



Treball de fi de màster

Títol:

Canvi climàtic i consums energètics del parc edificat a Andorra: el cas d'Escaldes-Engordany

Cognoms: Borges Martins

Nom: Patricia

Titulació: Màster en Ciència i Tecnologia de la Sostenibilitat

Directora: Anna Pagès-Ramón

Codirector: Marc Pons

Data de lectura: Octubre 2016



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Institut Universitari de Recerca en Ciència
i Tecnologies de la Sostenibilitat

Agraïments

Aquest treball de fi de màster ha estat possible gracies a l'Anna Pagès per la seva dedicació i paciència, i la seva visió de veure la sostenibilitat

També gracies al Marc Pons i la resta del equip de L'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra per la oportunitat i la confiança de deixar-me participar en un projecte real sobre el qual podré seguir treballant tot i haver acabat el màster, i tot el suport i informació proporcionada.

Finalment, però no menys important, vull agrair a la meva família i amics per la seva paciència i suport incondicional sobretot als del pis d'Avinguda de Sarrià núm. 137 pels ànims i la companyia durant els llargs dies d'estudi.

Resum

El sector de l'edificació presenta en l'actualitat el potencial de reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle més importants podent arribar fins al 90% l'any 2050. Però per poder dur a terme aquestes reduccions s'han de plantejar plans d'acció integrals en la totalitat del parc edificat, molt diferent de les actuacions aïllades que s'han estat duent a terme fins ara. Una de les principals necessitats a l'hora d'implementar estratègies eficients i racionals de reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle és un anàlisi previ de la demanda energètica de partida del parc edificat, a partir de la qual es plantejaran els possibles escenaris de reducció. Existeix un gran nombre de models i aproximacions que permeten caracteritzar energèticament el parc edificat, però totes elles requereixen de dades inicials sobre els edificis que no sempre estan disponibles.

En aquest context es planteja l'objectiu d'aquest treball final de màster: caracteritzar el parc edificat de la parròquia d'Escaldes-Engordany (Principat d'Andorra) des del punt de vista dels paràmetres que influeixen en el comportament energètic dels edificis. Aquesta caracterització pretén definir els paràmetres necessaris per poder estimar la demanda energètica de partida del parc edificat, mostrant la importància d'aquestes.

Per fer-ho s'ha utilitzat la metodologia arquetip, basada en les característiques físiques dels edificis. Aquesta tècnica consisteix en fragmentar el parc edificat segons alguns paràmetres creant grups d'edificis el més homogèniament possibles. Un cop establerts els grups es tria un edifici representatiu per analitzar i plantejar possibles escenaris, l'arquetip, que representarà a tot el grup. Així doncs aquesta metodologia permet tenir una caracterització de la totalitat del parc edificat estudiant només una mínima part d'aquest. A més, gracies a la utilització de eines SIG per al tractament de les dades també ha permès determinar zones d'actuació geogràficament.

Abstract

The building sector has currently the greatest potential to reduce the greenhouse gas emissions, that could reach up to 90% in 2050. But to carry out these reductions, comprehensive action plans in the entire building stock must be considered, contrary to the isolated actions that have been carried out recently. One of the main requirements when implementing rational and efficient strategies for reducing greenhouse gas emissions is a preliminary analysis of the baseline energy demand from which possible reduction scenarios will raise. There is a high number of models and approaches that allow the characterization of building stock energy demand, but they all require initial data about buildings that are not always available.

In this context arises the objective of this final project: to characterize the building stock of the municipality of Escaldes-Engordany (Principality of Andorra) from the point of view of the parameters that influence the energy performance of buildings. This characterization seeks to define the parameters necessary to estimate the baseline energy demand of the building stock, showing the importance of these information.

To do this the archetype methodology was used. Based on the physical characteristics of buildings, this technique consists in a building stock fragmentation according to some parameters creating groups of buildings as homogeneously as possible. Once groups are established, a representative building will be choose to be analysed, the archetype, that will represent the entire group. So this methodology allows a characterization of the entire building stock studying only a fraction of it. In addition, the use of GIS tools for data processing has also allowed us to determine areas for action geographically.

Índex general

Capítol 1: Introducció	1
1.1 Justificació	2
1.2 Motivacions:.....	4
1.3 Objectiu General/Específic.....	5
1.4 Estructura del treball	5
Capítol 2: Antecedents	7
2.1 Tendències globals de les emissions de CO ₂	8
2.2 Contribució dels edificis al canvi climàtic i potencial d'estalvi	11
2.3 Estimació del consum energètic del sector de l'edificació: dades i metodologies.....	14
2.3.1 Tipus i fonts d'informació	15
2.3.2 Metodologies.....	16
2.3.3 Un marc metodològic comú	21
Capítol 3: Cas d'estudi: Escaldes-Engordany	24
3.1 Context del Principat d'Andorra	25
3.1.1 Andorra i el canvi climàtic:	26
3.1.2 Model energètic d'Andorra	29
3.1.3 Sector de la edificació.....	33
3.2 Cas d'estudi: Escaldes-Engordany.....	35

Capítol 4: Metodologia	38
4.1 Treball de camp i tractament de dades	40
4.2 Caracterització energètica del parc edificat	44
Capítol 5: Càlculs i discussió	45
5.1 Caracterització del parc edificat d'Escaldes-Engordany	46
5.2 Aproximació del consum energètic dels edificis d'ús residencial d'Escaldes-Engordany....	59
Capítol 6: Conclusions.....	66
6.1 Conclusions generals.....	67
6.2 Línies futures.....	68
Capítol 7: Bibliografia	70
Capítol 8: Annexes.....	73
8.1 Annex I: Treball de camp.....	74
8.2 Annex 2: Cartografies.....	105

Llistat de Figures

Figura 1: Objectius de reducció de les emissions dels GEH l'any 2050 pe sectors, i previsió amb les polítiques actuals.....	2
Figura 2: Emissions anuals totals de GEH antropogèniques (GtCO ₂ eq/any) per grups de gasos (1970-2010).....	8
Figura 3: Emissions de gasos efecte hivernacle directes i indirectes per sectors econòmics.....	9
Figura 4: Emissions de GEH per sectors econòmics i renta.....	10
Figura 5: Cicle de vida d'un edifici convencional	11
Figura 6: Projeccions de les emissions directes i indirectes en GtCO ₂ eq/any	12
Figura 7: Potencial de mitigació econòmic per les tecnologies i pràctiques que s'espera que estigui disponible en l'any 2030 per sector i regió	13
Figura 8: Metodologies de modelització per estimar el consum/demanda energètic/a del parc edificat	16
Figura 9: Estructura del projecte Europeu TABULA	22
Figura 10: Mapa amb les capitals de parròquia	25
Figura 11: Emissions de GEH absorbides i no-absorbides d'Andorra	28
Figura 12: Balanç nacional de les emissions de GEH per sector	28
Figura 13: Mapa Andorra	36
Figura 14: Mapa Parròquia Escaldes-Engordany (Escala: 25 000)	37
Figura 15: Cartografia parròquia Escaldes-Engordany format .dwg	40
Figura 16: Full de recollida de dades.....	42
Figura 17: Interfície del software ArcMap	43
Figura 18: Creació de cartografies a partir de les dades introduïdes	43

Figura 19: Sistemes constructius característics d'edificis construïts abans de 1955	47
Figura 20: Sistemes constructius característics d'edificis construïts entre 1956-1980	48
Figura 21: Sistemes constructius característics d'edificis construïts entre 1981-1995	49
Figura 22: Sistemes constructius característics d'edificis construïts posteriors a 1996	50
Figura 23: Divisió del territori espanyol en funció del clima segons CTE	61

Llistat de Taules

Taula 1: Consum energètic del sector de l'edificació per tipus de consum i tipus d'edifici	33
Taula 2: Quantitat d'edificis per tipologia en unitats	57
Taula 3: Superfície construïda per tipologia en m ²	57
Taula 4: Necessitats energètiques dels casos d'estudi contemplats en l'informe de SaAs	60
Taula 5: Demanda energètica de les tipologies d'edificis contemplades en l'informe del WWF Espanya	61
Taula 6: Dades del comportament energètic del parc edificat d'Escaldes-Engordany amb dades extretes de l'informe de Sabaté i Associats (negre) ajustades amb les dades de l'informe del WWF Espanya (verd)	62
Taula 7: Comportament energètic per tipologia en kWh/any	62
Taula 8: Recompte d'edificis d'ús residencial per grups i per tipologies	65

Llistat de cartografies

Cartografia 1: Classificació parc edificat segons època constructiva.....	51
Cartografia 2: Desglossament del parc edificat per usos.....	53
Cartografia 3: Densitat de superfície d'ús comercial.....	54
Cartografia 4: Classificació edificis d'ús residencial per tipologia.....	56
Cartografia 5: Desglossament Del parc edificat per època constructiva, ús i tipologia.....	58
Cartografia 6: Demanda energètica del parc edificat d'Escaldes-Engordany d'ús residencial per superfície en kWh/any	64
Cartografia 7: Demanda energètica del parc edificat d'Escaldes-Engordany d'ús residencial per habitatge en kWh/any.....	65

CAPÍTOL 1:
Introducció

1.1 Justificació

El canvi climàtic degut a la gran concentració de gasos d'efecte hivernacle (GEH) en l'atmosfera, sobretot de diòxid de carboni (CO₂), és el major repte de l'època actual del qual l'Home n'és principal causant i víctima. Per tal de mitigar els efectes d'aquest i evitar les conseqüències més greus, cal reduir per l'any 2050 les emissions del GEH en un 80% respecte a les de l'any 1990 (Comisión Europea, 2011) actuant en tots els sectors implicats, cosa que no serà possible d'aconseguir amb les polítiques existents en l'actualitat (Figura 1).

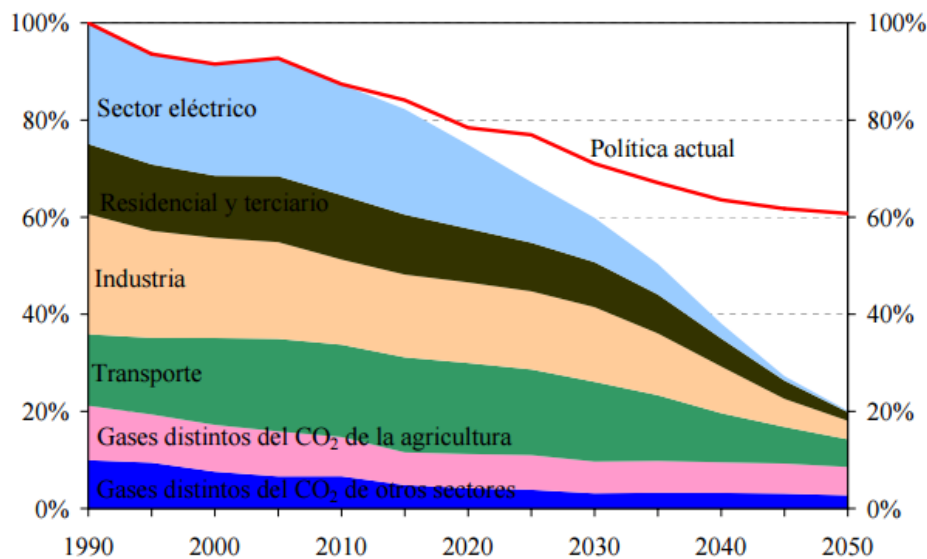


Figura 1: Objectius de reducció de les emissions dels GEH l'any 2050 pe sectors, i previsió amb les polítiques actuals
Font: Comisión Europea, 2011

Dels objectius de reducció plantejats per la Comissió Europea, el sector elèctric i el de l'edificació presenten els majors potencials de reducció de les emissions de GEH, poden aconseguir reduccions de més del 90% l'any 2050 (Comisión Europea, 2011). En efecte, el sector de l'edificació s'ha convertit a hores d'ara en un punt clau per a les polítiques i estratègies de reducció de les emissions de CO₂ i de mitigació del canvi climàtic. Però desafortunadament, les polítiques existents sobre l'energia en els edificis no estan encaminades a extraure el potencial d'aquest sector, sinó que al contrari, cada vegada hi ha més distància entre cap a on ens dirigim i on hauríem de ser per tal de garantir que s'aprofiti tot el potencial del sector de l'edificació (GBPN, 2013). Un dels principals problemes és que moltes de les noves directives van encaminades a la nova construcció, deixant de banda el parc edificat existent que representa la immensa majoria dels edificis, actuals i futurs, i del qual no sempre es disposa d'informació.

La implementació eficient i racional de les estratègies i les polítiques de reducció de les emissions de CO₂ dels amplis estocs d'edificis continguts en la majoria de països, requereixen de tècniques i metodologies que tinguin l'habilitat d'estimar la demanda base del parc edificat existent; explorar els efectes tècnics i econòmics al llarg del temps de les diferents estratègies de reducció de les emissions de CO₂, incloent l'impacte de les noves tecnologies; i identificar els efectes de les estratègies de reducció de les emissions (Kavgic et al., 2010). Actualment existeix un ampla gama de tècniques per a analitzar el comportament energètic dels edificis que varien considerablement en quant a la informació d'entrada i nivell d'agregació de les dades que poden ajudar a la presa de decisions. Hi han nombrosos exemples en diferents països on es presenten metodologies per a caracteritzar el parc edificat, un clar exemple d'això són els informes sobre el parc edificat espanyol fets pel Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación (GTR) que ha servit d'inspiració per a la realització d'aquest treball de fi de màster. Els informes del GTR, són tres informes elaborats en diferents anys 2011, 2012 i 2014, que proposen un full de ruta per a transformar el sector de l'edificació espanyol, originalment orientat a edificis de nova construcció, en un nou sector orientat a la rehabilitació del parc edificat existent.

Els efectes del canvi climàtic s'estan fer notar arreu del món, però hi ha zones que presenten més vulnerabilitats que d'altres. En efecte, l'any 2007 l'IPCC va declarar les zones de muntanya com a zones particularment sensibles al canvi climàtic degut a que els ecosistemes de muntanya són equilibris extremadament delicats (Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic, 2014), motiu pel qual el Principat d'Andorra, es troba en el punt de mira. Amb uns 75.000 habitants i un PIB que depèn principalment del turisme relacionat amb els esports d'hivern i del comerç, els primers símptomes del canvi climàtic ja s'han començat a fer notar. Per poder fer front a aquesta problemàtica el Govern d'Andorra ja ha començat a posar en marxa un pla d'acció introduint noves normatives i estratègies. Però malgrat l'esforç normatiu, sobretot en temes d'edificació, per tal de poder assolir els objectius fixats a nivell de la Unió Europea (UE), seria necessari establir uns objectius implantats per un Pla d'Acció per la rehabilitació energètica del parc d'habitatges on s'identifiquin les mesures, actuacions, terminis i pressupostos orientatius que siguin necessaris per assolir els objectius (Govern d'Andorra, 2012). Anant en aquesta direcció, l'any 2012, el Col·legi d'Arquitectes d'Andorra (COAA) conjuntament amb el despatx d'arquitectura Sabaté Associats (SaAs), van elaborar l'informe Quantificació del Potencial d'Eficiència Energètica en el Sector de l'Edificació a Andorra, però la falta d'informació a Andorra sobre el parc edificat existent no va permetre un anàlisi detallat d'aquest.

Una de les últimes iniciatives més ambicioses que s'està intentant posar en marxa actualment és la d'una xarxa de calefacció urbana, més coneguda sota el nom de *district heating*, a la parròquia d'Escaldes-Engordany impulsat des de les Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA). Aquestes xarxes

consisteixen en sistemes de calefacció centrals però a escala de barri amb l'avantatge de tenir sistemes amb molt més rendiment que els sistemes individuals o a nivell de edifici, com és el cas en la majoria d'edificis d'Andorra. Però aquest tipus d'estratègies puntuals no són suficients, per a poder obtenir les reduccions necessàries en el sector de l'edificació cal tenir una visió més holística que permeti determinar zones d'actuació.

Per aquest motiu aquest treball pretén, basant-se en altres treballs, identificar i reunir tota la informació necessària per a poder caracteritzar el parc edificat tant des del punt de vista dels paràmetres que afecten al comportament energètic dels edificis mitjançant un treball de camp exhaustiu, per a poder estimar la demanda energètica d'aquest amb la intenció de poder plantejar possibles escenaris que ajudin en la presa de decisions i possibles intervencions en el sector de l'edificació a Andorra. En vista del possible projecte de *district heating* i de la gran quantitat de temps que es requeriria per a caracteritzar l'estoc d'edificis de principat a nivell nacional, es realitzarà una primera prova pilot a Escaldes-Engordany en col·laboració amb FEDA i l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra (OBSA)

1.2 Motivacions:

Es sol atribuir la majoria de les emissions de GEH i considerar com a responsables de la contaminació atmosfèrica a sectors com el del transport o el de la indústria, deixant de banda altres sectors minoritaris. Però en un planeta cada vegada més poblat i més urbà, sectors com el de l'energia i indirectament, el de l'edificació van cobrant més importància en la lluita contra el canvi climàtic i la reducció de les emissions dels GEH, sobretot de CO₂.

A Andorra, coses bàsiques com ara el cadastre que és una de les fonts d'informació més importants sobre el parc edificat existent, s'estan posant en marxa en l'actualitat, i les normatives sobre la edificació així com els reglaments energètics són molt recents comparats amb d'altres països veïns. Per aquest motiu, en un país com Andorra, dependent al 80% de l'energia de l'exterior, i on els efectes del canvi climàtic afecten de manera directa en un dels seus principals motors econòmics que és el del turisme d'hivern - reducció de les precipitacions en forma de neu i reducció de les temporades d'esquí - cal plantejar-se seriosament iniciatives que ajudin a mitigar els efectes del canvi climàtic actuant en sector com el de l'edificació i el de l'energia que com ja em dit presenten les reduccions d'emissions més importants.

1.3 Objectiu General/Específic

L'objectiu general d'aquest treball final de màster consisteix en caracteritzar el parc edificat de la parròquia d'Escaldes-Engordany des del punt de vista dels paràmetres que influeixen en el comportament energètic. Aquest objectiu esta contingut en un marc més general de les possibilitats de reducció del consum energètic del parc edificat.

L'objectiu general de la tesi es desglossa en els objectius específics següents:

1. Analitzar la importància i el potencial d'estalvi del sector de la edificació en la reducció de les emissions de CO₂, així com determinar quines són les principals accions i estratègies que s'estan duent a terme en aquest àmbit.
2. Desenvolupar una metodologia adequada basada en altres treballs per tal de poder caracteritzar el parc edificat de la parròquia en qüestió des del punt de vista dels paràmetres que influeixen en la demanda energètica del parc edificat.
3. Cartografiar en Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) l'estoc d'edificis de la parròquia per tal de poder emmagatzemar la informació necessària de manera ordenada i que alhora permeti visualitzar l'estoc d'edificis de la parròquia.
4. Realitzar una primera aproximació de la demanda energètica de la parròquia utilitzant valors extrets d'altres treballs.

1.4 Estructura del treball

El treball s'estructura en 6 capítols, comptant aquest, dividits en diferents apartats. El primer capítol, que correspon a aquest i és l'introdutori. En aquest es justifica l'interès del treball així com s'indica els objectius general i específics.

El segon capítol, fixa el punt de partida d'aquest treball i el posa en context, exposant primerament els principals sectors que contribueixen a les emissions de GEH, així com el potencial de reducció d'aquests, i posteriorment es presenten les metodologies existents per a analitzar el comportament energètic del parc edificat.

En el tercer capítol, es presenta el cas d'estudi, que és la parròquia d'Escaldes-Engordany. En aquest capítol és planteja una primera part introductòria del principat d'Andorra analitzant la seva contribució al canvi climàtic, així com el model energètic del país.

En el capítol 4, es presentarà la metodologia que es farà servir per a caracteritzar el parc edificat des del punt de vista dels paràmetres que influeixen sobre el comportament energètic especificant pas a pas el que s'ha dut a terme.

Els resultats es presentaran en el capítol 5, tant amb informació gràfica amb dades com cartogràfica.

Finalment, el capítol 6 recull les conclusions generals de la tesi i s'indicaran les línies que queden encetades per desenvolupar en futurs treballs.

CAPÍTOL 2: Antecedents

2.1 Tendències globals de les emissions de CO₂

En les últimes dècades, el total acumulat de les emissions de CO₂ s'ha duplicat si es compara el període compres entre 1750 i 1970, on aquestes eren de 910 GtCO₂, i el període entre 1970 i 2010 durant el qual aquestes han passat a prop de 2000 GtCO₂ (IPCC, 2014). L'origen d'aquest augment esta degut principalment a canvis relacionats amb factors com el creixement econòmic, els canvis tecnològics, el creixement demogràfic, i el comportament humà. En efecte, les emissions totals anuals antropogèniques de GEH han augmentat més ràpidament entre 2000 i 2010 que en les tres dècades precedents i són en l'actualitat les més elevades de la història (Figura 2). Malgrat haver estat reduïdes temporalment per la crisi econòmica dels anys 2007/2008, així com malgrat la presència d'institucions i polítiques nacionals encaminades a la seva mitigació, les tendències actuals de les emissions de GEH són a l'extrem dels nivells que s'havien projectat per aquesta ultima dècada (IPCC, 2014). En efecte, del 2000 al 2010, les emissions de GEH han crescut de mitja un 0,9 GtCO₂eq/any en comparació al 0,4 GtCO₂eq/any durant el període entre 1970 i 2000, degut principalment a les emissions de CO₂ derivades dels combustibles fòssils i els processos industrials que representen aproximadament més del 50% del augment total de les emissions de GEH entre 1970 i 2010.

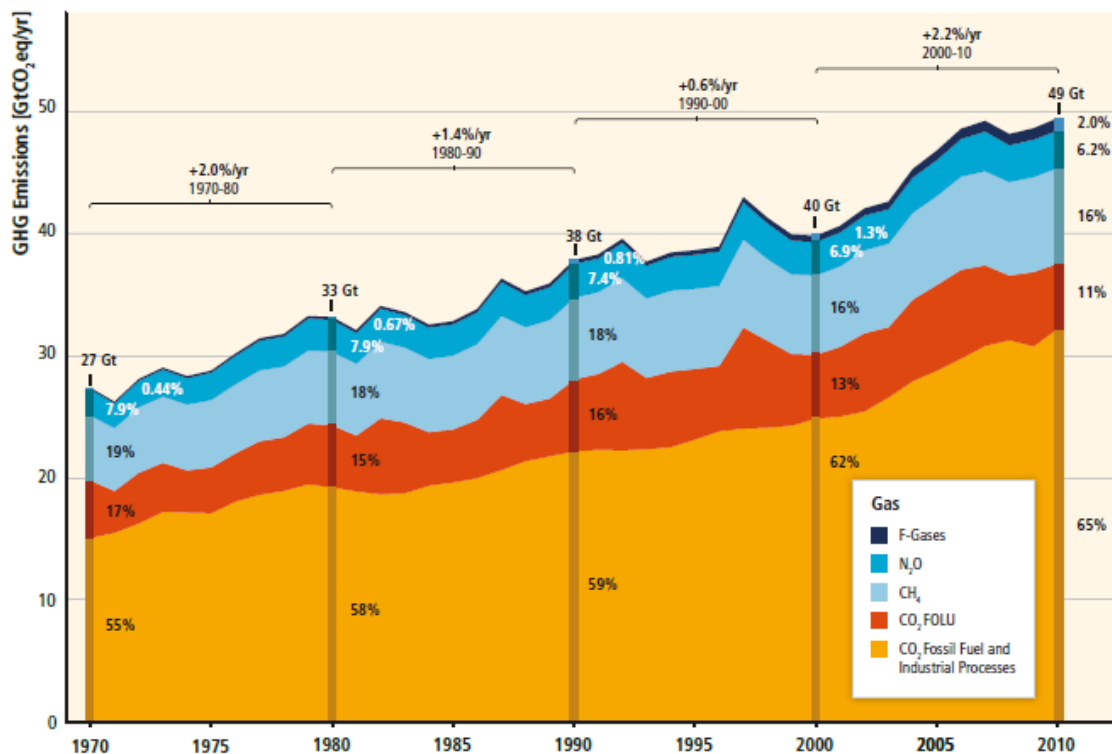


Figura 2: Emissions anuals totals de GEH antropogèniques (GtCO₂eq/any) per grups de gasos (1970-2010)

Font: IPCC, 2014

Des de l'any 2000, les emissions han augmentat en tots els sectors menys el sector de l'agricultura, silvicultura i altres usos del sòl (AFOLU en anglès), i més del 75% d'aquest augment de la primera dècada del segle actual deriven dels sectors del subministrament d'energia (47%) i l'indústria (30%) (IPCC, 2014).

Els nivells d'emissions de GEH actuals estan dominats per les contribucions dels sectors de la producció d'energia, l'agricultura, silvicultura i altres usos del sòl, i l'indústria. De les 49 GtCO₂eq d'emissions directes estimades l'any 2010, el 35%, és a dir 17 GtCO₂eq pertanyen al sector del subministrament d'energia, el 24%, 12 GtCO₂eq, al sector de l'agricultura, silvicultura i altres usos del sòl, el 21%, 10 GtCO₂eq, a l'indústria, el 14%, 7 GtCO₂eq, al transport, i 6,4%, 3,2 GtCO₂eq, als sector de l'edificació (Figura 3).

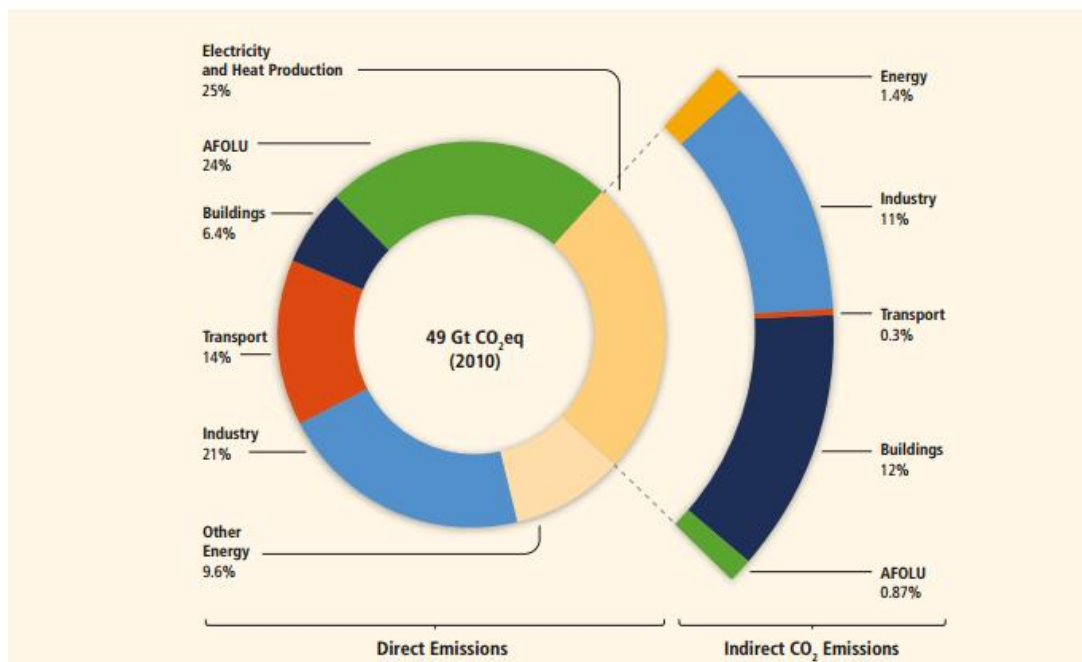


Figura 3: Emissions de gasos efecte hivernacle directes i indirectes per sectors econòmics
Font: IPCC, 2014

Però si es tenen en compte les emissions indirectes de la producció de calor i d'electricitat, les emissions derivades dels sectors de la indústria i l'edificació augmenten, representant respectivament el 31% i 19% de les emissions totals de GEH, sent el sector de l'edificació el tercer amb més emissions de GEH a nivell mundial després dels sectors industrial i de l'agricultura, silvicultura i altres usos de la terra.

Les dades precedents són dades generals a nivell mundial, però aquestes dades poden variar en funció de cada país. En efecte, la quantitat d'emissions de GEH està directament lligada al nivell econòmic de

cada país, sent els països amb renda alta els principals responsables d'aquests, tot i que la tendència de la última dècada mostra que són els països amb renda mitjana-alta els responsables del 70% de l'augment de les emissions entre 1990 i 2010 (Figura 4). Això es pot atribuir principalment a la deslocalització de les indústries en països amb mà d'obra barata, a la forta implicació dels països amb rendes altes en polítiques de disminució de GEH, i també al ràpid desenvolupament econòmic i expansió de les infraestructures que ha tingut lloc en els països de renda mitja-alta. La Xina, el Brasil o la Índia, són un clar exemple de països dins del grup de renda mitja-alta que es situen en els cinc països que més contribueixen als GEH conjuntament amb països com Estats Units, o Estats Membres de la Unió Europea (UE) segons el Banc mundial.

En els països amb renda alta o mitja-alta, les emissions de GEH estan dominades per els sectors relacionats amb el subministrament d'energia i la indústria, mentre que en els països amb rendes mitja-baixa o baixa estan dominades per l'agricultura, silvicultura i altres usos de la terra (Figura 4).

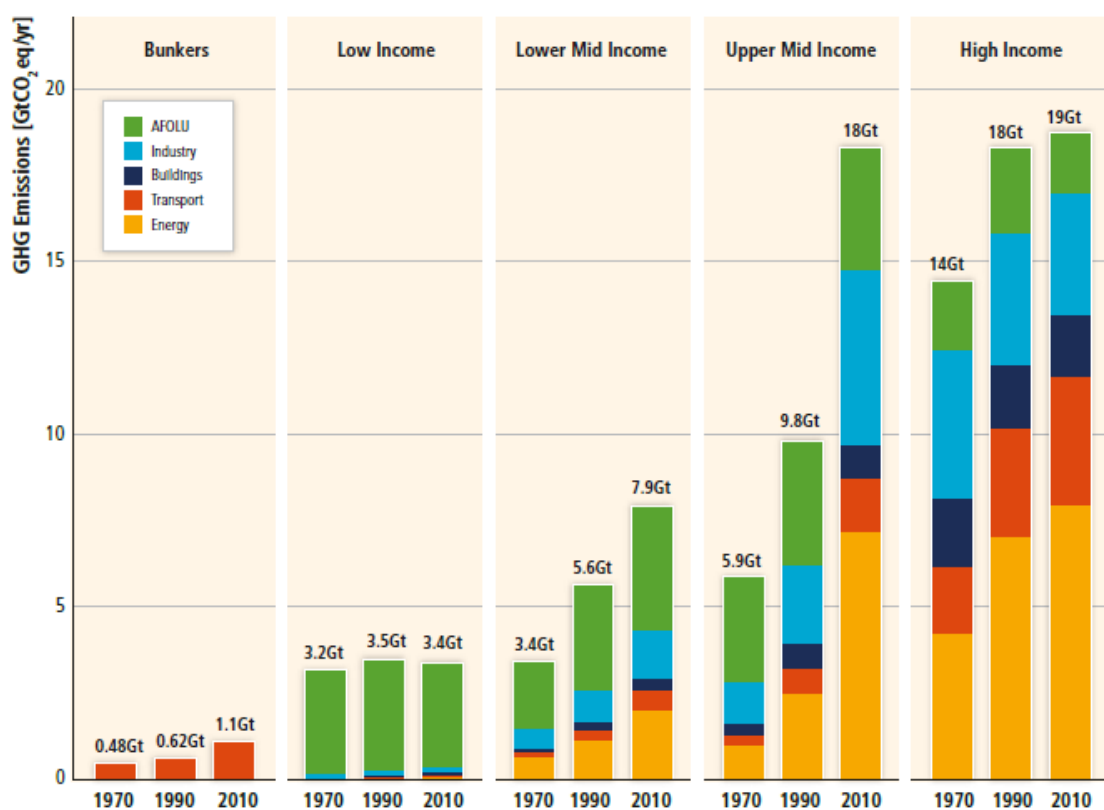


Figura 4: Emissions de GEH per sectors econòmics i renda
Font: IPCC, 2014

Per tant, tenint en compte que el sector de l'energia, que presenta l'augment més important des de 1970, és el principal responsable de les emissions de GEH, i que el sector de l'edificació és un dels principals consumidors d'aquesta energia, el sector de l'edificació ha esdevingut clau en les polítiques de mitigació del canvi climàtic i reducció de les emissions de GEH.

