

# Eraikinen energia-jarrera modelatzeko simulazio dinamikoa. Energia-ziurtagirien balioztapena Trnsys softwarearen bidez

*(Dynamic simulation to model the energy performance of buildings. Validation of energy certificates using Trnsys software)*

Arrate Hernandez-Arizaga<sup>\*1</sup>, Mikel Garro-Aguilar<sup>2</sup>, Ana Picallo-Perez<sup>b</sup>

<sup>1</sup> University of the Basque Country UPV/EHU, Faculty of Engineering Gipuzkoa (Eibar, Spain)

<sup>2</sup> Research group ENEDI, University of the Basque Country UPV/EHU (Bilbao, Spain)

**LABURPENA:** Hirien energia-kontsumo handiak bistaratzen du eraikuntza-sektorean energia-efizientzia hobetzeko beharra. Behar horren aurrean, Europako, Estatuko edo tokiko energia-araudiak bultzatzen dira, hala nola eraikinak A-tik G-ra kalifikatzen dituen energia-ziurtagiriaren beharra, zeinak energia primario ez-berritagarriaren kontsumoa eta CO<sub>2</sub> isuriak ebaluatzen dituen. Bestalde, askotan ez dira ezagutzen energia-portaera baldintzatzen duten funtsezko aldagaiak, eta, kasu horietan, datu horiek balioetsi edo defektuz ezarri behar dira. Lan honek traba hori gainditzea du helburu, eta energia-aldagai ezezagunak doitzeko metodo simple bat proposatzen du. Erreduko ikerketa-kasu gisa «C» energia-kalifikaziodun Gernika-30 izeneko eraikina modelatu da Trnsys softwarearen bitartez, eta ondoren haren instalazio termiko zentralizatua optimizatu. Berokuntza-eskaria kalkulatzeko berogaleren eta irabazien arteko oreka-ekuazioa aplikatzen da, eta ezagutzen errazak diren eraikinen geometria, orientazioa eta bero-transferentzia koefizienteak definitzen dira. Gainerako aldagaiei doiketak, alegia, infiltrazio- eta aireztapen-galerak zein okupazio-, argiztapen- eta ekipoi-irabaziak, oinarritzko sei doikuntza-etapako emaitzetatik lortzen dira, betiere Eraikintzaren Kode Teknikoaren jarraibideak aintzat hartuz. Emaitzen arabera, barne-irabaziek energia-kontsumoa % 72 murrizten dute, eta aireztapen-galerek, berriz, % 24 igo. Saiakuntza horiek erreferentziatzat hartzen dira eraikinen azken eredu adierazgarria doitzeko. Ondorioz, simulazio dinamikoaren gaitasuna funtsezko tresna gisa agertzen da energia-kontsumoa optimizatze eta energia-birgaitze estrategiak garatzeko, eraikinen iraunkortasuna eta epe luzeko efizientzia sustatuz.

**GAKO-HITZAK:** Energia-etiketa, doiketa-prozesua, Trnsys, energia-efizientzia.

**ABSTRACT:** The high energy consumption of cities underlines the need to improve energy efficiency in the building sector. In response to this need, European, state or local energy regulations are being promoted, such as the need for energy certification, which qualifies buildings from A to G, and assesses the consumption of non-renewable primary energy and CO<sub>2</sub> emissions. On the other hand, the fundamental variables that condition energy performance are often not known and, in these cases, these data must be estimated or incorporated by default. This work aims to overcome this barrier and proposes a simple method to adjust unknown energy variables. As an example research case, a building with energy rating «C» called Gernika-30 is modelled using Trnsys software in order to subsequently optimise its centralised thermal installation. To calculate the heating demand, the balance equation between heat losses and heat gains is applied and easily known variables such as building geometry, orientation and heat transfer coefficients are defined. The adjustments of the remaining variables, i.e. infiltration and ventilation losses as well as occupancy, lighting and equipment gains, are obtained from the results of six base stages of adjustment, following the BTC guidelines. The results show that internal gains reduce energy consumption by 72%, while ventilation losses increase it by 24%. These tests are taken as a reference to adjust the latest representative model of the building. Consequently, the dynamic simulation capability appears as a fundamental tool to optimise energy consumption and develop energy rehabilitation strategies, promoting the long-term sustainability and efficiency of buildings.

