

# Birgaitze energetikoak gizarte-etxebizitzan: portaera termikoaren analisisia

(Energy retrofits in social housing: analysis of its thermal behaviour)

*Jon Terés-Zubiaga*

Makina eta Motor Termikoak Saila. Bilboko Ingeniaritza Eskola (UPV/EHU)

jon.teres@ehu.eus

DOI: 10.1387/ekaia.17748

Jasoa: 2017-04-10

Onartua: 2017-06-19

**Laburpena:** «Birgaitze energetikoak gizarte-etxebizitzan: portaera termikoaren analisisia» doktorego-tesia eraikinen birgaikuntza energetikoaren ebaluazioan datza, eta prozedura honek barne hartzen dituen atal ezberdinak kontuan hartzen ditu: datu-eskuratzea eta monitorizazioa, datuen tratamendua eta lortutako emaitzen analisiak, esaterako. Helburu horrekin, atal esperimentalean bi monitorizazio ezberdin barne hartzen ditu. Lehenik, hamar gizarte-etxebizitzan landa-azterketa bat aurkezten da hirugarren kapituluari; laugarren kapituluari etxebizitza adierazgarri baten monitorizazio zehatz baten deskripzioan arreta jartzen du. Estazio klimatiko bat kokatzeaz gain, etxebizitzaren monitorizazioa eginahal izateko hirurogei tenperatura-sentsore baino gehiago erabili izan dira. Monitorizazioa egin ondoren, atal esperimentalean lortutako datuen tratamendua garatzen da bi simulazio ereduren bidez. Azkenik, tesi honen azken atalak simulazioaren diseinuan eta aipatutako simulazioen bidez lortutako emaitzen ebaluazioan arreta jartzen du. Bestalde, eraikinen portaera energetikoa aztertzeko ikuspegi exergetikoa duen erabilgarritasuna aztertzen da tesi honen azken kapituluari.

**Hitz gakoak:** simulazio energetikoa, TRNSYS, monitorizazio termikoa, exergia, eraginkortasun energetikoa eraikuntzan, birgaitze energetikoa.

**Abstract:** Energy retrofits in social housing. Analysis of its thermal behaviour» PhD Thesis deals with the evaluation of energy renovations in buildings, facing the different parts involved in that process, such as data acquisition and monitoring, data treatment and analysis of obtained results. With this aim in mind, the experimental part includes two different monitoring studies: one of them, a long-term monitoring of 10 occupied dwellings; the other, more in detail, is a detailed monitoring of a representative dwelling. In the second case, the dwelling was empty during the study and more than 60 temperature sensors were used. Afterwards, the treatment of the data obtained from this experimental part is carried out mainly using two kinds of simulation models. Fi-

nally, the last part of this PhD thesis is focused on the simulation design and evaluation of results obtained from the above mentioned simulations, and the usefulness of the exergy approach in the assessment of buildings energy performance is evaluated in the last chapter of the thesis.

**Keywords:** Energy simulation in buildings, TRNSYS, thermal performance, Exergy, Energy Efficiency in Buildings, Energy renovation.

## 1. SARRERA. DOKTOREGO-TESIAREN MOTIBAZIOAK

Doktorego-tesi honen interesa gaur egungo egoera energetikotik sortu zen. Gaur egun berotze global eta energia-iturri fosilen agorpenaren eraginagatik, energia-sistema jasagarriak garatzea gero eta garrantzitsuago bihurtzen ari da [1]. Energia-kontsumoa murrizteko, orokorrean, hiru aukera identifika daitezke: energia-eskaria txikiagotu, sistemen eraginkortasun energetikoa maximizatu eta energia-baliabide berriztagarriak erabili.

Bestalde, eraikinek eragin handia daukate baliabide naturalen kontsumoan, baita karbono dioxidoaren isurietan ere. Horrez gain, aipatutako kontsumoak azken urteetan gora egin du arrazoi ezberdinen ondorioz: biztanleriaren etengabeko ugalketa edo barne-erosotasunari lotutako estandar altuagoen eskaria, esaterako. Horrela, gaur egun, eraikinetan egiten den energia-kontsumoa Europar Batasuneko energia-kontsumo osoaren % 40 baino gehiago da [2].

Beraz, energia-iturrien beharra murriztea funtsezko faktorea da. Horregatik, eraikinen eraginkortasun energetikoa Europar Batasunaren lehentasunezko helburu bihurtu da, eta ingurune- eta energia-egoera horrek eraikinen portaera energetikoaren hobekuntzaren beharra ekarri du. Europar Batasuneko, eta batik bat Espainiako, eraikin-parkearen adina kontuan hartuz, eta garai batean eraikinei ezarritako betebeharrak termikoak zein baxuak ziren jakinik, esan liteke egungo eraikin-parkea eremu ezin hobea dela energia murrizteko ezarriko diren neurriak hartzeko.

Halaber, egoera energetiko hori karbono dioxidoaren isuriei oso lotuta dago. Munduko ekonomiaren deskarbonizazioa beharrezkoa da, eta deskarbonizazio hori egiten saiatu behar da bizi-estandarrak murriztu barik. Hala eta guztiz, eraikinen portaera energetikoa aztertzean, beste alderdi batzuk kontuan hartu behar dira. Premia ekonomikoek ingurumen-kontzientziario deuseztatzen duten lekuetan edo biztanleriaren sektoreetan, eta klima-aldaketari buruzko ardurak nahikoak ez diren lekuetan, eraikinen birgaikuntza energetikoa pobrezia energetikoa leuntzeko estrategia oso erabilgarria izan liteke. Birgaikuntza energetikoaren onurak, karbono dioxidoaren isurien murrizketan eta energia-aurreztean eragina izateaz gain, alderdi ekonomikoan eta sozialean ere badu zerikusia, pobrezia energetikoa kasu.