2.2 Contribució dels edificis al canvi climàtic i potencial d'estalvi

Com hem vist en l'apartat anterior, el sector de l'edificació representava l'any 2010 el 18% de les emissions de GEH, tenint en compte tant les emissions directes com les indirectes derivades de la generació de l'electricitat i la producció de calefacció i aigua calenta, i si deixem de banda el sector de l'agricultura, silvicultura i altres usos de la terra, aquest percentatge pot arribar a incrementar-se fins aproximadament el 25% de les emissions totals de GEH (IPCC, 2014). Avui en dia, el sector de l'edificació té una petja ecològica massa gran contribuint considerablement a les emissions de GEH globals, consumint un terç de l'energia mundial d'ús final, i un 60% de l'electricitat total generada. A més, el sector de la construcció és responsable de més d'un terç del consum global dels recursos (incloent un 12% de consum d'aigua dolça), i de la generació d'aproximadament 40% del volum total de residus produïts (SBCI, 2009). Efectivament, aquest sector consumeix energia durant totes les fases del cicle de vida dels edificis, però si es tenen en compte tots els processos relacionats amb la producció dels materials, el transport i la seva posada en obra, els consums durant la seva vida útil i el seu enderroc, i ho apliquem als cicles de la matèria, energia, aigua i residus, constatem que el consum d'energia es produeix principalment durant la vida útil de l'edifici (Figura 5).

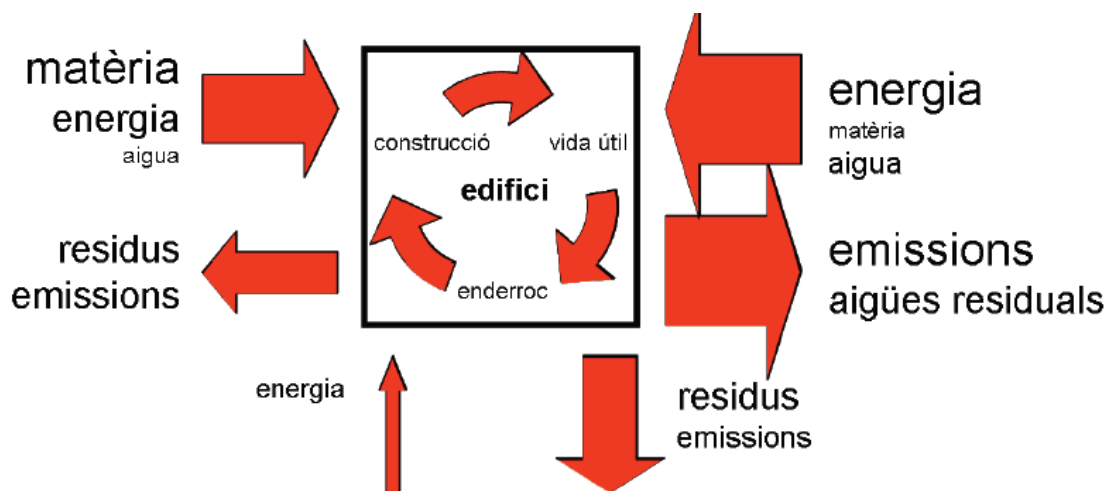


Figura 5: Cicle de vida d'un edifici convencional
Font: Col·legi d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats, 2012

Si la situació actual és alarmant, les projeccions futures no són molt millors. En efecte, les projeccions previstes en l'últim informe de l'IPCC preveuen un augment de les emissions anuals produïdes pels edificis, que eren de 8,8 GtCO₂/any al 2010, de 10 a 13 GtCO₂/any al 2030 , de 13 a 17 GtCO₂/any al 2050, i de 15 a 30 GtCO₂/any al 2100 (Figura 6).

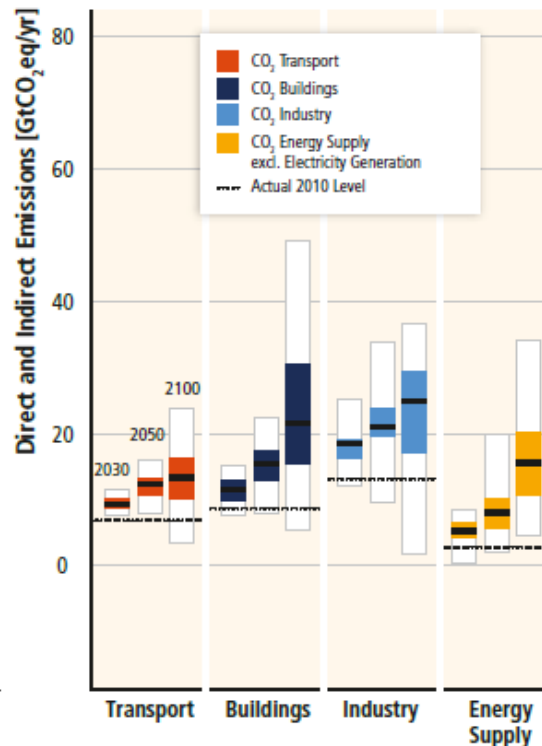


Figura 6: Projeccions de les emissions directes i indirectes en GtCO₂eq/any
Font: IPCC, 2014

La majoria dels escenaris de referència avaluats en el GTIII AR5¹ mostren un augment significatiu de les emissions derivades d'aquest sector, i designen a la prolongació de la vida útil del edificis, així com la urbanització, les millores del nivell de vida global o l'accés als serveis energètics moderns i als habitatges adequats, com a principals impulsors de l'augment de la demanda energètica dels edificis en els propers anys. En efecte, si les persones que no tenen accés a un habitatge (al voltant de 0,8 milions de persones), així com les que no disposen de nivells d'energia suficients en els seus habitatges incloent-hi calefacció i cuines no contaminants (sobre els 3 billons de persones) satisfan les seves necessitats, el consum energètic del sector de l'edificació es pot veure incrementat considerablement durant les properes dècades (IPCC, 2014), disparant les emissions de CO₂.

¹ GTIII AR5 són les segles corresponents al Working Group III fifth Assessment Report del IPCC

Segons el Global Building Performance Network, GBPN, hi ha 4 regions prioritàries que consumeixen l'any 2005 el 60% de l'energia del sector de l'edificació: Estats Units, Europa, Xina i Índia, particularment els dos últims ja que són les que presenten el creixement més important de les últimes dècades (GBPN, 2013). Tot i que les quatre regions mostren grans diferències entre elles en quant a història, economia, patró de creixement demogràfic, així com en quant a polítiques, la resta del món té aquestes regions en el punt de mira pel seu lideratge, innovació i solucions per abordar els problemes del canvi climàtic, i el sector de l'edificació és el que presenta el potencial més gran per reduir significativament les emissions dels GEH en comparació a la resta (Figura 7) (SBCI, 2009).

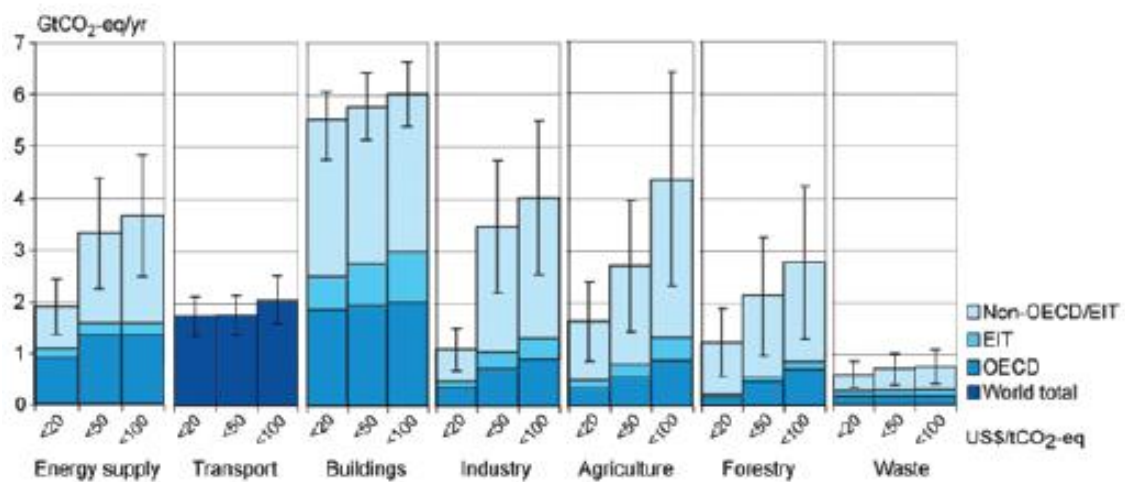


Figura 7: Potencial de mitigació econòmic per les tecnologies i pràctiques que s'espera que estigui disponible en l'any 2030 per sector i regió
Font: IPCC, 2007a

Els avenços tecnològics recents, el *know-how*, i les polítiques en el sector dels edificis, unit a canvis en el comportament de consum, fan factible que el consum global d'energia total del sector de l'edificació s'estabilitzi, o fins i tot disminueixi a mitjans de segle, reduint la demanda energètica dels edificis de nova construcció de 2 a 10 vegades menys, i de 2 a 4 vegades menys en edificis existents (IPCC, 2014). Aquests últims són molt importants ja que gran part del parc edificat previst per l'any 2050 és compostarà d'edificis que ja existeixen en l'actualitat, per aquest motiu les rehabilitacions d'alt rendiment del parc existent són estratègies de mitigació clau en països desenvolupats amb amplis estocs d'edificis.

L'interès sobre aquest tema ha augmentat significativament a Europa durant els últims anys, més concretament des de l'aparició de la Directiva Europea 2002/91/EC (Parlament Europeu, 2003) sobre Eficiència Energètica del Edificis que va introduir alguns aspectes notables. Sens dubte, la Unió Europea és la regió més activament implicada en la lluita contra el canvi climàtic, sobretot en polítiques d'estalvi

energètic i d'eficiència energètica en edificis, però al igual que en el altres països que han introduït polítiques per reduir les emissions de GEH en els edificis a través de millores en eficiència energètica, els resultats no han mostrat reduccions importants. Un dels principals causant d'això és que la majoria d'accions que s'estan duent a terme són aïllades i poc significatives, amb reduccions d'entre 10-20% la qual cosa no és suficient si es volen arribar als objectius establerts per la Comissió Europea per l'any 2050. En lloc d'això s'han de posar en marxa plans d'acció integrals, ja sigui a nivell nacional o regional.

Un clar exemple de pla d'acció integral en el sector de l'edificació, que ha servit d'inspiració per a la elaboració d'aquest treball de fi de màster, són els informes elaborats pel Grupo de Trabajo sobre la Rehabilitación (GTR) que plantegen una visió-país per al sector de l'edificació a Espanya. En ells s'elabora un full de ruta en el que s'estableix que amb el marc regulador adient, rehabilitar i actualitzar el parc edificat és una tasca factible i econòmicament viable a Espanya, i que la millora de l'eficiència energètica ha de constituir l'eix sobre el que es reformuli el sector de l'edificació (Cuchí i Sweatman, 2012).

Sens dubte la implementació racional i eficient de les estratègies i polítiques de reducció de CO₂ en el sector de l'edificació requereix de l'ús de models comprensius del parc edificat que tinguin la capacitat d'estimar la demanda del parc edificat existent; explorar els efectes tècnics i econòmics al llarg termini de les possibles estratègies de reducció, incloent l'impacte de les noves tecnologies; i identificar els efectes de les estratègies de reducció de CO₂ sobre la qualitat ambiental (Kavgic et al., 2010).

2.3 Estimació del consum energètic del sector de l'edificació: dades i metodologies

El parc edificat és ampli, heterogeni i compost majoritàriament per edificis de característiques energètiques deficientes (Ballarini et al., 2014) en relació a les exigències de les normatives sobre eficiència energètica. Per aquest motiu l'interès en l'anàlisi del rendiment energètic dels amplis estocs d'edificis ha augmentat per tot arreu durant les darreres dècades. Sens dubte, la manera més efectiva per a reduir el consum energètic d'un edifici és aconseguir millorar l'ús que en fa l'usuari, ja que la majoria de l'energia que es consumeix en els edificis és durant la fase de vida útil (apartat 2.2), però a part de ser una tasca difícil de valorar o de canviar, aquest no és l'únic factor que entra en joc. Sens dubte altres aspectes com la millora de l'eficiència energètica o del rendiment dels equips i sistemes són també molt importants, però aquestes requereixen d'una inversió econòmica més o menys important.

Degut a la complexitat i la interrelació de les característiques del comportament energètic del sector de la edificació, es necessari elaborar metodologies comprensibles i de fàcil aplicació, per a que aquestes puguin ser reproduïdes. En els últims anys s'han desenvolupat una gran quantitat de models a nivell de demanda energètica que varien considerablement en termes de dades d'entrada requerides i nivells de desagregació (Kavgic et al. 2010). Aquests models es basen, principalment, en dades de partida a partir de les quals s'estima el comportament energètic ja sigui d'un habitatge, un edifici, un barri o fins i tot una regió. La quantitat i la qualitat de les dades d'entrada disponibles, però, pot variar enormement d'un país a un altre, cosa que pot afectar a l'hora d'utilitzar les diferents tècniques totes elles amb fortaleeses, debilitats i aplicabilitats diferents. Per aquest motiu és molt important caracteritzar, el més detalladament possible, l'estat actual del parc edificat per a que posteriorment, es puguin determinar les estratègies de reducció adients, tant des del punt de vista tecnològic com econòmic (Ballarini et. al., 2014).

2.3.1 Tipus i fonts d'informació

En funció de la metodologia que es pretén utilitzar, la informació d'entrada, *input*, requerida per a desenvolupar-la inclou informació de les característiques físiques dels habitatges, ocupants i equipaments de consum, consum energètic històric, condicions climàtiques, i indicadors macroeconòmics. La informació pot ser recollida de forma independent o simultàniament, i poden ser valors agregats a nivell nacional, o desagregats a nivell d'habitatge, aquests poden variar enormement a nivell de detall, i el mètode bàsic de recopilació d'informació és per enquesta de les quals els resultats poden ser publicats sense tractar o bé després de ser analitzats.

L'estimació del consum total d'energia per sectors es publica pels governs, generalment pel departament d'estadística, on es troben valors d'energia bruts proveïts pels distribuïdors d'energia, que sovint són poc precisos. Una altra possible font d'informació més detallada que la proveïda pels governs, són les factures dels proveïdors d'energia, que es sol emetre per habitatge un cop al més, o cada dos, com és el cas a Espanya. No obstant si no es disposa d'informació addicional sobre les característiques dels habitatges, aquests valors de consum seran difícils de correlacionar a causa de l'àmplia varietat d'habitatges i dels hàbits dispars dels usuaris.

Com ja s'ha fet referència anteriorment, els hàbits dels usuaris són difícils de valorar, però pel que fa a les característiques dels habitatges es poden obtenir mitjançant treballs de camp, o enquestes. Aquestes enquestes es solen realitzar a una mostra de la població altament representativa i poden determinar característiques dels edificis, dels ocupants i fins i tot dels aparells de consum. Generalment, s'intenta definir la geometria i l'envoltant tèrmic dels edificis, els diferents

electrodomèstics i aparells de consum que disposa l'habitatge, etc., a més, en les enquestes també es poden intentar obtenir dades sobre la factura dels proveïdors, o informació sobre possibles fonts d'energia alternatives, com per exemple sistemes individuals de plaques fotovoltaïques, per a d'aquesta manera poder correlacionar el consum de l'habitatge amb les seves característiques identificades en l'enquesta. Aquest tipus d'informació és superior a la informació agregada proporcionada pels governs, però pot estar limitada degut a les dificultats i els costos d'obtenció, així com a possibles descripcions subjectives per part dels usuaris que poden influenciar els resultats.

Tots aquests mètodes d'obtenció i tipus de dades han estat utilitzats en diferents estudis, però determinar quina és la més adient depèn principalment del propòsit del estudi realitzat. Existeix una ampla varietat de metodologies per a estimar el rendiment energètic dels edificis amb propòsit molt diferents que poden anar des de la determinació de les necessitats de subministrament futures fins a estudis sobre l'impacte de canvis en el consum energètic, ja siguin de comportament, millores d'eficiència energètica, o canvis de sistemes de subministrament i tipus d'energia.

2.3.2 Metodologies

Segons Swan i Ugursal (Swan i Ugursal, 2009), existeixen dos tipus fonamentals de mètodes per a predir i analitzar els aspectes del rendiment energètic, així com les emissions de CO₂ associades del parc edificat: les aproximacions *Top-down*, i les aproximacions *Bottom-up*, cadascuna d'elles basant-se en nivells d'informació inicial diferents que derivaran en diferents tècniques de càlcul o simulació que caracteritzaran les diferents metodologies que existeixen per a cada aproximació (Figura 8), i proporcionant resultats amb diferents tipus d'aplicabilitat.

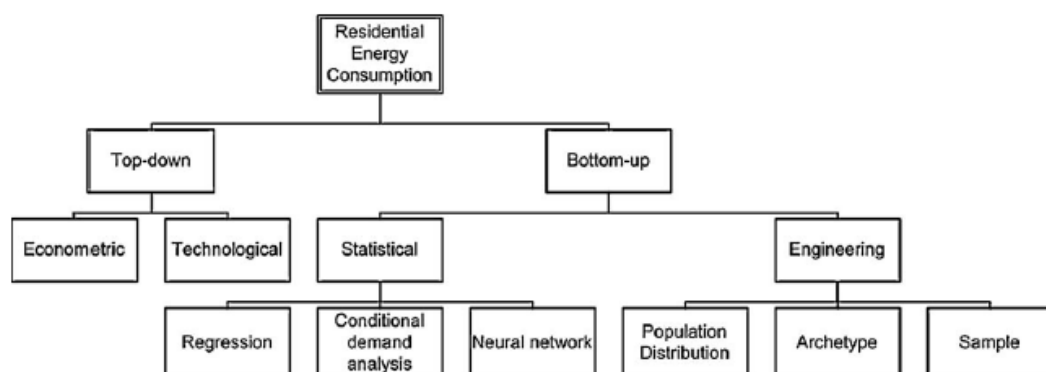


Figura 8: Metodologies de modelització per estimar el consum/demanda energètica/a del parc edificat

Font: Swan i Ugursal, 2009

a. Aproximacions *Top-down*

Relativament fàcils de desenvolupar, les aproximacions *Top-down* es basen en informació d'entrada agregada proporcionada per indicadors macroeconòmics tals com preus i ingressos, ritme de desenvolupament tecnològic, o clima entre altres. Aquesta aproximació tracta el sector de l'edificació com un conjunt d'energia sense diferenciar els diferents consums finals possibles, i s'utilitza per a determinar els efectes sobre el consum energètic deguts a canvis a llarg termini o a transicions dins del sector de la edificació. La finalitat d'aquesta aproximació és la de poder determinar els requisits de subministrament, així com investigar les interrelacions entre el sector energètic i l'economia en general. Les variables que es solen utilitzar, com ja s'ha dit, són indicadors macroeconòmics com per exemple el Producte Interior Brut (PIB), taxa d'ocupació, índex de preus, condicions climàtiques, ratis de construcció/demolició d'edificis, així com estimacions de les característiques i unitats d'electrodomèstics en el sector residencial. Dins d'aquesta mateixa aproximació es poden distingir dos models diferents: els models econòmics i els models tecnològics.

- **Models econòmics:**

Els models econòmics, es basen principalment en la relació de l'ús de l'energia amb variables com els ingressos, preus dels combustibles o el PIB per expressar la connexió entre el sector energètic i la producció econòmica. També poden incloure informació general sobre les condicions climàtiques. Per aquesta raó, aquests models no tenen detalls sobre els aspectes tecnològics presents o futurs, ja que posen l'èmfasi en les tendències macroeconòmiques i les relacions observades en el passat enlloc de en factors físics individuals de l'edifici que poden influenciar en la demanda.

- **Models tecnològics**

Els models tecnològics, tenen en compte altres factors que influeixen en l'ús de l'energia i atribueix el consum energètic a característiques generals de tot el parc edificat, com ara les tendències de compra dels electrodomèstics o aparells de consum. També existeixen models que combinen els dos tipus.

Els avantatges d'aquesta aproximació són la necessitat de dades d'inici agregades que solen ser àmpliament accessibles, la relativa simplicitat del model, que es centra en la interacció entre el sector energètic i l'economia en general, i que poden modelar les relacions entre les diferents variables econòmiques i la demanda energètica. Malgrat això, aquests models no disposen d'informació a nivell

tecnològic, depenen de interaccions passades entre l'energia i l'economia per a projecta tendències futures, i són menys adequades per a l'anàlisi de polítiques específiques tecnològiques. D'altra banda, la manca de detall en relació amb el consum energètic dels usos finals individualment, elimina la capacitat d'identificar àrees clau per a les millores per a la reducció del consum d'energia.

b. Aproximacions *Bottom-up*:

Els models *Bottom-up* engloben tots els models que utilitzen contràriament als models *Top-down*, dades d'entrada, inputs, desagregades. Aquestes dades poden correspondre, en funció del model, a consums energètics de cada aparell de consum que compona la individualment cada llar, com el consum total d'un habitatge, o d'un edifici o d'un conjunt d'edificis. Aquestes aproximacions s'utilitzen normalment per caracteritzar tot un estoc d'edificis extrapolant les dades d'entrada, però la gran varietat de dades d'entrada que es poden utilitzar fa que existeixin diferents tipus de models *Bottom-up*. Aquests tipus es poden dividir en dos tipus de models: els models estadístics i els models basats en les característiques dels edificis.

- **Models estadístic**

Els models estadístics es basen en informació del consum energètic i en diferents tipus d'anàlisi de regressió que s'utilitzen per atribuir el consum energètic d'un habitatge als diferents equipaments de consums continguts dins del habitatge. Una vegada establerta una relació entre usos finals i consums energètics, el model pot ser utilitzat per a estimar el consum energètic dels habitatges del parc edificat. El principal desavantatge d'aquest model és que disposar d'informació sobre consums energètics reals dels habitatges sol ser difícil d'aconseguir ja que són dades confidencials. Dins d'aquest mètode es poden diferenciar tres tècniques: regressió, anàlisi condicional de la demanda i xarxa neuronal.

- *Regressió*: Aquesta tècnica utilitza l'anàlisi de regressió per determinar els coeficients del model corresponents als paràmetres d'entrada. Aquests models transformen els consums energètics agregats dels habitatges en paràmetres o combinacions de paràmetres que s'espera que afectin el consum energètic. El model es basa sobre l'avaluació de la qualitat de l'ajustament. Les variables d'entrada que és considerin d'efecte insignificant es poden eliminar per simplicitat. Degut a la combinació de les dades d'entrada, els coeficients del model poden

o no tenir valors nuls, els que es traduiria en una manca de correlació entre la variable independent o explicativa i la variable dependent.

- *Anàlisi condicional de la demanda:* Aquesta tècnica realitza una regressió basada en la existència o no d'equipaments de consum. Mitjançant una regressió del consum total energètic del habitatge i dels diferents aparells utilitzats en aquests mateix habitatge (aquests actuen com una variable binària {0 i 1} o de comptatge {1,2,3,4,...}), els coeficients determinats representen el nivell d'ús i les característiques dels aparells. L'avantatge principal d'aquesta tècnica es la facilitat d'obtenció dels inputs necessaris mitjançant una senzilla enquesta sobre els aparells disponibles en l'habitatge i la factura energètica mensual, no obstant, requereix d'un conjunt de dades amb una varietat molt gran al llarg de la mostra. Aquesta tècnica aprofita les diferències entre habitatges, referent als aparells, per determinar el consum corresponent a cada aparell del total de la factura mensual. Però per a que aquesta tècnica produeixi resultats fiables requereix de dades de centenars o fins i tot milers d'habitatges.
- *Xarxa Neuronal:* Aquesta tècnica utilitza un model matemàtic simplificat basat en la estructura densament interconnectada de les xarxes neuronals biològiques. La tècnica permet que tots els equipaments de consum s'afectin mútuament a través d'una sèrie de "neurons" en paral·lel. Cada neurona disposarà d'un terme de biaix i una matriu de coeficients que es multiplicaran per el valor de la capa de neurones precedent. Similars al models de regressió, aquesta tècnica busca a minimitzar l'error.

- Models basats en característiques físiques

La tècnica d'enginyeria o basada en les característiques físiques dels edificis, s'han trobat les dues versions en la bibliografia consultada, estima el consum energètic en base a certes característiques o classificacions. Aquests models són els únics que capaços de desenvolupar completament el consum energètic del sector sense cap tipus d'informació sobre el consum energètic, i poden anar de models molt simples a models complicats amb anàlisis termodinàmics i de transmissió de calor. Al funcionar basant-se en les característiques físiques, aquests models tenen l'avantatge de poder incorporar en els models noves tecnologies de les quals no es disposen de dades històriques. Igual que en el model estadístic, també existeixen diferents tècniques: distribució, arquetip i mostra.

- *Distribucions:* Aquesta tècnica utilitza informació sobre la penetració dels equipaments de consum en el mercat amb informació sobre el consum energètic dels aparells més comuns per a calcular el consum d'energia de cada ús final. El producte entre el tipus d'aparell, l'ús final, el consum estimat i la inversa de l'eficiència d'aquest, resulten en el seu consum energètic, i mitjançant l'agregació dels diferents consums a escala regional o nacional, s'estima l'energia total consumida. Tot i que al utilitzar dades nacionals sobre la distribució dels aparells en el habitatges, i poden incorporar consums energètics històrics, el seu nivell de desagregació en usos finals, fa que aquesta tècnica sigui considerada com a Bottom-up.

- *Arquetip:* Aquesta tècnica es àmpliament utilitzada per a classificar un estoc d'edificis segons la època de construcció, la mida, el tipus d'edifici, etc. És possible desenvolupar definicions arquetip per a cada gran tipus d'edifici, i utilitzar aquestes descripcions com a dades d'entrada per a la modelització de l'energia. Les estimacions de consum d'energia dels arquetips s'extrapolen al parc edificat multiplicant els resultats pel nombre d'edificis que s'ajusten a la descripció de cada arquetip definit.

- *Mostra:* Aquesta tècnica consisteix en utilitzar dades d'una mostra d'edificis actual com a informació d'entrada al model, cosa que permet abarcar l'amplia varietat d'edificis del parc edificat, i que es pot utilitzar per a identificar zones amb alt consum energètic. Si la mostra es representativa de l'estoc nacional o regional, el consum energètic d'aquest es pot estimar aplicant coeficients apropiats als resultats. Però com que la varietat d'edificis varia àmpliament, aquesta metodologia requereix d'una gran base de dades d'edificis representatius.

Dins de les dades comunes en les aproximacions *Bottom-up* s'inclouen propietats de l'habitatge com la geometria, l'envoltant exterior, els equips i els electrodomèstics, les condicions climàtiques, així com la temperatura interior, o els horaris d'ocupació entre altres. Aquest nivell de detall és un dels punts forts d'aquestes aproximacions i els hi dona l'habilitat de modelar diferents millores tecnològiques, però també comporta inconvenients com la gran quantitat de dades d'entrada requerida. Les aproximacions *Bottom-up* tenen la capacitat de determinar el consum energètic de cada ús final, i d'aquesta manera permet identificar àrees de millora, i al estar calculant el consum energètic, aquesta

aproximació té la capacitat de determinar el consum energètic total del parc edificat sense basar-se en dades històriques. No obstant, les tècniques de càlcul o simulació solen ser més complexes.

En vista de les múltiples iniciatives aïllades que s'han estat duent a terme durant les últimes dècades per a analitzar i predir el rendiment energètic del parc edificat, des de la Unió Europea, s'ha desenvolupat el projecte TABULA, per a establir un marc comú de referència a Europa.

2.3.3 Un marc metodològic comú

Les últimes dècades s'han dut a terme diferents intents d'establir metodologies per a estimar el consum energètic del parc edificat existent en els diferents països de la Unió Europea, però tots utilitzant estratègies i paràmetres diferents d'avaluació. Per aquest motiu l'any 2009, es va posar en marxa el projecte europeu TABULA des del programa Intelligent Energy - Europe (IEE), amb l'objectiu d'arribar a una caracterització concertada i comuna a tots els països membres de la Unió Europea en l'àmbit del sector residencial.

El projecte TABULA, Typologie Approach for Building Stock Energy Assessment, és un projecte de recerca internacional realitzat entre el 2009 i 2012 amb el suport del Programa Europeu d'Energia Intel·ligent per a Europa - IEE - involucrant 13 països de la UE (Alemanya, Grècia, Eslovènia, Itàlia, França, Irlanda, Bèlgica, Polònia, Àustria, Bulgària, Suècia, república Checa, i Dinamarca) coordinat per Alemanya, que es basa en la tècnica arquetip de l'aproximació *Bottom-up*. L'objectiu general d'aquest projecte és crear una estructura harmonitzada per al edificis europeus que permeti conèixer l'estat i els processos de modernització del sector de l'edificació de cada país participant, i a llarg termini, aprendre uns dels altres sobre les estratègies d'estalvi energètic més exitoses. En el projecte TABULA, es tenen en compte exclusivament en els edificis d'ús residencial, que segons l'Agència Internacional de l'Energia, IEA, són els principals causants de les emissions de CO₂ i del consum energètic del sector residencial conjuntament amb els d'ús comercial (Tuominen et al., 2014), però pot ser utilitzat per a altres usos com ara el comercial afegint algun que altre paràmetre suplementari, i es centra principalment en el consum energètic per a calefacció i aigua calenta.

Cada tipologia nacional consisteix en una classificació esquemàtica dels edificis en grups en funció de les seves dimensions, any de construcció, així com altres paràmetres, representada per un edifici tipus. El resultat és una matriu a doble entrada on les columnes són el tipus d'edificis (unifamiliar, plurifamiliar aïllat, plurifamiliar amb mitgera, etc.) i les línies representen la època de construcció i a la intersecció d'aquestes es situa l'edifici tipus més representatiu del grup (Figura 9).

Per exemple, França s'han definit 10 èpoques constructives així com 4 tipus d'edificis, per tant França disposa de 40 edificis tipus a analitzar.

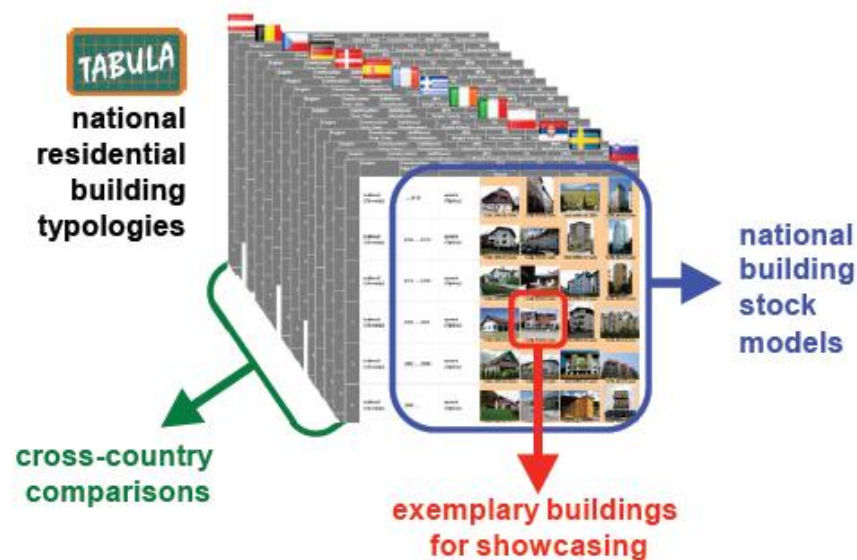


Figura 9: Estructura del projecte Europeu TABULA
Font: Loga et al., 2012

Es suposa que els edificis tipus tenen característiques comunes dels edificis que componen el grup que representen al qual se li aplicaran 3 nivells de mesures de millora energètica per analitzar quines són més apropiades:

- 1. Estat existent:** Estat típic d'un edifici no renovat
- 2. Mesures estàndard:** Paquet de mesures per a la millora de l'envoltant tèrmic i el sistema de subministrament de calefacció que es solen realitzar durant les rehabilitacions, aquestes reflecteixen els requeriments nacionals en cas de renovació.
- 3. Mesures avançades:** Paquet de mesures de modernització de l'embolcall tèrmic i el sistema de subministrament de calor que normalment es realitza en renovacions o projectes d'investigació molt ambiciosos que solen reflectir el nivell de les cases passives.