**KEYWORDS:** Energy-labelling, adjustment process, Trnsys, energy efficiency.

**\* Harremanetan jartzeko/Corresponding author:** Arrate Hernández-Arizaga, Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, Eibarko atala, EHU, Otaola Hiribidea 29 (20600 Eibar). <https://orcid.org/0000-0001-5944-5109>, [arrate.hernandez@ehu.eus](mailto:arrate.hernandez@ehu.eus)

**Nola aipatu/How to cite:** Hernandez-Arizaga, Arrate; Garro-Aguilar, Mikel; Picallo-Perez, Ana (2025). «Eraikinen energia-jarrera modelatzeko simulazio dinamikoa. Energia-ziurtagirien balioztapena Trnsys softwarearen bidez», *Ekaia*, 48, 2025, DOI: <https://doi.org/10.1387/ekaia.27130>

Jasoa: azaroak 27, 2024; Onartua: ekainak 20, 2025

ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © UPV/EHU Press



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-PartekatuBerdin 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

## **1. SARRERA**

Hirien ekologia-aztarnan eragin handia dauka eraikinen energia-kontsumoak. Izan ere, Europar Batasuneko energia-kontsumo osoaren % 40 inguru eraikinek egiten dute [1], eta beraz premiazkoa da energia-efizientzia sustatzeko neurriak ezartzea. Ingurumenean eragiteaz gain, erronka ekonomikoa ere badago, energia-eskaria gero eta handiagoa delako eta erreagaien prezioak gorabeheratsuak direlako. Horregatik, eraikinen energia-kontsumoa araudiarekin erlazionatzen da, garapen iraunkorrerako eta klima-alaketaren aurka borrokatzeko osagai kritikoa ere delako. Beraz, funtsezkoa da eraikuntzan energia aurreztea etorkizun iraunkorrako bat edukitzeko.

Testuinguru honetan, Europak eraikuntza-sektorean energia-efizientzia etengabe hobetzeko araudia bideratu du. Esaterako, 2024/1275 [2] eta 2012/27/CE Zuzentaraua [3] energia-efizientziari dagozkio, eta estatu ki-deek bete beharreko berariazko estandarrak ezartzen dituzte. Zuzentarau horiek eraikinen energia-kontsumoaren murrizketa bilatzeaz gain, erabileraren eta mantentze-lanen ingurumen-inpaktua minimizatzeko garapen iraunkorra sustatzen dute.

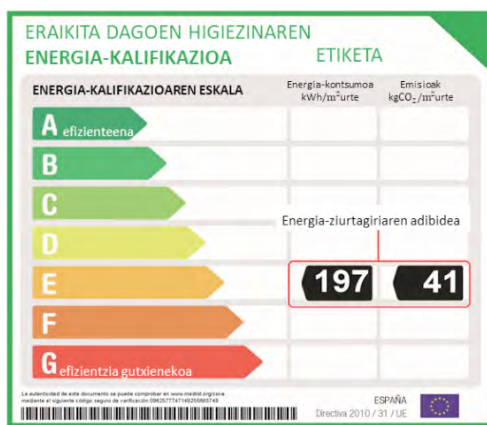
Batetik, Espainiak Europako helburuak araudi bilakatu ditu Eraikuntza Kode Teknikoaren (EKT) [4] eta 390/2021 Errege Dekretuaren [5] birtatez, non energia-kontsumoa eta eraikinen energia-efizientzia ziurtatzeko baldintzak ezartzen baitira. Araudi horiek energia-eskariaren murrizketa bermatzeko teknologia jasangarrien eta eraikuntza-praktiken integrazioa sustatzen dute, eta orobat energia berriztagarrien erabilera eta bizigarritasun-baldintzen hobekuntza sustatzen dute.

Bestetik, Euskal Autonomia Erkidegoak Estatuko zuzentaraua indartzen duen araudi propioa garatu du [6], eskualdearen ezaugarri soziokulturalak eta klima-baldintzak kontuan hartuta. Esaterako 4/2019 Legea [7] eraikuntzako energia-efizientzien neurriei buruzkoa da. Horrek eraikinen energia-birgaitzea sustatzen du, eta araudia ezartzen du jasangarritasuna eta efizientzia inplementatzeko eraikitako parkean.