Testuinguru honetan, eraikinen birgaikuntza giltzarri bihurtu da eraikinen eraginkortasun energetikoa hobetzeko. Horrekin lotuta, birgaitzeko estrategien inpaktu energetikoa aztertzeke tresnek gero eta arrakasta handiagoa dute eraikinen birgaitzean lan egiten duten eragileen artean (legegileak, ingeniariak, arkitektoak). Legegileen artean, batetik, legeek eskatzen dituzten betebeharrak minimoak betetzen ote diren egiaztatzeke, eta bestetik, birgaitze bati emandako laguntzak egoki inbertitu diren egiaztatzeke erabiltzen dituzte tresna horiek. Bestalde, ingeniariak eta arkitektoak birgaitzeko biderik egokienak identifikatzeko erabiltzen dituzte, eraikin bakoitzari dagozkion xehetasunak eta zonalde klimatikoa kontuan hartuz.

Aurreko guztia ikusita, doktorego-tesi honek eraikinen birgaitze energetikoen analisietan beste urrats bat aurrera egiteko asmoz eremu honetan arreta jartzen du.

## 2. DOKTOREGO-TESIAREN IRISMENA

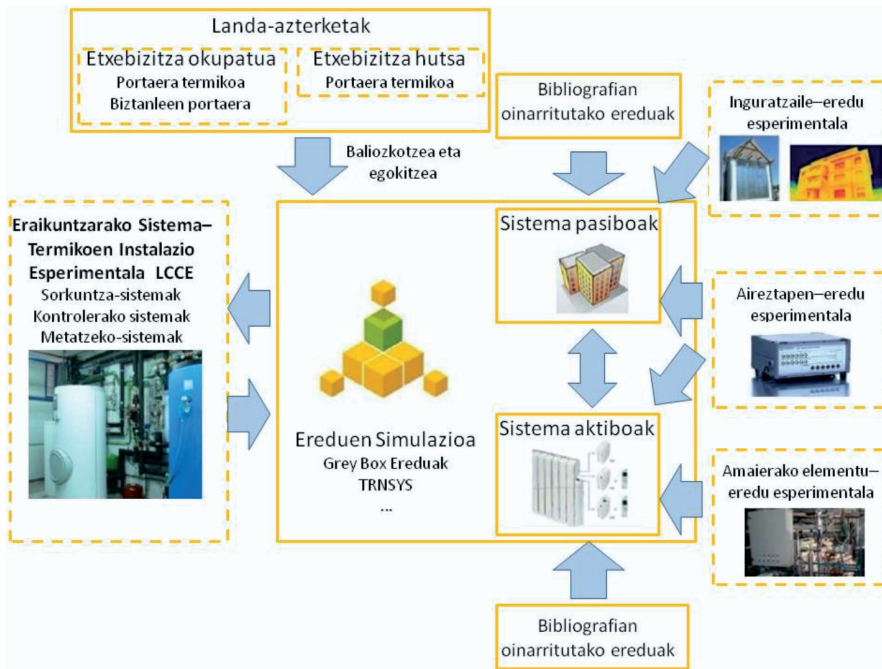
Doktorego-tesi honetan garatutako ikerketa ENEDI<sup>1</sup> taldearen ikerketa-ildoekin egiten du bat. Ikerkuntza ildo hauen eskema 1. irudian irudikatzen da.

Tesi honetan bi ildo garatzen dira; bata esperimentalak, eta bestea simulazio-ereduei dagokiona. Atal esperimentalak azpisistemen zein eraikin osoaren saiakuntza esperimentalak barne hartzen ditu. Ikerketa esperimental honen bidez, oinarri bibliografikoa duten ereduak batera, ereduak kalibratzeko eta erabiltzeko beharrezkoak diren datuak har daitezke. Bestalde, kalibratutako eredu hauek Eraikuntzarako Sistema Termikoen Instalazio Esperimentalean (LCCE) egiten diren saiakuntza erdi-birtualetan erabil daitezke. Entsegu hauetan, denbora errealeko ordenagailu bidezko simulazioen emaitzak instalazio esperimentalean erabiltzen dira, eta aldi berean, instalazio esperimentalean lortutako neurketak simulazioan erabiltzen dira. Modu horretan, simulazioa eta saiakuntza esperimentalak elkarri lotuta daude.

Esandakoak esanda, ikerketa hau 1. irudian erakutsitako eskemaren bitartez laburbil daiteke. Doktorego-tesi honek 1. irudiko eskemaren bi ataletan jartzen du arreta: «landa-azterketak» deritzon zatian eta «simulaziorako ereduak» deritzon zatian. Hori dela eta, doktorego-tesi honen atal esperimentalean eraikinen monitorizazioen inguruan lan egiten da, bai eraikin

---

<sup>1</sup> **ENEDI taldea** (Energetika Eraikuntzan) Euskal Unibertsitate Sistemaren barneko Ikerketa Talde egonkorra da. Taldearen webgunean informazio gehiago aurki daiteke: <http://www.ehu.es/enedi/>



1. irudia. ENEDI taldeak jarraitutako ikerketa-lerroen eskema.

okupatuak, bai hutsak kontuan hartuz. Lortutako emaitzak eraikinen portaera termikoaren eredu bi garatzeko erabiltzen dira ondoren: «Grey box» eta «White Box» ereduak, alegia.

Halaber, aipatutako eskema modularra da. Eskemaren zati bakoitza bi modu ezberdinetan erabil daiteke: eskemako beste zatiarekiko elkarrekintzan egoteko edo zati horretako informazio espezifikoak lortzeko. Hau da, batzuetan, 1. irudian irudikatutako prozesu osoa jarrai daiteke; beste batzuetan, aldiz, simulazio zatia edo ikerketa esperimentala nahikoak dira bi-latutako helburuak lortzeko.