En efecte, els edificis tipus serveixen d'exemple per a demostrar l'efecte de les mesures de millora. Els edificis tipus ofereix la possibilitat de suplir la informació d'una gran quantitat d'edificis, per la de un sòl que sigui representatiu de cada grup o subgrup d'aquests (Ballarini et.al., 2014), reduint el nombre d'edificis a valorar.

Les tipologies elaborades durant el projecte TABULA formen una base de dades del edificis residencials existents dels països implicats que ofereixen diferents possibilitats d'aplicació:

1. Els edificis tipus poden ser utilitzats com a edificis pilot per donar una primera estimació sobre el potencial d'estalvi energètic real de la mostra.
2. El conjunt d'edificis tipus, complementat amb dades estadístiques sobre l'estoc nacional, pot ser utilitzat per modelar la demanda energètica dels edificis del sector residencial dels països i formar una base pe continuar l'anàlisi de possibles escenaris.
3. Des del punt de vista Europeu l'enfocament organitzat del projecte TABULA proporciona un marc comparatiu entre països dels edificis residencials existents a part de l'eficiència energètica.

CAPÍTOL 3:
Cas d'estudi: Escaldes-Engordany

3.1 Context del Principat d'Andorra

L'any 2007, el Group Intergovernamental d'Experts sobre el Clima (GIEC), va identificar els països de muntanya com a zones particularment sensibles a les conseqüències del canvi climàtic (IPCC, 2007), zones com el Principat d'Andorra.

Amb una superfície de 468 km² i una població d'uns 77 000 habitants, el Principat d'Andorra és un país de muntanya de relleu abrupte i altitud mitjana de 2 044 m. Situat en el massís dels Pirineus entre França i Espanya, aquest territori s'organitza en 7 parròquies, de les quals Andorra la Vella n'és la capital (Figura 10).



Figura 10: Mapa amb les capitals de parròquia
Font: <http://www.andorraprincipat.com/cat/parroquia.htm>

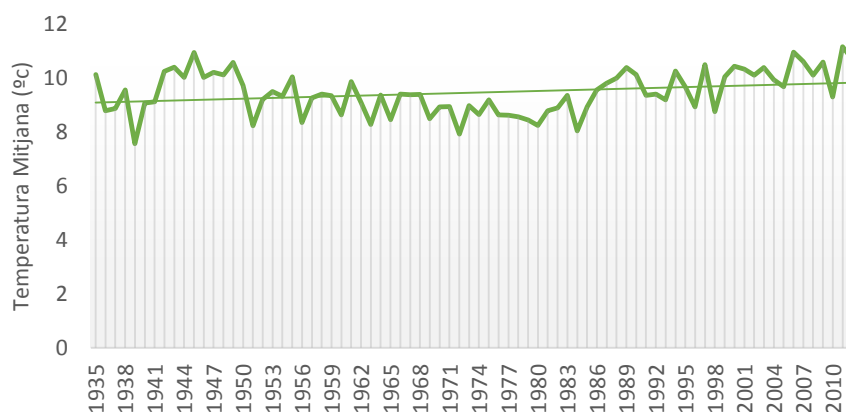
El clima és típic de zones de muntanya en latituds mitjanes, amb influència mediterrània al sud del país on el clima és més aviat de característiques similars als climes mediterranis - continentals. Respecte al sistema econòmic, aquest es centra principalment en les activitats terciàries, sobretot en el turisme. El sector dels serveis concentra el 90.2% de les empreses amb 83.1% dels treballadors, sent aquest el sector més important de l'economia del Principat. El turisme és responsable directament d'un 60% del PIB amb prop de 8 milions de visitants per any, i durant l'hivern, les activitats relacionades amb l'esquí són predominants en les 3 200 ha de superfície esquiables existents, procurant prop de 2000 llocs de treball, tot i que aquest sector resta molt vulnerable front a futures les evolucions climàtiques. L'agricultura representa el 0,6% del PIB del país i es caracteritza per estar basada en un sistema tradicional que assegura un equilibri durable entre la ramaderia i la superfície agrícola. Aquesta juga un paper important portant nombrosos serveis ambientals que es veuran més endavant, especialment en el domini de la preservació del paisatge i el control del risc d'incendis. Finalment, el sector industrial,

al contrari de la majoria de països d'Europa, queda molt limitat representant només el 5,1% del PIB (Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic, 2014).

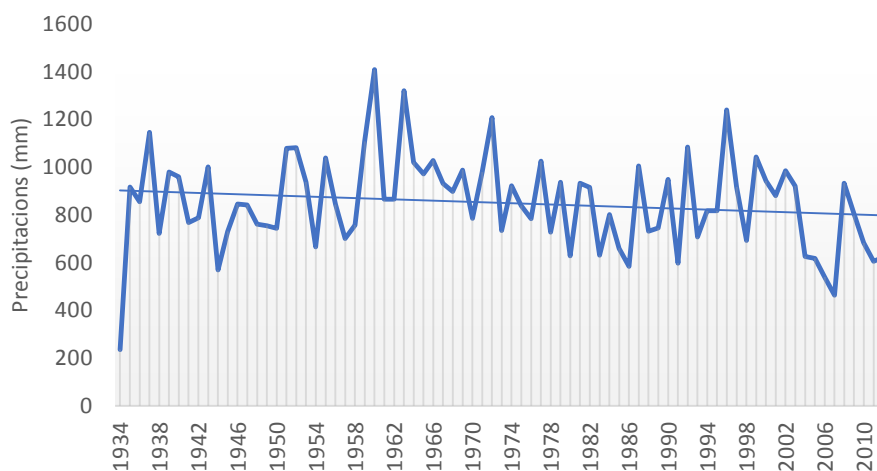
3.1.1 Andorra i el canvi climàtic:

Segons dades del Banc Mundial, l'any 2010 Andorra era responsable de 547,43 GgCO₂eq, representant a nivell global el 0,00112% de les emissions totals, valors similars a països com Xipre (620,073 GgCO₂eq) o Islàndia (383,189 620,073 GgCO₂eq), molt lluny de països veïns com Espanya (36 823,6 GgCO₂eq) o França (83 756,9 GgCO₂eq) que són països on el sector industrial té molta més força, o encara més de Xina, amb la tasa d'emissions més elevada amb 1 642 260 GgCO₂eq. En canvi, si passem aquests valors a emissions per càpita, un habitant andorrà consumeix de mitja 6,172 GgCO₂eq/cap., valors molt similars a la mitja d'un habitant xinès amb 6,172 GgCO₂eq/cap., i superiors als valors d'un habitant espanyol, 5,815 GgCO₂eq/cap., o als d'un francès, 5,496 GgCO₂eq/cap. Per tant, tot i que la contribució d'Andorra a les emissions globals resta força limitada, al considerar-les per càpita, Andorra es posiciona en nivells comparables a Xina, país que més contribueix, i amb diferència, a les emissions de GEH. Si a això afegim que degut a la seva situació geogràfica, Andorra és un país molt vulnerable als efectes del canvi climàtic, no es d'estranyar que les primeres conseqüències d'aquest ja s'hagin fet notar.

En efecte, les temperatures mitjanes anuals a Andorra tenen actualment tendència a augmentar de mitja 0,20°C per dècada (Gràfic 1); contràriament a les precipitacions que tendeixen a disminuir, de mitja, de 45 mm per dècada (Gràfic 2). Cosa que es reafirmarà amb els pas del temps ja que segons els possibles escenaris del GIEC per finals del segle s'estima que la pujada de les temperatures sigui de 3,6°C i la reducció de les precipitacions de 16,8 mm (Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic, 2014).



Gràfic 1: Temperatures mitjanes anuals a Andorra en °C
Font: Elaboració pròpia amb dades de estadística.ad



Gràfic 2: Precipitacions mitjanes anuals a Andorra en mm
Font: Elaboració pròpia amb dades de estadística.ad

Les variacions de les condicions climàtiques esmentades tindran sens dubte conseqüències sobre la població i els ecosistemes, però també la salut, els riscos naturals, la producció hidroelèctrica, l'agricultura, la biodiversitat i l'economia, aquesta última dependent principalment del sector terciari i de les activitats derivades dels esports d'hivern que presenten vulnerabilitats cara a aquest fenomen. En vista d'això, el l'any 2011 el Govern d'Andorra va propiciar l'adhesió del Principat d'Andorra al conveni marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic com a part no-Annexa que obliga al Principat a:

1. Realitzar un inventari sobre les emissions antropogèniques de GEH per tipus de font.
2. Establir programes regionals o nacionals amb l'objectiu de reduir el canvi climàtic, i a facilitar una adaptació apropiada a aquests canvis.

L'any 2013 es va dur a terme el primer inventari regional dels Gasos d'Efecte Hivernacle a Andorra dels anys 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 i 2011 (Ministeri Medi Ambient 2013) conforme a les directrius del GIEC establertes l'any 2006. Aquest compren l'estudi del diòxid de carboni (CO₂), del metà (CH₄), del òxid nitrós (N₂O), així com de l'hexafluorur de sofre (SF₆), tenint en compte quatre eixos principals: l'energia, l'indústria, l'agricultura, silvicultura i altres usos de la terra i els residus (gestió de residus i aigua utilitzada). Els resultats d'aquest inventari diferencien les emissions absorbides de les no-absorbides del total de les emissions calculades al principat, que solen situar-se entre 120-130 GgCO₂eq degut al sector agrícola i a la silvicultura que es comporten com pous de carboni (Figura 11) (Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic, 2014).

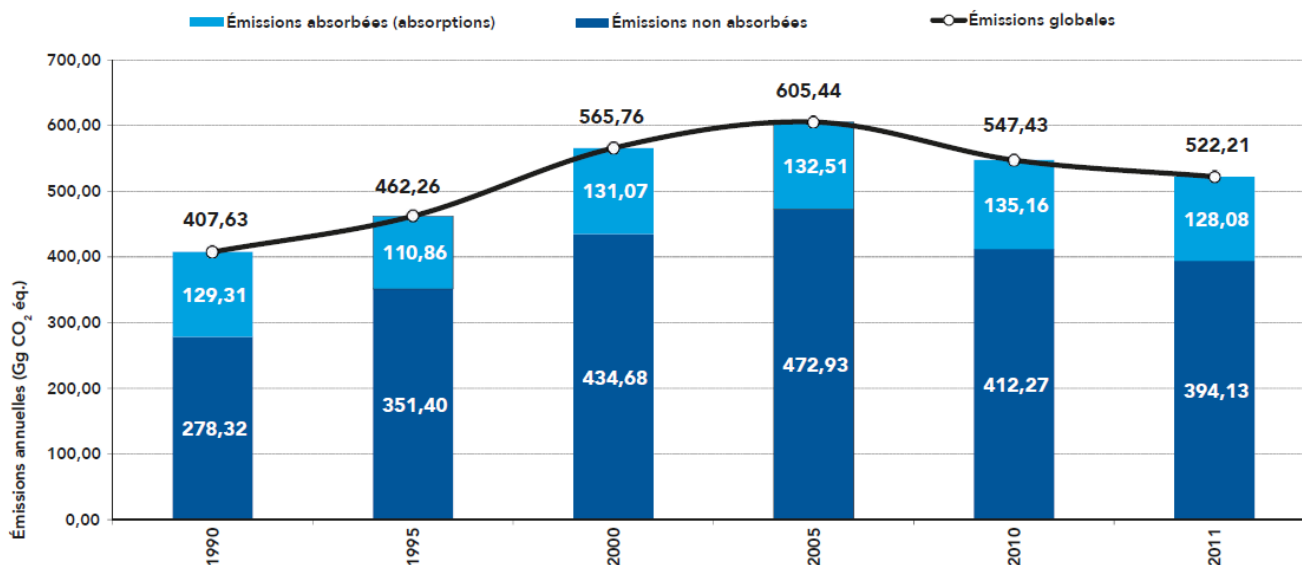


Figura 11: Emissions de GEH absorbides i no-absorbides d'Andorra

Font: Ministeri Medi Ambient 2013

Del total de les emissions, el 97% corresponen al sector de l'energia i el 3% restant es divideix entre els sectors industrial i de la gestió de residus (Figura 12).

Bilan national (Gg CO ₂ eq.)	1990	1995	2000	2005	2010	2011
1. Énergie	393,03	446,77	551,42	596,90	534,07	506,75
2. Procédés industriels et utilisation des produits	0,11	0,26	0,18	0,09	0,16	2,79
3. Agriculture, foresterie et autres affectations des terres	-124,78	-106,76	-127,07	-128,15	-129,86	-122,83
Agriculture et foresterie	-129,31	-110,86	-131,07	-132,51	-135,16	-128,08
Élevage et gestion des déjections	4,53	4,11	4,01	4,36	5,30	5,25
4. Déchets	9,97	11,12	10,15	4,10	7,91	7,43
5. Autres	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total des émissions non absorbées	278,32	351,40	434,68	472,93	412,27	394,13
Total des émissions globales	407,63	462,26	565,76	605,44	547,43	522,21
Total des émissions absorbées (puits de carbone)	-129,31	-110,86	-131,07	-132,51	-135,16	-128,08

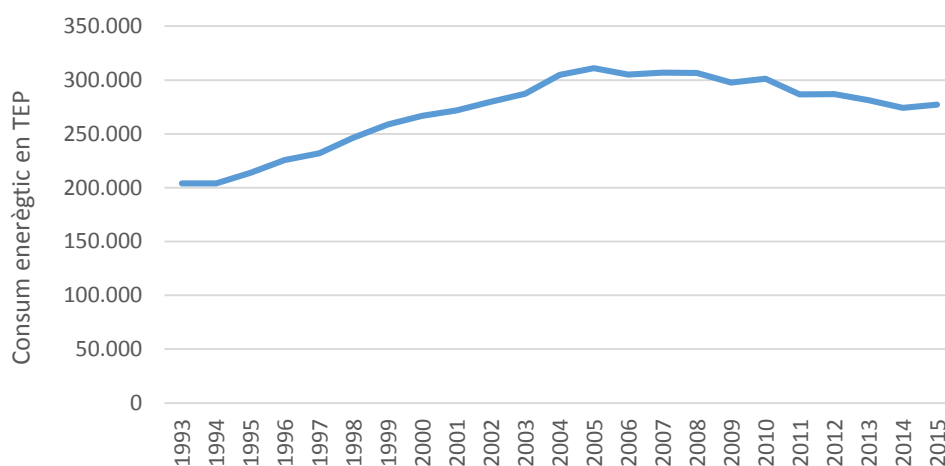
Figura 12: Balanç nacional de les emissions de GEH per sector

Font: Ministeri Medi Ambient, 2013

En vista de l'enorme contribució del sector de l'energia, en el següent sub-apartat s'analitzarà el model energètic del Principat per poder definir els sectors implicats en les emissions derivades d'aquest sector.

3.1.2 Model energètic d'Andorra

El consum d'energia total durant l'any 2015 ha estat de 277 015 Tep, un 1,07% més respecte l'any anterior sent una de les crescudes més importants des de l'any 2005, durant el qual es va atendre el seu màxim (Gràfic 3).

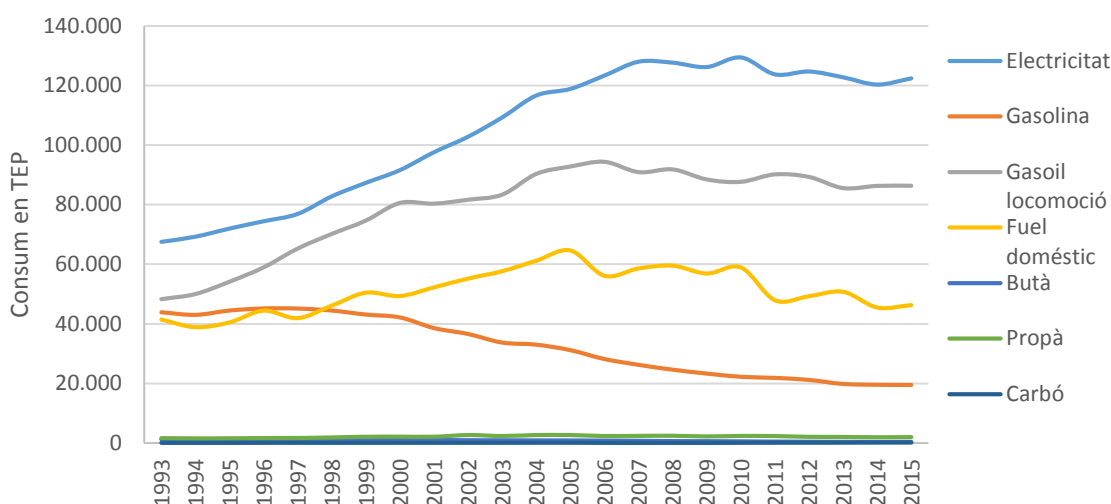


Gràfic 3: Evolució del consum d'energia en Tep (1993-2015)

Font: Elaboració pròpia amb dades de estadística.ad

Des de l'any 1993, any a partir del qual es disposen de dades referents a consums energètics a Andorra, el consum d'energia al principat ha augmentat considerablement amb un increment acumulat del 31,8% sobretot entre els anys 1994 i 2005, on el consum energètic es va incrementar en un 34% passant de 204 000 a 311 000 Tep, però que ha tingut una tendència a la baixa des de llavors amb una disminució del 11,87% fins a arribar al seu mínim l'any 2014 amb un consum total de 274 095 Tep, xifra que no es registrava des de l'any 2002.

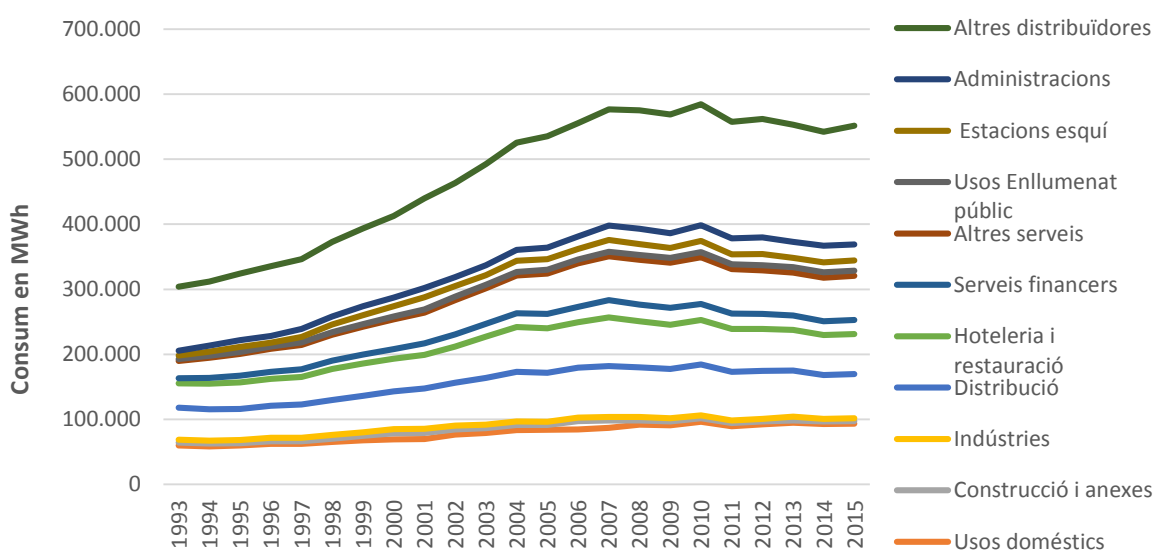
Tot i aquesta tendència general referent al consum energètic a Andorra, no tots els tipus d'energia han tingut la mateixa evolució degut principalment als diferents usos que aquests abasteixen. Els principals tipus d'energia més consumits a Andorra són l'electricitat i el gasoil de locomoció, seguits del fuel domèstic i la gasolina, tot i que també en hi ha d'altres minoritaris com ara el propà, el butà o el carbó (Gràfic 4).



Gràfic 4: Evolució del consum energètic en MWh 1993-2015 per tipus de combustible
Font: Elaboració pròpia amb dades de estadística.ad

Els únics tipus d'energia que presenten un creixement acumulat de les darreres dues dècades per damunt de la mitja són l'electricitat (57,68%) i el gasoil de locomoció (55,45%). Mentre que el fuel domèstic i sobretot la gasolina, han tingut més aviat una tendència baixista des de la darrera dècada.

Analitzant més en detall el consum elèctric, que és el que tipus d'energia més consumit a Andorra, es pot constatar que aquest ha patit des de l'any 2007 una lleugera disminució en tots els sectors, excepte en el sector domèstic, de la construcció i l'industrial en els que s'ha estabilitzat (Gràfic 5).

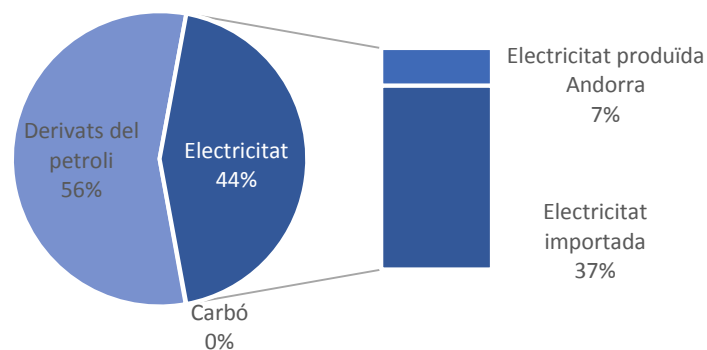


Gràfic 5: Evolució del consum elèctric (1993-2015) per sectors
Font: Elaboració pròpia amb dades de estadística.ad

Però, si ens centrem en els últims cinc anys, els únics sectors que presenten un creixement acumulat positiu són l'enllumenat públic amb un 9,1%, l'Administració, que inclou els Comuns i les entitats parapúbliques, amb un 6,7% i els sector domèstic amb un 2,3%; contràriament, el sector de la construcció i l'industrial presenten les davallades més importants amb caigudes de 43,1% i 33,4% respectivament.

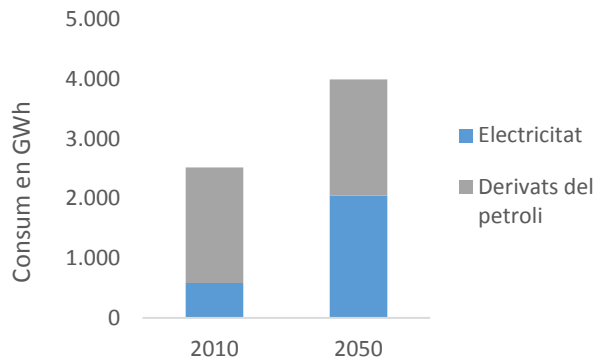
Altre aspecte a destacar del model energètic a Andorra és la gran dependència del exterior. Efectivament, si agreguem les dades anteriors en funció del tipus d'energia (Gràfic 6), es pot determinar que l'any 2015 un 56% de l'energia total consumida a Andorra (en Tep) depenia del petroli, que es importat al 100%, i el 44% restant corresponia a energia elèctrica, de la qual Andorra només produeix un 17%, important la resta dels 2 països veïns (Govern d'Andorra, 2012), que fa que Andorra tingui una dependència energètica del exterior del 93%.

Cal destacar però, que l'electricitat produïda a Andorra és d'origen renovable generada en una central hidroelèctrica i un centre de tractament de residus.



Gràfic 6: Fonts d'energia utilitzades a Andorra importades i produïdes in-situ
Font: Govern d'Andorra, 2012

De seguir amb el mateix model en quant a eficiència i fonts d'energia, les projeccions de la demanda energètica podrien augmentar d'un 63% passant de 2 521 a 3 993 GWh l'any 2050, (Govern d'Andorra, 2012) amb un augment brutal de la demanda elèctrica (Gràfic 7).



Gràfic 7: Projeccions per l'any 2050 del model energètic actual
Font: Govern d'Andorra, 2012

L'anàlisi del model energètic Andorrà mostra una clara dependència exterior que es centra en la importació de petroli - carburants per a locomoció i gasoil domèstic -, i també d'electricitat dels països veïns. Aquest model s'aparta substancialment de les tendències internacionals atès l'elevat índex d'emissions de CO₂ que comporta un consum tant important de derivats del petroli, i perquè fa d'Andorra, un país molt vulnerable davant les incerteses derivades de les fortes tensions que es puguin produir en aquest mateix sector. Aquests fets fan que els dos reptes bàsics a l'hora de definir les polítiques energètiques que són per una banda, la lluita contra el canvi climàtic i disminució dels GEH, i per altra banda la problemàtica de l'esgotament dels combustibles fòssils, afectin a Andorra de ple i plantegin un futur d'incertesa pel que fa als preus i l'abast de la demanda.

Per tal de fer front a aquestes problemàtiques, l'any 2012 es va redactar el Llibre Blanc de l'Energia d'Andorra amb l'objecte de definir un nou model energètic per a Andorra, cercant la garantia del subministrament energètic del país en condicions sostenibles des del punt de vista mediambiental i sense oblidar la necessitat d'assolir costos compatibles amb el desenvolupament del país (Govern d'Andorra 2012). Les accions proposades són les següents:

1. Aplicar mesures d'eficiència energètica en edificis i altres processos (per estalviar energia i reduir emissions de CO₂).
2. Potenciar al màxim l'aprofitament dels recursos renovables d'Andorra (per reduir la dependència energètica i les emissions de carboni).
3. Fomentar la realització de projectes de cogeneració amb gas natural i distribució d'aigua calenta per xarxes públiques (per diversificar les fonts d'energia, millorar l'eficiència energètica, reduir emissions i incrementar la producció elèctrica dins d'Andorra, reduint el risc de saturar les línies de transport d'electricitat).

4. Incrementar al màxim la capacitat d'importació d'electricitat finalitzant les obres projectades a la xarxa de 220 kV.

5. Potenciar l'ús dels sistemes de transport públic i de vehicles poc emissors de carboni (estalvi i reducció d'emissions).

Es pot constatar que la majoria de les accions proposades van encaminades al sector de l'energia, l'edificació i el transport.

3.1.3 Sector de la edificació

Igual que a nivell mundial, a Andorra el sector de l'edificació té una quantitat d'emissions indirectes derivades de la producció de calor i d'electricitat molt importants. En efecte, l'any 2011 aquest sector va consumir el 59% de l'energia total d'Andorra, sobretot en els edificis d'ús residencial (30%), i els destinats al turisme (27%), seguits dels d'ús comercial, oficines i indústria (Taula 1).

	Consum elèctric			Consum tèrmic			TOTAL
	%	TEP	MWh	%	TEP	MWh	TEP
Habitatge	24,2%	29 937	134 850	42,6%	21 589	250 436	51 526
Turisme	21,6%	26 694	120 245	38,0%	19 251	223 312	45 945
Comerç	18,4%	22 734	102 406	5,9%	2 943	34 135	25 677
Oficines	13,6%	16 769	75 536	4,4%	2 171	25 179	18 940
Indústria i altres	22,3%	27 622	124 426	7,2%	3 575	41 475	31 198
	100%	123 756	557 463	100%	49 529	574 537	173285

Taula 1: Consum energètic del sector de l'edificació per tipus de consum i tipus d'edifici
Font: Govern d'Andorra, 2012

Per tant considerant que l'any 2011 es van estimar unes emissions totals a Andorra de 522,21 GgCO₂eq, del les quals 506,75 GgCO₂eq derivaven del sector de l'energia, i que el sector de l'edificació va consumir durant el mateix any el 59% d'aquesta energia, es pot concloure que el sector de l'edificació contribueix en un 57% a les emissions de GEH d'Andorra.

Per tant, amb un sector de l'edificació tant important en quant a consum energètic i representant un dels principals responsables de les emissions de GEH, sobretot pel que fa a emissions de CO₂, no es d'estranyar que aquest representi un dels sectors claus en la reducció del consum energètic, i per consegüent la reducció de les emissions de GEH.

Malgrat això, Andorra és un país poc desenvolupat encara en quant a legislacions i normatives, sobretot amb temes referents al sector de la construcció i l'edificació en comparació als països veïns, o altres Estats Membres de la UE. Tot i la carència en aquest aspecte normatiu, s'està avançant en l'adaptació dels instruments derivats de les directives Europees que afecten l'eficiència energètica en la edificació, sobretot respecte a la certificació energètica dels edificis existents, així com amb programes d'ajuda econòmica per a la millora del parc immobiliari nacional com per exemple el Pla Renova.

Durant els últims cinc anys s'han adoptat unes mesures y normatives de gran interès en edificacions. La primera d'elles és el Reglament energètic en edificacions, aprovat a l'octubre de 2010 que incorpora diversos annexes, entre els quals es destaca l'annex número A relatiu a l'eficiència energètica en edificacions, basat en gran part en la norma suïssa 380/1 edició 2009. Es tracta d'una normativa que millorarà molt les prestacions tèrmiques en les noves edificacions i que marca la pauta per dur a terme millores de les edificacions existents. Al gener de 2011 es va publicar la Llei 93/2010 de 16 de desembre de mesures de promoció de l'activitat econòmica i social que, entre altres, incorpora al seu article 13, el compromís de desenvolupar diversos incentius per a la rehabilitació d'edificis. I per últim, al març de 2011, es van publicar dos reglaments que desenvolupen la Llei 93/2010 de 16 de desembre incloent un programa de finançament privilegiat de diversos ajuts per a la rehabilitació d'habitatges.

Malgrat aquest esforç normatiu, per tal d'assolir els objectius fixats per la UE, és necessari establir uns objectius vinculants en el temps per tal d'arribar a un determinat estalvi d'energia del parc edificat. Aquests objectius s'haurien d'implementar mitjançant un pla d'acció per la rehabilitació energètica del parc d'habitatges on s'identifiquin les mesures, actuacions, terminis i pressupostos orientatius que siguin necessaris per assolir els objectius. Anant en aquesta direcció, l'any 2012 el Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra (COAA), les Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA) i el despatx d'Arquitectes Sabaté Associats (SaAs) van realitzar l'informe *Quantificació del Potencial d'Eficiència Energètica en el Sector de l'Edificació a Andorra* amb l'objectiu d'establir una línia argumental que inclogui tant aspectes qualitius com quantitius, per tal de facilitar l'adopció de les polítiques i estratègies de rehabilitació energètica més efectives per a reduir la demanda energètica de l'estoc d'edificis del Principat d'Andorra (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra & Sabaté Associats 2012). En l'informe s'analitzen els diferents consums energètics i es proposen diferents mecanismes d'actuació sobre

l'edificació existent per a reduir el seu consum avaluant els costos que això implicaria, així com els períodes d'amortització d'aquests. Malgrat això, degut principalment a la manca d'informació sobre el parc edificat andorrà, l'informe manca de detall i no arriba a conclusions concretes.

Existeix un ampli consens a l'hora de reconèixer la importància del consum d'energia dels edificis respecte al conjunt de les necessitats energètiques del País. Per aquesta raó i, davant del previsible increment del preu de l'energia, és de gran interès l'adopció de mesures per fomentar l'estalvi, l'eficiència i la qualitat en el sector de l'edificació. Anant en aquesta direcció FEDA vol posar en marxa un projecte de *district heating* a la parròquia d'Escaldes-Engordany, segona parròquia amb més població després de la capital, i on es situa l'eix comercial principal del Principat. Però a com ja s'ha dit en l'apartat 2.2, la implementació racional i eficient de les estratègies i polítiques de reducció de CO₂ en el sector de l'edificació requereixen de l'ús de models comprensius del parc edificat que tinguin la capacitat d'estimar la demanda del parc edificat existent (Kavgic et al. 2010). Però aquests models requereixen de una quantitat important d'informació inicial que no es disposa al Andorra, i aconseguir-la de tot el parc edificat a nivell nacional requereix de molt temps. Per aquest motiu, i en vista de la possible implementació del projecte de *district heating* a la parròquia d'Escaldes-Engordany, s'ha decidit fer una primera prova pilot en aquesta parròquia aplicant un model que permeti la caracterització del parc edificat, i d'aquesta manera ajudi a la presa de decisions a l'hora de definir les possibles intervencions en aquest.

