadas con acabado de piedra, hoja cerámica de 14 centímetros doblada exteriormente por una pared 18 a 20 centímetros de piedra granítica, caliza o de pizarra con aislamiento de 3 a 5 centímetros de poliestireno, acabado interior de la hoja trayendo enyesado. ($U = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Fachadas con acabado enlucido, hoja cerámica de 14 centímetros enlucido y pintado, cámara de aire de 10 centímetros con aislamiento de 3 a 5 centímetros de poliestireno, enyesado interior. ($U = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Techos: estructura de cubierta con viga o tablón de madera, machihembrado interior de pino, aislamiento inferior de 3 a 5 centímetros, tarima de ripia, lámina impermeable y cubierta de pizarra clavada. ($U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Ventanas: ventanas de madera o aluminio con vidrio con cámara de aire (3-6-4).

- **A partir de 1996 (Tipo 4):** a inicios de los años 90' el modelo precedente empieza a mejorarse, siguiendo los esquemas propuestos Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña y difundidos desde las escuelas de arquitectura de Barcelona. Los espesores de aislamiento se incrementan y se mejora la situación de las cámaras de aire. El periodo concluye con la aprobación del REE, que transforma completamente los modelos vigentes.

Estructura y fachadas:

- Fachadas con acabado de piedra, formadas por una hoja cerámica de 14 centímetros doblada exteriormente por una pared 18 a 20 centímetros de piedra granítica, caliza o de pizarra, aislamiento de 5 a 8 centímetros de poliestireno o lana mineral, a veces con un tabique interior cerámico enyesado o cartón-yeso. ($U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Fachadas con acabado enlucido, hoja cerámica de 14 centímetros enlucido y pintado, cámara de aire de 10 centímetros con aislamiento de 3 a 5 centímetros de poliestireno y enyesado interior. ($U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Techos: estructura de cubierta de madera, con vigas tablón de sección rectangular y teselas, o losa de hormigón armado, aislamiento de lana mineral de 5 a 8 centímetros, cámara de aire, tarima de teselas, lámina impermeable y cubierta de pizarra clavada. ($U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Ventanas: ventanas de aluminio con vidrio con cámara de aire (3-6-4), ocasionalmente hacia el final de periodo con vidrio bajo emisivo.

ANEXO II

La siguiente metodología de cálculo ha sido extraída del libro Arquitectura y Energía Natural (Serra & Coch, 2001) para el cálculo de las variables en el proceso de tratamiento.

- **Conductividad térmica de paredes (U_PT):** conductividad térmica correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman el muro.

$$U_{pt} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/(m}^2 \cdot \text{K})$$

Se utilizarán los valores especificados en el campo de paredes de la tipología constructiva correspondiente a cada caso particular. En caso de existir dos valores distintos correspondientes a la misma tipología, se utilizará una media entre ambos valores por no poseerse información acerca de la división de los subgrupos dentro de las tipologías.

Tipología	Paredes		
	Acabado yeso	Acabado piedra	Media
-1955		$U = 2,97 \text{ W/m}^2\text{K}$	
1955-1980	$U = 1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 1,925 \text{ W/m}^2\text{K}$
1981-1995	$U = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$
1996-	$U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,425 \text{ W/m}^2\text{K}$

- **Conductividad térmica de suelo (U_AS):** conductividad térmica correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman la envolvente en contacto con el suelo natural.

$$U_{as} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/(m}^2 \cdot \text{K})$$

- **Conductividad térmica de cubierta (U_TE):** conductividad térmica correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman la cubierta.

$$U_{te} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/(m}^2 \cdot \text{K})$$

Se utilizarán los valores especificados en el campo de techos de la tipología constructiva correspondiente a cada caso particular.

Tipología	Techo	
	Vidrio	Marco
-1955	$U = 2,49 \text{ W/m}^2\text{K}$	
1955-1980	$U = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$	
1981-1995	$U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	
1996-	$U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$	

- **Conductividad térmica de ventanas (U_PR):** conductividad térmica correspondiente a la suma de las conductividades de los elementos que conforman las ventanas.

$$U_{pr} = \sum K_i \alpha_i \text{ (W/(m}^2 \cdot \text{K})$$

Tipología	Ventanas	
	Vidrio	Marco
-1955	$U = 5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
1955-1980	$U = 5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
1981-1995	$U = 3,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 4,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
1996-	$U = 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 3,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

- **Superficie global (SUP_G):** superficie global de la envolvente del edificio (S_G).

$$S_G = (2 S_0) + (p_G h)$$

siendo:

S_G = superficie global de la envolvente del edificio,
 S_0 = superficie ocupada en planta o superficie media,
 p_G = perímetro global de la envolvente,
 h = altura del edificio (plantas * 3 metros).

- **Coeficiente de compacidad (COMP):** el concepto de compacidad establece la relación existente entre la superficie de envolvente del edificio y su volumen, es decir, el grado de concentración de las masas que lo componen. La relación matemática que lo determina se basa en la relación entre la superficie equivalente (S_{eq}), la superficie mínima de un cuerpo de igual volumen representado por la esfera, y la superficie de la envolvente del edificio (S_G), sin considerar patios interiores ni salientes menores a 1m.

$$c = \frac{S_{eq}}{S_G} = 4,836 \frac{V_T^{2/3}}{S_G}$$

siendo:

c = coeficiente de compacidad (valores entre 0 y 1),
 S_{eq} = superficie equivalente,
 V_T = volumen total del edificio, incluidos los patios,
 S_G = superficie global de la envolvente.

- **Coeficiente de esbeltez (ESB):** se refiere a las proporciones generales del edificio desde el sentido vertical, relacionando la altura del edificio (h) con el radio de un círculo de igual superficie que la media de la planta (d).

$$e = \frac{h}{d} = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{S_0}{\pi} + h^2\right)}}$$

siendo:

e = coeficiente de esbeltez,
 h = altura del edificio,
 S_0 = superficie ocupada en planta o superficie media,
 R = radio del círculo de superficie S_0 .

- **Coeficiente de asentamiento (ASEN):** indica el grado de contacto de la envolvente del edificio con el terreno. Para obtener su valor, se relaciona la “superficie asentada” (S_{as}) respecto a la superficie global de la envolvente (S_G), entendida como la suma de las superficies asentada (S_{ad}), adosada (S_{ad}) y en contacto con el aire exterior (S_{pt}).

$$as = \frac{S_{as}}{S_G} = \frac{S_{as}}{S_{as} + S_{ad} + S_{pt}}$$

siendo:

as = coeficiente de asentamiento,
 S_{as} = superficie asentada,
 S_{ad} = superficie adosada,
 S_{pt} = superficie de envolvente en contacto con el aire exterior,
 S_G = superficie global de la envolvente del edificio.

- **Coeficiente de adosamiento (ADOS):** indica el grado de contacto de las superficies de la envolvente con edificios vecinos. Para obtener su valor, se relaciona la “superficie adosada” (S_{as}) respecto a la superficie global de la envolvente (S_G).

$$ad = \frac{S_{ad}}{S_G} = \frac{S_{ad}}{S_{as} + S_{ad} + S_{pt}}$$

siendo:

ad = coeficiente de adosamiento,
 S_{as} = superficie asentada,
 S_{ad} = superficie adosada,
 S_{pt} = superficie de envolvente en contacto con el aire exterior,

S_G = superficie global de la envolvente del edificio.

- **Coeficiente de perforación (PERF)**³: es un concepto que establece a grandes rasgos la permeabilidad del paso de aire por la envolvente, relativas a la superficie de la perforación, dimensiones y posición relativa de las aberturas. Es el resultado de la relación matemática entre la superficie perforada (S_{pr}) y la superficie global de la envolvente (S_G).

$$pr = \frac{S_{pr}}{S_G}$$

siendo:

pr = coeficiente de perforación (valores entre 0 y 1),

S_{pr} = superficie perforada,

S_G = superficie global de la envolvente del edificio.

- **Hasta 1955 (Tipo 1):** responden al modelo tradicional de construcciones de montaña, presentes en todo el Pirineo.

Esta descripción se corresponde con la tipología “casa de montaña”, para viviendas unifamiliares, o “edificio de montaña”, para viviendas plurifamiliares y alojamientos, a las que se les dan las siguientes dimensiones según caso de análisis:

CASA DE MONTAÑA

- Superficie planta: 56m² (7,5x7,5 m)
- Cantidad de plantas: 2 niveles
- Altura por planta: 2,8 m
- Superficie vidriada de 21,6 m², correspondiente a 6 ventanas de 1x1,8 m por planta

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$\begin{aligned} S_G &= (2 S_0) + (p_G h) \\ S_G &= (2 * 56 \text{ m}^2) + (7,5 \text{ m} * 4) * (2 * 2,8 \text{ m}) \\ S_G &= 280 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

siendo:

S_G = superficie global de la envolvente del edificio,

S_0 = superficie ocupada en planta o superficie media,

p_G = perímetro global de la envolvente,

h = altura del edificio.

Calculo del coeficiente de perforación

$$\begin{aligned} pr &= \frac{S_{pr}}{S_G} \\ pr &= \frac{21,6 \text{ m}^2}{280 \text{ m}^2} \\ pr &= 0,077 \end{aligned}$$

siendo:

pr = coeficiente de perforación (valores entre 0 y 1),

S_{pr} = superficie perforada,

S_G = superficie global de la envolvente del edificio.