80/2014 Dekretuak [8] eraikinen ikuskapen teknikoa arautzen du, eta ezartzen du 50 urtetik gorako antzinatasuna duten bizitegi-erabilerako eraikin guztiek indarreko ikuskapen teknikoa pasatu behar dutela. Ikuskapen horren eginkizuna da, besteak beste, eraikinaren ezaugarriak eza-gutzea eta energia aurrezteko gabeziak ebaluatzea. 25/2019 Dekretuak [9] eraikinen eta etxebizitzaren energia-efizientzia ziurtagiria arautzen du, bai eraikuntza berrietan bai eraikitakoetan, eta 2015/03/16 Aginduak [10] Euskadiko energia-efizientzia ziurtagirien kontrola eta erregistroa arautzen ditu.

### 1.1. Energia-ziurtagiriak

Eraikin baten energia-efizientzia ebaluatzeko funtsezko alderdi bat energia-ziurtagiria [11] da, eta energia-efizientziaren informazio objektiboa ematen du, kontsumoaren eta emisioen arabera higiezina letra batekin kalifikatuz. Kalifikazioa A letran hasten da, zeinek eraikinik eraginkorrena adierazten baitu (egungo ia Energia Kontsumorik Gabeko Eraikina), eta G letran bukatzen da, efizientzia txikiena adieraziz, ikus 1. irudia. Ziurtagiria nahitaezkoa da jabetzak saldu eta alokatzeko, eta kontzientziazio-tresna ere bada jabeentzat eta maizterrentzat.



**1. irudia.** E Energia-etiketaren adibidea.

Energia-ziurtagiriak honako alderdi hauek neurtzen eta ebaluatzen ditu nagusiki:

- Energia primario ez-berriztagarriaren kontsumoa ( $C_{ep,nren}$  [kWh/m² · urte]) da adierazle nagusia. Eraikinak urtean, azalera unitateko, beharizan batzuk betetzeko behar duen energia primarioaren kantidad espezifiko adierazten du (ez-berriztagarria): berokuntza, hozte-sistema, ur bero sanitarioa (UBS), aireztapena eta argiztapena. Gainera, energia-kontsumo osoa ere kalkula daiteke energia berriztagarriaren kontsumoa gaineratuz.
- CO<sub>2</sub> isuriak ( $E_{CO_2}$  [kg/m² · urte]) ingurumen-ikuspegia du eta eraikinen energia-kontsumoak isurtzen duen karbono dioxido kantidad da. Bat dator nazioarteko eta tokiko araudiek emisioak murrizteko ezarritako helburuekin.

Energia-ziurtagirien prozesua errazteko hainbat software ofizial eta espezializatu eskaintzen ditu Espainiako Ministerioak. CE3X eta HULC

programak, esaterako, energia-kontsumoa ebaluatzeko eta indarreko araudiarekin bat datozen txostenak egiteko erabiltzen dira, eraikinek efizientzia-estandarrek betetzen dituztela ziurtatzeko. Programa horiekin higiezin baten energia-portaera ebaluatzen da, berotzeko, hozteko, UBS sortzeko eta aireztatzeko energia-eskaria nahiz energia berriztagarrien ekarpena kontuan hartuta. Programetan eraikinaren parametro tekniko espezifikoak sartzen dira, hala nola eraikuntza-ezaugarriak, klimatizazio-instalazioak, energia berriztagarria sortzeko sistemak eta tokiko klima-baldintzak. Datu horiekin urteko energia-kontsumoa eta CO<sub>2</sub> isuria kalkulatzeko dira, higiezinaren energia-etiketa zehaztuz.

Gainera, bestelako erremintak ere badaude eraikinen energia-jarrera aztertzeko eta optimizatzeko. Besteak beste, simulazio bidez eraikinen energia-portaera dinamikoa modelatzeko softwareak (DesignBuilder, EnergyPlus, Trnsys, etab.) funtsezkoak dira eraikinen energia-efizientzia dinamikoki ebaluatzeko eta optimizatzeko. Tresna horiek ikerketa-alorrean asko erabiltzen dira, eta aukera ematen dute eraikinen portaera termikoa eta energetikoa zehaztasunez modelatzeko eta energia-kontsumoa murrizteko estrategiak identifikatzeko.

Lan honetan Trnsys softwarea aukeratu da eraikin baten energia-portaera dinamikoa modelatzeko eta haren energia-etiketa balioztatzeko.