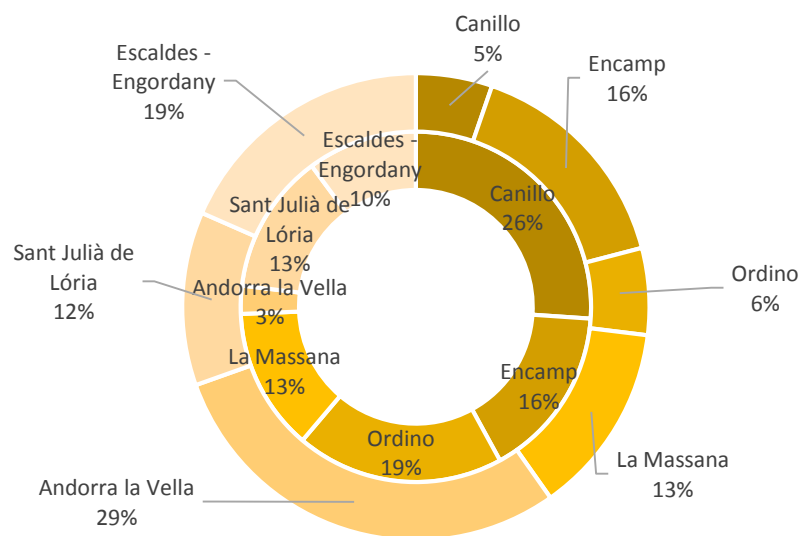
3.2 Cas d'estudi: Escaldes-Engordany

Escaldes-Engordany es situa a la confluència dels dos grans rius del Principat: el Valira del Nord i el Valira d'Orient al fons d'una vall (Figura 13) i esta formada per dos grans nuclis urbans, que originalment estaven separats Escaldes i Engordany.



Figura 13: Mapa Andorra
Font: <http://www.lahistoriaconmapas.com/>

És la segona parròquia més poblada del principat amb 14 367 habitants, després d'Andorra la Vella, la capital, amb 22 886 habitants, i ocupa el 10% del territori andorrà amb 47 km² (Gràfic 8), el que fa que sigui la segona parròquia amb més densitat de població, 305,7 hab/km², després d'Andorra la Vella amb 1907,2 hab/km² i seguida per la Massana amb 169,8 hab/km².



Gràfic 8: Superfície (cercle interior) i població (cercle exterior) l'any 2015 per parròquies
Font: Elaboració pròpia amb dades d'estadística.ad

Com ja s'ha dit, Escaldes-Engordany esta formada per dos grans nuclis urbans, que originalment estaven separats Escaldes i Engordany, tot i que també hi havien dos altres de més petits com els Vilars d'Engordany i els Feners, tots ells eren comunitats recol·lectores, ramaderes i pageses caracteritzades per la tradició i basades econòmicament en el ús i possessió de la terra. Engordany, constitueix el nucli més antic, ja que s'han trobat indicis d'haver estat habitat des de el 1er segle A.C., principalment per ramaders i pageses. Poc a poc van anar apareixen artesans, especialment dedicats al treball de la llana, la qual cosa va originar la aparició d'una nova indústria rudimentària, cosa que també va impulsar el creixement del nucli d'Escaldes que va experimentar durant el segle XVIII un fort creixement econòmic gracies a la manufactura tèxtil i del ferro.

Però no va ser fins als anys 30, que es va produir un gran canvi amb la construcció de la xarxa viària, cosa que va marca una evolució divergent entre Engordany, que va mantenir el seu caràcter agrícola i ramader tradicional (en l'actualitat sent una zona residencial), i Escaldes més orientada a l'explotació turística i el comerç (en l'actualitat un zona molt comercial). En efecte, l'evolució de la parròquia d'Escaldes-Engordany del segle passat està íntimament lligada a la utilització de l'aigua calenta i la construcció de hotels-balnearis, que va culminar amb la construcció del centre termo-lúdic Caldea l'any 1994. El canvi més profund es va viure entre 1930 i 1940, quan el fort desenvolupament comercial de la zona va substituir el turisme minoritari que acudia per l'aigua termal, per la massificació del turisme purament comercial. Al llarg de la dècada dels 80, es van anar plantejant alternatives a aquest desenvolupament econòmic centrat, casi en exclusiva, al turisme comercial, però això no ha evitat que la parròquia hagi anat creixent a passos de gegant i constitueixi en l'actualitat un dels eixos comercials més importants del principat (Figura 14).

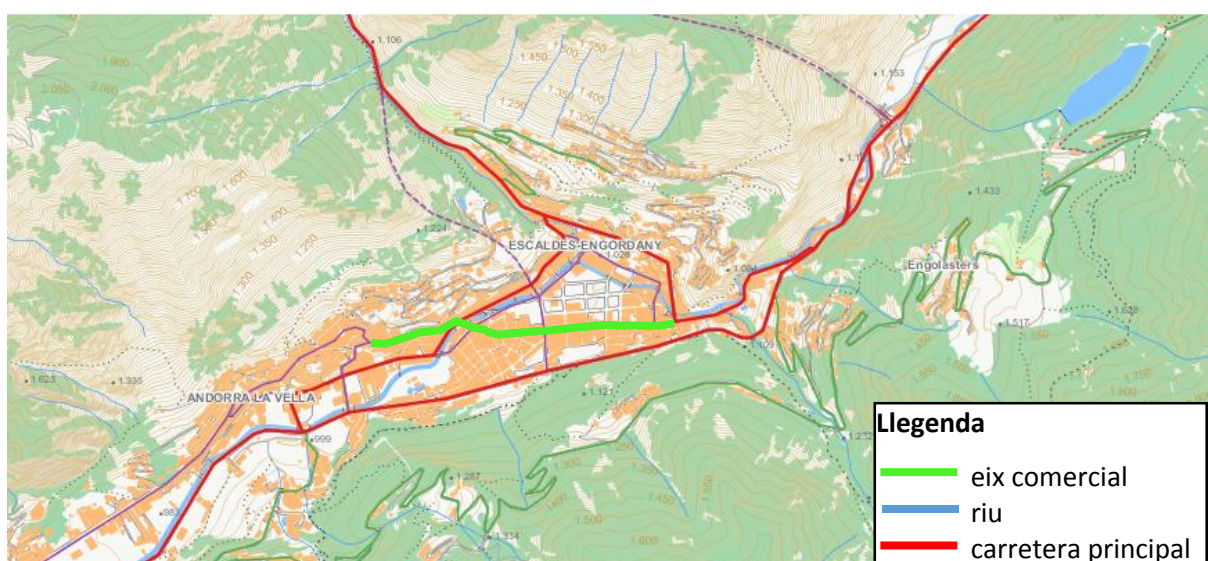


Figura 14: Mapa Parròquia Escaldes-Engordany (Escala: 25 000)
Font: Adaptada per l'autor de Cartografia.ad

CAPÍTOL 4: Metodologia

Com s'ha vist en l'apartat 2.3, existeix una ampla varietat de models del parc edificat que tinguin la capacitat d'estimar el comportament energètic del parc edificat existent. En efecte, per poder determinar estratègies de rehabilitació, així com per poder establir prioritats i estratègies de intervenció és necessari una caracterització energètica prèvia dels edificis per tal de determinar la situació real del espai físic edificat. Per aquest treball de fi de màster s'utilitzarà la metodologia arquetip dels models *bottom-up* que es basen en les característiques físiques dels edificis. Aquesta tècnica consisteix en una classificació dels edificis segons certs paràmetres: època de construcció, dimensions, tipologia dels edificis, etc.; que permeti la creació de grups homogenis composts per edificis amb característiques el més similars possibles dels quals es triarà un edifici representatiu - igual que en el projecte TABULA - que serà l'arquetip. Un cop s'hagi triat l'arquetip de cada grup, aquests s'analitzaran des del punt de vista energètic ja sigui gràcies a factures de la companyia, o mitjançant softwares de simulació capaços de calcular demandes energètiques. L'objectiu d'aquesta tècnica és el d'obtenir una dada energètica que es pugui extrapolar a la resta dels edificis que compleixin amb la definició dels arquetips, és a dir a la resta del grup, com per exemple en kWh/m².any amb la qual només caldria multiplicar-la per la superfície de cada edifici i obtindríem el seu comportament energètic en kWh/any. El problema és que a Andorra no hi ha dades sobre el parc edificat disponibles per poder dur a terme la fragmentació del parc edificat. Per tant s'haurà de dedicar gran part del temps destinat a la elaboració d'aquest treball a reunir aquestes dades.

Així doncs, aquest la metodologia utilitzada per a desenvolupar la tècnica arquetip per aquest treball constarà de dues parts importants que s'abordaran de manera diferent. Primerament una part que requerirà d'un treball de camp exhaustiu del parc edificat d'Escaldes-Engordany que permeti recopilar la informació necessària per a fragmentar-lo, i una segona part de caracterització energètica realitzada amb dades d'altres treballs que s'ajustin al cas d'estudi. En efecte, per a poder realitzar la segona part de la metodologia existeix una gran quantitat d'estudis i treballs que poden proporcionar les dades requerides, però les característiques del parc edificat no es poden extraure de cap estudi, aquestes són pròpies de la zona d'estudi. Per aquest motiu, aquest treball es centrarà sobretot en la col·lecció d'aquestes dades que caracteritzen el parc edificat existent, i donarà menys importància a la segona part de caracterització energètica. Paral·lelament a això, és desenvoluparà una cartografia amb el software ArcMap que permetrà per una banda emmagatzemar les dades de forma ordenada, i per altra banda, analitzar la informació de manera visual.

4.1 Treball de camp i tractament de dades

Després d'haver revisat nombrosos estudis que utilitzen la metodologia arquetip, els paràmetres més utilitzats per a poder fragmentar el parc edificat són: l'any de construcció que permet determinar els sistemes constructius del edifici, l'ús, la superfície i el número d'habitables de cada edifici. En hi ha d'altres com ara la font d'energia que s'utilitza per la calefacció i l'ACS o el tipus de sistemes utilitzat, centralitzat o individual, però que són menys utilitzat degut a la dificultat d'aconseguir aquestes dades.

Per tant, primerament s'examinarà les dades disponibles que puguin servir per a l'elaboració del treball, i posteriorment és realitzarà un treball de camp exhaustiu per a aconseguir les dades mancants.

- **Dades disponibles**

Com ja s'ha dit anteriorment, les dades disponibles a Andorra són molt escasses. En efecte, en el Comú d'Escaldes-Engordany, que correspon a l'ajuntament, s'han pogut aconseguir les dades següents:

- Cartografia de la parròquia d'Escaldes-Engordany en format cad on hi han representats els carrers, la planta dels edificis i una referencia numèrica que s'explicarà més endavant (Figura 15).

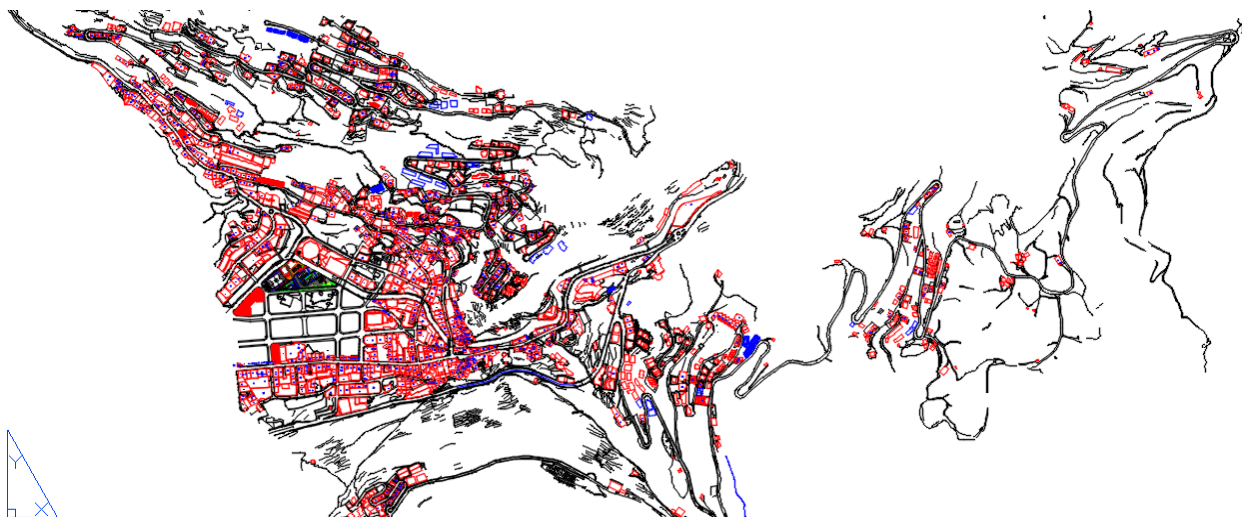


Figura 15: Cartografia parròquia Escaldes-Engordany format .dwg
Font: Dept. Urbanisme Comú d'Escaldes-Engordany

- Arxiu accés amb informació sobre l'any de construcció dels edificis de la parròquia d'Escaldes-Engordany. En l'arxiu accés hi ha les mateixes referències numèriques que al arxiu cad, per tal de poder determinar l'any de construcció dels edificis.

El problema d'aquestes dades és, per una banda que l'arxiu cad no està actualitzat i per tant hi hauran edificis que ja s'han enderrocat, i faltaran edificis que estan construïts, i per altra banda, que no tots els edificis tenen referència numèrica, i per tant no es disposa dels anys de construcció d'aquests. Respecte a la referència numèrica hi ha 3 possibilitats:

- *Referència 1111*: Indica que els edificis s'han construït abans de l'any 1950, però no se sap l'any amb exactitud.
- *Referència 1 a 1145*: Indica que aquests edificis disposen d'any de construcció exacte.
- *Referència en blanc*: edificis construïts a partir de l'any 1995, però sense saber l'any exacte.

Per tant, a la manca de dades s'ha de afegir la no actualització de les poques que hi ha disponibles. En vista d'això, la majoria de les dades necessàries s'hauran d'aconseguir mitjançant treball de camp.

- **Treball de camp**

Per la recollida de dades del parc edificat d'Escaldes-Engordany s'ha dissenyat un full (Figura 16) que permeti reunir la informació de manera ordenada (Figura 16). En aquest es recolliran tant dades generals del parc residencial, que es poden obtenir amb la simple observació dels edificis, com dades sobre el tipus de combustible utilitzat, que s'han d'obtenir mitjançant una petita enquesta a un sol habitatge per edifici:

Dades generals

- Nº de plantes
- Ús de les plantes (residencial, comercial, pàrquing, etc.)
- Nº d'habitatges

Dades energètiques

- Definir tipus de combustibles per a ACS, Calefacció i cuina/forn
- Existència de sistemes de refrigeració

CARACTERITZACIÓ DEL PARC EXISTENT: Recollida de dades

Ref. edifici	Dades generals					Dades energetiques												
	ús	Plantes				hb	ACS			Calefacció			Cuina/Forn			Refrigeració		
		pk	pc	po	pp		E	G	B	E	G	B	E	G	B			

Figura 16: Full de recollida de dades

Font: Elaboració pròpia

Finalment, degut a la manca de coneixement dels usuaris dels habitatges entrevistats sobre els tipus de combustible utilitzat en els seus habitatges, s'han desestimat aquestes dades. Per altra banda, la idea era realitzar l'enquesta a un sol usuari per edifici, cosa que pot induir a errors ja que poden haver-hi diferències en quant al combustible utilitzat entre habitatges dins d'un mateix edifici. Els fulls de recollida de dades s'adjunten en l'apartat annex d'aquest treball (Annex 1).

Respecte a la informació sobre la superfície de cada edifici, al no disposar de cadastre ni de cap font d'informació per obtenir-la, s'utilitzarà l'eina ArcMap que permet calcular superfícies, i només caldrà multiplicar-la pel número de plantes de cada edifici, dada obtinguda durant el treball de camp, per aconseguir la superfície total de cada edifici.

Així doncs les dades utilitzades per la fragmentació del parc edificat utilitzades en aquest treball són: l'any de construcció proporcionades pel comú, l'ús dels edificis i el número de plantes, així com d'habitatges.

Una vegada obtingudes les dades generals de tots els edificis de la parròquia, aquestes s'afegiran a la cartografia proporcionada pel comú d'Escaldes-Engordany gracies al software ArcMap. D'aquesta manera, cada polígon representatiu d'un edifici, tindrà associada la informació que caracteritza aquest edifici recollida durant el treball de camp (Figura 17).

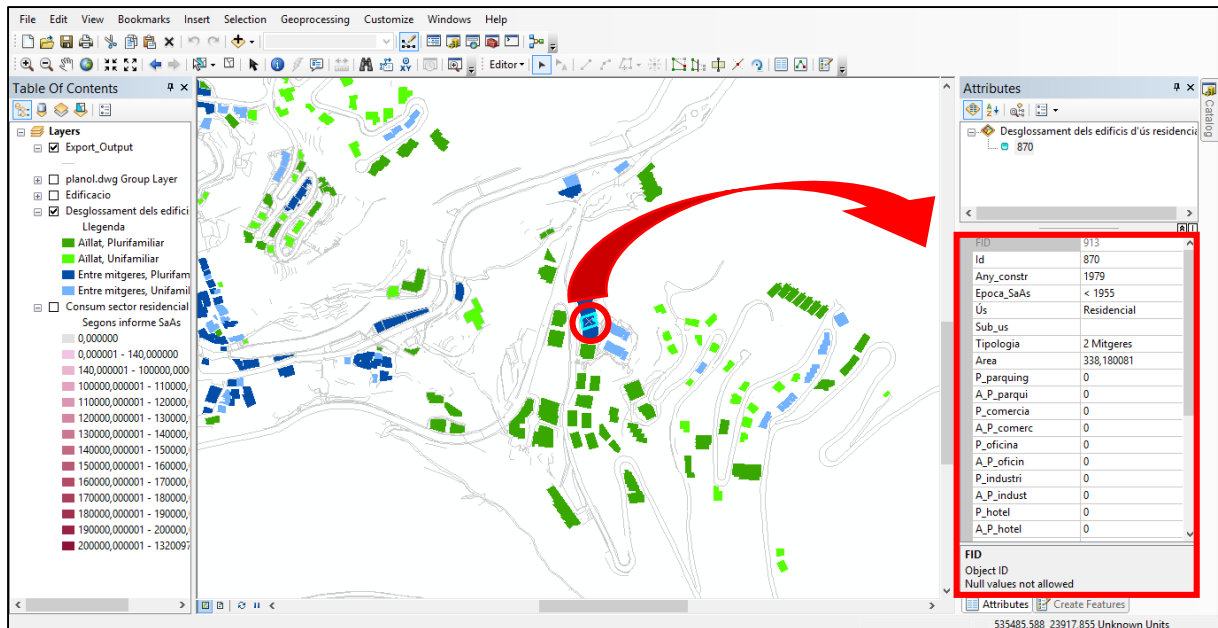


Figura 17: Interfície del software ArcMap
Font: Elaboració pròpia

Un cop introduïdes totes les dades en el software ArcMap, aquestes podran ser treballats tant gràfica com cartogràficament. En efecte, aquesta eina permet exportar les dades a excel per tal de poder gestionar més fàcilment la gran quantitat de dades introduïdes (1091 línies i 28 columnes), de igual manera que per met realitzar cartografies representant les característiques dels edificis sobre un base cartogràfica (Figura 18), ja sigui una per una, o creuant més d'una a la vegada.

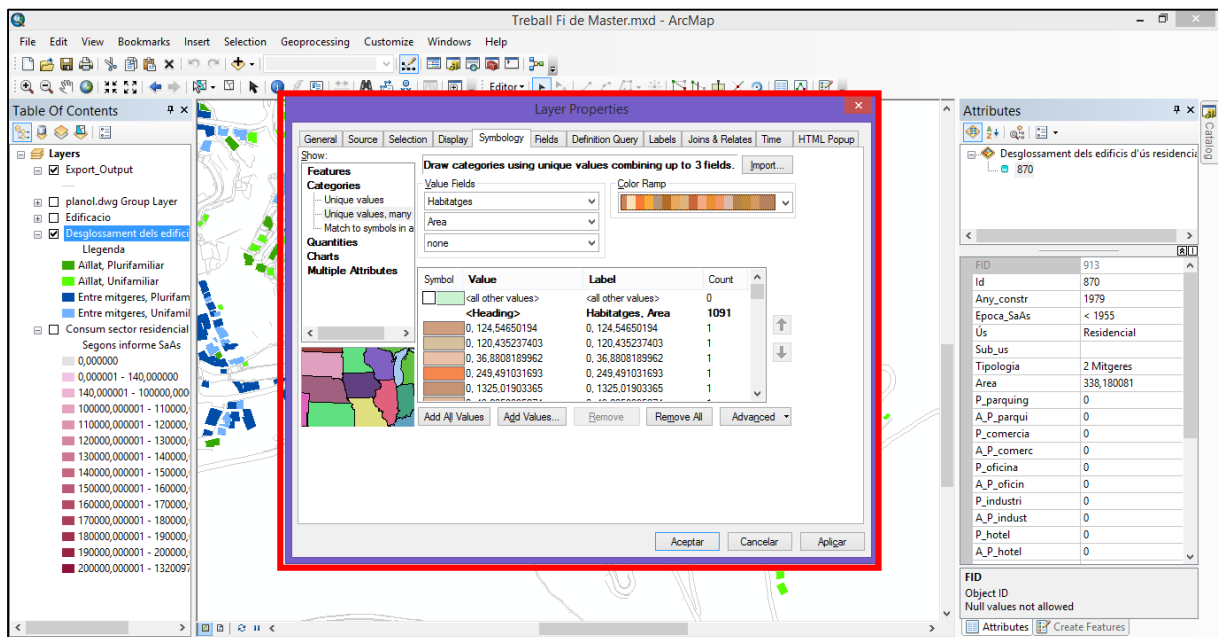


Figura 18: Creació de cartografies a partir de les dades introduïdes
Font: Elaboració pròpia

Durant l'anàlisi de les dades obtingudes en el treball de camp, es va detectar un excés d'edificis que no disposaven de referència numèrica, i que per tant es consideraven construïts després de l'any 1995. Per tal de verificar que aquestes dades eren correctes, s'ha realitzat una comprovació in-situ comparant els edificis en qüestió amb els edificis veïns, i en cas d'haver-hi similituds, s'han considerat com a construïts en el mateix any.

4.2 Caracterització energètica del parc edificat

Un cop caracteritzat el parc amb els paràmetres que influeixen en el seu comportament energètic, es fragmentarà aquest en diferents grups per tal de poder caracteritzar-los energèticament analitzant un edifici representatiu de cada grup: l'arquetip. Com ja s'ha dit anteriorment, aquesta part es realitzarà utilitzant dades energètiques extretes d'altres informes, concretament dels informes de Sabaté Associats, i l'elaborat l'any 2010 per el World Wildlife Fund (WWF) España intitulat *Potencial de Ahorro energético y de reducción de emisiones de CO₂ del parque residencial existente en España en 2020* i que s'explicarà més endavant.

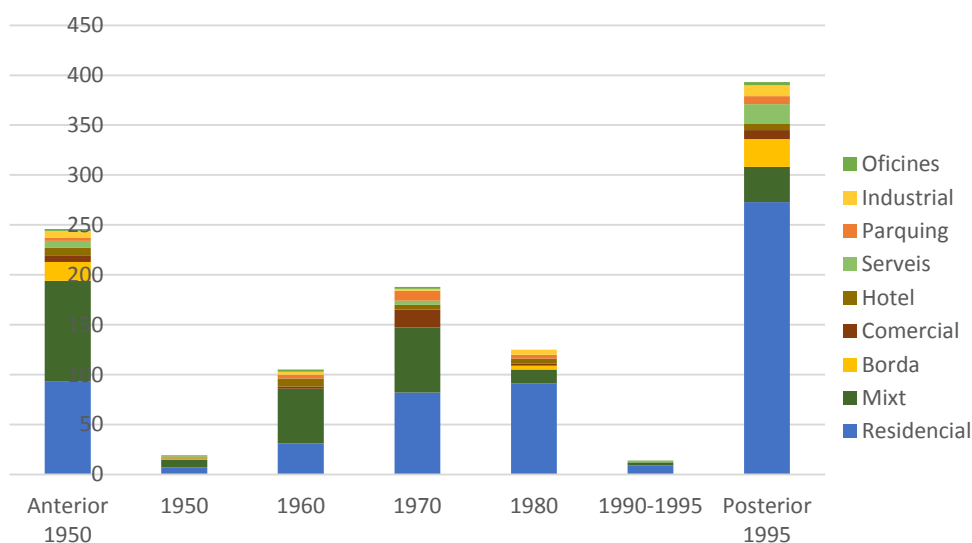
CAPÍTOL 5: Càlculs i Resultats

Les cartografies presentades en aquest capítol també s’han adjuntat en l’annex 2 per poder veure millor la informació continguda en elles.

5.1 Caracterització del parc edificat d’Escaldes-Engordany

Els paràmetres utilitzats per a caracteritzar el parc edificat de la parròquia d’Escaldes-Engordany que s’han utilitzat en aquest treball són la època constructiva, l’ús i la tipologia - unifamiliar/plurifamiliar, aïllat/entre mitgeres - dels edificis.

La parròquia d’Escaldes-Engordany disposa de **303 562,46 m²** de sòl edificat i un total de **1 652 302,43 m²** de sostre construït, repartits entre 1091 edificis destinats a diferents usos i construïts en diferents anys. En efecte, els primers resultats del treball de camp revelen que hi ha un important augment dels edificis construïts a partir de la dècada dels 60 i sobretot 70, degut a l’aparició del turisme, així com a partir del 2000, i que la majoria dels edificis es destinen a ús residencial (Gràfic 9).



Gràfic 9: Cens dels edificis existents en l’actualitat segons ús i dècada de construcció
Font: Elaboració pròpia

- **Època constructiva**

Amb el pas del temps, els edificis han anat evolucionant i adaptant-se a la utilització de nous materials i l’aparició de noves tecnologies de construcció que han anat millorant considerablement el comportament energètic dels edificis. Per aquest motiu, un dels aspectes més importants a l’hora de

caracteritzar el parc edificat és l'any de construcció ja que en funció d'aquest es poden deduir els sistemes constructius que es van fer servir. Però aquesta divisió pot variar considerablement d'un país a un altre per lo que és molt important establir èpoques constructives específiques per a cada país.

En l'informe de Sabaté Associats es divideix el parc edificat andorrà en 4 èpoques constructives que seran les mateixes que es faran servir per aquest treball. A continuació s'expliquen les principals característiques dels edificis construïts per a cada època constructiva per a poder tenir una idea general de la evolució de la edificació del país.

A Andorra, fins a mitjans de la dècada dels 50, els edificis construïts responien al model tradicional de construccions de muntanya, com en la majoria del Pirineu (Figura 19). Des del punt de vista dels sistemes constructius, destaca l'estructura i les façanes de parets de 40-50 cm de gruix de pedra calcària amb acabats arrebossats; sostres amb bigues de fusta i entrebigat de taulons, amb solera ceràmica o revoltó; cobertes amb bigues de fusta, tesella i coberta de pissarra clavada; finestres de fusta amb vidre simple i alta permeabilitat a l'aire; i sistemes de calefacció a base de xemeneies o estufes de llenya (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012).

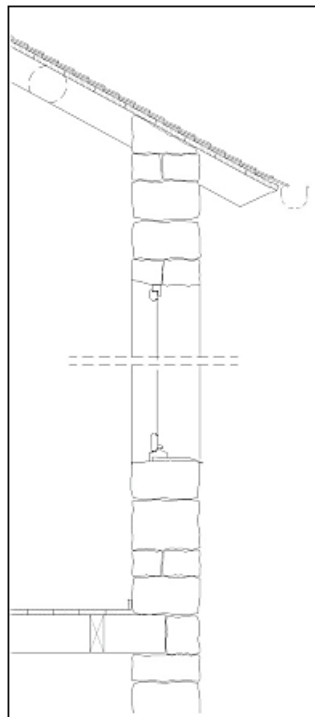


Figura 19: Sistemes constructius característics d'edificis construïts abans de 1955
Font: (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012)

A finals de la dècada dels 50, malgrat l'aparició de la cambra d'aire aportant millores tant en la insonorització com en la humitat dels edificis, els edificis es caracteritzaven per la seva extremada

simplicitat constructiva, amb deficiències energètiques importants (Figura 20). Els sistemes constructius dels edificis de la època es caracteritzaven per estructures de parets de càrrega de ceràmica (14 cm) o de pilars i jàsseres de formigó; façanes d'acabat arrebossat, formades per una fulla exterior ceràmica (14 cm), cambra d'aire i envà interior enguixat sense aïllament; sostres de bigueta pretesada i revoltó ceràmic *in-situ*, i més tard prefabricat, conegut popularment per *bovedilla*; coberta amb biga o tauló de fusta, encadellat interior de pi, tesella, làmina impermeable i coberta de pissarra clavada; amb finestres de fusta amb vidre simple; i finalment calefacció de llenya o gasoil (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012).

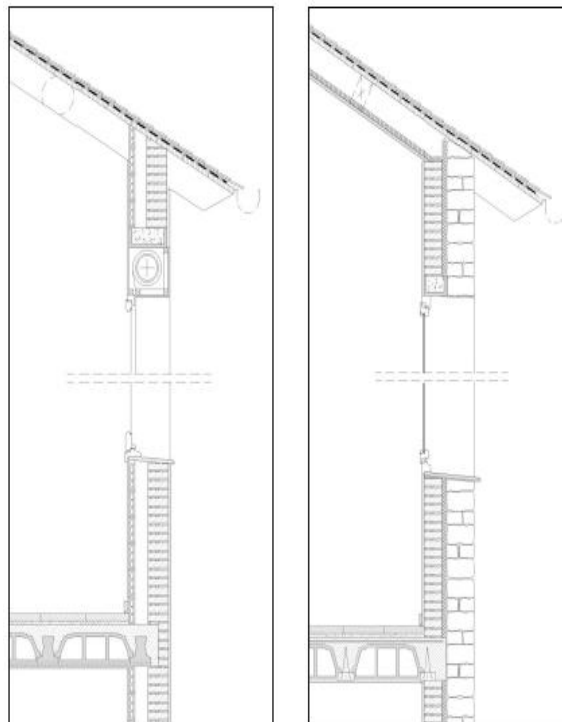


Figura 20: Sistemes constructius característics d'edificis construïts entre 1956-1980
Font: (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012)

A partir de la segona meitat de la dècada dels 70, i degut a la crisi del petroli de 1973 es va incrementar la preocupació per la millora de l'aïllament tèrmic. La referència és la norma espanyola NBE-CT 79, que introdueixen l'aïllament a les noves edificacions amb gruixos de 3 a 5 cm, tot i que es mantenen els dos tipus d'acabats bàsics: l'arrebossat i la pedra vista (Figura 21). Els sistemes constructius dels edificis de la època són les estructures de pilars amb jàsseres planes de formigó i sostres de semi-bigueta i revoltó ceràmic prefabricat; façanes amb acabat de pedra, fulla ceràmica (14 cm) doblada exteriorment per una paret (18-20 cm) de pedra granítica, calcària o de pissarra amb aïllament de 3 a 5 cm de poliestirè i llana mineral cap al final del període, situat entre la fulla portant i la de pedra, acabat interior de la fulla portant amb enguixat; o façanes amb acabat arrebossat amb fulla ceràmica

(14 cm) arrebossat i pintat, cambra d'aire de 10 cm amb aïllament de 3 a 5 cm de poliestirè i llana mineral cap al final del període i enguixat interior; coberta amb biga o tauló de fusta, encadellat interior de pi, aïllament interior, làmina impermeable (asfàltica o PVC) i coberta de pissarra clavada, així com finestres de fusta o alumini amb vidre amb cambra d'aire, i calefaccions de gasoil (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012).