EDIFICIO DE MONTAÑA

- Superficie planta: 196,95m² (15x13,13 m)
- Cantidad de plantas: 4 niveles
- Altura por planta: 2,8 m
- Superficie vidriada de 60,8 m², correspondiente a 6 ventanas de 1x1,2 m y 2 terrazas de 2x2 m por planta

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 196,95 \text{ m}^2) + (15 \text{ m} * 2 + 13,13 * 2) * (4 * 2,8 \text{ m})$$

³ Arquitectura y energía natural. UPC

$$S_G = 1024 \text{ m}^2$$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{60,8 \text{ m}^2}{1024 \text{ m}^2}$$

pr = 0,059

- **De 1955 a 1980 (Tipo 2):** se caracterizan por ser “chalets”, para unifamiliares, y, posteriormente, de apartamentos para plurifamiliares, a las que se le atribuyen según análisis de caso:

CASA DE MONTAÑA

Las viviendas unifamiliares tipo “chalet” en Pirineos mantienen la estética de las casas de montaña, por lo que serán incluidas dentro de este grupo, con un $pr = 0,077$.

EDIFICIO DE POSGUERRA

- Superficie planta: $365,4 \text{ m}^2$ ($20,3 \times 18 \text{ m}$)
- Cantidad de plantas: 5 niveles
- Altura por planta: 2,5 m
- Superficie vidriada de 160 m^2 , correspondiente a 8 ventanas de $1 \times 1 \text{ m}$, 4 ventanas de $1 \times 0,5 \text{ m}$ y 4 terrazas de $2 \times 2,75 \text{ m}$ por planta

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 365,4 \text{ m}^2) + (20,3 \text{ m} * 2 + 18 * 2) * (5 * 2,5 \text{ m})$$

$$S_G = 1688,3 \text{ m}^2$$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{160 \text{ m}^2}{1688,3 \text{ m}^2}$$

pr = 0,095

- **De 1981 a 1995 (Tipo 3):** se incrementa la preocupación por el aislamiento térmico, se introduce el aislamiento a las nuevas edificaciones con espesores de 3 a 5 centímetros. Las tipologías asociadas a este momento son casa post 1979, para unifamiliares, y edificios post 1979 en sus variables aislado o entre medianeras, para plurifamiliares y alojamientos.

CASA POST 1979

- Superficie planta: 62 m^2 ($7 \times 8,85 \text{ m}$)
- Cantidad de plantas: 2 niveles
- Altura por planta: 2,5 m
- Superficie vidriada de 19 m^2 , correspondiente a 3 ventanas de $1 \times 1,5 \text{ m}$ y 1 terrazas de $2 \times 3 \text{ m}$ por planta

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 62 \text{ m}^2) + (7 \text{ m} * 2 + 8,85 * 2) * (2 * 2,5 \text{ m})$$

$$S_G = 282,5 \text{ m}^2$$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{19 \text{ m}^2}{282,5 \text{ m}^2}$$

pr = 0,067

EDIFICIO POST 1979 (AISLADO)

- Superficie planta: 224 m^2 ($14 \times 16 \text{ m}$)
- Cantidad de plantas: 4 niveles
- Altura por planta: 2,5 m
- Superficie vidriada de 104 m^2 , correspondiente a 10 ventanas de $1 \times 1,2 \text{ m}$ y 2 terrazas de $2 \times 3,5 \text{ m}$ por planta

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 224 \text{ m}^2) + (14 \text{ m} * 2 + 16 * 2) * (4 * 2,5 \text{ m})$$

$$S_G = 1048 \text{ m}^2$$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{104 \text{ m}^2}{1048 \text{ m}^2}$$

pr = 0,099

EDIFICIO POST 1979 (ENTRE MEDIANERAS)

- Superficie planta: 200 m² (13x15,4m)
- Cantidad de plantas: 4 niveles
- Altura por planta: 2,5 m
- Superficie vidriada de 72 m², correspondiente a 2 ventanas de 1x1,2 m, 4 ventanas de 0,8x0,5 m y 2 terrazas de 2x3,5 m por planta

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 200 \text{ m}^2) + (13 \text{ m} * 2 + 15,4 * 2) * (4 * 2,5 \text{ m})$$

$S_G = 968 \text{ m}^2$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{72 \text{ m}^2}{968 \text{ m}^2}$$

pr = 0,074

- **A partir de 1996 (Tipo 4):** los espesores de aislamiento se incrementan y se mejora la situación de las cámaras de aire. Las tipologías asociadas a este momento son casa post 1987, para unifamiliares, y edificios post 1987 en sus variables aislado o entre medianeras, para plurifamiliares y alojamientos.

CASA POST 1987

- Superficie planta: 64,5 m² (7,5x8,6 m)
- Cantidad de plantas: 2 niveles
- Altura por planta: 2,5 m
- Superficie vidriada de 19 m², correspondiente a 3 ventanas de 1x1,5 m y 1 terraza de 2x3 m por planta

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 64,5 \text{ m}^2) + (7,5 \text{ m} * 2 + 8,6 * 2) * (2 * 2,5 \text{ m})$$

$S_G = 290 \text{ m}^2$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{19 \text{ m}^2}{290 \text{ m}^2}$$

pr = 0,065

EDIFICIO POST 1987 (AISLADO)

- Superficie planta: 200 m² (19x10,5m)
- Cantidad de plantas: 5 niveles
- Altura por planta: 2,5 m
- Superficie vidriada de 129 m², correspondiente a 4 ventanas de 1x1,2 m, 6 ventanas de 1x1 m, dos ventanas de 1x0,5 m, 2 terrazas de 2x2m por planta y 2 terrazas de 2x1,5 m.

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 199,5 \text{ m}^2) + (19 \text{ m} * 2 + 10,5 * 2) * (5 * 2,5 \text{ m})$$

$S_G = 1136,5 \text{ m}^2$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{129 \text{ m}^2}{1136,5 \text{ m}^2}$$

pr = 0,113

EDIFICIO POST 1987 (ENTRE MEDIANERAS)

- Superficie planta: 199,5 m² (19x10,5m)
- Cantidad de plantas: 4 niveles

- Altura por planta: 2,5 m
- Superficie vidriada de 105 m², correspondiente a 6 ventanas de 1x1 m, dos ventanas de 1x0,5 m, 2 terrazas de 2x2m por planta y 2 terrazas de 2x1,5 m.

Calculo de la superficie global de la envolvente

$$S_G = (2 * 199,5 \text{ m}^2) + (19 \text{ m} * 2 + 10,5 * 2) * (5 * 2,5 \text{ m})$$

$$S_G = 1136,5 \text{ m}^2$$

Calculo del coeficiente de perforación

$$pr = \frac{105 \text{ m}^2}{1136,5 \text{ m}^2}$$

$$pr = 0,092$$

A partir de los cálculos realizados se obtienen los siguientes coeficientes de perforación para las distintas tipologías constructivas y variantes:

Tipologías	Unifamiliar	Plurifamiliar	
		Aislado	Medianeras
-1955	0,077	0,059	
1955-1980	0,077	0,095	
1981-1995	0,067	0,099	0,074
1996-	0,065	0,113	0,092

- **Coeficiente de transmisión global (KG):** establece la resistencia que opone la envolvente al paso del calor por conducción a través de la envolvente, producido por la diferencia de temperaturas del aire interior y exterior. La construcción de este coeficiente se obtiene a través de la suma de los coeficientes de transmisión de calor de cada cerramiento ($K_i \alpha_i$) por su superficie (S_i) sobre el total de las superficies (S_G).

$$K_G = \frac{\sum S_i K_i \alpha_i}{S_G} \quad (\frac{W}{m^2 K})$$

siendo:

K_G = coeficiente global de transmisión de calor,

S_i = superficie de cada uno de los cerramientos,

K_i = coeficiente de transmisión de calor de cada cerramiento (W/m²K),

α_i = superficie de situación del cerramiento,

S_G = superficie global de la envolvente del edificio.

Dado que para construir este coeficiente se necesita obtener los valores de resistencia de cada uno de los elementos de la envolvente y la superficie con que cuenta cada uno, se incorporarán a la planilla los siguientes datos asociados:

- **Superficie global (SUP_G):** superficie global de la envolvente del edificio (S_G).

$$S_G = (2 S_0) + (p_G h)$$

siendo:

S_G = superficie global de la envolvente del edificio,

S_0 = superficie ocupada en planta o superficie media,

p_G = perímetro global de la envolvente,

h = altura del edificio (plantas * 3 metros).

- **Superficie de pared (SUP_PT):** corresponde a la superficie de envolvente en contacto con el aire exterior (S_{pt}).

$$S_{pt} = (P_G - P_G \left(\frac{m_{ad}}{4} \right)) h_{sr} - S_{pr}$$

siendo:

S_{pt} = superficie de la envolvente en contacto con el aire exterior,

P_G = perímetro global de la envolvente,

m_{ad} = cantidad de medianeras adosadas a otros edificios,

h_{sr} = altura sobre rasante (3 metros por planta),

S_{pr} = superficie perforada.

- **Superficie adosada (SUP_AD):** corresponde a la superficie de envolvente en contacto con edificios vecinos (S_{ad}).

$$S_{ad} = \left(P_G \left(\frac{m_{ad}}{4} \right) \right) h_{sr}$$

siendo:

S_{ad} = superficie de la envolvente adosada,
 P_G = perímetro global de la envolvente,
 m_{ad} = cantidad de medianeras adosadas a otros edificios,
 h_{sr} = altura sobre rasante (3 metros por planta).