Alderdi hori kontuan hartuz, eraikinen portaera termikoaren erduei eta landa-azterketei dagokienez, garatutako posibilitateen abantailak eta desabantailak aztertzen dira doktorego-tesi honetan, haien helburuak zein diren kontuan hartuz kasu bakoitzean.

### 3. HELBURUAK

Doktorego-tesi honen helburu orokorra da eraikinen birgaitze energetikoaren ebaluazioari heltzea, hau da, eraikinen birgaitzearen analisia eta optimizazio-prozesua aztertzea, ondorengo atalak barne hartuz:

- Datu-eskuratzea eta monitorizazioa.
- Datuen tratamendua: eraikinen ereduak.
- Tresnen analisia, ikuspuntu exergetikoarena esaterako, lortutako emaitzak ebaluatzeko eta hobekuntza potentzialak identifikatzeko.

Helburu hori bi eredu matematiko garatuz lortzen da, eta ikuspuntu exergetikoa erabiliz, hobekuntzarako estrategiak aztertzen dira. Beraz, aipatutako xedea lortzeko, hurrengo atazak betetzen dira doktorego-tesi honenkin:

- Euskal etxebizitza parkeari ikuspegi orokorra ematea, gizarte-etxebizitzaren sektorean arreta jarritz. Zehazki, Bilboko gizarte-etxebizitzak aztertzen dira, alderdi anitz kontuan hartuz: eraikuntzaren ezaugarriak, barne-giroko baldintzak eta energia-kontsumoak. Bilboko gizarte-etxebizitza parkea Udal Etxebizitzaren<sup>2</sup> webgunean aurkezten da. Erakunde honek kudeatzen eta zaintzen duen higiezinaren parkea 3.994 etxebizitzek osatzen dute. Parkearen ezaugarri nagusiak aztertzen dira, eta urte bat baino gehiagotan zehar okupatutako etxebizitzaren datuak lortzeko balio duen landa-azterketa egiteko hamar etxebizitza esanguratsu hautatzen dira. Aukeraketa egiteko, ezaugarri ezberdinak kontuan hartzen dira, hala nola, inguratzailearen ezaugarri termikoak, instalazio energetikoak, antzinatasuna edo etxebizitzaren kokapena eraikinean, besteak beste.
- Eraikin baten portaera termikoari buruzko informazio zehatza eskuratzea, hautatutako etxebizitza huts baten monitorizazioaren bidez. Ikerketa honetan hiru hilabetetan zehar eskuratutako datu ugari erabiltzen dira etxebizitzaren portaera termikoa karakterizatzeko.
- «Grey box» eredu bat garatzea, aipatutako monitorizazioan lortzen diren datuak erabiliz. Eredu hau erabilgarria izango da birgaitze energetikorako aukera ezberdinak ekartzen dituzten energia-aurrezteak ebaluatzeko.

---

<sup>2</sup> Bere webgunean aurkezten duten bezala (<https://www.bilbao.net/viviendas/>), Udal Etxebizitzak erakundea Bilboko Udalak etxebizitza babestuak sustatzeko politika aurrera eraman dezan baliabide eraginkorra da. Beharrezana duten bilbotar guztiei baldintza duinetan dagoen etxebizitza eskaintzea da bere helburua eta, ahal izatekotan, alokairu baten bitartez.

- Eraikin adierazgarri baten portaera termikoaren modelo bat definitzea, TRNSYS tresnaren bidez. Modelo hau landa-azterketan lortutako datuak erabiliz kalibratzen da. Besteak beste, berokuntza-eskariaren kurbak zein energia-kontsumo ohiturak lortzeko erabiltzen da. Eskari-kurba hauek beste motatako eraikinen birgaitze energetikoak ikertzean erabilgarriak izango dira (sistema pasiboetan nahiz aktiboetan).
- Bi modeloek elkarrekin konparatzea: «grey box» eta «white box» (TRNSYS tresnaren bidez garatutakoa) ereduak, beraien erabilera potentzialak identifikatuz eta bakoitzaren abantailak eta desabantailak aztertuz.
- Berokuntza-kontrolerako estrategia ezberdinen eraginak etxebizitzaren energia kontsumoan ebaluatzea.
- Sistema energetikoen berriztatzeak eta eraikinen birgaitze energetikoak ebaluatzeko eta garatzeko ikuspegi exergetikoak duen erabilgarritasuna erakustea.

## 4. DOKTOREGO-TESIAREN METODOLOGIA ETA EGITURA

### 4.1. Metodologia

Ma et al.ek diotenez [3], edozein eraikin birgaitzeko proiektuan bost fase bereiz daitezke: (1) eraikinaren azterketa, (2) ebaluazio energetikoa, (3) birgaitze-aukeren identifikazioa, (4) inplementazioa kokalekuan eta (5) inplementazioaren ebaluazioa. Horietako lau fase esplizituki edo implizituki kontuan hartzen dira doktorego-tesi honetan (1.a, 2.a, 3.a eta 5.a). Atal honetan erakutsiko denez, fase horiek tesi honen egituran erraz identifikatu daitezke.

Beraz, fase horiek kontuan hartuz, Euskadiko eraikin-parkearen analisiarekin hasten da tesia. Geroago, datuak lortzeko bi metodologia posible aurkezten dira: batetik, etxe huts baten monitorizazioa, eraikinaren edo etxebizitzaren eraikuntza-elementuen portaera termikoa definitzeko erabiliko diren datuak lortzeko; bestetik, hamar etxebizitza ezberdinen urte bateko monitorizazioa. Monitorizazio horren neurketak erabiliko dira, besteak beste, gizarte-etxebizitzan bizi diren erabiltzaileen energiari lotutako erabilera-profilen informazioa lortzeko. Gainera, bi landa-azterketetan lortutako datuak bi eredu mota garatzeko erabiliko dira. Azkenik, aipatutako ereduak lortutako emaitzen azterketa zehazki erakusten da.