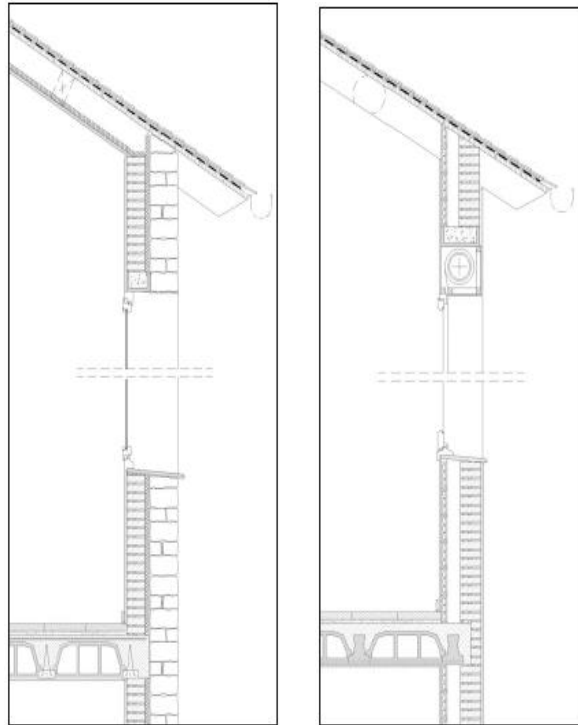


Figura 21: Sistemes constructius característics d'edificis construïts entre 1981-1995
Font: (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012)

A partir de la dècada dels 90, el model constructiu dels edificis comença a millorar seguint els esquemes proposats per l'Institut de Tecnologia de la Construcció (ITEC) i difosos des de les escoles d'arquitectura de Barcelona. Es registra un increment en els gruixos de l'aïllament i millora la situació de les cambres d'aire, sobretot després de l'aprovació del Reglament Energètic de l'Edificació l'any 2010 que transforma completament els models vigents (Figura 22). Els edificis es caracteritzen per estructures de pilars, amb jàsseres planes de formigó i sostres de semi-bigueta i revoltó ceràmic prefabricat, o llosa massissa de formigó armat; façanes amb acabat de pedra, formades per una fulla ceràmica (14 cm) doblada exteriorment per una paret (18-20 cm) de pedra granítica, calcària o de pissarra, aïllament de 5 a 8 cm de poliestirè o llana mineral amb envà interior ceràmic o cartró guix; o façanes amb acabat arrebossat, fulla ceràmica (14 cm), arrebossat i pintat, cambra d'aire de 10 cm amb aïllament de 3 a 5 cm de poliestirè o llana mineral, i enguixat interior; coberta de fusta, amb bigues tauló de secció rectangular i tesella, o llosa de formigó armat, aïllament de llana mineral de 5-

8 cm, cambra d'aire, làmina impermeable de PVC i coberta de pissarra clavada, així com finestres d'alumini amb vidre amb cambra d'aire (3-4-6), ocasionalment amb vidre baix emissiu, i calefaccions de gasoil i ocasionalment elèctrica (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012).

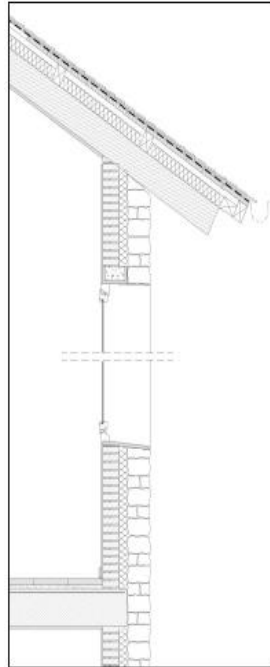
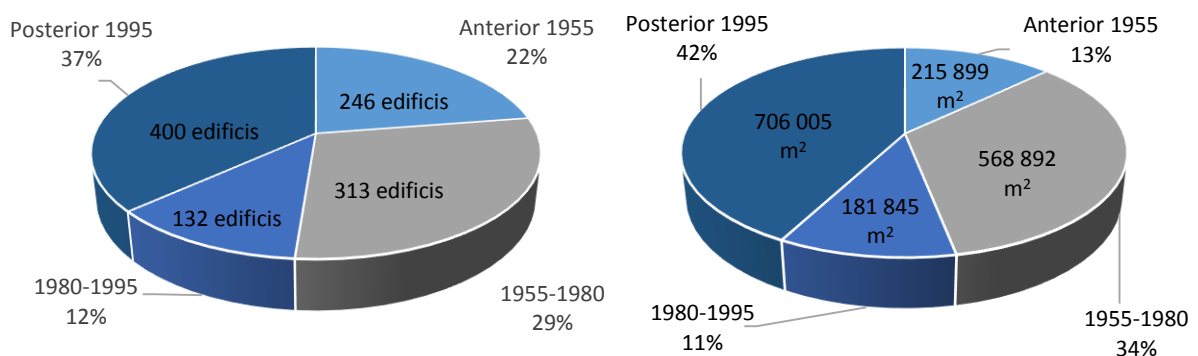


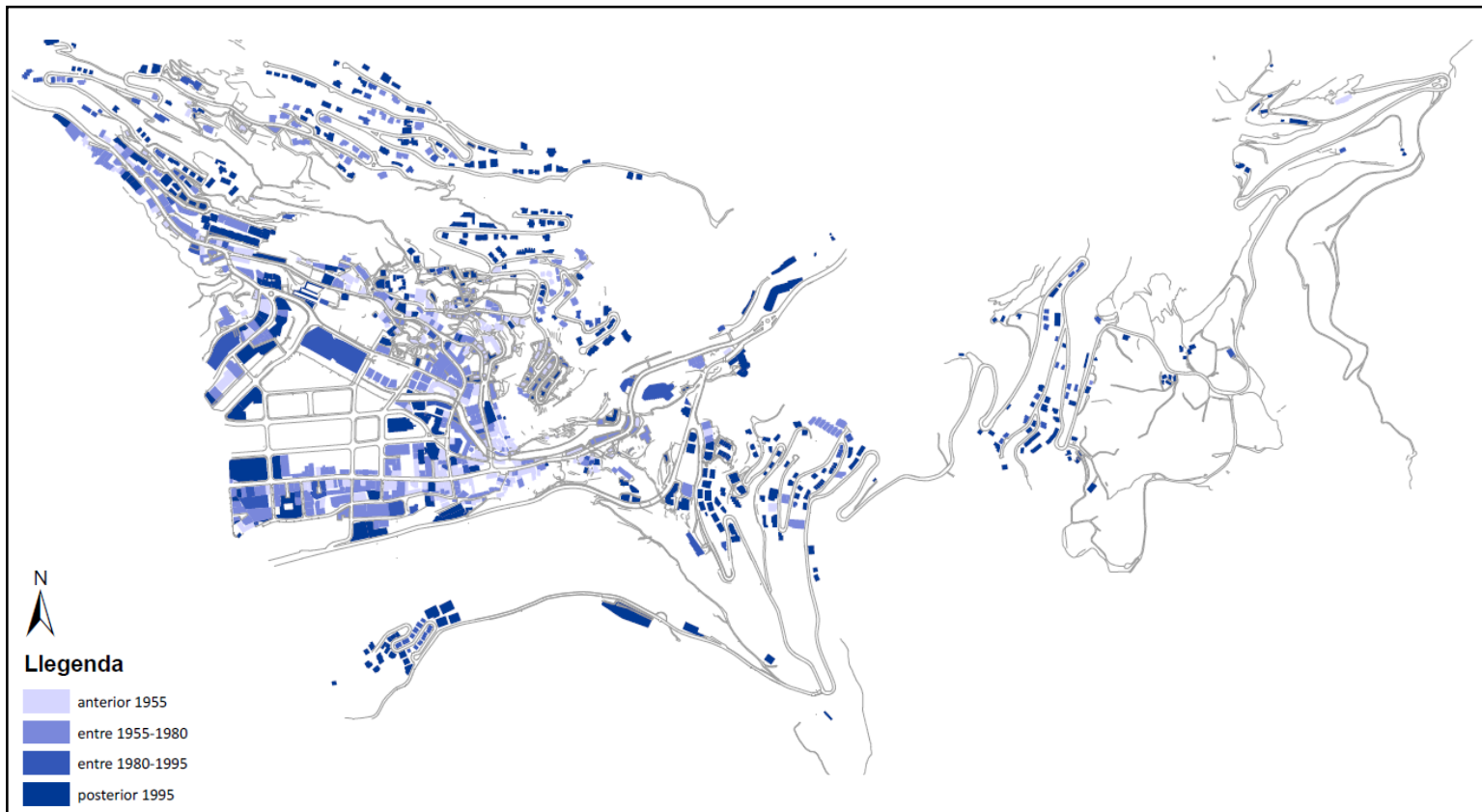
Figura 22: Sistemes constructius característics d'edificis construïts posteriors a 1996
Font: (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra i Sabaté Associats 2012)

El desglossament del parc edificat existent a la parròquia d'Escaldes-Engordany en els períodes constructius descrits anteriorment, s'aprecia que el 52% del parc edificat es anterior a l'any 1980 (Gràfic 10), i que per tant, aquest es compon d'edificis vells amb sistemes constructius simples, cosa que es tradueix en comportaments energètics pobres.



Gràfic 10: Desglossament parc edificat d'Escaldes-Engordany per època de construcció per edificis (esquerra), i per superfície en m² (dreta)
Font: Elaboració pròpia

Geogràficament, els edificis construïts abans de l'any 1980 es situen principalment en les cotes més baixes de la vall, prop del riu que és on es solien desenvolupar les ciutats tradicionalment ja que l'aigua era, i segueix sent, un element fonamental en les ciutats i a la època no existien les xarxes d'abastament que hi ha en l'actualitat. Contràriament a això, els edificis construïts més recentment es situen en la seva gran majoritat en les cotes més altes com a conseqüència de l'expansió urbana (Cartografia 1).

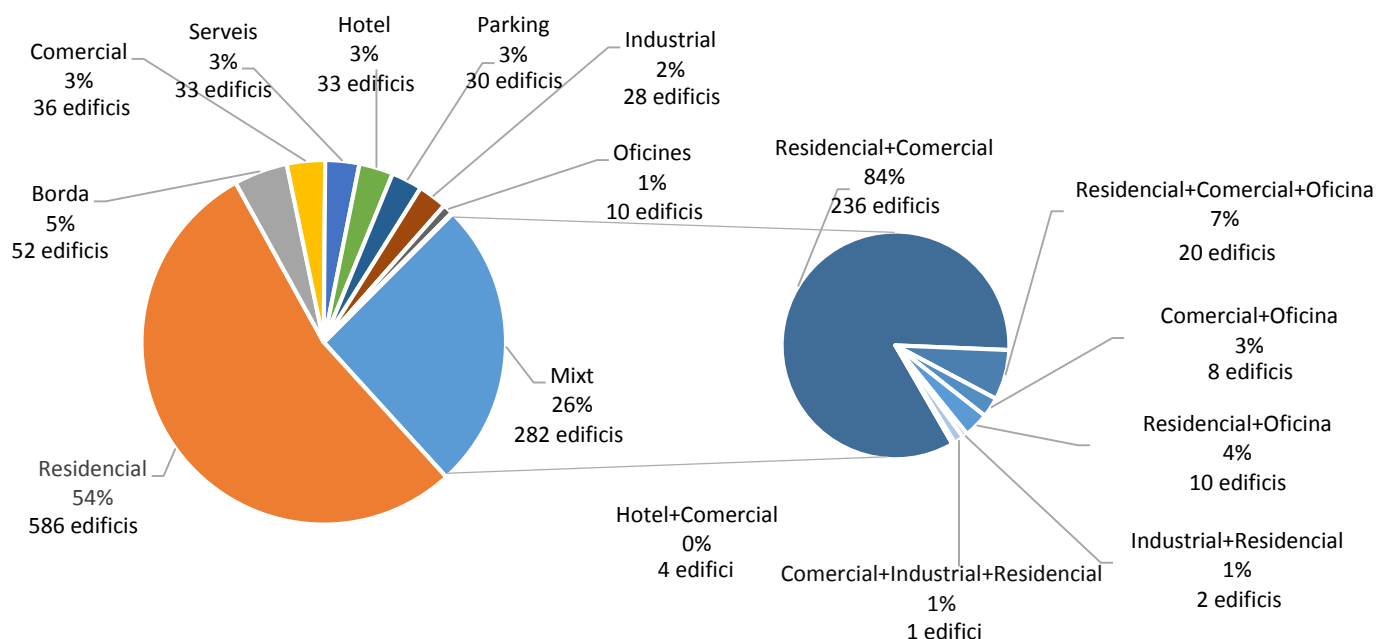


Cartografia 1: Classificació parc edificat segons època constructiva
Font: Elaboració pròpia

- **Ús dels edificis**

Durant el treball de camp s'han identificat 9 tipus d'edificis en funció del ús d'aquests: residencial, comercial, oficines, borda, industrial, hotel, serveis, pàrquing i ús mixt. Aquest últim es va crear atès que una gran quantitat d'edificis no tenien un sol ús, sinó que podien tenir-ne 2 i fins i tot 3, exclouent els edificis d'ús residencial amb pàrquing que es consideren d'ús residencial degut al consum mínim de les zones de pàrquing.

L'ús que predomina en el parc edificat d'Escaldes-Engordany és l'ús residencial amb un 54% dels edificis que correspon a 586 edificis, seguit de l'ús mixt amb un 26% que correspon a 281 edificis (Gràfic 11). Però al desglossar els edificis que componen la tipologia ús mixt, es constata que el 96% d'aquests tenen ús residencial entre els seus usos, i que la majoria d'aquests, 84%, són del tipus edificis plurifamiliars amb locals d'ús comercial a planta baixa en la planta baixa (residencial + comercial).

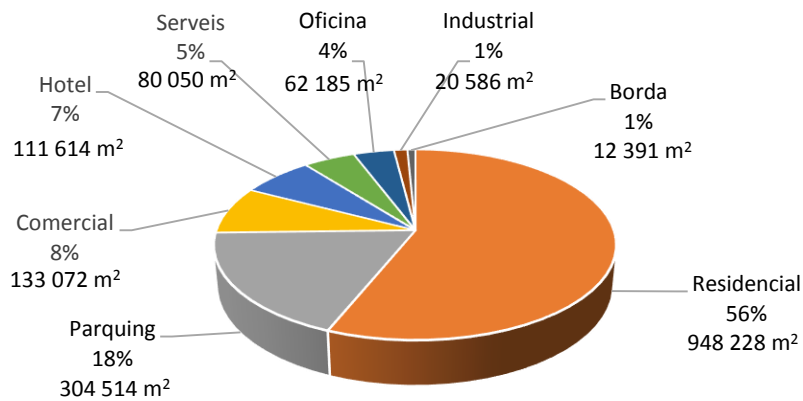


Gràfic 11: Desglossament dels edificis segons el seu ús
Font: Elaboració pròpia

Gràfic 12: Desglossament dels edificis segons el seu ús
Font: Elaboració pròpia

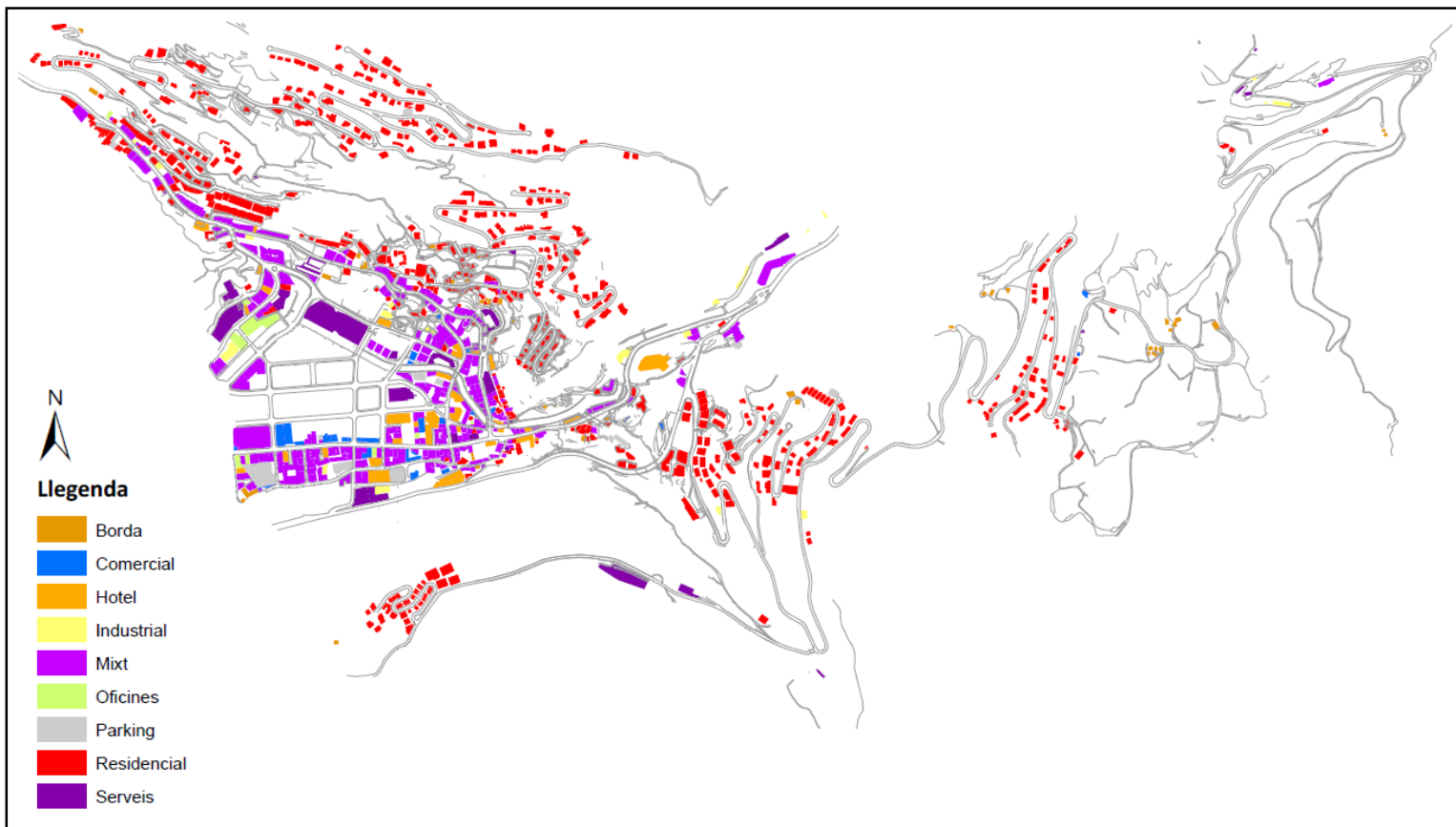
Per tant, ial entre
els seus usos, s'obtenen 855 edificis, és a dir que més d'un 70% del parc edificat es compon per edificis d'ús residencial. Aquest valor és similar al d'altres països de la Unió Europea com per exemple Grècia on l'ús residencial engloba el 74,6% dels edificis (Balaras et al., 2007).

Al passar les dades a la superfície que ocupa cada ús la categoria ús mixt desapareix (Gràfic 12), i es constata que l'ús residencial segueix sent el majoritari, però altres usos com ara els hotels o els comerços prenent més importància, el que no es d'estranyar ja que com ja s'ha dit en l'apartat 3.1., el PIB d'Andorra depèn principalment del turisme i el comerç (apartat 3.1).



Gràfic 13: Desglossament de la superfície en m² ocupats per cada ús
Font: Elaboració pròpia

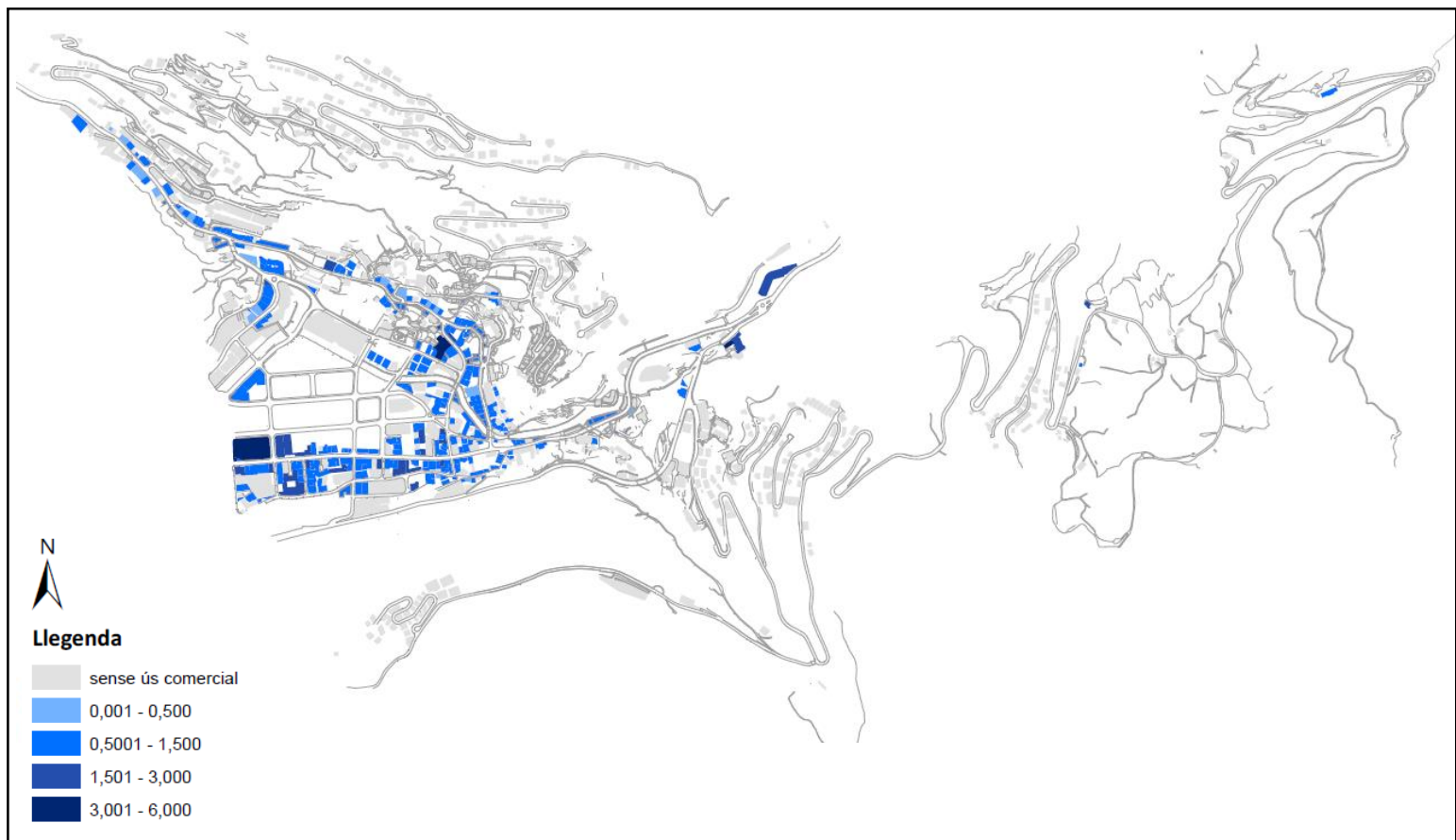
Geogràficament, els edificis d'ús exclusivament residencial, es situen sobretot en cotes més altes de la parròquia en urbanitzacions residencials, mentre que en les cotes baixes, en ple centre vila es distingeix una barreja d'usos (residencial, serveis, hotel, comercial, etc.), amb predominança dels edificis d'ús mixt. (Cartografia 2).



Cartografia 4: Desglossament del parc edificat per usos
Font: Elaboració pròpia

En efecte, els edificis d'ús mixt es situen en la seva totalitat en el centre de la parròquia, al voltant de les avingudes més comercials ubicades al que abans era el nucli d'Escaldes (apartat 3.2). Al voltant d'aquest dos grans eixos es concentren la majoria dels usos que no són residencial com ara els edificis destinats a serveis, comerç, oficines, etc., mentre que els edificis que tenen un ús exclusivament residencial es situen més lluny en el nuclis d'Engordany, els Vilars o la Comella, que són nuclis més residencials composts principalment per edificis unifamiliars aïllats.

Tot i que aquest treball es centrarà en l'ús residencial, la parròquia d'Escaldes-Engordany té l'activitat comercial més important del Principat d'Andorra, per lo qual els edificis amb ús comercial també tenen importància en el parc edificat del principat. En efecte, al cartografiar la densitat de superfície destinada a ús comercial m^2 sostre/ m^2 sòl s'aprecia que els edificis d'ús comercial es situen en les cotes baixes de la parròquia però sobretot en l'Avinguda Carlemany, eix comercial del Principat, on l'ús comercial és molt intens (cartografia 3). Es veuen alguns edificis de color molt fosc que correspon a grans supermercats com és el cas de l'Illa Carlemany.

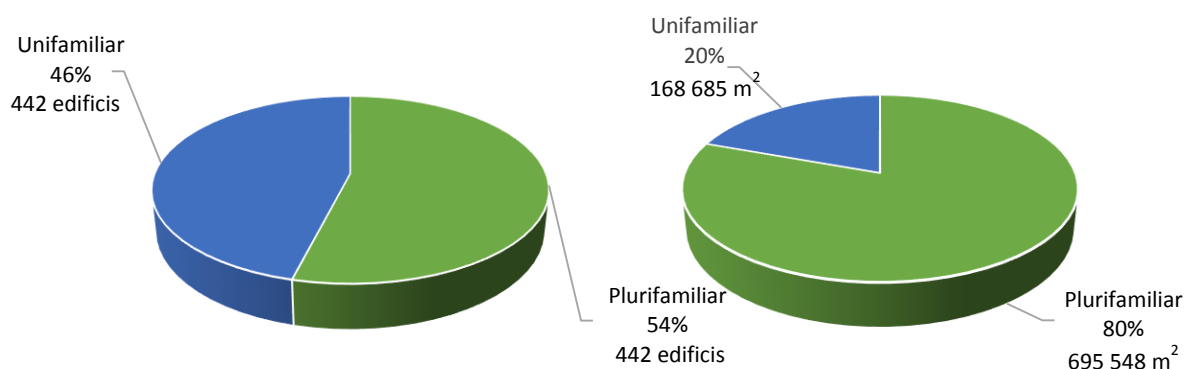


Cartografia 7: Densitat de superfície d'ús comercial
Font: Elaboració pròpia

En efecte, l'ús residencial és el predominant ocupant el 54% de la superfície construïda. A part de ser l'ús majoritari també és al que se li atribueix més consum energètic a nivell nacional segons el Llibre Blanc de l'Energia (Taula 1, apartat 3.1), per aquest motiu aquest treball es centrarà en la caracterització energètica dels edificis d'ús residencial.

- **Tipologia**

Els edificis d'ús residencial es separen en dos grans grups d'edificis: els unifamiliars i els plurifamiliars. La proporció d'edificis plurifamiliars/unifamiliars és bastant equilibrada, lleugerament inclinada cap als edificis plurifamiliars, però si ens fixem en els m² de sòl que ocupen, es constata que la superfície construïda d'edificis plurifamiliars quadruplica la dels edificis unifamiliars (Gràfic 13), fet normal degut a que els edificis plurifamiliars tenen més plantes que els edificis unifamiliars que per general tenen màxim 3.



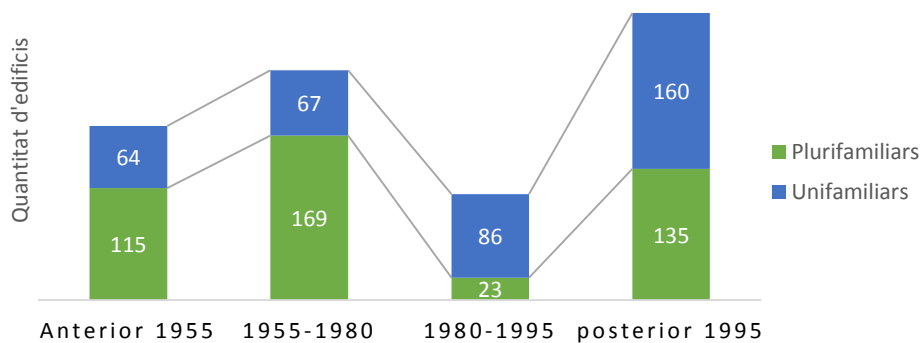
Gràfic 14: Proporció edificis unifamiliars/plurifamiliars (esquerra) i proporció m² construïts edificis unifamiliars/plurifamiliars (dreta)

Font: Elaboració pròpia

Cartografia 9: Classificació edificis d'ús residencial per tipologia **Gràfic 15:** Proporció edificis unifamiliars/plurifamiliars (esquerra) i proporció m² construïts edificis unifamiliars/plurifamiliars (dreta)

Font: Elaboració pròpia

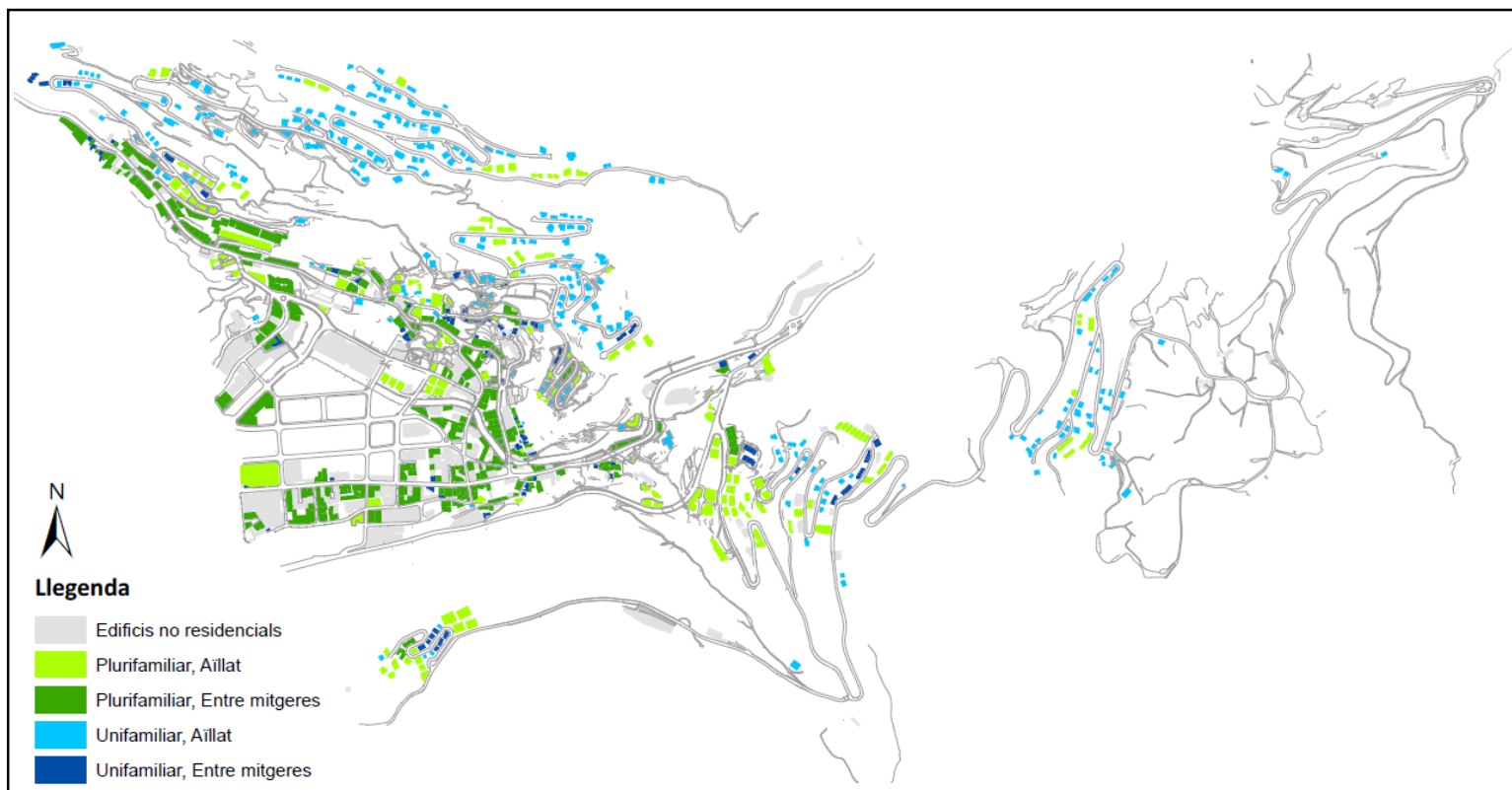
mes edificis unifamiliars que plurifamiliars. En efecte fins a la dècada dels 80, es solien construir més edificis del tipus plurifamiliar que unifamiliar, però des de llavors la tendència s'ha invertit i la construcció d'edificis unifamiliars ha arribat fins i tot a triplicar a la construcció d'edificis plurifamiliars entre els anys 1980 i 1995 (Gràfic 14). Aquest fet es pot atribuir per una banda a l'expansió urbana, i per altra banda, a l'augment del poder adquisitiu de la població andorrana durant els darrers anys. Efectivament, el PIB per càpita ha augmentat un 70% des de la dècada dels 70 al 2008 segons les dades del Banc Mundial.



Gràfic 16: Proporció dels edificis unifamiliars, plurifamiliars i altres per època constructiva
Font: Elaboració pròpia

A part de les tipologies unifamiliar i plurifamiliars, els edificis també es poden dividir en 2 altres tipologies que afecten considerablement el seu comportament energètic: edificis aïllats i edificis entre mitgeres. En efecte, un edifici aïllat té més parts de l'envoltant exposat a la intempèrie cosa que farà augmentar la seva demanda energètica, contràriament als edificis entre mitgeres.