- **Superficie asentada (SUP_AS):** corresponde a la superficie de envolvente en contacto con el suelo (S_{as}).

$$S_{as} = S_0 + P_G h_{br}$$

siendo:

S_{as} = superficie de la envolvente asentada,
 S_0 = superficie ocupada en planta o superficie media,
 P_G = perímetro global de la envolvente,
 h_{br} = altura bajo rasante (3 metros por planta).

- **Superficie de cubierta (SUP_TEC):** corresponde a la superficie de envolvente de la cubierta (S_t).

$$S_t = S_0$$

siendo:

S_t = superficie de la envolvente correspondiente a la cubierta,
 S_0 = superficie ocupada en planta o superficie media.

- **Superficie de perforaciones (SUP_VEN):** corresponde a la superficie de envolvente con perforaciones (S_{pr}).

$$S_{pr} = S_0 * pr$$

siendo:

S_{pr} = superficie de la envolvente correspondiente a la cubierta,
 S_0 = superficie ocupada en planta o superficie media,
 pr = coeficiente de perforación (valores entre 0 y 1).

- **Superficie de marco (SUP_MAR):** corresponde a la superficie de las perforaciones correspondientes al marco (S_m).

$$S_m = S_t * pm$$

siendo:

S_m = superficie de las perforaciones correspondiente a vidrio,
 S_t = coeficiente de perforación (valores entre 0 y 1),
 pm = coeficiente de marco (valores entre 0 y 1).

El coeficiente de marco responde a cada tipología de cerramiento según los espesores del marco, lo que se encuentra intrínsecamente ligado al material del mismo, y que establece unas proporciones entre la superficie destinada al marco y al vidrio. Dado que esta relación depende asimismo de las dimensiones de cada vano, se supondrán valores de referencia de:

- Ventanas con marco de madera: 0,12
- Ventanas con marco de aluminio: 0,10

- **Superficie de vidrio (SUP_VID):** corresponde a la superficie de las perforaciones correspondientes al vidrio (S_v).

$$S_v = S_t * (1 - pm)$$

siendo:

S_v = superficie de las perforaciones correspondiente a vidrio,
 S_t = coeficiente de perforación (valores entre 0 y 1),
 pm = coeficiente de marco (valores entre 0 y 1).

ANEXO III

MAPA DE CONFORT CLIMÁTICO EXTERIOR

AÑO 2014	HORA	TEMPERATURAS HORARIAS											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	1	2,5	0,6	4,3	8,0	7,9	13,5	14,8	15,2	13,1	11,1	6,0	2,9
	2	2,4	0,2	3,9	7,5	7,2	13,0	14,1	14,7	12,8	10,8	5,8	2,8
	3	2,3	0,0	3,5	7,0	6,7	12,5	13,5	14,2	12,5	10,5	5,5	2,7
	4	2,3	-0,4	3,2	6,6	6,5	12,1	13,0	13,9	12,1	10,2	5,3	2,6
	5	2,1	-0,6	2,9	6,3	6,3	11,6	12,6	13,5	11,8	10,0	5,1	2,4
	6	1,9	-0,7	2,8	6,0	6,3	11,4	12,1	13,1	11,5	9,6	4,9	2,3
	7	1,9	-1,0	2,7	6,0	6,7	12,1	12,5	13,0	11,3	9,3	4,8	2,2
	8	1,7	-1,1	2,8	6,9	8,3	14,5	14,8	14,3	11,5	9,2	4,8	2,2
	9	1,7	-1,1	4,3	10,3	10,5	17,3	17,6	16,9	13,4	10,5	5,0	2,5
	10	2,4	0,2	7,4	12,7	12,1	19,7	19,7	19,1	17,1	13,8	6,7	3,0
	11	4,1	2,8	9,8	14,7	13,6	21,6	21,2	20,9	19,3	16,5	8,6	4,1
	12	5,8	4,4	11,6	16,2	14,7	22,4	22,1	22,6	21,1	18,2	10,0	6,6
	13	6,9	4,4	12,6	16,7	14,7	23,3	22,6	23,6	22,3	19,4	11,0	7,6
	14	7,2	4,9	13,1	17,0	14,7	23,6	23,0	23,7	22,8	20,0	11,6	8,4
	15	7,8	4,8	13,3	17,0	14,4	23,1	23,1	23,4	22,7	20,2	11,4	8,8
	16	7,6	4,5	13,2	16,6	14,0	22,1	23,2	23,2	22,1	19,6	11,4	8,2
	17	6,2	4,1	12,2	15,9	13,2	21,4	22,7	22,6	21,0	18,3	10,2	6,8
	18	5,0	3,6	10,8	14,7	12,9	20,6	21,8	21,9	19,1	16,5	8,9	5,5
	19	4,3	2,9	9,3	13,6	12,2	19,3	20,7	21,0	17,6	15,0	8,1	4,7
	20	3,9	2,3	8,0	12,2	11,3	18,5	19,7	19,7	16,4	14,0	7,6	4,3
	21	3,4	2,0	6,8	10,9	10,4	17,5	18,5	18,5	15,4	13,3	7,1	4,2
	22	3,1	1,6	6,2	9,9	9,8	16,3	17,1	17,4	14,7	12,5	6,8	3,9
	23	2,9	1,3	5,5	9,2	9,3	15,2	16,4	16,4	14,1	11,9	6,4	3,5
	24	2,8	0,9	5,0	8,5	8,6	14,3	15,6	15,7	13,5	11,4	6,2	3,2
GRADOS CALEF.		339	391	257	162	180	53	42	38	69	108	253	326
GRADOS REFRIG.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BALANCE		339	391	257	162	180	53	42	38	69	108	253	326
CALEF. MENSUAL		10523	10959	7965	4848	5570	1583	1294	1169	2072	3347	7588	10121
REFRIG. MENSUAL		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Confort INVIERNO y VERANO entre 18 y 26 grados FRIOS -18 CALOR +26

*Tabla 17. Mapa de confort climático exterior para el año 2014.
(Elaboración propia con datos de Servei de Meteorología del Gobierno de Andorra)*

AÑO 2015	HORA	TEMPERATURAS HORARIAS											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	1	2,3	0,1	6,1	7,4	11,5	13,7	18,7	15,5	11,7	8,6	6,1	3,2
	2	2,2	-0,1	5,4	6,9	10,9	13,2	18,0	15,0	11,3	8,3	5,8	3,0
	3	2,0	-0,4	5,1	6,5	10,5	12,8	17,4	14,3	10,9	8,1	5,6	2,9
	4	1,8	-0,4	4,9	6,1	10,1	12,5	16,8	14,3	10,6	7,9	5,4	2,7
	5	1,6	-0,3	4,7	5,7	9,8	12,1	16,3	13,7	10,1	7,6	5,2	2,6
	6	1,4	-0,2	4,4	5,4	9,6	11,9	16,0	13,7	9,9	7,5	5,1	2,5
	7	1,3	-0,4	4,3	5,2	10,1	12,3	16,1	13,6	9,7	7,3	5,0	2,4
	8	1,1	-0,6	4,4	6,1	12,2	14,7	18,3	14,9	9,8	7,2	5,0	2,1
	9	1,2	-0,5	5,8	9,4	14,4	17,5	21,6	16,7	12,3	8,5	5,0	2,3
	10	1,5	1,0	8,5	11,8	16,5	19,7	24,0	20,0	14,9	11,4	7,1	2,8
	11	3,2	2,9	10,9	13,8	18,1	21,7	26,7	21,9	16,9	13,5	10,1	4,0
	12	5,8	4,2	12,2	15,5	19,3	22,9	28,3	23,9	18,7	15,1	11,9	7,9
	13	7,4	5,4	13,2	16,2	20,1	23,7	29,2	24,7	19,8	16,0	13,3	10,1
	14	8,4	6,1	13,5	16,6	20,6	23,9	30,0	25,4	20,2	16,6	14,3	11,4
	15	9,0	6,3	13,6	16,3	20,2	23,4	29,9	25,3	19,8	17,0	14,4	11,7
	16	8,5	6,2	13,3	16,2	19,6	22,5	29,3	25,3	19,3	16,5	13,7	11,1
	17	7,5	5,3	12,4	15,7	19,1	22,0	28,9	24,5	18,3	15,5	11,4	9,1
	18	5,7	4,0	11,1	14,3	18,3	21,0	28,0	23,6	17,2	14,0	9,6	7,0
	19	4,7	2,8	9,9	13,2	17,2	20,0	26,4	22,3	16,2	12,6	8,7	6,1
	20	4,0	2,1	8,6	12,0	16,2	19,0	25,1	20,4	15,1	11,5	8,0	5,4
	21	3,4	1,2	7,8	10,8	14,9	17,7	23,4	18,8	14,1	10,6	7,5	4,8
	22	3,1	0,9	7,2	9,5	13,8	16,5	21,8	17,4	13,3	9,9	7,0	4,4
	23	2,7	0,6	6,7	8,6	13,1	15,4	20,4	16,6	12,7	9,4	6,6	4,0
	24	2,5	0,5	6,4	7,9	12,3	14,7	19,4	16,0	12,0	8,9	6,2	3,6
GRADOS CALEF.		340	386	231	175	85	49	7	34	95	162	234	305
GRADOS REFRIG.		0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0
BALANCE		340	386	231	175	85	49	-15	34	95	162	234	305
CALEF. MENSUAL		10527	10795	7176	5251	2630	1472	227	1062	2856	5035	7026	9450
REFRIG. MENSUAL		0	0	0	0	0	0	705	0	0	0	0	0