## **1.2. Eraikinen energia-portaera dinamikoa modelatzeko Trnsys softwarea**

Trnsys [12] bereziki nabarmentzen da eraikinaren hainbat azpisistema ezaugarritzeko eta modu modularrean integratzeko duen gaitasunagatik eta malgutasunagatik. Liburutegiko elementu modularrekin, esaterako, osagai fisikoak, egutegiak, kontrola eta klima-baldintzak adieraz daitezke. Modulu bakoitzaren parametroak erabiltzaileak definitzen ditu, eta elkarren artean lotzen dira sistema partikular bat modelatzeko. Trnsys etengabe berritzen denez, energia-iturri berriztagarriko teknologia berriak ere barnera daitezke; besteak beste, panel fotovoltaiakoen, bero-trukatzaile geotermiako edo haize-turbinen modelo berriak.

Alde batetik, TrnBuild interfazean eraikin baten geometria eta parametro fisikoak modelatzen dira, analisi xehatua egiteko behar diren hasierako baldintzak ezarriz. Beste alde batetik, Simulation Studio interfazean eraikinaren instalazio termikoa modelatzen da, berokuntza, aireztapena eta aire girotua bezalako sistemak definituz eta simulazioaren baldintzak zehaztuz, simulazio-aldia eta denbora-tartea esaterako. TrnBuilden modelatutako eraikina Simulation Studion barneratzen da, eraikina eta instalazio termikoaren interakzioa ebaluatzeko. Beraz, eraikina eta sistema termikoak bereizita modelatzean, analisi espezializatuago bat egin daiteke zehaztasun handiagoarekin.

Horrez gain, eraikinaren inguratzailearen eta instalazioen jarduera optimiza daiteke berariazko algoritmoen bidez. Algoritmo horiek konfigurazio desberdinen efizientzia ebaluatzen dute, hala nola ekipo ezberdinen konbinazioa edo energia berriztagarrien inplementazioa, eta energia-ikuspegitik konponbide eraginkorrenak identifikatzeko balio dute. Era berean, kontrola optimizatzeko eta mantentze-lanak hobetzeko estrategiak ezar daitezke, funtsezkoak baitira eraikinaren bizi-zikloan energia-efizientzia maximizatzeko, alegia, instalazioa inplementatzean, operazioan eta suntsitzeko al-dian zehar. Ikuspegi integratu horiek, energia-kontsumoa nabarmen murrizteaz gain, iraunkortasuna sustatzen dute, etorkizun eraginkorrako baten trantsizioa helburu.

Egile askok erabiltzen dute software hau eraikinen erabilera energetikoa aztertzeko. Adibidez, Trnsys erabiltzen dute bizitegi-eraikin trizona baten energia-eskaria ezagutzeko eta energia-eskari horretan inpaktu handiena duten aldagaiak zehazteko [13], edo Aljeriako bizitegi-eraikin guztien energia-eskaria aztertzen du, mapeo-software bat (ArcGIS) eta Trnsys konbinatzen dituen metodologia berritzaile batekin [14].