### 4.2. Egitura

Aipatutako lanaren garapena erakusteko, tesi hau lau bloketan banatzen da: sarrera, atal esperimentalak, eredu matematikoak eta simulazioak.

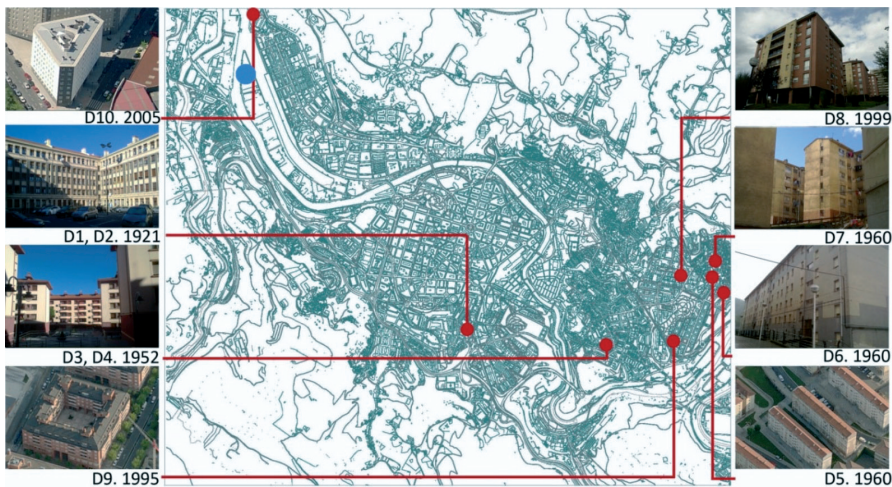
#### 4.2.1. Sarrera

Lehen blokeak tesiaren testuingurua, bibliografiaren analisia eta ikuspegi orokorra aurkezten ditu, eta lehen eta bigarren kapituluak barne hartzen ditu. Kapitulu hauetan, doktorego-tesian zehar jorratutako gaiei buruzko literaturaren azterketa aurkezten da, eta tesiaren helburuak eta jarraitutako metodologia deskribatzen dira.

#### 4.2.2. Atal esperimentalak

Doktorego-tesi honen bigarren blokeak lan esperimentalak garatzen eta aurkezten du, eta hirugarren eta laugarren kapituluak barne hartzen ditu.

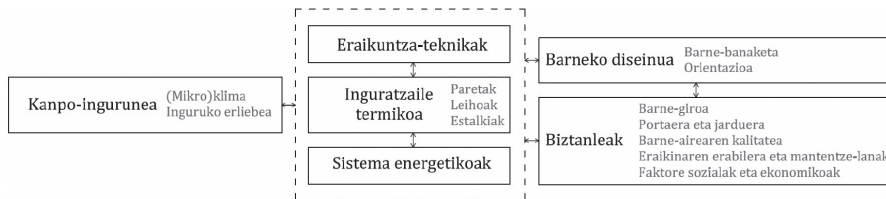
Etxebizitza-parke sozialaren portaera termikoaren ikuspegi orokorra hirugarren kapituluan aurkezten da, Bilboko hamar etxebizitzaren landa-azterketa dela medio. Aurrez, Bilboko gizarte-etxebizitzaren analisia bat garatzen da, eta XX. mendeko eraikuntzarako teknika ezberdinak berrikusten dira. Hamar kasu-azterketen hautaketa egiteko, XX. mendeko etxebizitza-parkearen adierazgarritasun-irizpideak jarraitzen dira, lehen aipatutako ikerketa kontuan hartuz (ikus 2. irudia).



**2. irudia.** Hamar kasu-azterketen kokapena.

Etxebizitzaren portaera termikoari eragiten dioten alderdi guztiak kontuan hartzeko, azterketa honetan ikuspegi holistikoa erabiltzen da. Ikuspegi sistemiko honetan, eraikinek sistema ireki bezala jokatzen dute, eta beraien eta bere inguruaren arteko elkarrekintzak aintzat hartzen dira.

Kapitulu honetan erabiltzen den planteamendua literaturan aurkitutako erreferentzia batzuk [4-6] kontuan hartuz garatzen da, eta erreferentzia horiek erabiliz, eraikinen energia-kontsumoari eragiten dioten faktore nagusiak identifikatzen dira, analisiaren sistemak (etxebizitza bakoitza) zazpi azpisisistematan sailkatzeko. Hartutako zazpi azpisisistemak erakusten dira 3. irudian.



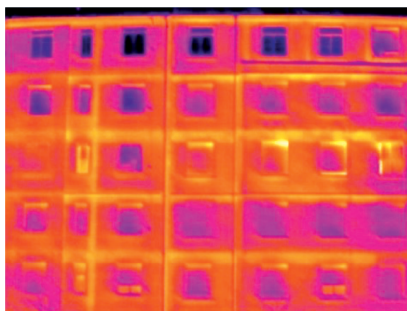
**3. irudia.** Hartutako azpisisistemak.

Landa-azterketa honek gizarte-etxebizitzaren parkearen portaera termikoa ezagutzeko erabilgarri diren datu ugari ematen ditu. Etxebizitza bakoitzean barne-tenperaturak eta hezetasun erlatiboa hamar minutuz behin neurtu ziren urte batean zehar. Horrela, barne-erosotasun termikoari buruzko informazioa lortu ez ezik, etxebizitza bakoitzean dauden erabilera-profilei eta erabiltzaileen portaerari buruzko informazioa ere lortzen da. Energia-fakturen bidez, energia-kontsumoari buruzko informazioa bildu zen. Gainera, erabiltzaileek energia-kontsumoaren ohiturei buruzko galdeketa bete zituzten, beste iturrietatik lortutako informazioa osatzearen. Bukatzeko, eraikinen zubi termikoak kualitatiboki aztertze, termografetan oinarritutako azterketa garatu zen aztertutako eraikin guztietan (ikus 4. irudia).