Confort INVIERNO y VERANO entre 18 y 26 grados FRIOS -18 CALOR +26

*Tabla 18. Mapa de confort climático exterior para el año 2015.
(Elaboración propia con datos de Servei de Meteorología del Gobierno de Andorra)*

AÑO 2016	HORA	TEMPERATURAS HORARIAS											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	1	2,8	2,8	3,8	6,3	9,1	13,7	16,1	16,2	12,2	10,2	4,6	1,8
	2	2,6	2,6	3,5	5,9	8,6	13,0	15,7	15,5	13,6	9,6	2,4	1,6
	3	2,5	2,3	3,1	5,5	8,0	12,4	15,2	15,0	13,0	9,3	4,2	1,5
	4	2,3	1,8	3,1	5,1	7,6	12,0	14,7	14,5	12,5	9,2	4,1	1,3
	5	2,2	1,9	2,8	5,0	7,2	11,6	14,3	14,2	12,1	8,9	3,9	1,1
	6	2,1	0,6	2,4	4,8	7,0	11,3	14,0	13,8	11,8	8,6	3,7	1,1
	7	2,1	1,6	2,4	4,7	7,5	11,7	14,2	13,7	11,6	8,4	3,6	0,8
	8	2,0	1,5	2,4	5,7	9,7	14,0	16,5	15,3	11,8	8,3	3,5	0,6
	9	2,0	1,8	3,8	7,8	12,0	16,8	19,9	19,5	15,0	9,4	3,7	0,7
	10	2,5	3,5	6,2	10,1	13,9	18,8	22,0	22,4	18,4	12,2	5,6	1,2
	11	4,4	6,0	8,1	11,6	15,6	20,8	24,2	24,9	20,6	14,4	8,0	2,4
	12	6,3	7,7	9,4	12,6	16,5	21,9	26,0	26,9	22,3	15,9	9,8	6,8
	13	7,7	9,1	10,2	13,3	16,9	22,5	27,3	28,0	23,4	17,3	10,8	8,8
	14	8,5	9,8	10,4	13,8	17,1	22,9	27,9	28,2	23,8	18,2	11,3	10,2
	15	9,0	10,1	10,3	13,9	17,1	22,5	27,7	28,2	23,8	18,0	11,3	10,6
	16	8,7	10,1	10,2	13,5	16,6	22,0	27,0	27,7	22,8	17,6	10,8	9,6
	17	7,9	9,2	9,8	12,8	16,2	21,5	26,2	26,2	21,7	16,3	9,4	7,4
	18	6,4	7,5	8,5	12,0	15,4	20,9	25,0	24,9	20,5	14,6	7,8	5,7
	19	5,4	6,3	7,4	11,0	14,4	19,7	23,4	23,7	19,3	13,4	6,8	4,7
	20	4,6	5,2	6,5	10,1	13,4	18,7	22,2	22,4	18,0	12,4	6,1	4,0
	21	4,1	4,5	5,8	9,1	12,2	17,3	20,8	20,7	17,0	11,5	5,5	3,3
	22	3,6	3,8	5,2	8,1	11,1	16,0	19,3	19,1	15,9	10,8	5,1	2,8
	23	3,3	3,5	4,7	7,4	10,3	15,1	18,2	18,0	15,0	10,3	4,8	2,4
	24	3,0	3,2	4,2	6,7	9,7	14,3	17,4	17,0	14,3	9,9	4,5	2,1
GRADOS CALEF.		326	315	288	215	139	55	24	27	58	137	281	339
GRADOS REFRIG.		0	0	0	0	0	0	6	9	0	0	0	0
BALANCE		326	315	288	215	139	55	18	18	58	137	281	339
CALEF. MENSUAL		10108	8833	8915	6453	4307	1641	738	831	1745	4260	8421	10522
REFRIG. MENSUAL		0	0	0	0	0	0	191	286	0	0	0	0

Confort INVIERNO y VERANO entre 18 y 26 grados FRIOS -18 CALOR +26

Tabla 19. Mapa de confort climático exterior para el año 2016.
(Elaboración propia con datos de Servei de Meteorología del Gobierno de Andorra)

GRADOS MENSUALES PARA CONFORT													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	CALEF. MENSUAL	10523	10959	7965	4848	5570	1583	1294	1169	2072	3347	7588	10121
	REFRIG. MENSUAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	CALEF. MENSUAL	10527	10795	7176	5251	2630	1472	227	1062	2856	5035	7026	9450
	REFRIG. MENSUAL	0	0	0	0	0	0	705	0	0	0	0	0
2016	CALEF. MENSUAL	10108	8833	8915	6453	4307	1641	738	831	1745	4260	8421	10522
	REFRIG. MENSUAL	0	0	0	0	0	0	191	286	0	0	0	0
2017	CALEF. MENSUAL	11947	8224	6979	5568	2939	963	573	565	3108	3483	8311	11310
	REFRIG. MENSUAL	0	0	0	0	0	0	275	235	0	0	0	0

Confort INVIERNO y VERANO entre 18 y 26 grados

Tabla 20. Grados mensuales para confort térmico 2014-2017.
(Elaboración propia con datos de Servei de Meteorología del Gobierno de Andorra)

ANEXO IV

- A través del link se tiene acceso al mapa interactivo titulado “Inventario edificios de Escaldes-Engordany”, disponible a través de la plataforma online Carto (Carto, 2018).

Link: <https://paugui.carto.com/builder/8c989326-6329-4bf4-92a4-d05776f2b054/embed>

2. La pantalla de visualización se corresponde con la presente en la Figura 70. En la misma se observa un mapa del sector de Escaldes-Engordany con la huella de sus edificios en color gris, con opciones para hacer zoom. Sobre la izquierda se accede a una barra de desplazamiento que ofrece distintos *widgets*: Arquetipos residenciales, Arquetipos de alojamiento, Arquetipos comerciales, Consumo superficial 2017 y Coeficiente de transmitancia.

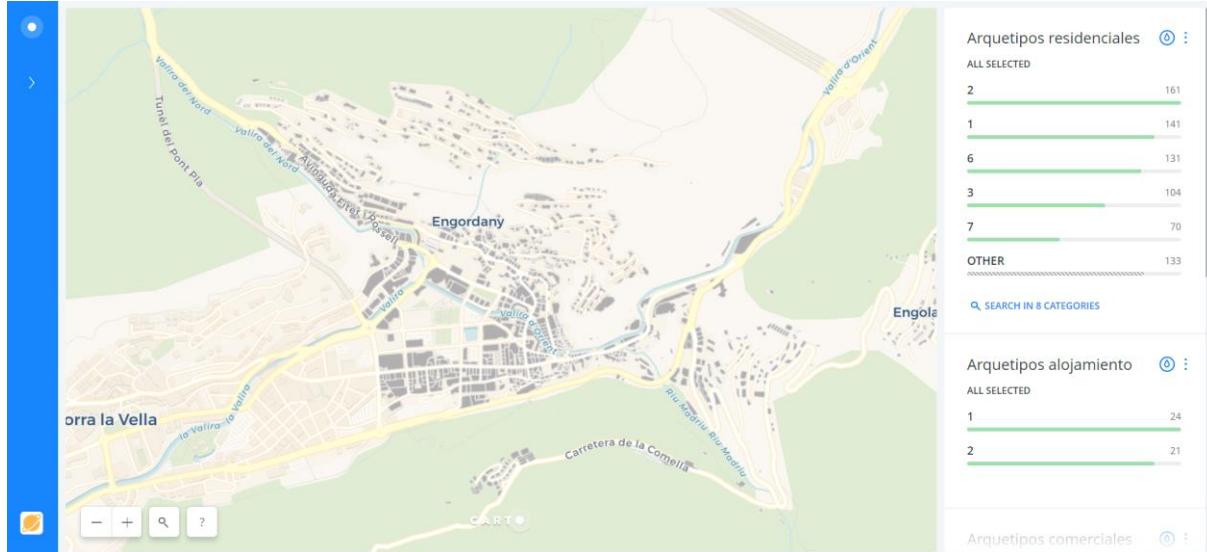


Figura 70. Vista inicial del mapa en Carto.
(Elaboración propia, a través de Carto)

3. A través de la opción “*Apply Auto Style*”, en forma de gota a la derecha del título del *widget* se atribuyen colores a cada una de las categorías correspondientes a los arquetipos (Figura 71). Asimismo, puede seleccionarse cada una de las categorías para que sean mostradas individualmente en el mapa y luego retornar a la visualización de todas con un clic en “*ALL*”.