## 2. HELBURUAK

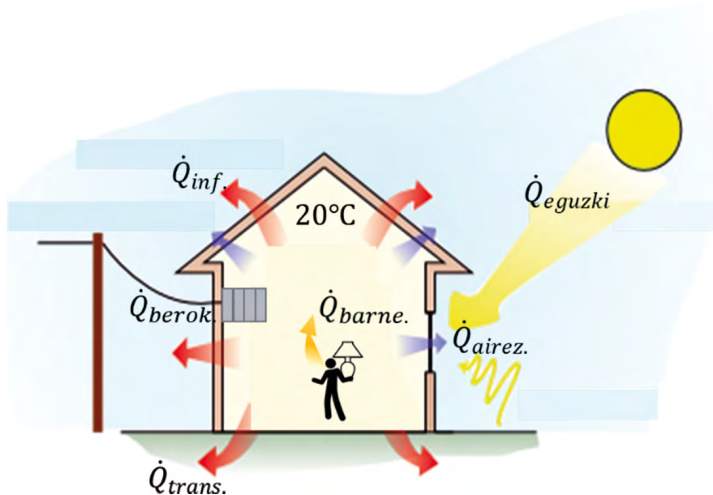
Lanaren helburua da berokuntza-kontsumoarekiko «C» motako energia-kalifikaziodun bizitegi eraikin bat modelatzea, gerora instalazio termiko zentralizatua optimizatzeko. Kalifikazioa aldezturik ezaguna da eraikin publiko bati dagokiolako, eta hobekuntzak energia berriztagarrietan oinarritutako teknologiak integratzean dautza, energia-kontsumoa murrizteko neurriak hartuz, sistemaren energia-efizientzia areagotzeko. Testuinguru horretan funtsezkoa da eraikinaren berokuntza-eskari zehatza deskribatzea ( $\dot{Q}_{berok}$ ), zeren bero-galeren ( $\dot{Q}_{gal.}$ ) eta irabazien ( $\dot{Q}_{irab}$ ) arteko oreka konplexuen menpe dago. Alde batetik, berokuntza-garaian, bero-galerak eraikinaren inguratzailearen eraikuntza-ezaugarrien ondorio dira, beroa transmisio bidez galtzen baita ( $\dot{Q}_{trans.}$ ), bai eta aireztapen-baldintzen ( $\dot{Q}_{airez.}$ ) eta aire-infiltrazioen ( $\dot{Q}_{inf.}$ ) ondorioz ere. Bestalde, irabaziak eguzki-irradiazioak ( $\dot{Q}_{eguzki}$ ) eta pertsonen ( $\dot{Q}_{perts.}$ ), ekipo elektrikoek ( $\dot{Q}_{equip}$ ) eta argiztapenaren ( $\dot{Q}_{argiz.}$ ), barne-irabazien ( $\dot{Q}_{barne}$ ) arabera dira, 2. irudiak erakutsi bezala.

Labur eta sinple esanda, berokuntza-eskariaren potentzia ( $\dot{Q}_{berok}$ ) honela defini daiteke [15]:

$$\dot{Q}_{berok} = \dot{Q}_{gal.} - \dot{Q}_{irab.} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{gal.} = \dot{Q}_{trans.} + \dot{Q}_{airez.} + \dot{Q}_{inf.} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{irab.} = \dot{Q}_{eguzki.} + \dot{Q}_{barne} = \dot{Q}_{eguzki.} + \dot{Q}_{perts.} + \dot{Q}_{equip} + \dot{Q}_{argiz.} \quad (3)$$



**2. irudia.** Energia-balantzea erakusten duena.

Lan honetako ikerketa-kasuan ez da ezagutzen galeren eta irabazien zenbateko zehatzik. Eraikinaren inguratzaileraren osoaren (sabaia, lurra, hormak eta leihoak) bero-transferentziaren koefiziente globala ( $U_{TOT}$ , eta eraikinaren kokapen geografikoa eta orientazioa ezagutzen dira soilik. Batetik,  $U_{TOT}$ ,  $\dot{Q}_{trans}$ , zehazteko erabiltzen da, eta, bestetik, eraikinaren geometria estimatzen da, kokapen geografikoarekin eta orientazioarekin batera  $\dot{Q}_{eguzki}$  zehazteko. Hortaz, erronka nagusia eraikinaren energia-portaera simulatzeko eredu termiko zehatza definitzea da, gainerako  $\dot{Q}_{airez}$ ,  $\dot{Q}_{inf}$ , eta  $\dot{Q}_{barne}$  balioak estimatuz. Horretarako, Trnsys softwarearen bidez sentsibilitate-azterketa dinamikoa egin da, hau da, aldagaien balioak parametrizatu eta aldatu dira, bero-galeretan eta -irabazietan eragiten duten aldagai kritikoak doitzeko eta aurreikusitako energia-erreserba C energia-kalifikaziodun eraikin batekin bat egiteko [16], helburua lortu arte elkar elikatzen duten fase hauen bidez:

- TrnBuild interfazeaz, eraikinaren kokapen geografikoa eta eraikinaren inguratzaileraren osatzen duten kanpo-horma bakoitzaren orientazioak definitzen dira  $\dot{Q}_{eguzki}$  zehazteko. Gero, eraikinaren inguratzaileraren termikoa modelatzen da, leihoak barne,  $\dot{Q}_{trans}$ . Zehaztuz, eta  $\dot{Q}_{airez}$ ,  $\dot{Q}_{inf}$ , eta  $\dot{Q}_{barne}$  aldagaiak parametrizatzen dira.
- Simulation Studio interfazeaz eraikina tokiko klimaren menpe jartzen da, eta urtebetez simulatzen da, orduz orduko energia-datuak lortuz. Horrela, eraikinean energia-balantzea aplikatuz  $\dot{Q}_{berok}$ , energia-erreserba kalkulatu da, eta instalazioen etekina gaineratuz energia-kontsumoa.