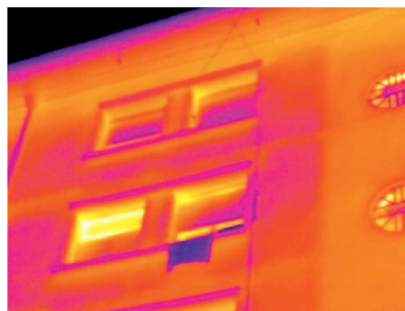
Beraz, ikerketa honen bidez, Euskadiko gizarte-etxebizitzaren portaera energetikoari buruzko ikuspegi orokorra lortzen da. Bestalde, gizarte-etxebizitzaren erabilera-profilak definitzeko erreferentzia garrantzitsua izango da. Kapitulu honetan ikerketari buruzko informazio gehiago aurki daiteke landa-azterketa eta bere emaitza nagusiak aurkeztzen dituen artikuluan [7].

Laugarren kapitulua 60ko hamarkadan eraikitako etxebizitza adierazgarri baten monitorizazioaren deskripzioan oinarritzen da. Etxebizitza hau lehen kapituluan aurkeztutako sailkapena jarraituz hautatzen da (ikus 5. irudia). Datuak eskuratzeko bi epe deskribatzen dira kapituluan: lehena 2012ko urtarriletik apirilera egin zen, eta bigarrena 2012ko abendutik 2013ko otsailera egin zen, leihoak aldatu ondoren.

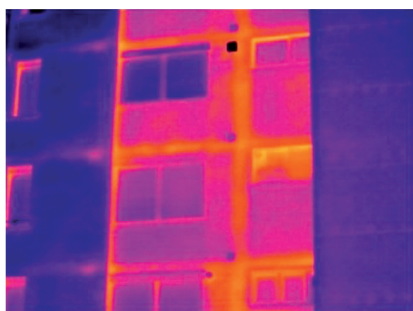




(a)



(b)



(c)



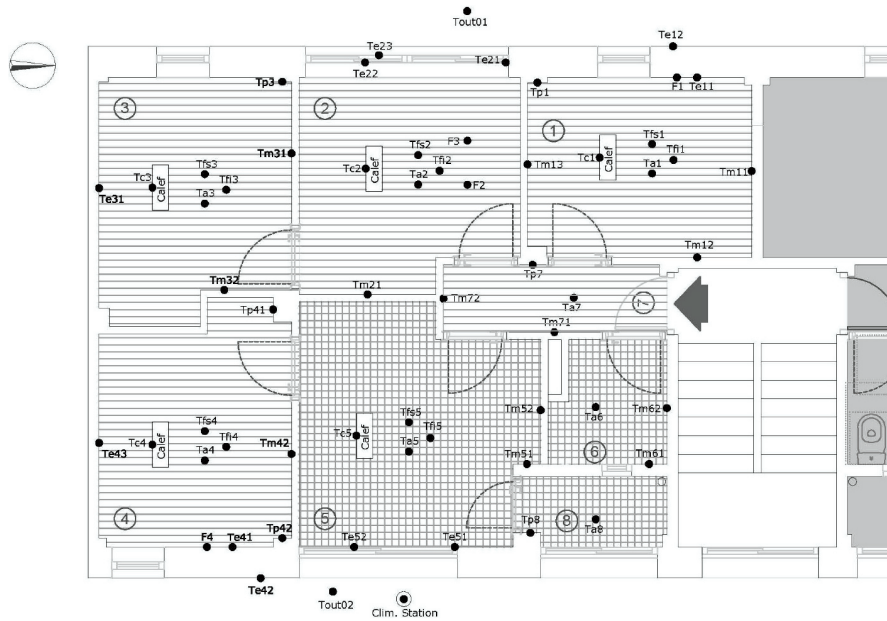
(d)

**4. irudia.** Analizatutako eraikin batzuen termografiak.

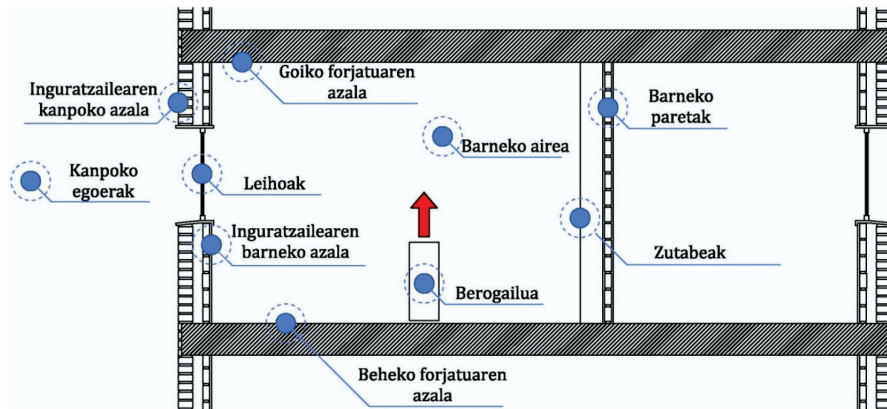


**5. irudia.** Etxebizitzaren kanpoko argazkiak.

Etxebizitzan hirurogei sentsore inguru jartzeaz gain, estazio klimatiko txiki bat ere jarri zen. Sentsoreen kokapena 6. irudian irudikatzen da. Monitorizazioa diseinatzeko, eraikinaren azpisistema ezberdinak kontuan hartu ziren (ikus 7. irudia). Halaber, azpisistema horiek aintzakotzat hartu ziren seigarren kapituluan RC eredia definitzeko.



6. irudia. Birgaitzearen aurretiko etxebizitzaren planoak. Sentsoreen kokapena.



7. irudia. Neurtutako azpisistemak.