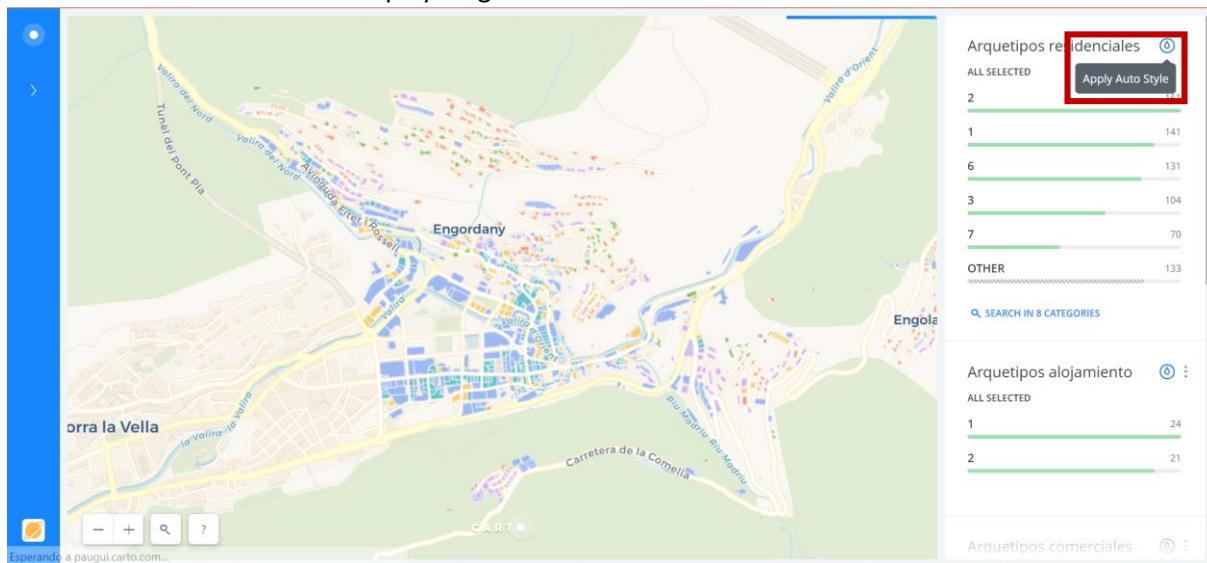
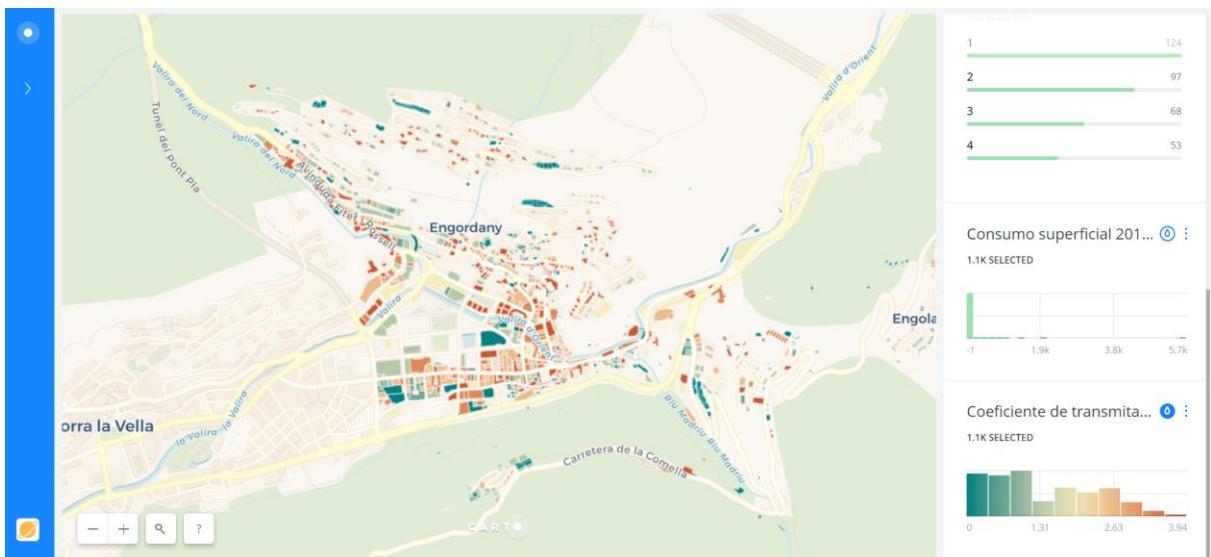


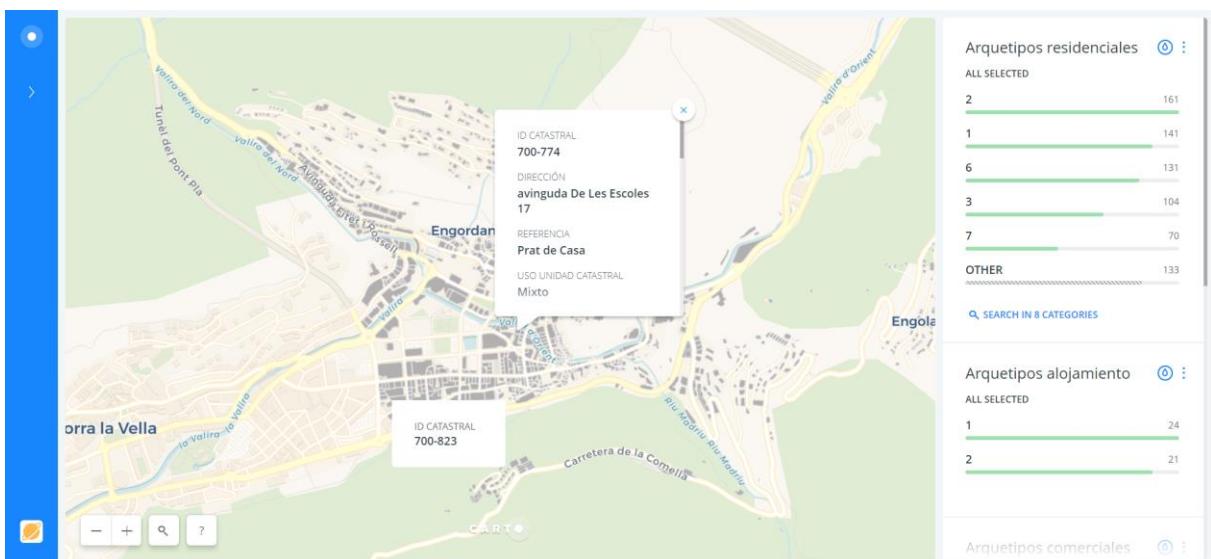
Figura 71. Display de visualizaciones de los widgets.
(Elaboración propia, a través de Carto)

4. Utilizando la barra de desplazamiento se tiene acceso a Consumo superficial 2017 y Coeficiente de transmitancia. Si se aplica la opción “*Apply Auto Style*”, a estas categorías se obtiene un gradiente de los valores que adquiere cada edificio para estas variables (Figura 72).



*Figura 72. Display de visualizaciones de los widgets.
(Elaboración propia, a través de Carto)*

5. Es posible acceder a los datos de cada edificación acercando el cursor a la superficie del edificio, donde se mostrará la identificación catastral del mismo, y si se hace clic sobre la misma aparecerán el resto de los datos que se tienen del mismo (Figura 73).

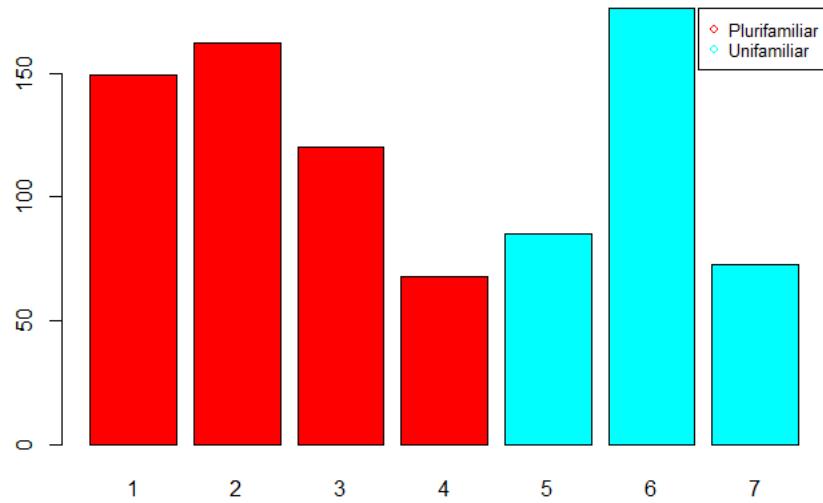


*Figura 73. Visualización de datos de los edificios.
(Elaboración propia, a través de Carto)*

ANEXO V

a. Uso principal

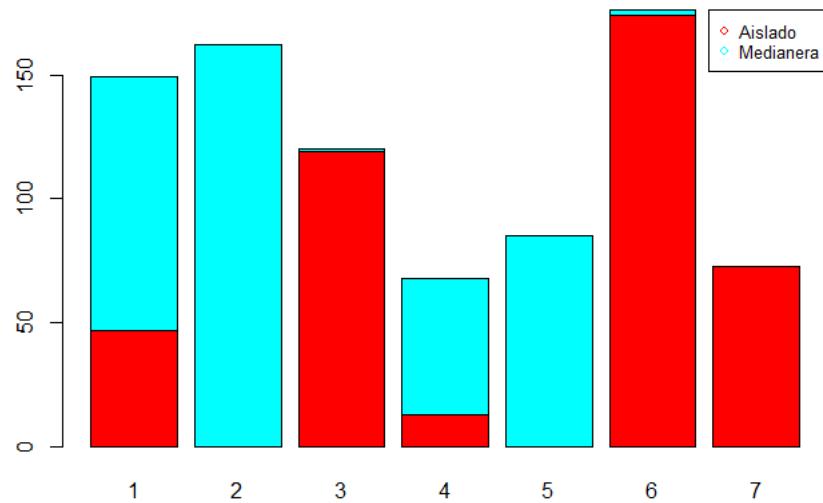
El análisis de la distribución de uso principal (Figura 74) según grupos demuestra que los grupos 1, 2, 3 y 4 corresponden a viviendas plurifamiliares, y los grupos 5, 6 y 7 a viviendas unifamiliares.