Geogràficament, els edificis ubicats en les cotes més altes, construïts més recentment (cartografia 1), són en la seva gran majoria edificis d'ús residencial del tipus unifamiliar i aïllat. En efecte, aquests es situen en urbanitzacions allunyades del nucli urbà de la parròquia. Al contrari, els edificis ubicats en les cotes baixes són majoritàriament edificis del tipus plurifamiliar entre mitgeres (Cartografia 4).



Cartografia 10: Classificació edificis d'ús residencial per tipologia
Font: Elaboració pròpia

- **Fragmentació del parc edificat d'ús residencial**

Per fragmentar els edificis d'ús residencial del parc edificat de la parròquia d'Escaldes-Engordany en grups els més homogenis possibles s'han utilitzat els paràmetres que afecten al comportament energètic analitzats anteriorment: època constructiva, ús - que en aquest cas serà només residencial - i tipologia. Així doncs, el resultat és una matriu 4x4 de doble entrada, el que resulta en 16 grups (Taula 2). En ella s'aprecia que més del 50% dels edificis d'ús residencial es troben dins de 4 dels 16 grups que corresponen als edificis unifamiliars aïllats (UA) i plurifamiliars aïllats (PA) construïts després de 1995, així com els plurifamiliars entre mitgeres (PM) construïts abans de la dècada del 80.

	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

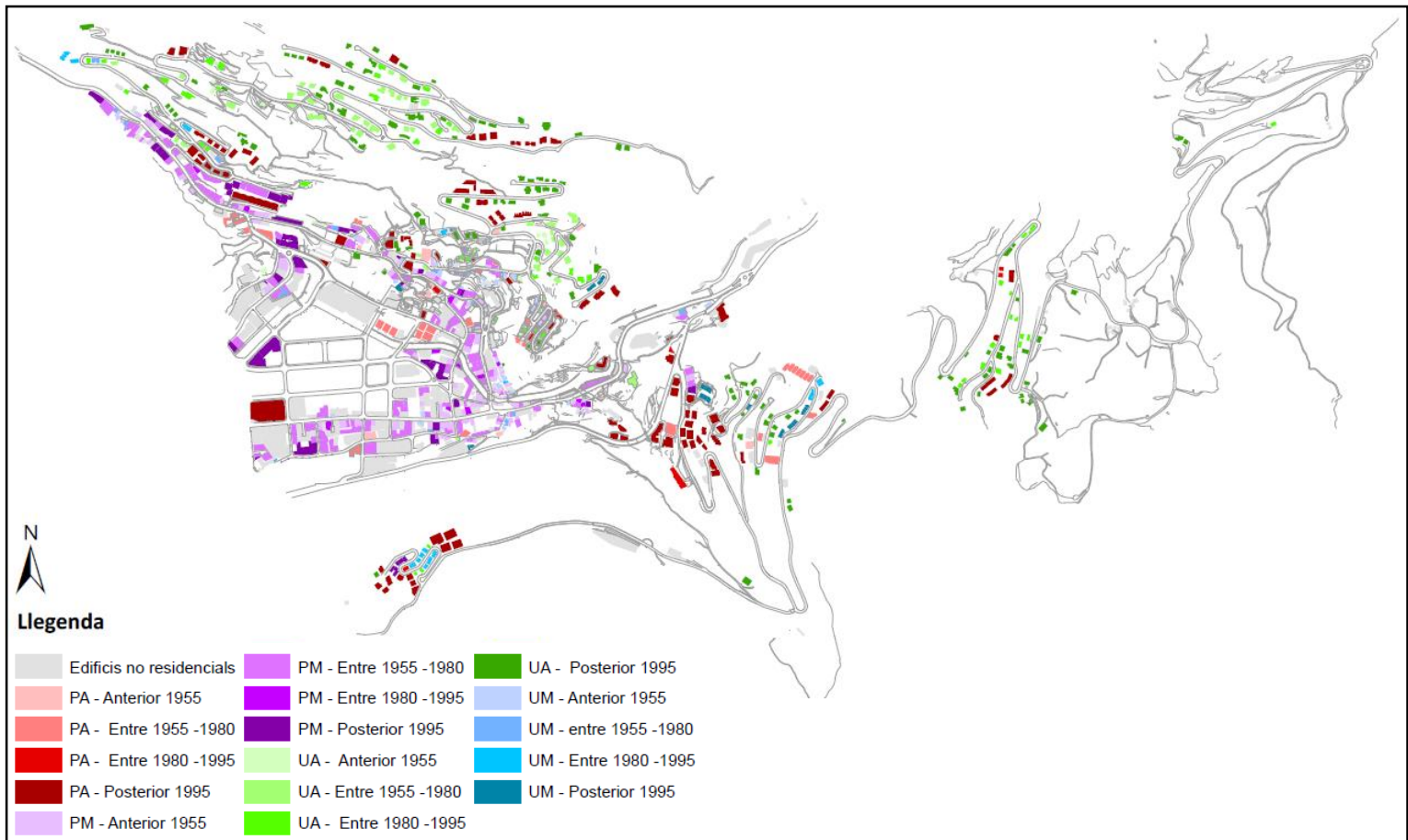
Taula 2: Quantitat d'edificis per tipologia en unitats
Font: Elaboració pròpia

Però si en comptes de desglossar el parc edificat per edificis, el desglossem per superfícies en m², s'obté que el 70% de la superfície total es reparteix en 4 grups tots d'edificis plurifamiliars (Taula 3).

	Unifamiliar		Plurifamiliar	
	UA	UM	PA	PM
Ant. 1955	5 413	13 714	16 140	95 178
1956-1980	30 740	7 207	59 328	213 831
1980-1995	23 085	7 792	14 285	14 752
Post 1995	72 394	8 339	172 771	109 263

Taula 3: Superfície construïda per tipologia en m²
Font: Elaboració pròpia

Geogràficament, es constata que els grups predominants en les cotes més baixes de la parròquia són els compostats per edificis plurifamiliars entre mitgeres (tonalitats violetes), i en cotes altes els unifamiliars aïllats (tonalitats vermelles)



Cartografia 13: Desglossament Del parc edificat per època constructiva, ús i tipologia
Font: Elaboració pròpia

Cartografia 14: Desglossament Del parc edificat per època constructiva, ús i tipologia
Font: Elaboració pròpia

energètic. Però per tal de poder mostrar la finalitat del treball de camp exhaustiu i de la metodologia arquetip, és realitzarà una primera aproximació del comportament energètic del parc edificat d'ús residencial de la parròquia d'Escaldes-Engordany. En efecte, per tal de continuar amb la metodologia de la tècnica arquetip, un cop el parc edificat dividit en diferents tipologies, s'hauria de triar l'arquetip, és a dir l'edifici representatiu de cada grup, i analitzar-lo energèticament obtenint un valor en kWh/m².any, dada que s'extrapolerà a la resta d'edificis que s'ajustin a la descripció de cada arquetip.

5.2 Aproximació del consum energètic dels edificis d'ús residencial d'Escaldes-Engordany

Per a poder mostrar amb més claredat l'aplicació pràctica d'aquesta metodologia, i per tant, demostrar la importància de la primera part d'aquest treball, en aquest últim apartat és realitzarà una primera aproximació del comportament energètic dels edificis d'ús residencial d'Escaldes-Engordany amb valors de consum energètic extrets de l'informe de Sabaté Associats (Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra & Sabaté Associats 2012) ajustats amb l'ajuda del informe *Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO₂ del parque residencial en España en 2020* elaborat l'any 2010 per World Wildlife Fund España (WWF) amb la col·laboració de European Climate Foundation (WWF España 2010).

L'informe de Sabaté i Associats dividia l'estoc d'edificis d'Andorra en 4 èpoques constructives, que com ja s'ha dit, són les mateixes utilitzades en la primera part d'aquest treball:

- anterior a 1955
- 1955-1980
- 1981-1995
- 1995-2010

Igual que en el projecte TABULA, a part de dividir el parc edificat en èpoques constructives, també s'ha dividit aquest en diferents tipologies d'edificis. En l'informe de Sabaté Associats concretament, es divideix el parc 7 tipologies d'edificis:

- habitatge unifamiliar aïllat (UA)
- habitatges plurifamiliar aïllat (PA)
- Habitatges plurifamiliar entre mitgeres (PM)
- Hotel aïllat (HA)
- Hotel entre mitgeres (HM)
- Escola aïllada (EA)
- Oficines entre mitgeres (OM)

Com ja em dit, aquesta primera aproximació es centrarà exclusivament en el parc edificat d'ús residencial, ja que és el majoritari, així com és l'ús del qual s'ha trobat més informació en la bibliografia consultada.

Així doncs les dades que es poden extreure de l'informe de Sabaté Associats que s'adeqüin a la segmentació feta al apartat 5.1 són les següents:

	UA	UM	PA	PM
Ant. 1955				
1956-1980	<i>116,7 kWh/m².a</i>		<i>91,3 kWh/m².a</i>	<i>71,82 kWh/m².a</i>
1981-1995				
Post. 1995				

Taula 4: Necessitats energètiques dels casos d'estudi contemplats en l'informe de SaAs
Font: Elaboració pròpia amb dades de Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra & Sabaté Associats 2012

Com s'aprecia en la Taula 4, falta una gran quantitat de dades ja que en l'informe de Sabaté Associats només es van analitzar els edificis construïts abans del 80, motiu pel qual s'ha hagut d'ajustar aquests amb l'ajuda d'una altre treball similar, el realitzat pel WWF Espanya. En aquest, gracies als programes LIDER i CALENER, es calcula la demanda energètica de calefacció y refrigeració dels edificis d'ús residencial de l'estat espanyol a partir de dades climàtiques i paràmetres que defineixen l'edifici geomètrica i constructivament. Al igual que en l'informe de Sabaté Associats es fragmenta el parc edificat en diferents èpoques constructives:

- anterior a 1945
- 1945 - 1981
- 1981-2008

A part de les èpoques constructives, també divideix l'estoc d'edificis en tipologies:

- Edificis unifamiliars aïllats
- Edificis unifamiliars entre mitgeres
- Edificis plurifamiliars

Per últim, el parc edificat es divideix en funció d'un tercer paràmetre: el clima. En efecte, l'informe del WWF España es centra en l'estat espanyol que al ser un territori molt ampli, el clima varia àmpliament d'una localitat a una altra, i per tant modifica el comportament energètic d'un mateix edifici. Així doncs, els tipus de climes contemplats en l'informe del WWF España són els següents:

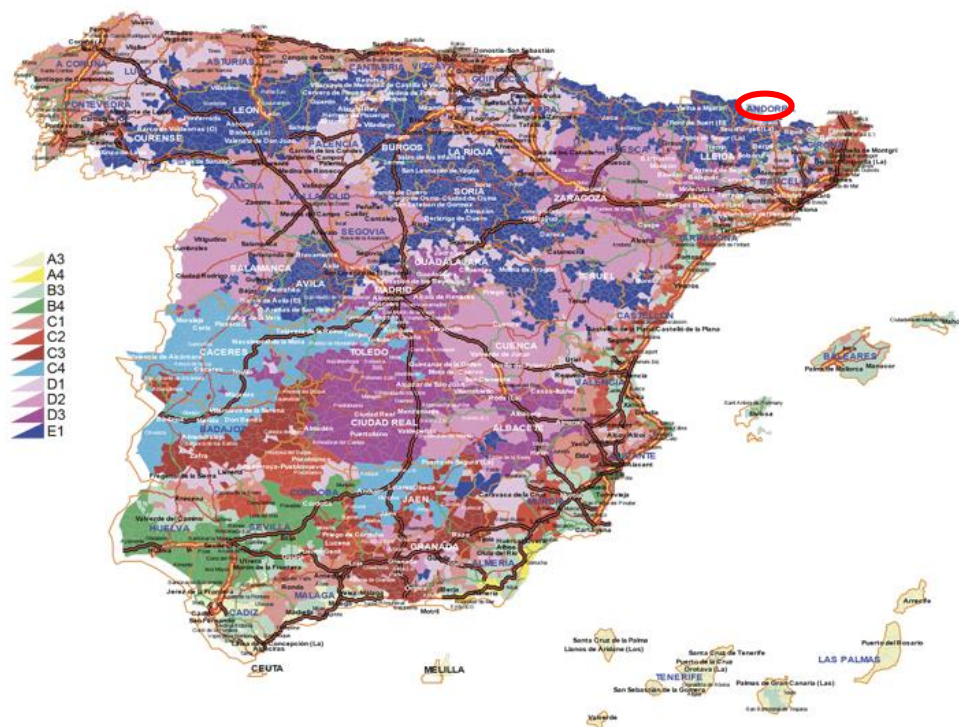


Figura 23: Divisió del territori espanyol en funció del clima segons CTE
Font: <http://www.gasparnoguera.com/codigo-tecnico-de-la-edificacion-cte/>

Es constata que tota la regió dels Pirineus i propera a Andorra té un clima del tipus E1 que són les zones amb les temperatures més baixes (Figura 23). Per tant s'utilitzaran les dades d'aquest clima ja que és la zona climàtica que més s'assimila al cas d'estudi.

L'interès d'analitzar aquestes dades es de determinar les variacions en quant a la demanda energètica determinades en el treball del WWF Espanya entre les diferents èpoques constructives i tipus d'edificis (Taula 5) i utilitzar-les per completar les dades extretes de l'informe de Sabaté i Associats (Taula 4).

	UA	%	UM	%	P	%
Ant. 1945	270,85 kWh/m ² .a	+ 4%	221,55 kWh/m ² .a	+ 2%	136,60 kWh/m ² .a	+ 1%
1945-1981	261,20 kWh/m ² .a		218,15 kWh/m ² .a		135,70 kWh/m ² .a	
1981-2008	213,45 kWh/m ² .a	-18%	175,30 kWh/m ² .a	-19%	116,30 kWh/m ² .a	-14%

Taula 5: Demanda energètica de les tipologies d'edificis contemplades en l'informe del WWF Espanya
Font: Elaboració pròpia amb dades de l'informe del WWF Espanya

En l'informe del WWF, només hi constaven 3 èpoques constructives motiu pel qual, per l'anàlisi del comportament energètic s'han unit les dues últimes èpoques constructives en una sola. Així doncs s'obtenen les dades següents:

	Unifamiliar		Plurifamiliar	
	UA	UM	PA	PM
Ant. 1955	121,37 kWh/m ² .a	100 kWh/m ² .a	92,21 kWh/m ² .a	72,54 kWh/m ² .a
1956-1980	116,7 kWh/m ² .a	98,03 kWh/m ² .a	91,3 kWh/m ² .a	71,82 kWh/m ² .a
Post 1981	95,7 kWh/m ² .a	79,40 kWh/m ² .a	78,52 kWh/m ² .a	61,77 kWh/m ² .a

Taula 6: Dades del comportament energètic del parc edificat d'Escaldes-Engordany amb dades extretes de l'informe de Sabaté i Associats (negre) ajustades amb les dades de l'informe del WWF Espanya (verd)
Font: Elaboració pròpia amb dades de l'informe de Sabaté i Associats i pròpies

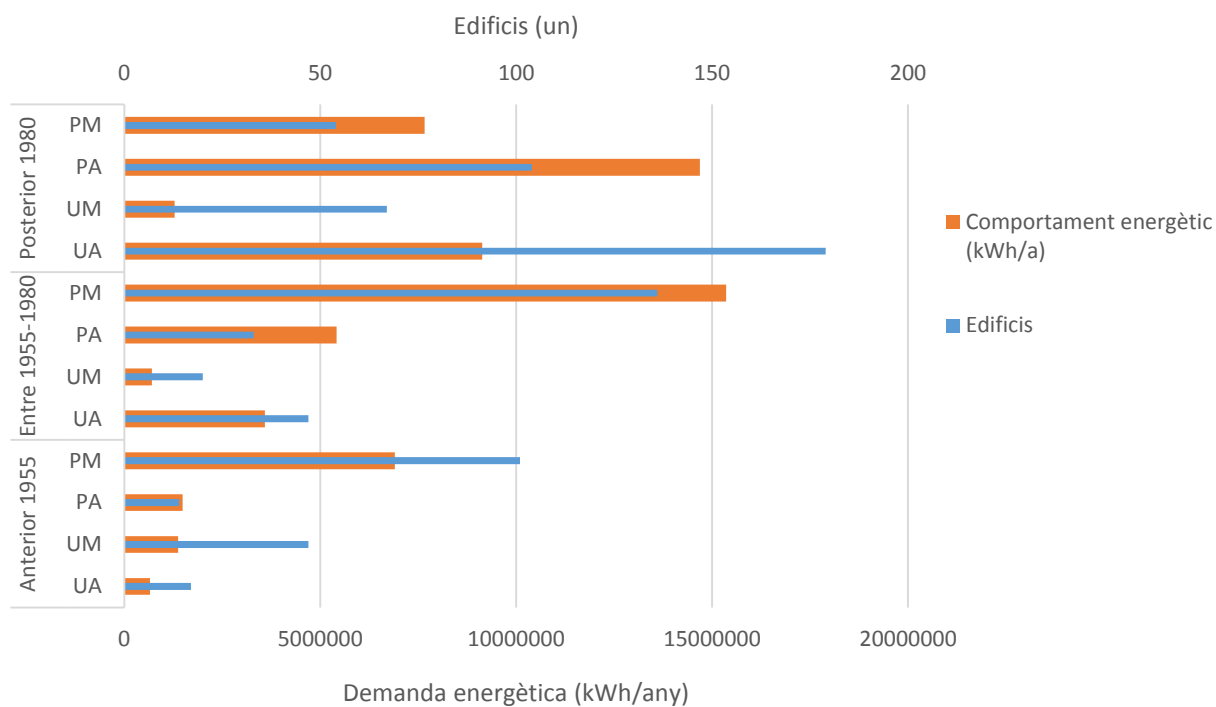
Ara que ja s'han caracteritzat energèticament tots els grups establerts en kWh/m².any, s'ha de multiplicar aquest valor per la superfície en m² de cada tipologia (Taula 3), cosa que permetrà determinar quins són els grups amb demandes energètiques més elevades en kWh/a (Taula 7). Els grups amb les demandes energètiques més elevades són els vermells.

	Unifamiliar		Plurifamiliar	
	UA	UM	PA	PM
Ant. 1955	656 948 kWh/a	1 371 446 kWh/a	1 488 234 kWh/a	6 904 185 kWh/a
1956-1980	3 587 317 kWh/a	706 512 kWh/a	5 416 658 kWh/a	15 357 362 kWh/a
Post 1981	9 137 417 kWh/a	1 280 826 kWh/a	14 687 610 kWh/a	7 660 470 kWh/a

Taula 7: Comportament energètic per tipologia en kWh/any
Font: Elaboració pròpia

Com ja em dit aquests valors són extrets i ajustats d'altres treballs i per tant són orientatius. En efecte aquests serveixen per a tenir una primera aproximació del comportament energètic del parc edificat.

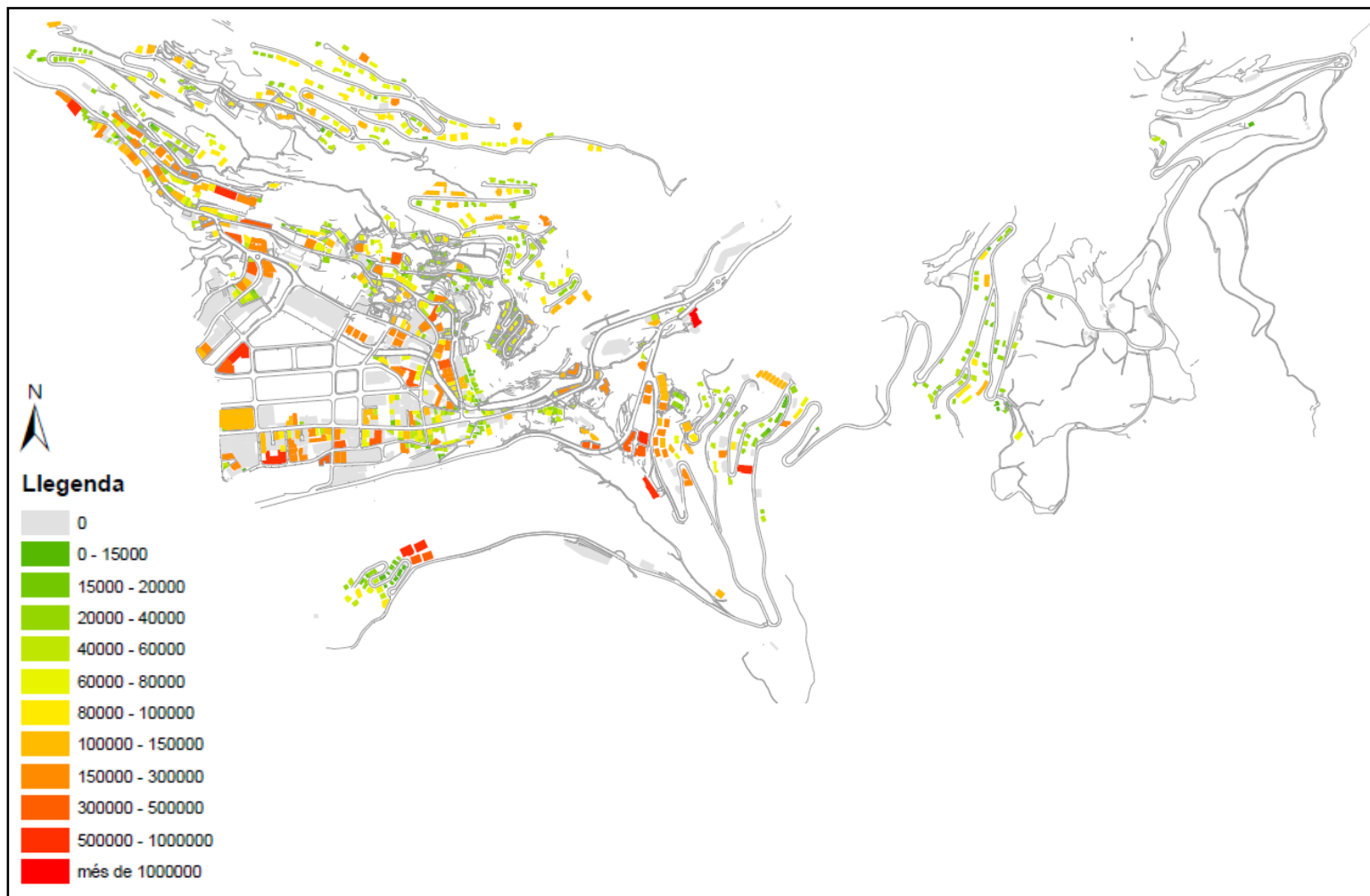
El següent gràfic és una síntesi de les dues taules precedents, ja que mostra la relació entre el nombre d'edificis de cada categoria i el comportament energètic d'aquests (Gràfic 15). Es pot constatar que malgrat que la demanda energètica més elevada per m² és la dels unifamiliar aïllats anteriors als 50 (Taula 6), sinó al contrari, són els edificis amb la demanda més baixa per m² (edificis plurifamiliars) els que presenten les demandes més elevades per edifici.



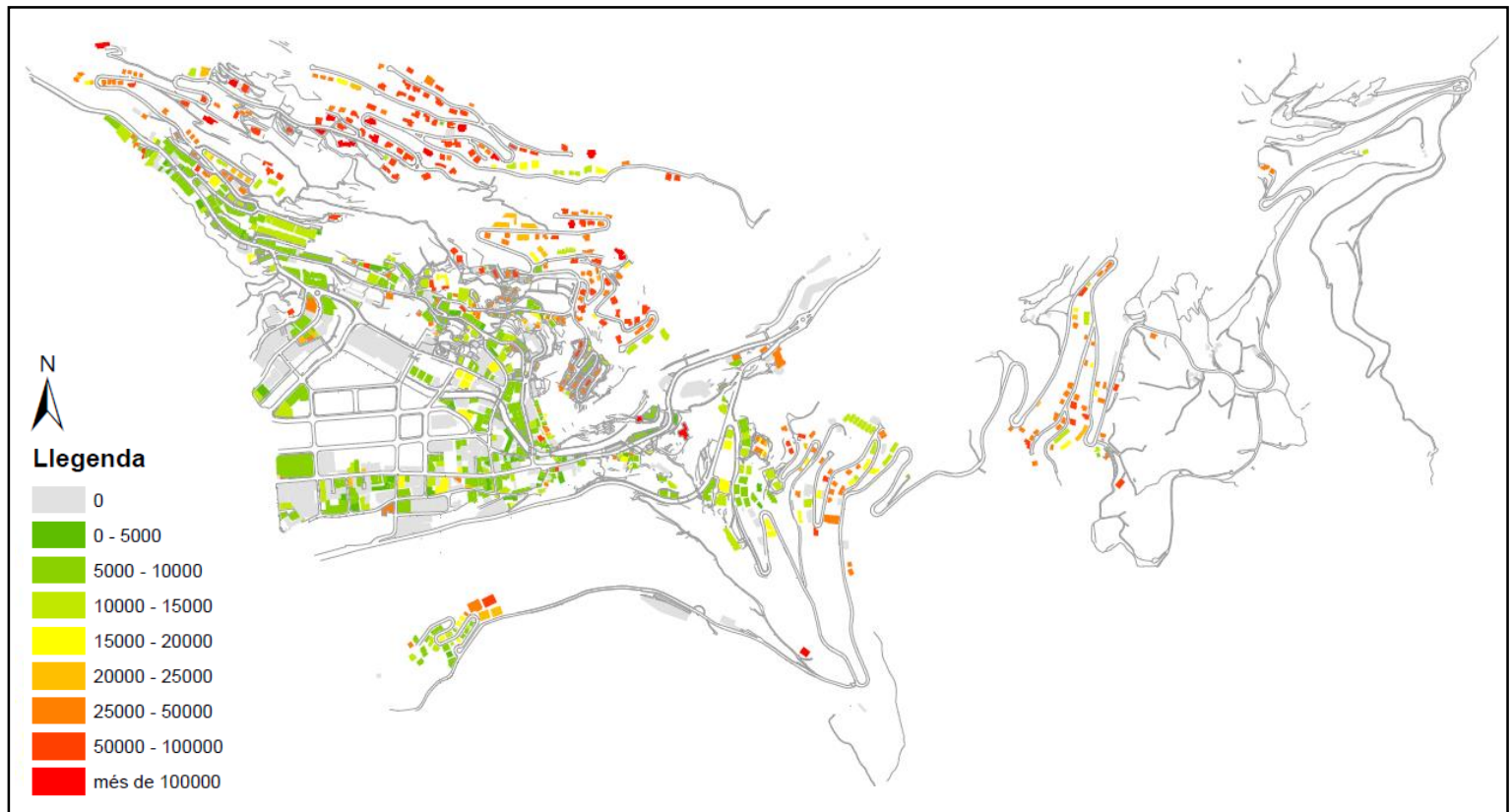
Gràfic 17: Demanda energètica i quantitat d'edificis per tipologia del parc edificat d'ús residencial
Font: Elaboració pròpia

En les següents cartografiés es presenta la demanda energètica del parc edificat d'ús residencial per edifici (Cartografia 6), i per habitatge (Cartografia 7) de la parròquia d'Escaldes-Engordany. Es constata que en la cartografia a nivell d'edifici, els edificis amb demandes energètiques més elevades són edificis plurifamiliars situats en les cotes més baixes, però aquests tot i tenir demandes energètiques més elevades també donen servei a un major nombre d'habitatges. En efecte, en la cartografia a nivell d'habitatge, es verifica que els habitatges unifamiliars de les cotes més altes són els que presenten les majors demandes energètiques.

A part s'ha de tenir en compte que els edificis de les cotes baixes són en la seva gran majoria d'ús mixt, per tant al consum dels m² destinats a ús residencial s'han d'afegir els altres usos que té l'edifici.



Cartografia 16: Demanda energètica del parc edificat d'Escaldes-Engordany d'ús residencial per superfície en kWh/any
Font: Elaboració pròpia



Cartografia 17: Demanda energètica del parc edificat d'Escaldes-Engordany d'ús residencial per habitatge en kWh/any
Font: Elaboració pròpia

CAPÍTOL 6: Conclusions

6.1 Conclusions generals

La caracterització del parc edificat des del punt de vista dels paràmetres que afecten al comportament energètic dels edificis que s'ha dut a terme en aquest treball permet treure les conclusions que s'exposen a continuació.

Referent a les possibles metodologies aplicables per a poder caracteritzar el parc edificat des del punt de vista energètic:

- Malgrat l'existència de un gran nombre de metodologies i tècniques per a analitzar el comportament energètic del parc edificat, les metodologies basades en les propietats estadístiques dels edificis de les aproximacions *bottom-up* presenten una opció adequada ja que permeten determinar i quantificar el comportament energètic del parc edificat existent, així com l'impacte de les possibles accions de millora.
- Per poder caracteritzar el parc edificat energèticament cal disposar d'un gran nombre de dades sobre les característiques físiques dels edificis que no sempre estan disponibles, com ha sigut el cas per Andorra, i poden requerir de treballs de camp exhaustius.

Referent als resultats obtinguts utilitzant la tècnica arquetip sobre el parc edificat d'Escaldes-Engordany:

- Més de la meitat de l'estoc d'edificis de la parròquia d'Escaldes-Engordany es compon per edificis de més de 25 anys amb comportaments energètics pobres i deficients.
- Els edificis d'ús residencial representen més del 70% del parc edificat de la parròquia, amb tendència les darreres dècades en construir més habitatges unifamiliars que plurifamiliars.
- En consum per superfície, els edificis plurifamiliars presenten els majors consums, però si es fan els consums per habitatge, són els edificis plurifamiliars els que presenten els majors consums.
- Ús del de cartografies permet obtenir resultats de manera visual, cosa que permet determinar zones d'actuació.

Al llarg d'aquest treball s'ha vist que el sector de l'edificació és el sector que presenta el major potencial d'estalvi energètic, juntament amb el de l'energia, amb reduccions que poden arribar fins al 90%. Un dels principals problemes es que les actuacions aïllades que s'estan duen a terme no son suficients per a poder arribar a atendre les reduccions desitjades. En efecte, el sector de l'edificació requereix d'una visió holística i de l'ús de metodologies que permetin caracteritzar el parc edificat que permeti determinar zones d'actuació.

La metodologia arquetip utilitzada en aquest treball ens ha permès tenir una aproximació, tot i la manca de dades, del comportament energètic del parc edificat d'Escaldes-Engordany. Gracies a això s'han pogut determinar els edificis de més demanda sobre els quals s'hauria d'actuar. Però això no hagués estat possibles sense la part inicial de caracterització del parc edificat pels paràmetres que afecten al consum energètic. Sense el treball de camp no hagués estat possible poder dividir el parc edificat, ni la posterior caracterització energètica dels grups creats a partir d'aquests.

Així doncs, podem concloure que abans de emprendre accions o d'intervenir sobre el parc edificat s'ha de disposar d'una imatge clara i definida de l'estoc d'edificis sobre el que es vol actuar, cosa que no es possible sense dades tant sobre les característiques generals, com energètiques dels edificis.

6.2 Línies futures

El present treball posa de manifest diferents línies futures d'investigació, del quals els principals són els següents:

- **Sobre les dades**
 - Aconseguir dades exactes sobre la superfície construïda de cada edifici per tal de poder tenir resultats més ajustats. Recordem que les dades sobre la superfície s'han obtingut gracies al software ArcMap, però els edificis no sempre tenen la mateixa secció a totes les plantes per lo que sempre és millor disposar de la superfície exacta.
 - Obtenir informació sobre els sistemes i les fonts de combustible de cada edifici. Efectivament, el comportament energètic dels edificis també varia en funció d'aquests paràmetres, al principi s'havia plantejat durant el treball de camp realitzar un qüestionari per obtenir aquesta informació, però finalment no s'ha pogut dur a terme.

- Disposar informació sobre els edificis que han estat rehabilitats, ja que en aquest treball només s'ha tingut en compte la data de construcció, però si els edificis han patit alguna reforma posterior, els sistemes constructius seran més moderns que els originals.
- Tenir en compte segones els habitatges de segona residència degut al turisme d'hivern.
- **Sobre la metodologia**
 - Caracteritzar el parc edificat energèticament amb valors reals dels edificis d'Escaldes-Engordany, ja sigui amb dades reals mitjançant factures de la companyia, o simulant la demanda energètica dels arquetips dels 16 grups obtinguts amb softwares.
 - Aplicar la metodologia sobre la resta del parc. Per a aquest treball només s'han tingut en compte els edificis d'ús residencial per falta de dades i de temps, però en futurs treballs s'hauria de fer de tot el parc edificat.
 - Plantejar possibles escenaris d'actuacions i veure com aquests afecten al comportament energètic dels edificis.