Monitorizazioaren argazki batzuk 8. irudian aurkezten dira. Monitorizazio honen bidez, etxebizitzaren eraikuntza-elementuen portaera terminoak definitzeko behar diren datuak lortzen dira. Laugarren kapituluan, beraz, bi monitorizazio-epeen emaitzak eskuratzen dira, baita metodologiari eta jarraitutako prozedurari buruzko ondorioak ere.

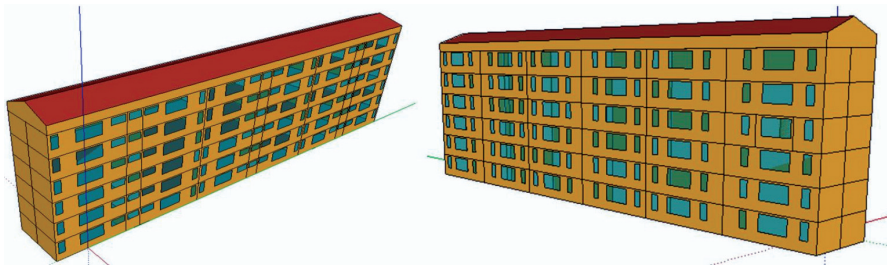


**8. irudia.** Bigarren monitorizazioaren hiru argazki (2012ko azarotik 2013ko otsailera).

#### 4.2.3. Eredu matematikoak

Hirugarren blokeak garatutako eredu matematikoen deskribapena barne hartzen du. Atal esperimentalean lortutako datuen tratamendua garatzen da bi simulazio ereduren bidez. Aipatutako ereduen garapenak hirugarren atal honetan erakusten dira. Bi kapitulu barne hartzen ditu: bosgarren kapitulua (kutxa zuriaren eredia, TRNSYS) eta seiugarren kapitulua (kutxa grisaren eredia).

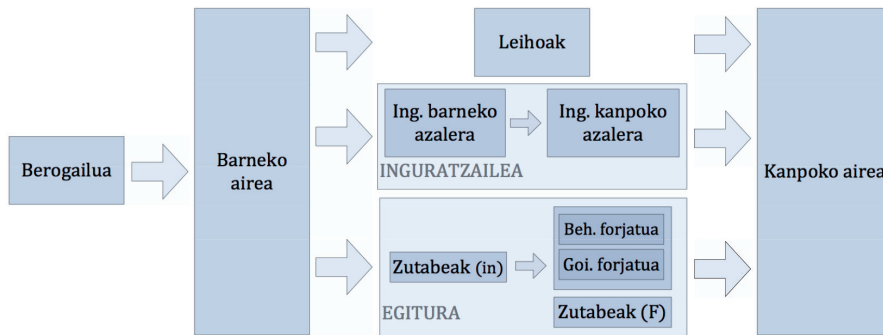
Bosgarren kapituluan monitorizatutako etxebizitzaren TRNSYS simulazio energetikorako tresnaren bidezko eredia sortzen da eta emaitzak aztertzen dira. Kasu honetan, landa-azterketan lortutako datuak erabiltzen dira TRNSYS eredia balioztatzeko. Eraikin osoaren geometria xehatu zen Google Sketch Up deritzon programa erabiliz (ikus 9. irudia), Bilboko Gizarte-Etxebizitza Sailak emandako planoen eta egindako neurketen arabera. Geometria hau TRNSYS programara esportatu zen ezaugarri termikoak definitzeko eta portaera termikoa kalkulatzeko. Eredu hori bideratuta dago eraikin adierazgarri batek Euskal Autonomia Erkidegoko zonalde klimatiko ezberdinek dituen eskari-kurbak definitzera.



**9. irudia.** Sketch Up 3D tresnaren bidez garatutako eraikinaren ereduaren bi pantaila-argazki.

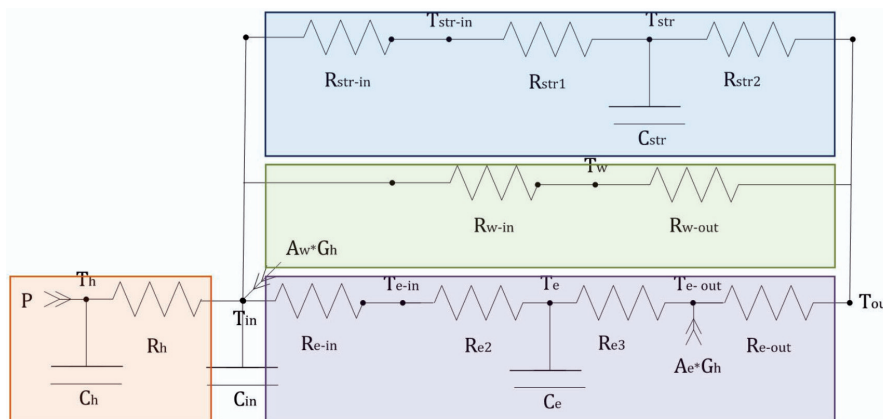
Seigarren kapituluan, laugarren kapituluan deskribatutako landa-azterketan lortutako datuak erabiliz, etxebizitza baten «grey box» ereduaren garapena jorratzen da. Lortutako datuak erabiltzen dira, batetik, RC eredu (kutxa grisarena) definitzeko, eta bestetik, eredu biak balioztatzeko eta egokitzeko. Horrez gain, hirugarren kapituluan erakutsitako monitorizazioan lortutako datuak (hamar etxebizitzaren monitorizazioan) gizarte-etxebizitzaren erabilera-profil adierazgarriak definitzeko erabiltzen dira.

Beraz, seigarren kapituluan, RC ereduaren definizioa zehatz-mehatz azaltzen da. Laugarren kapituluan azaldutako monitorizazioaren diseinua irizpide berdinak jarraituz, «beroaren bide osoa» (berogailutik kanpoko airera) kontuan hartzen da (ikus 10. irudia)



10. irudia. Bero-katea, berogailutik kanpo-airera.