*Figura 74. Distribución de uso principal según clúster.
(Elaboración propia)*

b. Agrupamiento

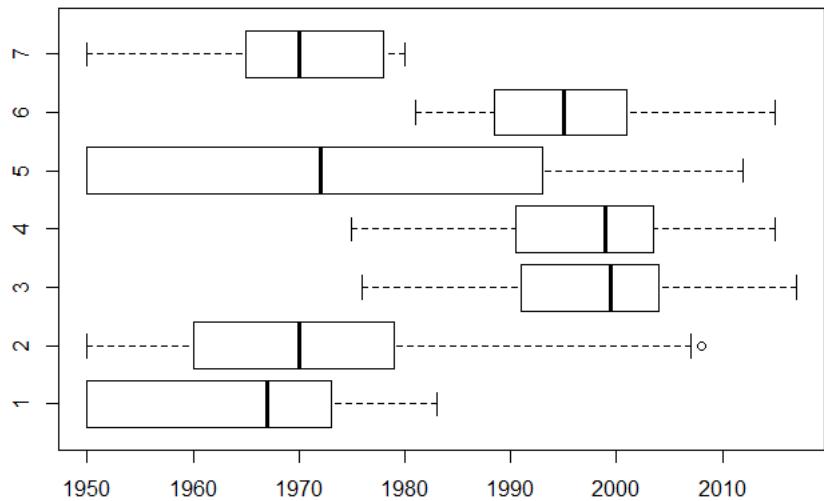
Existe una gran polarización de datos respecto a la agrupación con otras edificaciones (Figura 75), pudiéndose identificar grupos con presencia mayoritaria de edificios aislados (grupos 3, 6 y 7), grupos con presencia mayoritaria de edificios entre medianeras (grupos 2, 4, 5), y grupos con presencia mixta de edificios aislados y entre medianeras (grupo 1).



*Figura 75. Distribución de agrupamiento de edificios según clúster.
(Elaboración propia)*

c. Año de construcción

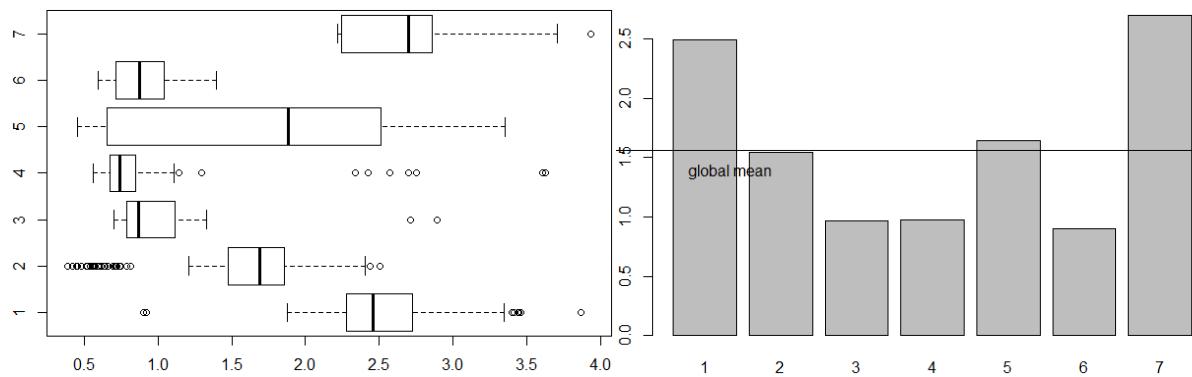
Existen algunos grupos en que la mayoría de los casos fueron construidos en determinados períodos de tiempo (Figura 76), lo que condicionará la técnica constructiva y materiales utilizados en los mismos. Si tuvieran que determinarse agrupamientos por año existiría un primer grupo cuya construcción es anterior a 1980 (grupos 1 y 7), un segundo grupo con construcción posterior a 1980 (grupos 3, 4 y 6) y un tercer grupo cuyo año de construcción resulta indistinto (grupo 5).



*Figura 76. Distribución de edificios por año de construcción según clúster.
(Elaboración propia)*

d. Coeficiente de transmitancia superficial

La variable coeficiente de transmitancia está intrínsecamente ligada al año de construcción, pero su cálculo incluye otras variables tales como el tamaño y forma edificio, por lo que su distribución presenta algunas variaciones (Figura 77). Si tuvieran que determinarse agrupamientos respecto a la media general, existiría un primer grupo cuya transmitancia es menor a la media (grupos 3, 4 y 6), un segundo grupo con valores similares a la media (grupos 2 y 5) y un tercer grupo cuya transmitancia es muy superior a la media global (grupos 1 y 7).



*Figura 77. Distribución de edificio por coeficiente de transmitancia según clúster.
(Elaboración propia)*

e. Superficie total

La superficie total de los grupos muestra una gran variación en la que puede reconocerse la impronta de los usos principales (Figura 78). Los grupos 5, 6 y 7 corresponden a viviendas unifamiliares, con unos valores medios de 338m^2 , 594m^2 y 574m^2 , correspondientemente. Dentro de los grupos correspondientes a viviendas plurifamiliares, puede observarse una gran diferencia entre los comportamientos de los grupos 1, 2 y 3, con medias de 1661m^2 , 1483m^2 y 1697m^2 correspondientemente, y el grupo 4 con una escala mucho mayor, de 6116m^2 de media.

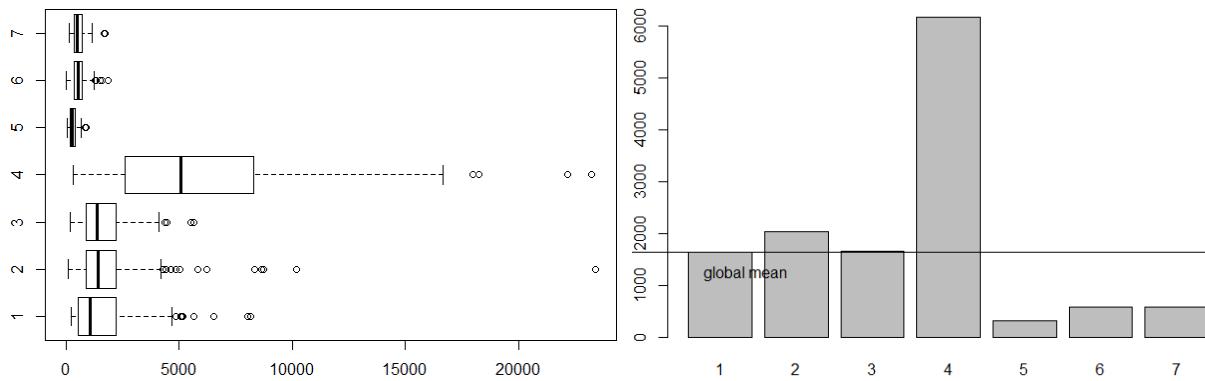


Figura 78. Distribución de edificio por superficie total según clúster.
(Elaboración propia)

f. Consumo eléctrico en 2017

El consumo total en 2017 (Figura 79) muestra una tendencia similar a la observada en superficie total, intuyéndose una relación entre la cantidad de metros cuadrados y el consumo total del edificio. Existen algunas divergencias: a pesar de que los grupos 1, 2 y 3 presentan superficies similares, el grupo 2 consume una media de 86.740 kWh/a, cantidad superior a los 62.460 kWh/a del grupo 1 y muy por encima de los 42.579 kWh/a del grupo 3.

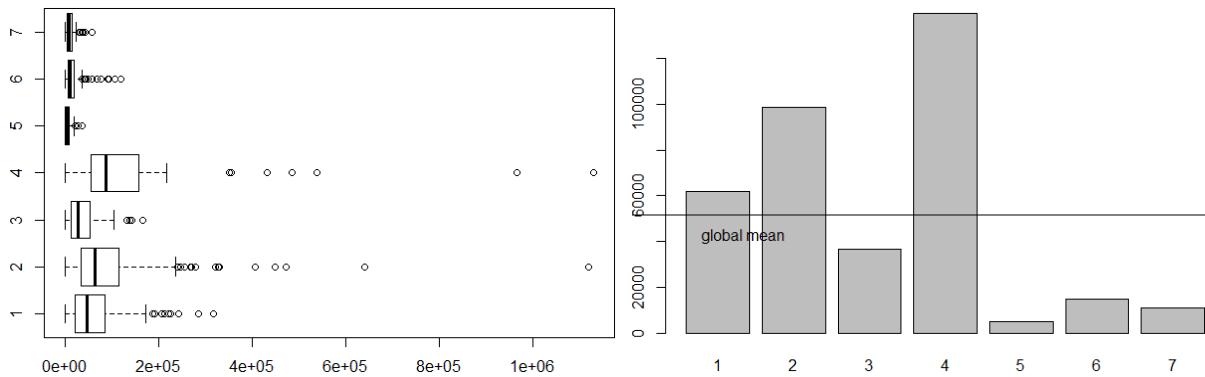


Figura 79. Distribución de edificio por consumo eléctrico en 2017 según clúster.
(Elaboración propia)

g. Consumo superficial en 2017

Como se había anticipado al principio del análisis del sector residencial, el indicador de eficiencia que será utilizado será el de consumo por unidad de superficie. A través de esta unidad, es posible realizar una comparación, ponderada según tamaño de la vivienda, del consumo de las distintas tipologías. La utilización de esta metodología hace desaparecer las diferencias de escala existentes entre unifamiliares y plurifamiliares o alojamientos.