CAPÍTOL 7: Bibliografia

- Balaras, C.A. et al., 2007. European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock , energy consumption , emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42, pp.1298–1314.
- Ballarini, I., Corgnati, S.P. & Corrado, V., 2014. Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock : The experience of TABULA project. *Energy Policy*, 68, pp.273–284.
- Col·legi Oficial d'Arquitectes d'Andorra & Sabaté Associats, 2012. *Quantificació del potencial d'eficiència energètica en el sector de l'edificació a Andorra*, Andorra la Vella, Principat d'Andorra.
- Comisión Europea, 2011. *Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050*, Bruselas, Belgica.
- Cuchí, A. i Sweatman, P., 2012. *Informe GTR 2012: Una visión-País para el sector de la Edificación en España*.
- GBPN, 2013. *Buildings For Our Future: The Deep Path for Closing the Emissions Gap in the Building Sector*, Paris, Francia.
- Govern d'Andorra, 2012. *Llibre Blanc de l'Energia d'Andorra*, Principat d'Andorra.
- 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*. Equipo de ., Ginebra, Suiza.
- 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*, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kavgic, M. et al., 2010. A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7), pp.1683–1697.
- Loga, T., Diefenbach, N. & Stein, B., 2012. *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment*, Darmstadt, Germany.
- Ministeri Medi Ambient, 2013. *Inventari de les Emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH) d'Andorra*, Andorra la Vella, Principat d'Andorra.

Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic, 2014. *ANDORRE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES*, Andorra la Vella, Principat d'Andorra.

Parlamento Europeo, 2003. *DIRECTIVA 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios*,

SBCI, 2009. *Buildings and Climate Change: A Summary for Decision-Makers*, Paris, France.

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, pp.1819–1835.

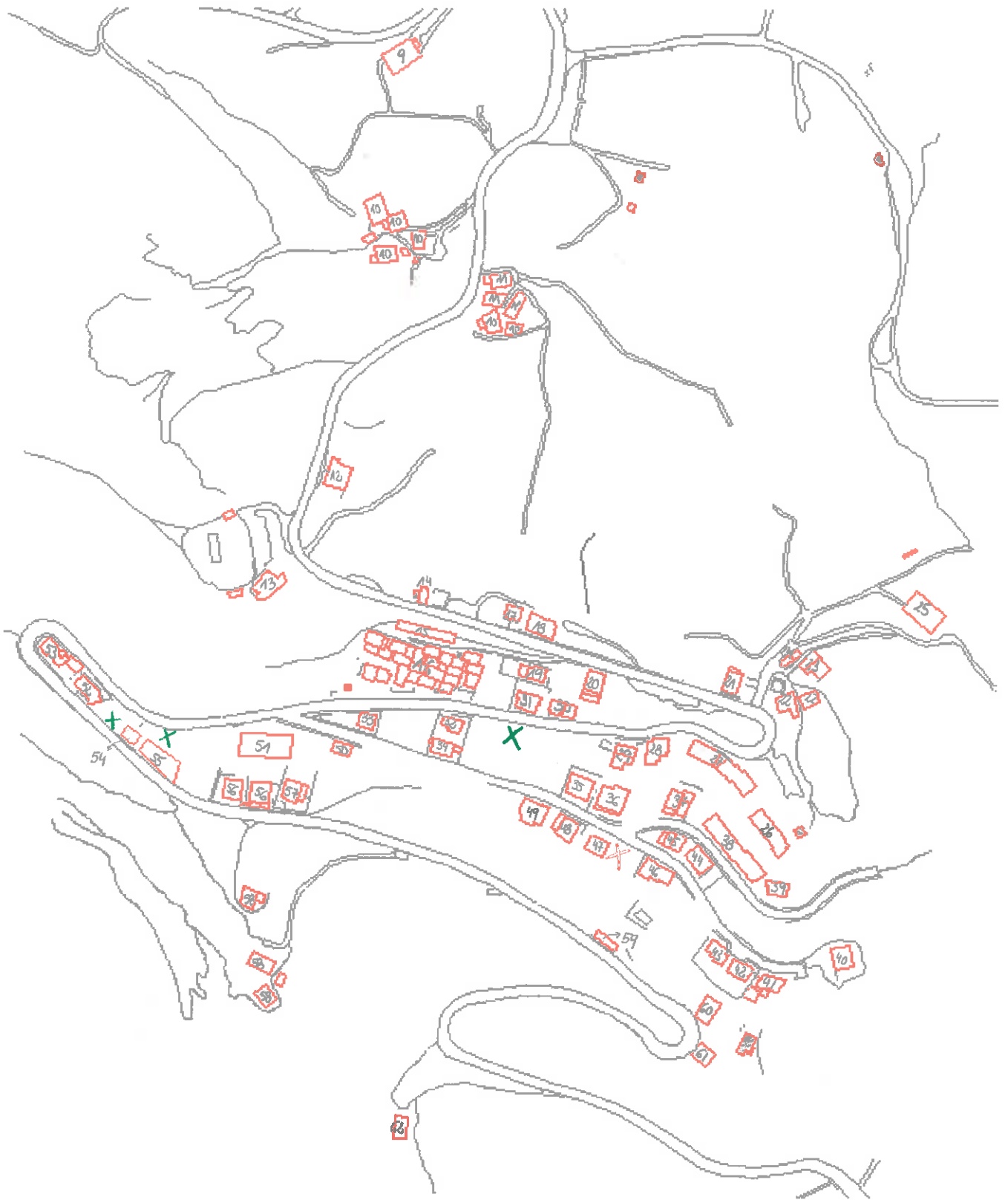
Tuominen, P. et al., 2014. Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. *Building and Environment*, 75, pp.153–160.

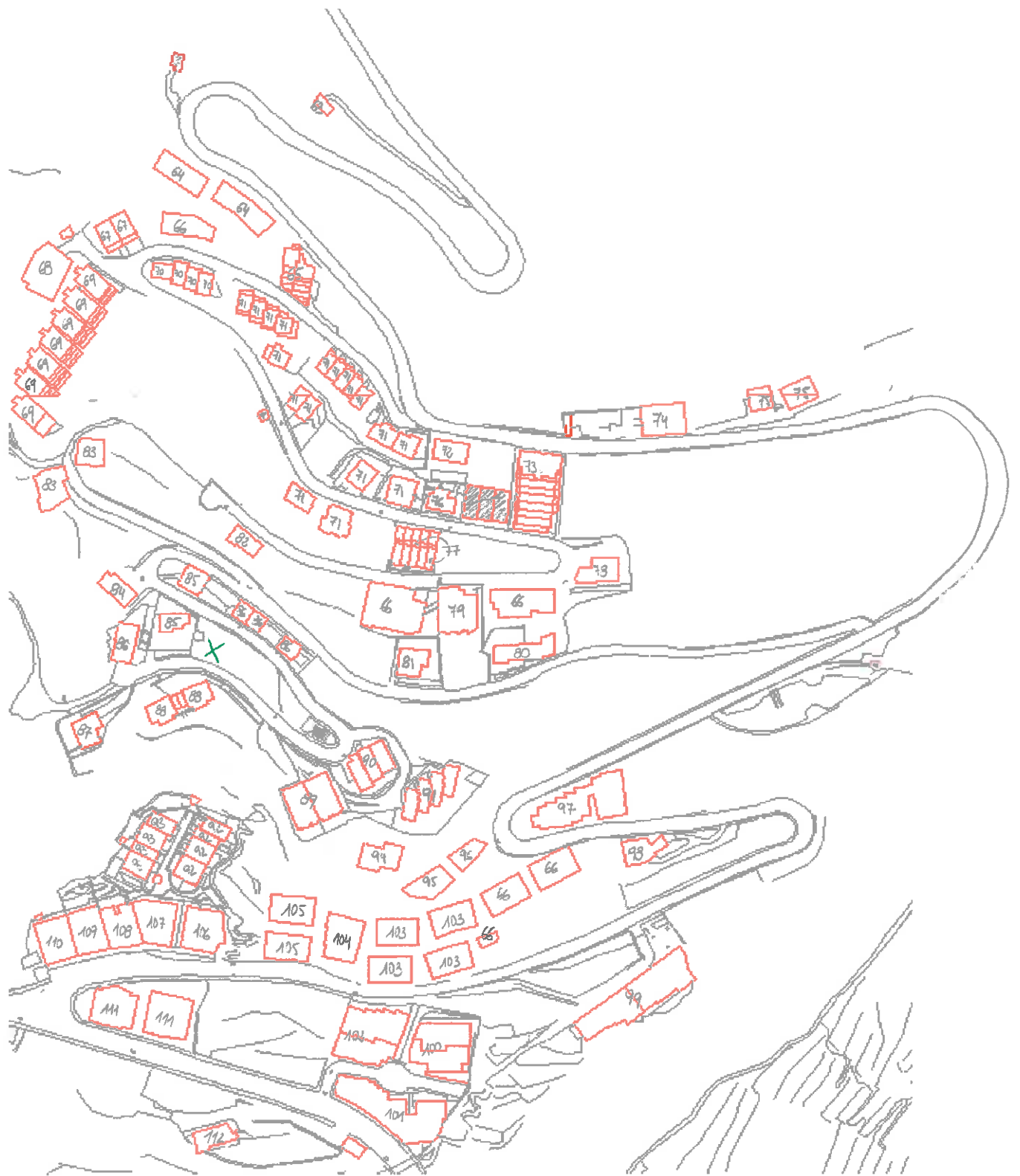
WWF España, 2010. *Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO2 del parque residencial existente en España en 2020 .*, Madrid (España).