- Eraikinen  $C_{ep,men}$  energia-kontsumoaren emaitzak  $C$  klasedun eraikin baten energia-kontsumoarekin alderatu, eta, dagozkion balioekin bat ez badatoz,  $\dot{Q}_{airez}$ ,  $\dot{Q}_{inf}$  eta  $\dot{Q}_{barne}$  aldagaiak doitzen dira, berriz ere prozesua hasteko.

Eraikinen modeloa doitu ondoren energia-etiketarekin alderatzen da. Modu horretan, aldagaien inpaktua ebaluatzeaz gain, ereduaren parametroak optimizatzen dira, simulazio ahalik eta errealistena lortzeko eta eraikinen operazio-baldintzak bateragarri egiteko.

### 3. IKERKETA-KASUA

Ikerketa-kasuko eraikina Bizkaiko Gernika-Lumoko 30 etxebizitzadun eraikin bati dagokio, aurrerantzean «Gernika-30» izendatuko dena.

#### 3.1. Eraikina modelatzeko alde aurreko hipotesiak

Espainiako eta Europar Batasuneko energia-ziurtagirien testuinguruan,  $C$  etiketadun bizitegi-eraikinek energia-efizientzia moderatua dute, eta tarteko errendimendua adierazten dute eraikuntza-parametroei, isolamenduari, klimatizazio-sistemei eta erabiltzaileen portaerari dagokienez. Besteak beste, honelako hipotesiak egin dira eraikinen energia-eskaria modelatzeko:

- $\dot{Q}_{trans}$  bero-galerei dagokienez,  $C$  etiketadun eraikinen inguratzaile termikoak mugak izan ohi ditu isolamenduan. Fatxadek isolamenduzko material estandarrak izaten dituzte, hala nola poliestireno hedatua edo lodiera txikiko artile minerala, galera termiko esanguratsuak. Era berean, egitura-loturetan (zutabeak, habeak, etab.) eta ate eta leihoen irekiduretan zubi termikoak egon daitezke, energia-galera gehigarriak.
- $\dot{Q}_{eguzki}$  irabaziaz leihoeetatik lortzen dira gehienbat. Horiek,  $C$  eraikin bateko bikoitzak izan arren, ez dute emisibitate txikiko estaldurarik, eta horrek neguan bero-galerak eta udan kontrolatu gabeko eguzki-irabaziaz areagotzen ditu.
- $\dot{Q}_{airez}$  aireztapenari dagokionez, eraikin horiek aireztapen naturala dute gehienbat, aire-berrikuntzan asko eragin gabe, bereziki okupazio handiko eraikinetan. Aireztapen mekanikoa erabiltzen denean, ez da beroa berreskuratzeko sistemarik egoten, baizik eta energia-kontsumo gehigarria.
- $\dot{Q}_{inf}$  kanpo-aireko infiltrazioaren emaria aldatu egiten da eraikuntzaren antzinasunaren, zigilatze-tekniken eta higiezinako mantentze-lanen arabera.  $C$  etiketadun Bizkaiko eraikin baten infiltrazioen

aireberritzea orduko (ingelesezik «*air change per hour*» *ACH*) 0,3-0,7 1/h artean egon daiteke. *ACH*k etxebizitzako barneko aire-bolumena ordubetez kanpoko aire freskoak zenbat aldiz ordezkatzten duen adierazten du. Adibidez, 1 *ACH* balioak esan nahi du aire-bolumena erabat ordezkatzten dela orduero.

- $\dot{Q}_{barne}$  irabaziak erabiltzaileen ordutegien eta profilen arabera dira, eta baita etxeko tresna elektrikoen erabileraren arabera ere, eta azken hori izaten da, hain zuzen, aldagairik zailenatarikoa aurreikusten. Bestalde, nahiz eta argiztatzeko energia-kontsumo baxuko bonbillen erabilera geroz eta hedatuago egon, bonbilla halogenoak edo fluoreszenteak erabiliz gero energia-kontsumo globala handitzen da.