Ikuspegi hau aintzakotzat hartuz, garatutako RC ereduari lau atal ezberdin identifika daitezke, 11. irudian irudikatzen den bezala: barneko eta kan-



11. irudia. Garatutako ereduaren RC sarea.

poko inguruneak ( $T_{in}$  eta  $T_{out}$ , hurrenez hurren) lotzen duten hiru adarrak (fatxadan zeharreko bero-transferentzia irudikatzen duena, morea; leihoe-tan zehar irudikatzen duena, berdea; eta egituren bidez bero-galerak irudikatzen dituen, urdina) eta berokuntzari lotutako atala ( $T_h$  nodoa), laranja.

Eredu honen bidez, eraikinaren berokuntza-kontsumoa lor daiteke, baldintza ezberdinak kontuan hartuz. Gainera, portaera termikoaren hobekuntzarako estrategia posibleen emaitzak azter daitezke. Esaterako, eredu honek etxebizitzaren portaera termikoa erakusten du, leihoak aldatu baino lehen. Parametro-ezaugarriak aldatuz, eredu honek erakuts dezake zein den eraikinaren portaera termikoa leihoak aldatu ondoren. Horrela, baldintza berdinetan konparaketa egin daiteke, hobekuntza jakin baten eraginkortasun maila definitzeko. Kapitulu honetan metodo honen erabilgarritasuna adierazten da, batez ere eraikuntza-birgaitzeari lotutako kasu batzuetan:

- Eraikin baten egoera edozein birgaitzerako lana egin baino lehen aztertzeke.
- Hobekuntza termikorako aukera ezberdinak aztertzeke, energia-aurrezteak kalkulatu.
- Edozein birgaitze energetikoaren ondorio errealak ebaluatzeko, birgaitze baten aurretiko eta ondorengo egoerak irudikatzen dituzten ereduak baldintza berberetan elkarrekin konparatu.

Seigarren kapitulu honetan, ikerketari buruzko informazio gehiago nahi izanez gero, RC ereduaren garapen honen ondoriozko artikulua irakur daiteke [8].

#### 4.2.4. Simulazioak

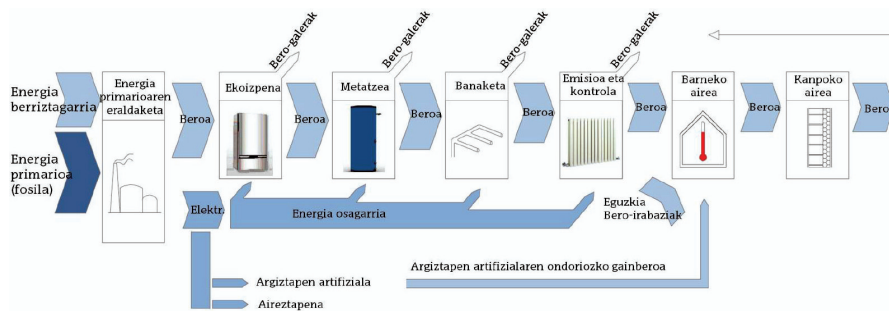
Laugarren blokeak ereduaren bidez lortutako datuen tratamenduari helzen dio. Helburu horrekin, atal honek simulazioen diseinuan eta aipatutako simulazioen bidez lortutako emaitzen ebaluazioan arreta jartzen du. Bi kapitulu ezberdinetan erakusten da.

Zazpigarren kapituluan, aurretik garatutako TRNSYS ereduaren eskaera termikoa murrizteko neurri batzuk (inguratzailearen hobekuntzarako neurrien bidez, neurri pasiboak deritzenak) aztertzeke eta sailkatzeko erabiltzen da. Sailkapen hori neurri bakoitzak dakarren energia-aurrezpenaren arabera egiten da. Lortutako energia-aurrezteak erakusten eta aztertzen dira, alderdi energetikoak, ekonomikoak eta baita ingurumenari eta barne erosotasunari lotutakoak ere kontuan hartuz. Eraikinaren inguratzaile termikoa hobetuz, energia aurrezteko hirurogeita lau neurriren emaitzak aurkezten dira [9]. Aztertutako aukeren artean, konbinazio bat hautatzen da,

eta berokuntza-sistemari lotutako parametro ezberdinak ebaluatzen dira, sistemaren tenperaturak eta kontrolak, esaterako. Ebaluazio honek parametro bakoitzaren eraginak aztertzen ditu, bai eraginkortasun energetikoaren ikuspegitik bai erosotasunarenetik[10]. Kapitulu honetan aurkezten den kasuistika plataforma erdi-birtualean egingo dituen saiakuntzak definitzeko erabil daiteke aurrerago.

Aurrerago, zortzigarren kapituluak, eraikin baten analisi exergetikoa deskribatzen da. Kapitulu honek S.C. Jansenekin egindako lankidetzaren fruitua den lana aurkezten du. Lan hau, 2012ko martxotik ekainera egin zena, TU Delft-eko Arkitektura Fakultatean (Herbehereak) garatu zen eta *Energy & Buildings* aldizkariko bi artikulutan aurkezten da [11, 12].

Horrela, zortzigarren kapituluak ikuspegi exergetikoak eraikinaren sistema energetikoak garatzeko duen erabilgarritasuna ikertzen du. Ikuspegi exergetikoaren bidez, energia-kate osoa azter daiteke, energia-iturrietatik kanpoko airean askatutako beroraino (ikus 12. irudia)



**12. irudia.** Eraikinak berotzeko energia-katea ([13] artikulutik hartuta).

Hori egiteko, eraikinetan erabilitako ikuspegi exergetikoari buruzko literatura-aztertze laburra aurkezten da, eta bost sistema ezberdin hartzen dira ikuspegi exergetikoaren aukerak aztertzeko. Horretarako, tesi honetan garatutako etxebizitzaren oinarriko kasua erreferentziatzen hartzen da. Eraikinaren energia-erabilera ikuspuntu globaletik ulertzen da, eta energiaren bidea, eraikinen inguratzaile termikotik energia ekoizpeneraino aztertzen da, hobekuntzak kontuan hartuz, bai inguratzaile termikoan, baita sistema energetikoetan ere.