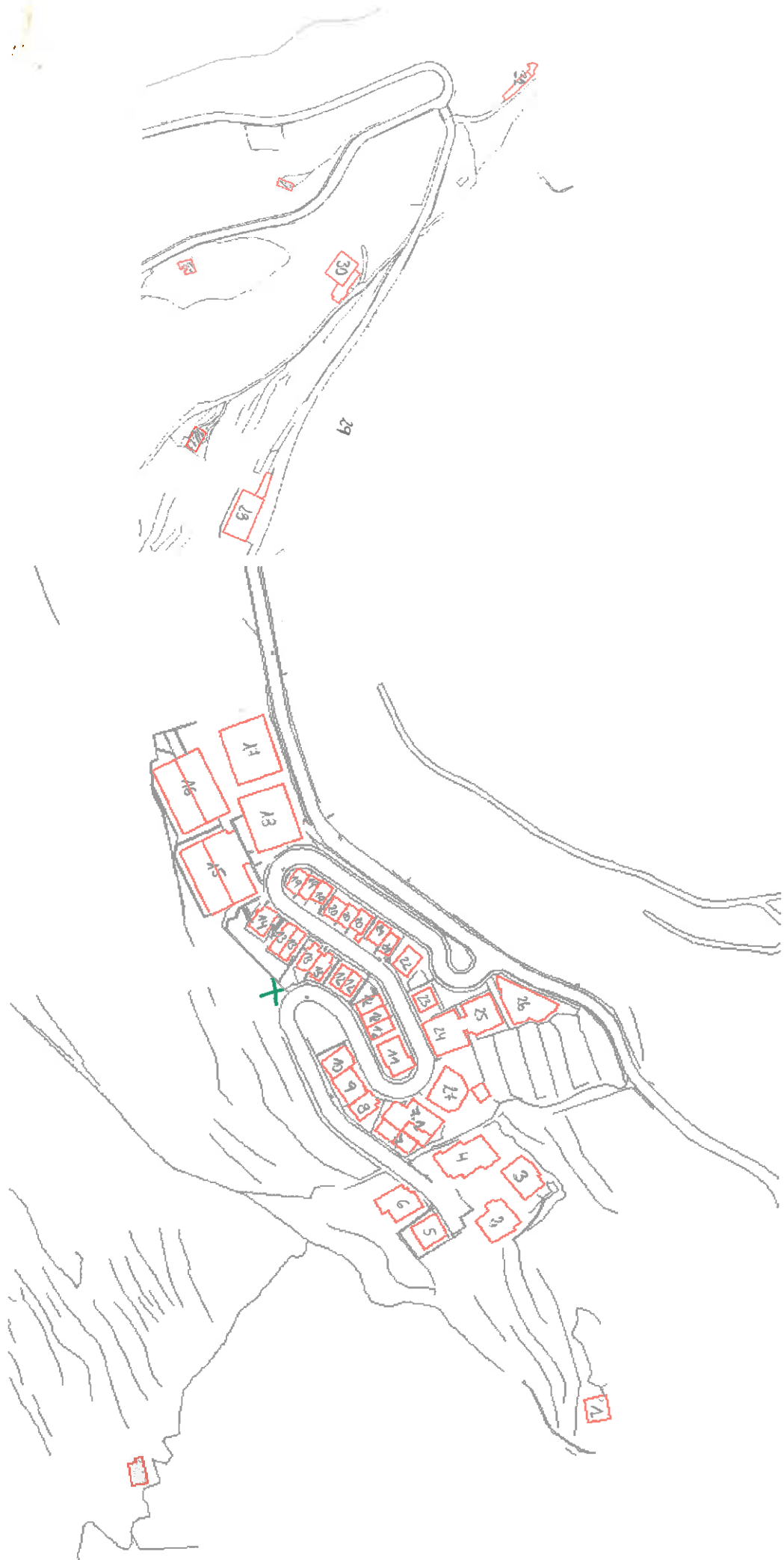
CAPÍTOL 8: Annexes

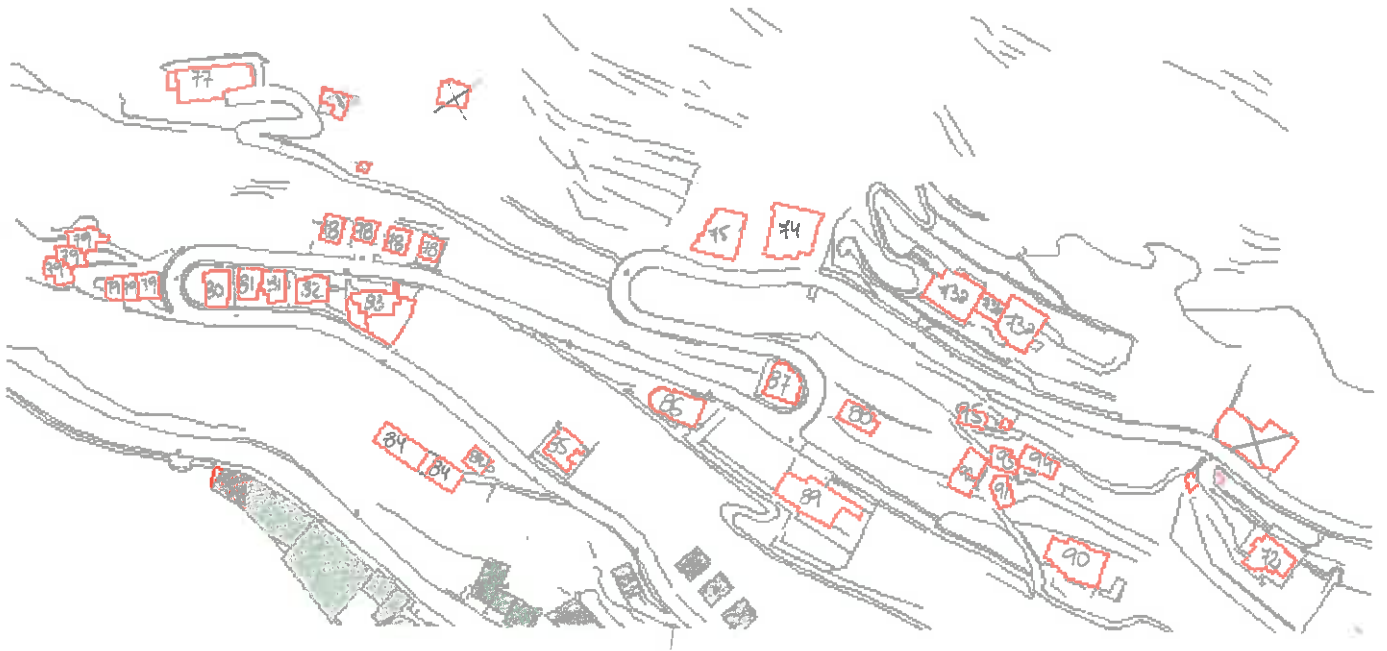
8.1 Annex I: Treball de camp

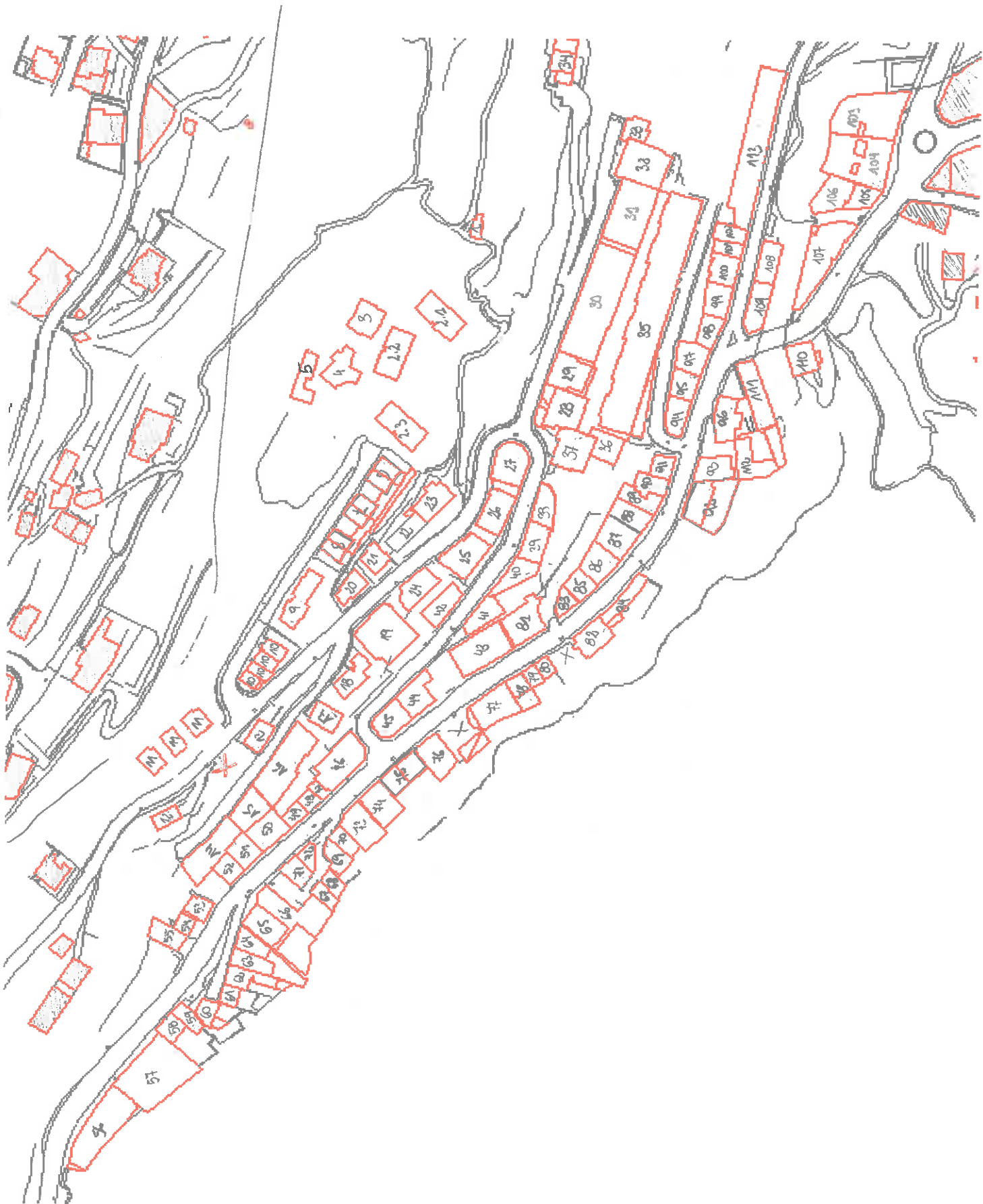


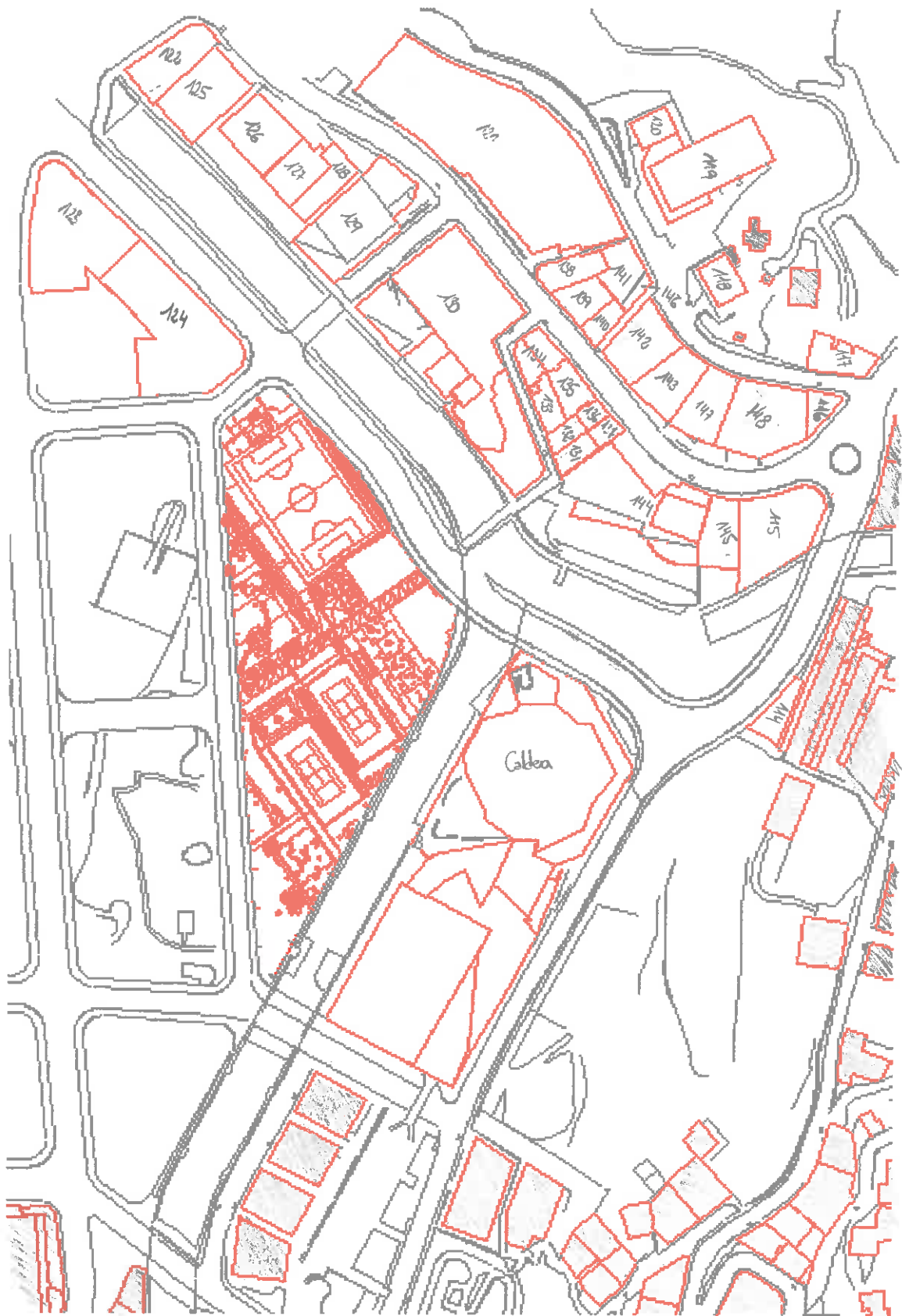


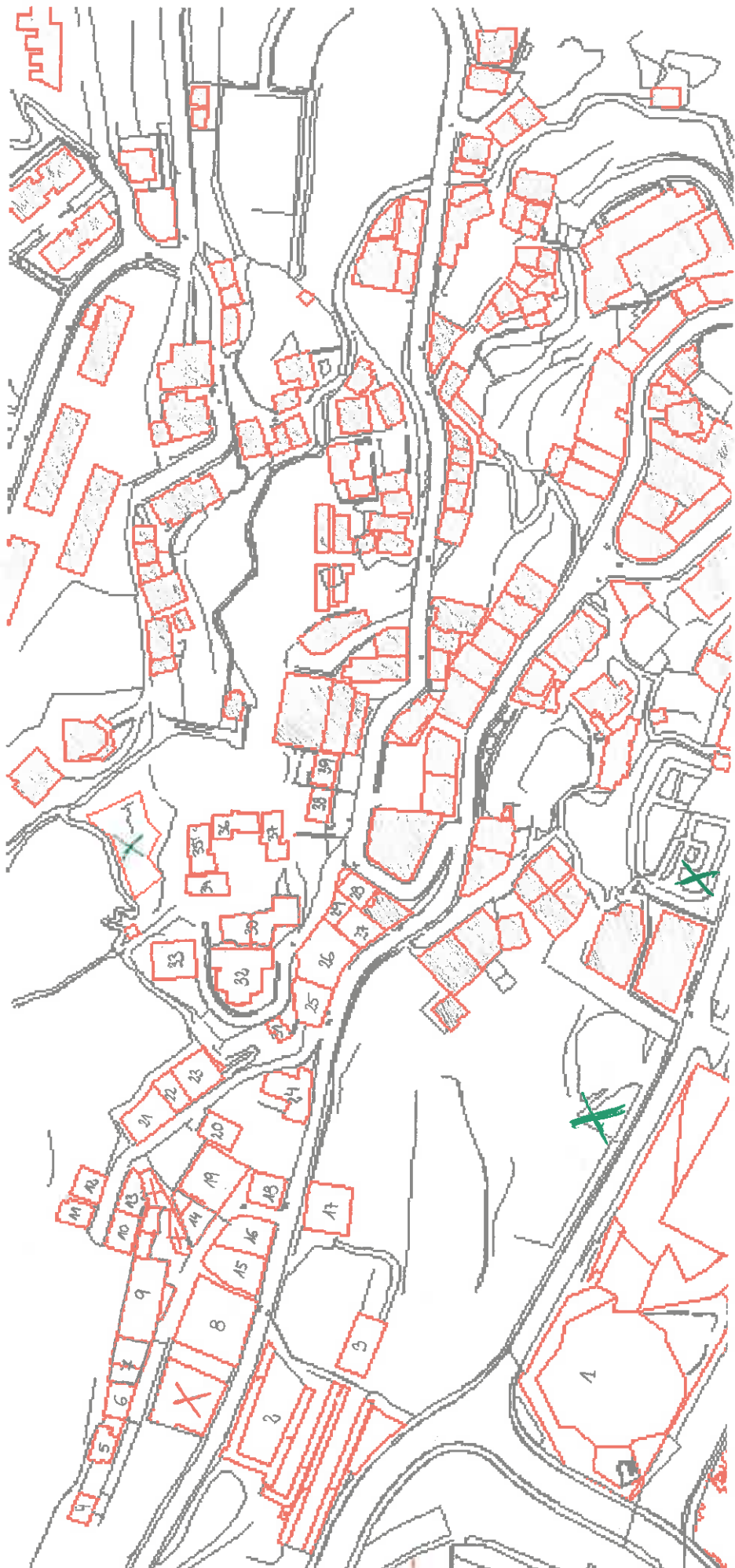




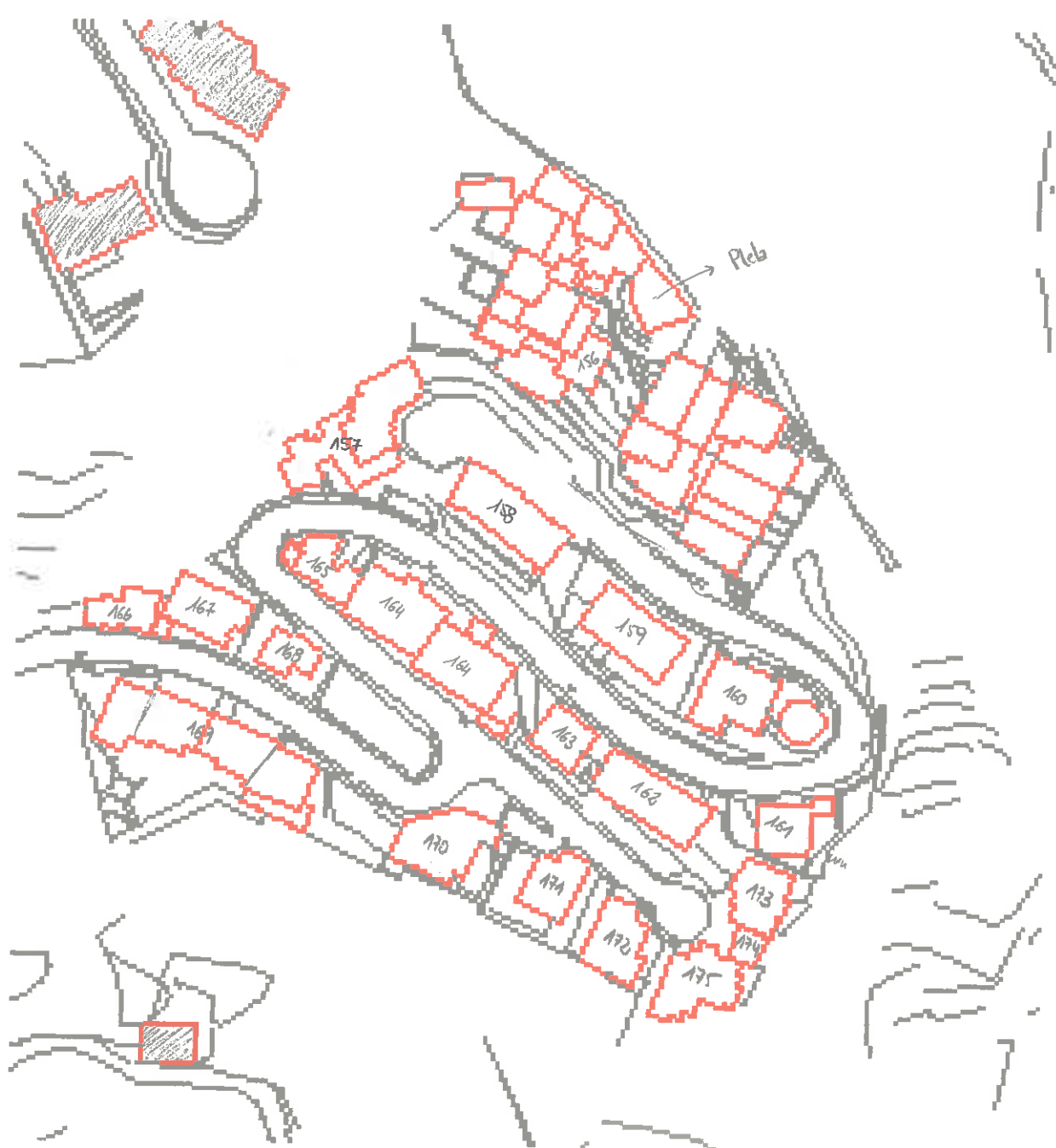


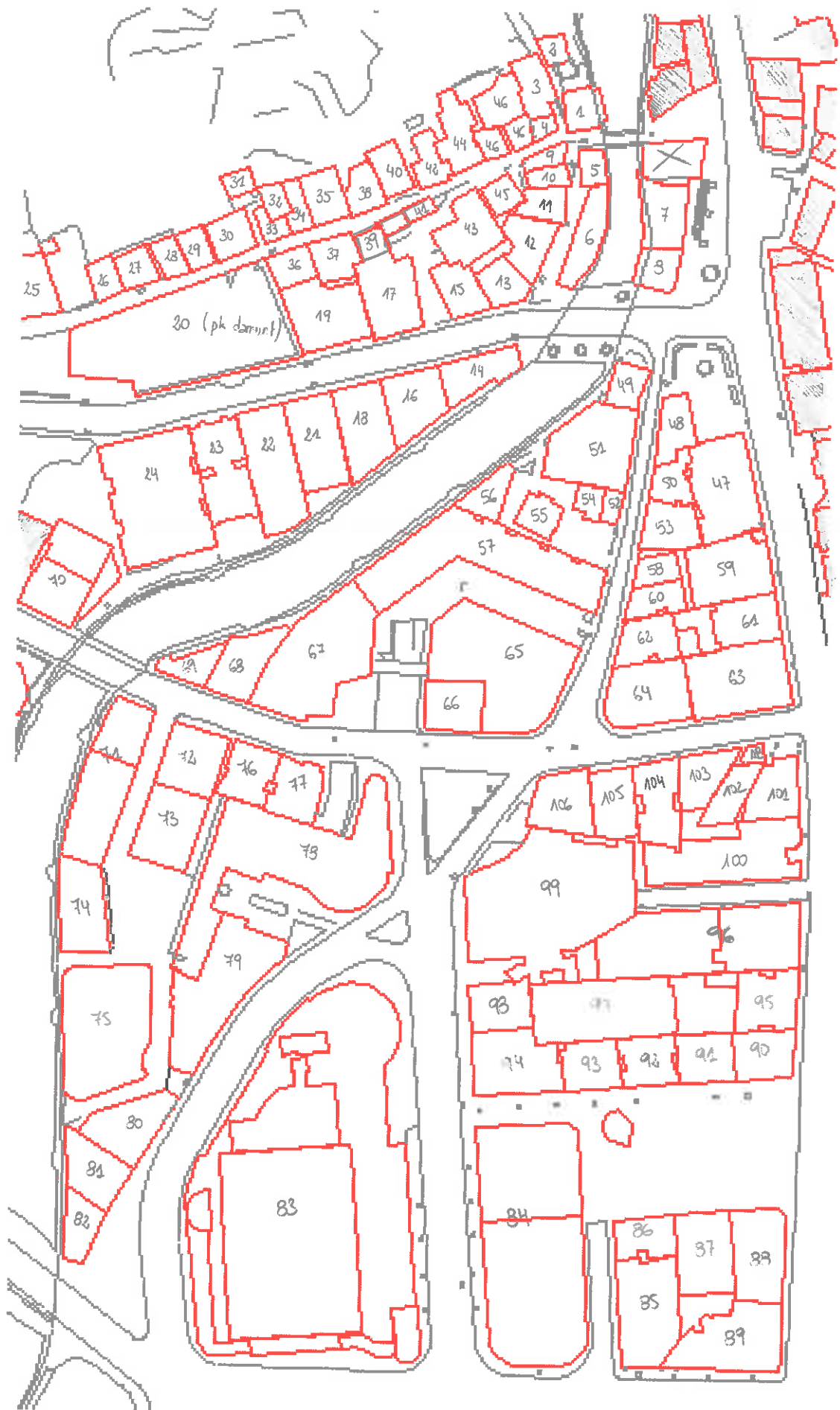




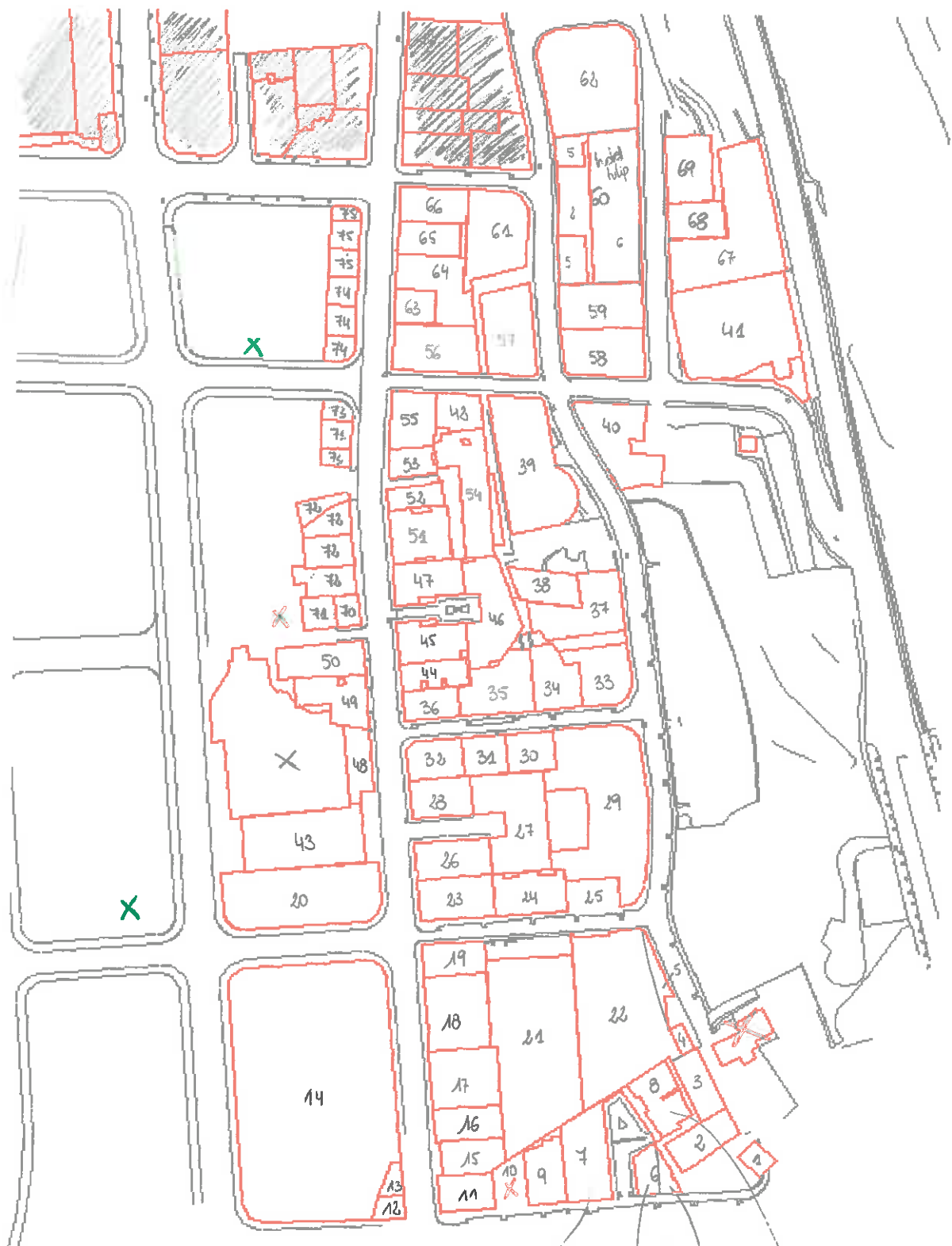












20
 17
 6
 23
 5
 12
 6
 21
 22

Caracterització del Parc existent: Recollida de dades

ref. edifici	Dades generals			Dades Energetiques										
	Us	plantes	habitatges	ACS			Calefacció			Cuina/Forn			Refrigeració	
				E	G	B	E	G	B	E	G	B		
7	924	Resid + comercial	pk + Apr + 6pp											
9	924	Hotel	pb + 5pp											
10		oficines BPA	pb + 5pp											
11	222	oficines + com	1 Pcom + 4 pl											
15	221	oficines + comercial	2 Pk + 5 ppf.											
12	203	comercial	5 pcom											
16	201	Comerc + resid	1 Pcom + 4 resid											
14	187	Comerc + of + res.												
1		banda alved	2											
2		secadors tabaco	2											
3	796	" "	1											
4	797	resid + comercial	Pcom + 3 resid.											
6	928/925													
5		discoteca	1											
8		mixt												
16	220	oficines	pbcom + 5 ppf											
17	219	comercial + oficines	" "											
21	571	parking	5 pl											
22	566	parking	5 pl											
19	217	comerc + resid + com	2 Pcom + 4 Pppf.											
18	213	Comerc + magatz	PBcom + 3 mag.											
10		Comercial	2											
23	212/567	Resid + com + of	1 Pcom + 1 Pof + 5 pp										14	
24	568/569	" "	" " "										10	
26	215	Hotel	6											
27		Comerc + oficines	2 Pcom + 5 Pof											
28	214	resid + comercial	Pcom + 5 PP											15
29		" "	2 Pcom + 6 PP											27 + 37
30	966	" "	2 Pk + 1 Pcom + 1 Pof + 5 PP											18
31	964	Comercial + oficines	1 Pk + 1 Pcom + 5 Pof											
32	213	resid + comercial	1 Pcom + 1 Pof + 1 PP											9
33	967/998	" "	2 Pk + PBcom + 6 pl											25 + 22
34	965	" "	1 Pk + Pcom + 6 pp											17
35	963	" "	1 Pk + Pcom + 6 pp											30
36	242/961	" "	2 Pcom + 4 pp											3
37	793/794	" "	2 Pk + PBcom + 6 pl											17
38	790	taller	1 pl											/
39	788/1008	parking	7 pl											/
40	795	resid + comercial	2 pl + PBcom + 6 pp											13
41		policia	7 pl											/
42	1007	resid + comercial	PBcom + 5 pp											11
43	185	comerc	8											/
44	211	comerc + hotel	1 Pcom + 5 PP											/
45	210/109	residencial + com	2 Pk + PB + 1 Pcom + 5 pp											22

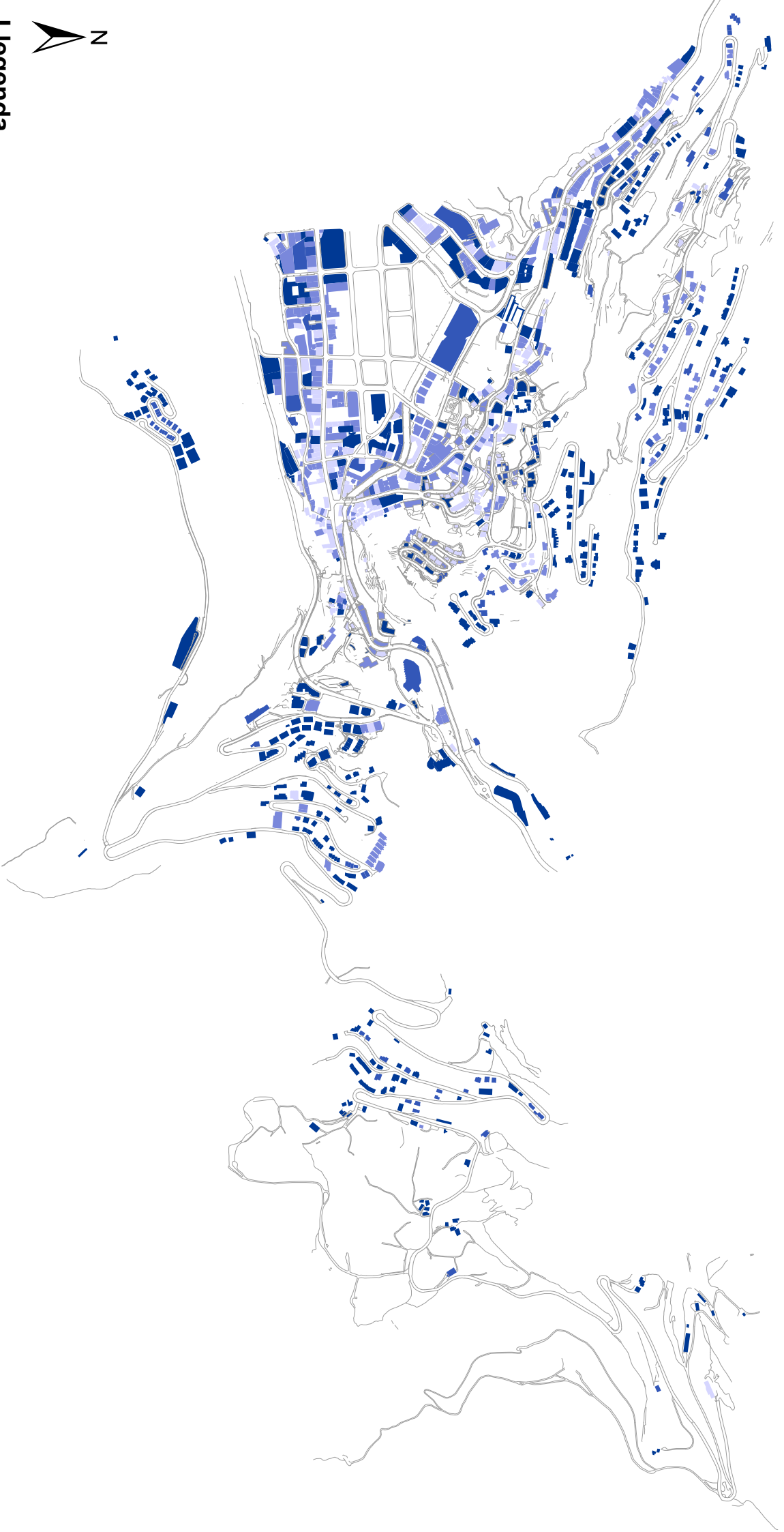
illa C → dis 201 al 521 / 1/2 pis - 1/2 oficines





8.2 Annex 2: Cartografies

Cartografia 1: Classificació parc edificat segons època constructiva



Llegenda

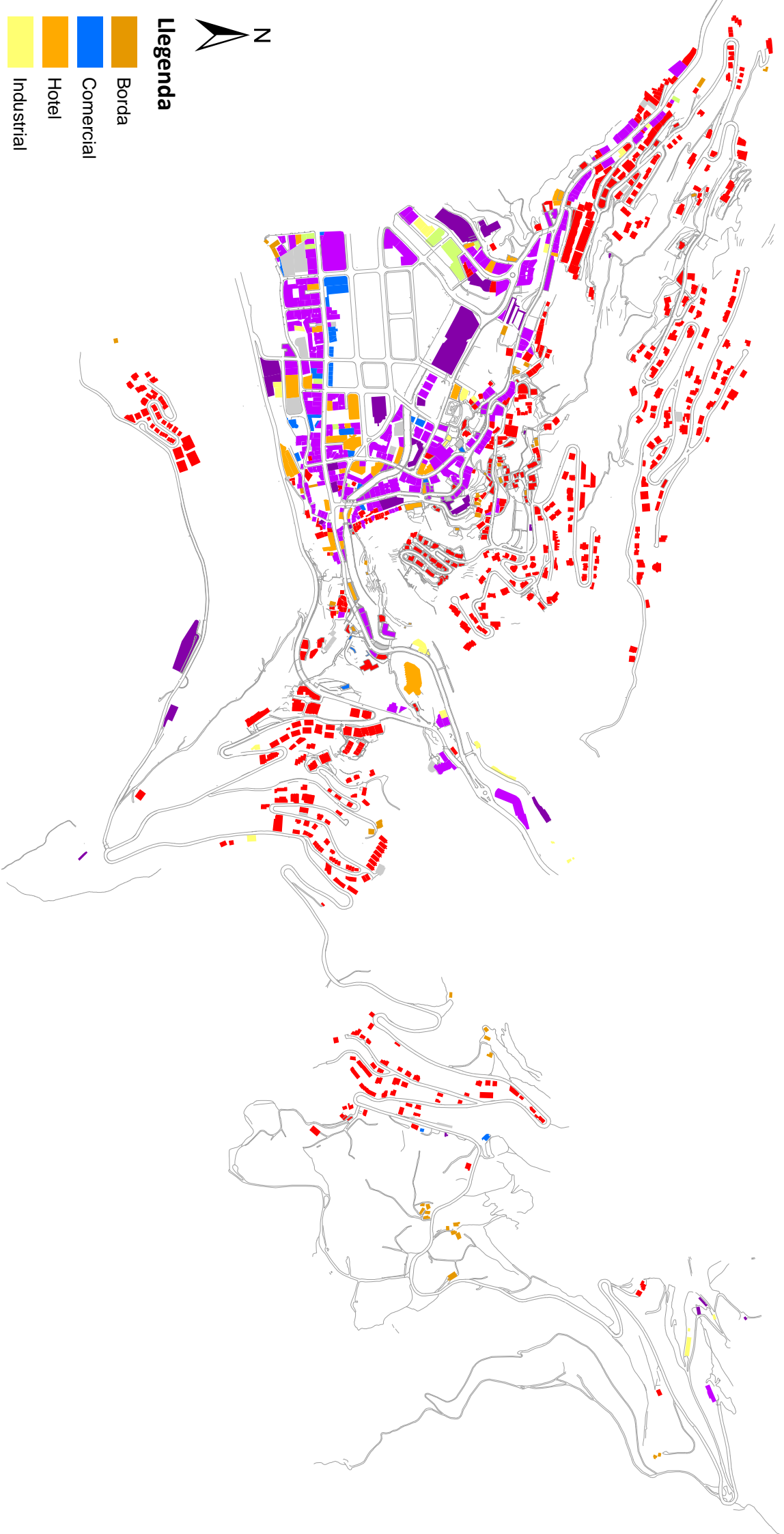
anterior 1955

entre 1955-1980

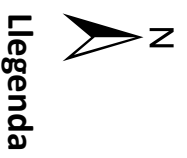
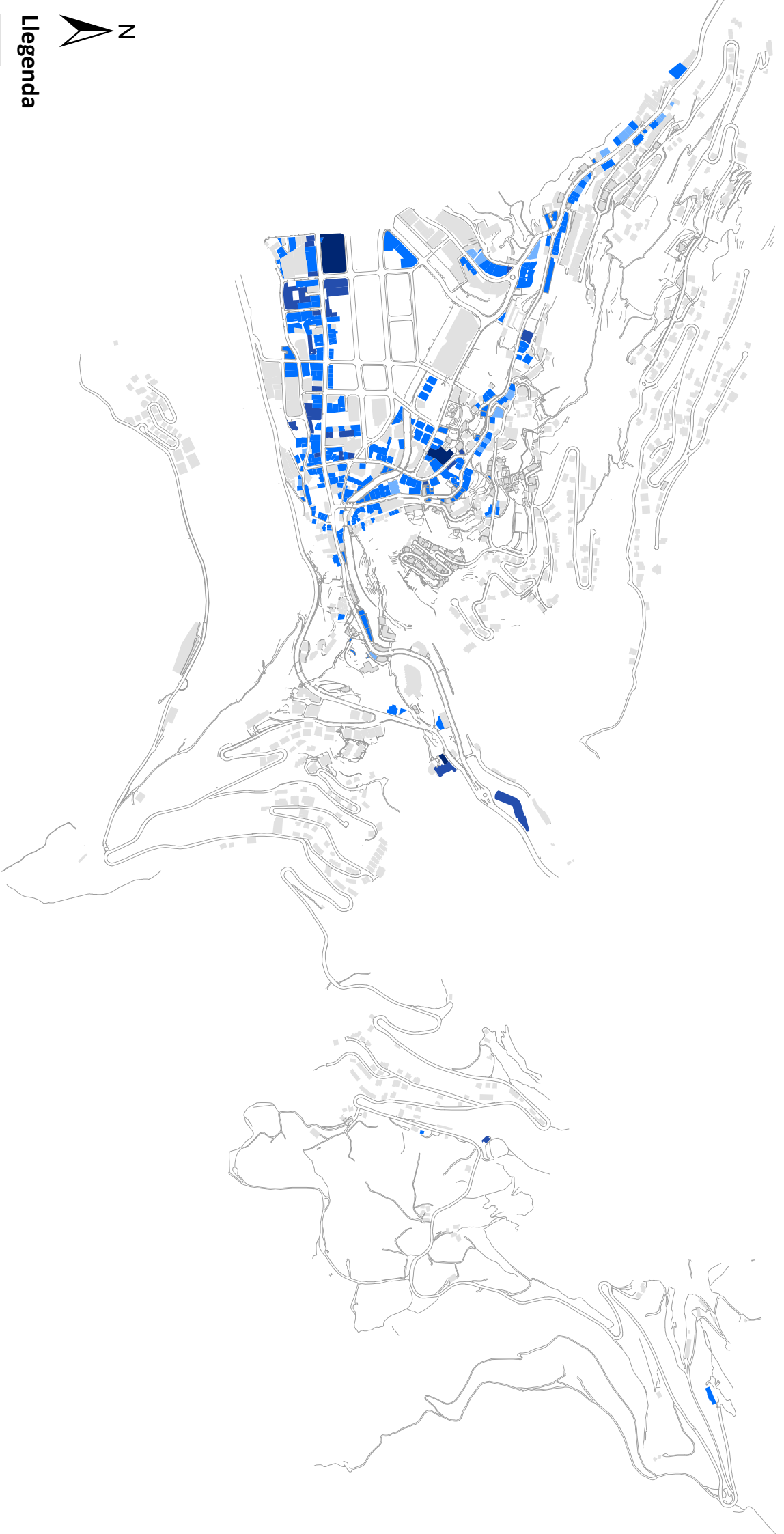
entre 1980-1995

posterior 1995

Cartografia 2: Desglossament del parc edificat per usos



Cartografia 3: Densitat de la superfície d'ús comercial



Llegenda

sense ús comercial

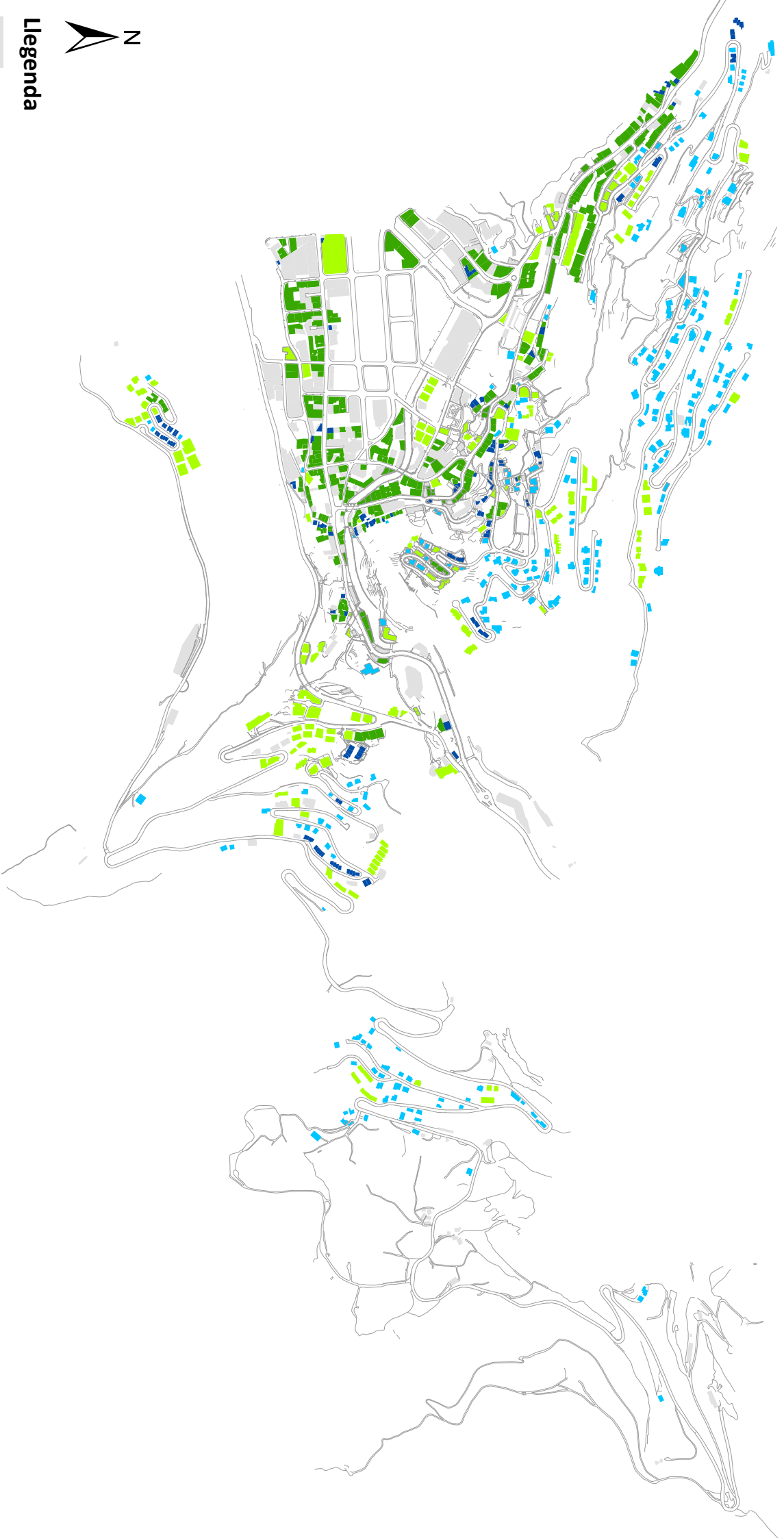
0,001 - 0,500

0,5001 - 1,500

1,501 - 3,000

3,001 - 6,000

Cartografia 4: Desglossament dels edificis d'ús residencial per tipologia



Llegenda



Edificis no residencials

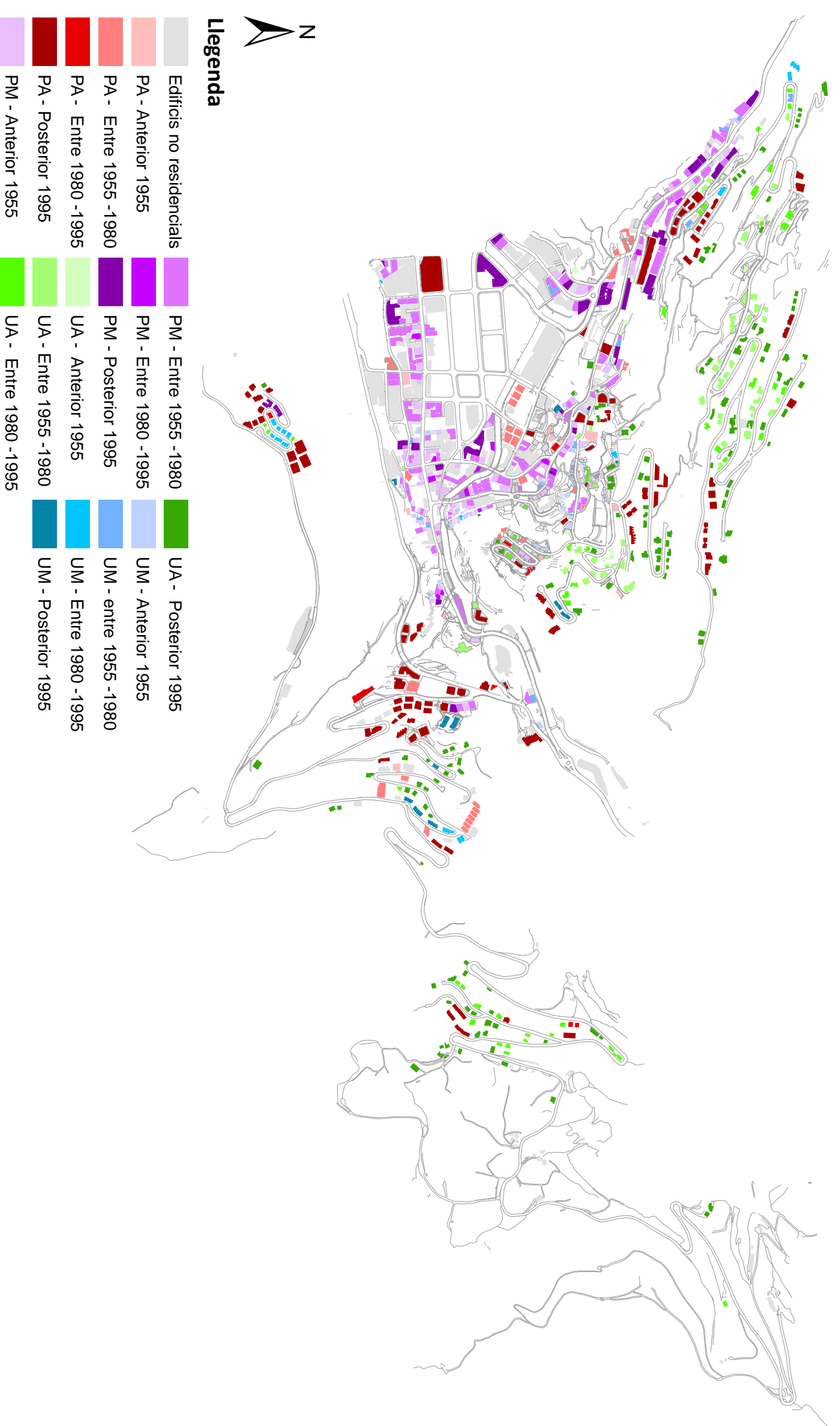
Plurifamiliar, Aïllat

Plurifamiliar, Entre mitgeres

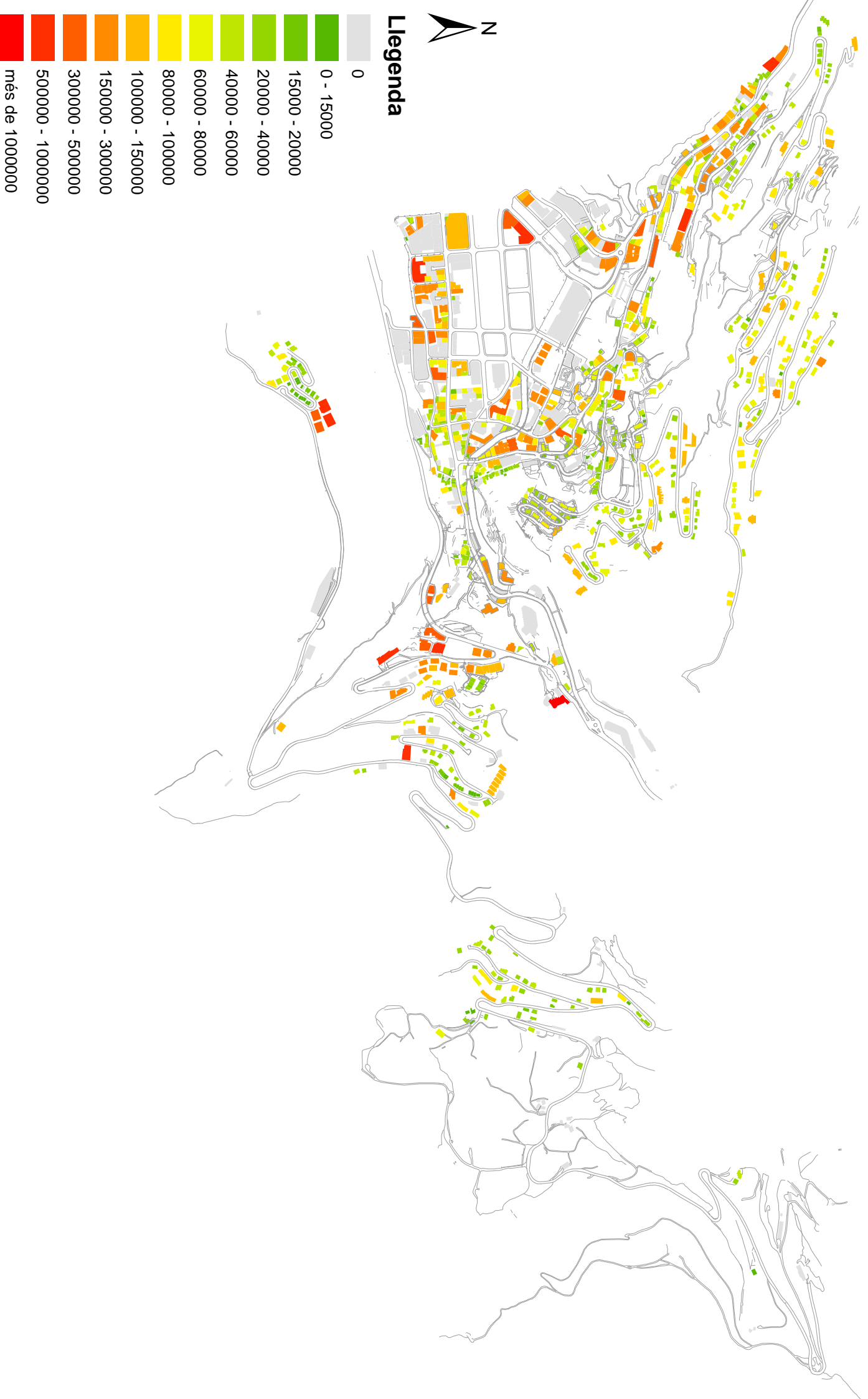
Unifamiliar, Aïllat

Unifamiliar, Entre mitgeres

Cartografia 5: Desglossament del parc edificat per època constructiva, ús i tipologia



Cartografia 6: Demanda energètica del parc edificat d'Escaldes-Engordany d'ús residencial en kWh/any



Cartografia 7: Demanda energètica del parc edificat d'Escaldes-Engordany
d'ús residencial per habitatge en kWh/any