Al relacionar los valores obtenidos por unidad de superficie (Figura 80), puede observarse que las viviendas unifamiliares (grupos 5, 6 y 7) poseen los valores de consumo superficial más bajos, pero de escala similar a los encontrados en algunas viviendas plurifamiliares (grupos 3 y 4). Por otro lado, algunas viviendas plurifamiliares presentan valores de consumo por encima de la media (grupos 1 y 2), en el caso del grupo 2 llegando a duplicar los consumos reportados por otras viviendas.

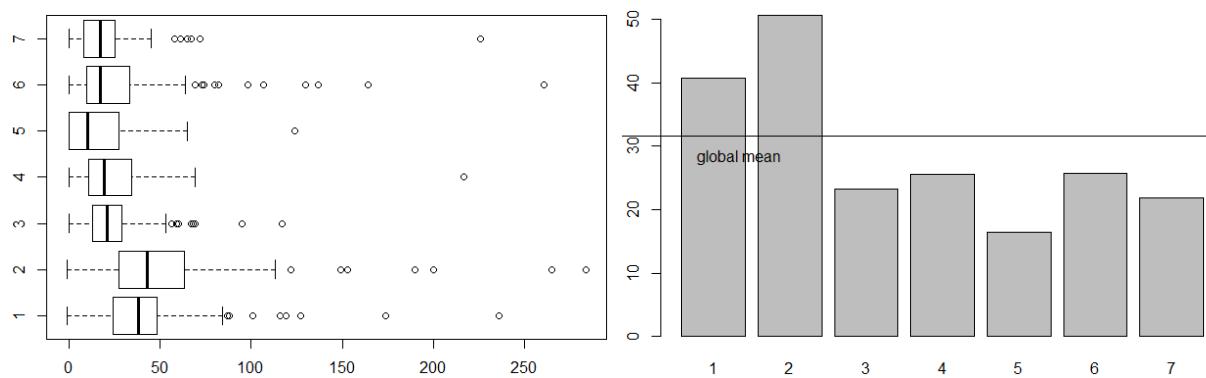


Figura 80. Distribución de edificio por consumo superficial en 2017 según clúster.
(Elaboración propia)

ANEXO VI

a. Superficie total

Tal como puede observarse en la Figura 81 existe una gran diferencia entre las dimensiones de ambos grupos, correspondiendo el Grupo 1 a alojamientos de pequeña escala, en un rango de 212m^2 a 4.867m^2 , y el Grupo 2 a alojamientos de gran escala, con un rango de 2.031m^2 a 51.466m^2 .

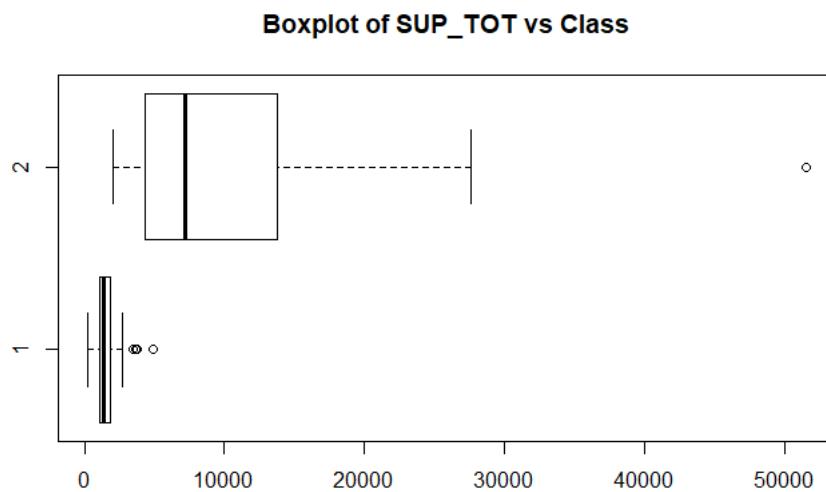
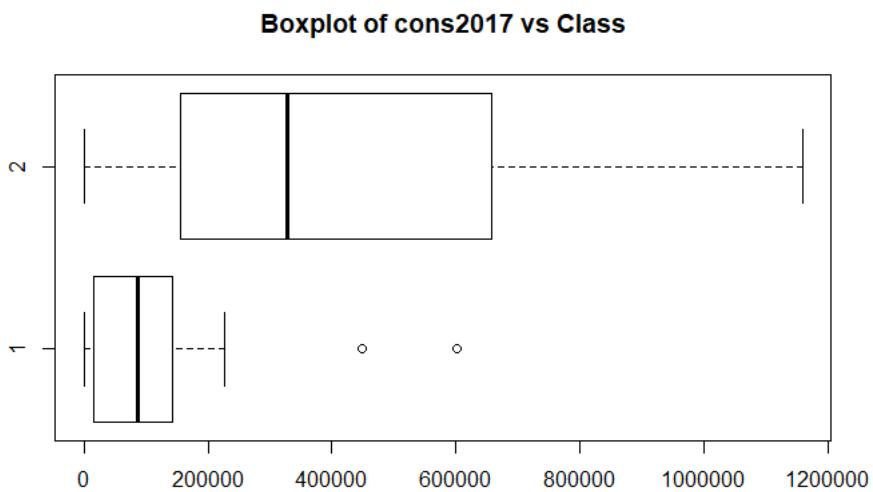


Figura 81. Distribución de edificios de alojamiento por superficie total según clúster.
(Elaboración propia)

b. Consumo eléctrico total en 2017

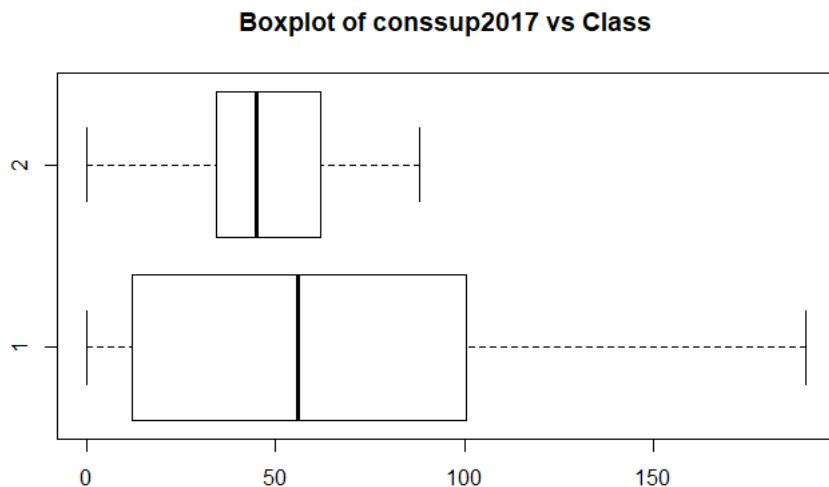
Esta diferencia entre las dimensiones de ambos grupos tiene su correlato en el consumo anual de ambos, siendo el Grupo 2 ampliamente superior que el Grupo 1.



*Figura 82. Distribución de edificios de alojamiento por consumo total en 2017 según clúster.
(Elaboración propia)*

c. Consumo eléctrico por unidad de superficie en 2017

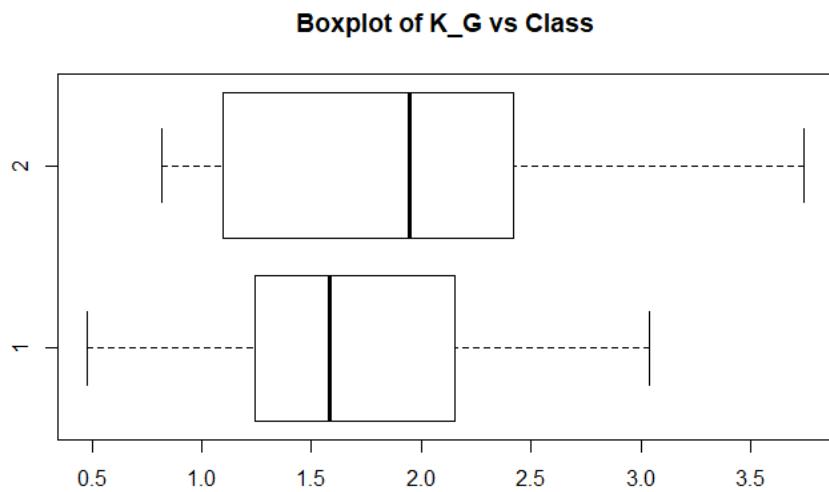
La tendencia de mayor consumo por alojamiento observada en el global posee su contraparte en el consumo por unidad de superficie de ambos grupos (Figura 83), superando el Grupo 1 al Grupo 2 en su rango y media de consumo por m^2 . Esta situación puede encontrar su justificación en que un alojamiento de grandes dimensiones, posee también grandes zonas de almacenaje y aparcamiento que tienen un bajo aporte al consumo eléctrico, pero que computan como metro cuadrado útil. De esta forma, al distribuir el consumo total del edificio entre su superficie, los valores del Grupo 1 permanecen por el gran denominador que poseen.



*Figura 83. Distribución de edificios de alojamiento por consumo por unidad de superficie en 2017 según clúster.
(Elaboración propia)*

d. Coeficiente de transmitancia global

Las enormes diferencias observadas en consumo llevan a analizar consiguientemente las propiedades térmicas del edificio para ver si están correlacionadas de alguna forma, dando como resultado la comparativa de la Figura 84. En ella puede observarse que los rangos cubiertos por ambos grupos se superponen, por lo que no puede afirmarse que el comportamiento térmico de los grupos sea distinto.