Azkenik, bederatzigarren kapituluak, doktorego-tesi honen ondorio azpimarragarrien laburpena aurkezten da, baita ekarpenak eta proposatutako etorkizuneko lan-ildoak ere.

## 5. ONDORIO NAGUSIAK

Doktorego-tesi honetan aurkeztutako ikerketa kontuan hartuz, alderdi ezberdinak azpimarra litezke. Eraikinen birgaitze energetikoak potentzial handia dauka eraikuntza sektoreari lotutako karbono dioxidoaren isuriak murrizteko, baina horrez gain, eskala ezberdinean onura sozialen eta ekonomikoen eragile ere badela esan liteke. RC eta TRNSYS ereduak eraikinen energia-kontsumoa aztertzeke tresna egokiak dira. Eraikin-parkea aztertzean, ikuspegi holistikoa erabiltzearen onura frogatzen da tesi honetan, beste hainbat alderdiren eginkizunak bezalaxe, hala nola, erabiltzaileen portaerarena. Tesi honetan frogatu da simulazioek % 50 inguruko diferentziak eman dezaketela hartutako erabilera-profilen arabera. Zehazki, erabiltzaileak eragin handia izan dezake lortutako kontsumo energetikoetan berokuntza-sistemaren kontrolerako estrategiaren arabera.

Etorkizunean garatzeko bi ildo identifikatzen dira. RC ereduaren hobekuntza jorratzearen beharra, eta geroago, RC ereduaren eta TRNSYS ereduaren arteko interakzioa. Bi ildo horien eta Eraikuntzarako Sistema Termikoen Instalazio Esperimentalaren arteko interakzioa ere aztertu behar da.

Gainera, doktorego-tesi honetan egokitutako TRNSYS ereduaz gain, simulazioen bidez lortutako emaitzak ere erabiliko dira eraikinen birgaitze energetikoari buruzko eskuliburu bat egiteko, eraikuntza sektorearen eragile ezberdinak erabilgarria izan dadin. Eskuliburu hau, Eusko Jaurlaritzako Eraikuntza Kalitatearen Kontrolerako Laborategiaren laguntzarekin garatuko da, eta helburua da birgaitze energetikorako estrategia ezberdinen emaitza ekonomikoei, energetikoei eta ingurumenari loturikoak jorratzea, eraikin ezberdinetan, zonalde klimatiko ezberdinetan, simulazio dinamiakoan eta datu esperimentaletan oinarrituta.

## ESKER ONAK

Artikulu honetan laburtutako doktorego-tesia Eusko Jaurlaritzaren laguntzarekin garatu da, Hezkuntza, Hizkuntza Politika eta Kultura Sailaren Doktore Aurreko Programaren bidez (BFI09-81).

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] WWF, Ecofys, OMA. 2011. *The energy report-100% renewable energy by 2050*. The Netherlands.
- [2] EUROSTAT. 2010. *Statistics Database-Energy statistics-Supply, transformation, consumption*.

- [3] Z. MA, P. COOPER, D. DALY, L. LEDO. 2012. «Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art». *Energy and Buildings*, **55**, 889-902.
- [4] R. CANTIN, J. BURGHOLZER, G. GUARRACINO, B. MOUJALLED, S. TAMELIKECHT, B.G. ROYET. 2010. «Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in France». *Buildings and Environment*, **45**, 473-484.
- [5] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2013. *Energy Conservation in Buildings & Community systems; Annex 53: Total Energy Use in Buildings: Analyses and Evaluation Methods*.
- [6] Z. YU, B.C.M. FUNG, F. HAGHIGHAT, H. YOSHINO, E. MOROFSKY. 2011. «A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption». *Energy and Buildings*, **43**, 1409-1417.
- [7] J. TERÉS-ZUBIAGA, K. MARTÍN, A. ERKOREKA, J.M. SALA. 2013. «Field assessment of thermal behaviour of social housing apartments in Bilbao, Northern Spain». *Energy and Buildings*, **67**, 118-135.
- [8] J. TERÉS-ZUBIAGA, C. ESCUDERO-REVILLA, C. GARCÍA-GAFARO, J.M. SALA. 2015. «Methodology for evaluating the energy renovation effects on the thermal performance of social housing buildings: monitoring study and grey box model development». *Energy and Buildings*, **102**, 390-405.
- [9] J. TERÉS-ZUBIAGA, A. CAMPOS-CELADOR, I. GONZÁLEZ-PINO, C. ESCUDERO-REVILLA. 2015. «Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain». *Energy and Buildings*, **86**, 194-202.
- [10] J. TERÉS-ZUBIAGA, A. CAMPOS-CELADOR, I. GONZÁLEZ-PINO, G. DIARCE. 2016. «The role of the design and operation of individual heating systems for the energy retrofits of residential buildings». *Energy Conversion and Management*, **126**, 736-747.
- [11] S.C. JANSEN, J. TERÉS-ZUBIAGA, P.G. LUSCUERE. 2012. «The exergy approach for evaluating and developing an energy system for a social dwelling». *Energy and Buildings*, **55**, 693-703.
- [12] J. TERÉS-ZUBIAGA, S.C. JANSEN, P.G. LUSCUERE, J.M. SALA. 2013. «Dynamic exergy analysis of energy systems for a social dwelling and exergy based system improvement». *Energy and Buildings*, **64**, 359-371.
- [13] D. SCHMIDT, 2004. «Design of Low Exergy Buildings- Method and a Pre-Design Tool». *The International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, **3**, 1-47.