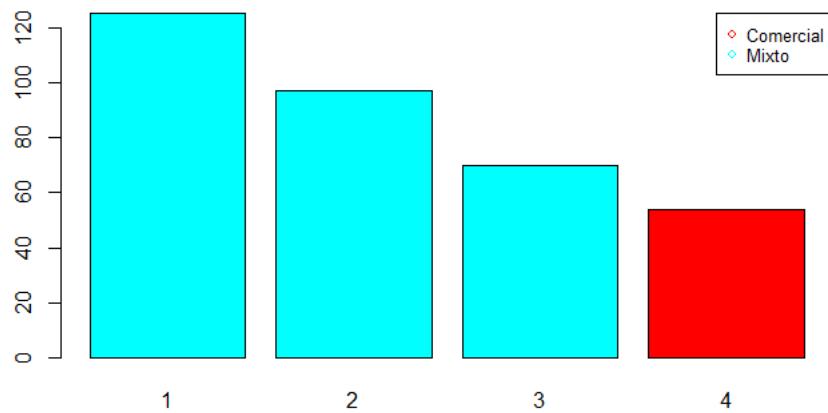


*Figura 84. Distribución de edificios de alojamiento por coeficiente de transmitancia global según clúster.
(Elaboración propia)*

ANEXO VII

a. Uso de la unidad catastral

La Figura 85 muestra una clara subdivisión entre los usos comerciales que poseen un edificio exclusivo o los que comparten edificio con otros usos, siendo el Grupo 4 el único que posee el 100 por ciento de la superficie del edificio dedicada a usos comerciales.

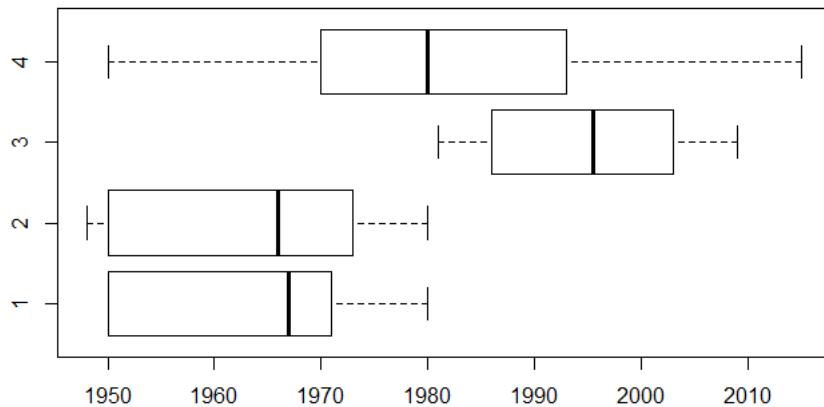


*Figura 85. Distribución de edificios comerciales por uso de la unidad catastral según clúster.
(Elaboración propia)*

b. Año de construcción

El análisis de la antigüedad de los edificios (Figura 86) revela que los grupos 1 y 2 se encuentran constituidos por edificios construidos antes de 1980, mientras que el Grupo 3 por edificios posteriores a dicha fecha. El Grupo 4 abarca toda la serie de años, indistintamente de su momento de construcción.

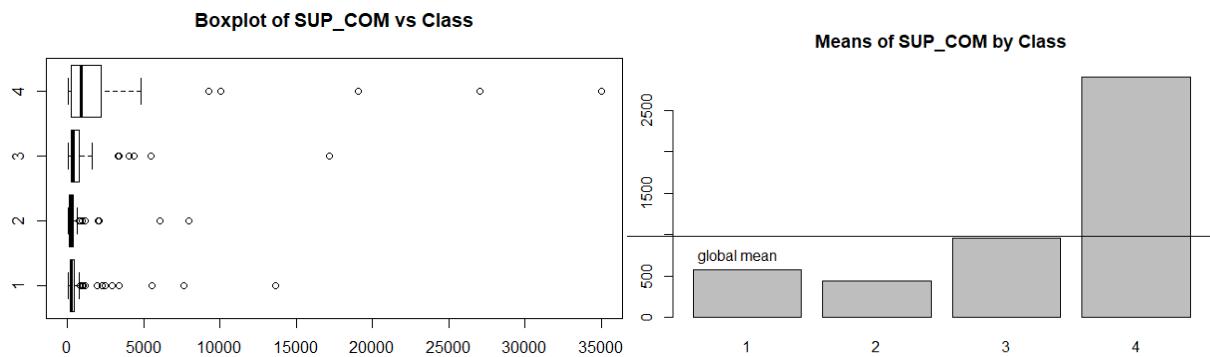
Boxplot of ANO vs Class



*Figura 86. Distribución de edificios comerciales por año de construcción según clúster.
(Elaboración propia)*

c. Superficie comercial

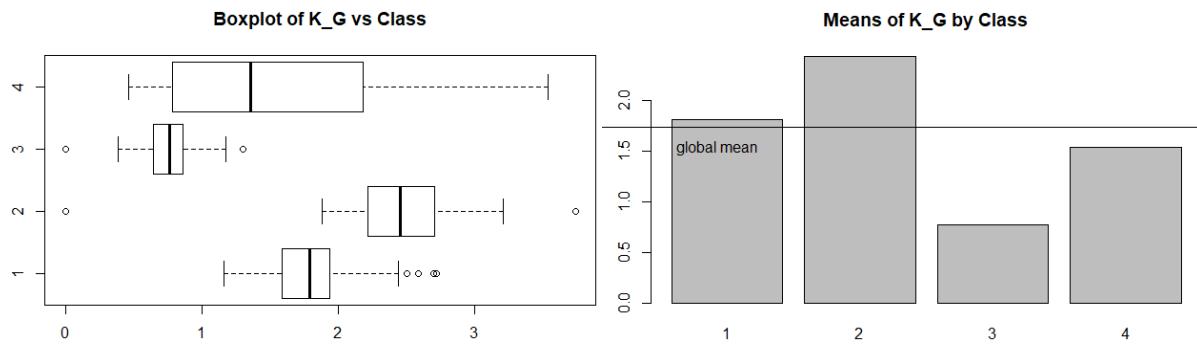
Si se evalúa la superficie destinada a usos comerciales (Figura 87), puede observarse que el grupo de edificios puramente comerciales posee superficies mucho más extensas que los grupos que comparten edificio con otros usos. Dentro de estos últimos, existe una diferencia entre el Grupo 3, con una media cercana a los 1000m², y los grupos 1 y 2 con valores de media en torno a los 500m².



*Figura 87. Distribución de edificios comerciales por superficie comercial según clúster.
(Elaboración propia)*

d. Coeficiente de transmisión global

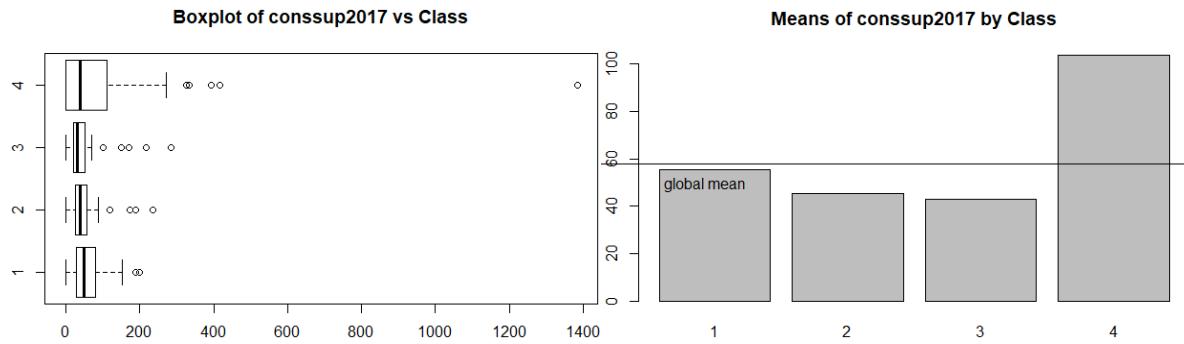
El análisis comparativo de propiedades térmicas de la envolvente (Figura 88) muestra que el Grupo 3, que concentra los edificios más recientes con uso mixto, posee un valor medio de transmitancia considerablemente menor al resto. Asimismo, muestra que los grupos 1 y 2, a pesar de compartir rango de años de construcción, poseen un cierto desfasaje en sus rangos de transmitancia, siendo el Grupo 1 el que se encuentra en mejores condiciones. El Grupo 4 mantiene la misma variabilidad que puede hallarse en los años de construcción en sus propiedades de transmitancia.



*Figura 88. Distribución de edificios comerciales por coeficiente de transmisión global según clúster.
(Elaboración propia)*

e. Consumo por unidad de superficie en 2017

Finalmente, si se analizan los valores de consumo por unidad de superficie (Figura 89) se ve que existe una clara diferencia entre el Grupo 4, edificios puramente comerciales, y el resto de los grupos. Dentro de estos últimos, el Grupo 1 muestra unos consumos levemente superiores a los grupos 2 y 3. La dificultad de encontrar el motivo de estos valores radica en la variabilidad de actividades que se desarrollan en los edificios y que comparten la categoría de usos comerciales.



*Figura 89. Distribución de edificios comerciales por consumo por metro cuadrado según clúster.
(Elaboración propia)*