Esan bezala, energia-ziurtagiriak energia-kontsumoaren arabera sailkatzen ditu eraikinak (1)  $C_{ep,men}$  energia primario ez-berriztagarriaren kontsumoa eta (2)  $E_{CO_2}$   $CO_2$  isuriak kontuan hartuta. Beraz, energia-kontsumoa denez energia-eskaria eta instalazio-errendimenduaren arteko ratioa, ezinbestekoa da berokuntzako, hozteko eta UBSko sistemak analizatzea. Gainera, kontuan hartu behar da  $C$  eraikin bati dagozkion mugak gaur egun, C1 zona klimatiko batean dagoen eraikin bizigarri batentzat, [17]-ren arabera  $C_{ep,men} \in (26 - 46,9)$  [kWh/m<sup>2</sup> · urte] eta  $E_{CO_2} \in (6,20 - 10,50)$  [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> · urte] direla.

- Berokuntza- eta hozte-sistemei dagokienez, errendimendu txikiko teknologiak egon ohi dira  $C$  etiketadun eraikinetan, hala nola gas bidezko berokuntza edo erradiadore konbentzionalak, kontrol-sistema aurreraturik gabeak. Azpiegitura mota horrek energia-eskaria kudeatzeko zailtasunak dauzka eta kontsumoa handitzen du. Era berean, hozte-sistemak aire egokitu konbentzionallean oinarritzen dira oro har, eta, beraz, uda-garaian energia-kargak nabarmen handitzen dira.
- Azkenik, UBS sistemak iturri ez-berriztagarriekin elikatzen dira normalean, hala nola gasarekin edo elektrizitatearekin.

Hipotesi horiek guztiak aintzat hartu eta TrnBuild eta Simulation Studio interfazeetan barneratu dira eraikina modelatzean, datu ezagunak gehituz: (1) eraikinaren orientazioa eta tokiko klimaren ezaugarriak eta (2) U inguratzaileren bero-transferentziako koefiziente globalak (ikus laburpen-grafikoa irudia).

### 3.2. Datu ezagunak

Aipatutako datu ezagunak  $\dot{Q}_{eguzki}$  eta  $\dot{Q}_{trans.}$  modelatzeko erabiltzen dira.

### 3.2.1. Orientazioa eta tokiko klima $\dot{Q}_{eguzki}$ modelatzeko

Gernika-30 eraikinaren oinplanoaren geometria eta dimentsioak Google Earth tresnarekin aztertu eta lortu dira. 3. irudiak eraikinaren oinplanoa eta fatxada nagusia ekialderantz orientatuta daudela erakusten du. Oinplanoaren geometria U formakoa da, eta azalera estimatua 815 m<sup>2</sup>. Ondoren eraikinaren kanpo-hormen, teilatuaren eta zoruaren modelatu arkitetkoniko sinplifikatua egin da: eraikinaren oinplano baliokidea osatzen duen laukizuzenaren alboak 20 m eta 40,75 m luze direla estimatu da. Eraikina beheko solairuak eta beste 4 solairuk osatzen dute, eraikinaren altuera 13 m da, eta 69 m<sup>2</sup>-ko 30 etxebizitza daude. Gainera, (0,6 × 2) m<sup>2</sup>-ko 60 leiho ditu: 10 leiho iparreko eta hegoaldeko fatxadetan, eta 20 leiho ekialdeko eta mendebaldeko fatxadetan.

Trnsyse eguzki-erradiazioa,  $I_{eguzki}$  [W/m<sup>2</sup>], bere osagai zuzenean eta difusioan bereizten ditu; eta gainazal garden eta opakuen eguzki-erradiazio zuzenaren frakzioa kalkulatzen du. Alde batetik, definitzen dira eraikinaren inguratzailearen gainazal opakuen eta leihoen markoen eguzki-xurgapena ( $\alpha_s$ ), azalera opakuen itzal-faktorea ( $F_S$ ) eta leihoen markoen murrizketa-faktorea ( $F_F$ ). Horrela,  $A_{eguzki, \alpha_s}$  gainazal opakuen  $\dot{Q}_{eguzki, \alpha_s}$  eguzki-irabazia:

$$\dot{Q}_{eguzki, \alpha_s} = I_{eguzki} \cdot \alpha_s \cdot A_{eguzki, \alpha_s} \cdot F_S \quad (4)$$

Bestetik,  $A_{eguzki, leiho}$  leihoen gainazaleko  $\dot{Q}_{eguzki, leiho}$  eguzki-irabazia:

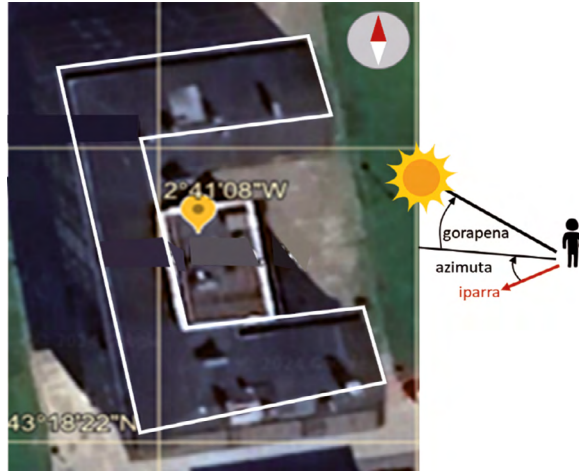
$$\dot{Q}_{eguzki, leiho} = I_{eguzki} \cdot A_{eguzki, leiho} \cdot F_S \cdot F_F \cdot g \quad (5)$$

Non  $g$  gainazalaren transmisio-koefizientea (eguzki-faktorea) den.

Beraz, eguzkitik datorren  $\dot{Q}_{eguzki}$  irabazia, labur azalduz,  $j$  orientazioa duten  $n$   $A_{eguzki, nj}$  azalera-hartzaile baliokidetatik igarotzen den  $I_{eguzki, j}$  eguzki-irradientzien gehiketa ponderatua da:

$$\dot{Q}_{eguzki} = \sum_j \dot{Q}_{eguzki, j} = \sum_j I_{eguzki, j} \sum_j A_{eguzki, nj} \quad (6)$$

Horrela, eraikinaren fatxadaren orientazioa TrnBuild-en definitu da, eta eguzkiarekiko angelu azimuthala eta gorapena zehaztu dira, beirazko azalera bakoitza definituz batera. Ondoren, Simulation Studio interfazean eraikina tokiko klimaren menpe jarri da, Meteonorm datu-baseak elikatuta [18, 19, 20] lanetan egin bezala. Hala, eraikineko orientazio bakoitzean eguzki-irradiazioaren eragina simulatzen da.



**3. irudia.** Gernika-30 eraikinaren argazkia.

### 3.2.2. Ingurutzailerearen ezaugarriak $\dot{Q}_{trans}$ modelatzeko

$\dot{Q}_{trans}$  bero-galerak eraikinaren ingurutzailerearen arabera daude. Labur eta sinpleki definituta,  $i$  geruzaren transmisio-galerak ( $\dot{Q}_{trans,i}^i$ ) geruza horren barne- ( $T_{in,i}$ ) eta kanpo-tenperaturen ( $T_{out,i}$ ) arteko aldearekiko proportzionalak dira, eta baita  $A_i$  gainazalaren bero-transferentziaren koefizientearrekiko ( $U_i$ ) proportzionalak ere [17]:

$$\dot{Q}_{trans,i}^i = U_i A_i \cdot (T_{in,i} - T_{out,i}) = \frac{1}{R_i} \cdot (T_{in,i} - T_{out,i}) \quad (6)$$

Non  $U_i A_i$ -ren alderantzizkoari  $R_i$   $i$  geruzaren erresistentzia termikoa deritzon, eta geruzaren  $e_i$  lodieraren,  $k_i$  konduktibitatearen eta azaleraren arabera den

$$\left( R_i = \frac{e_i}{k_i \cdot A_i} \right)$$

Esan bezala, ez dira eraikinaren fatxada-geruzen osaera zehatzak eza-gutzen (alegia,  $R_f$  balio zehatzak ezezagunak dira); bai, ordea, hormen, zoruaren, sabaiairen eta leihoen bero-transferentziako koefiziente globalak; hau da,

$$(UA)_{TOT} = \frac{1}{\sum R_i}$$

Beraz,  $A_{f,f}$  fatxada-azalera bakoitzetik (1. taularen ezkerre) eraikinen barnealdetik kanpoaldera transmisio bidez galtzen den beroa hau da:

$$\dot{Q}_{trans_{TOT}}^f = (UA)_{TOT_f} \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (7)$$

Horregatik eta aurreko hipotesiak aintzat hartuz, TrnBuilden gainazal bakoitzaren i geruzak definitu dira, eta geruza bakoitzaren azalera, lodiera eta konduktibitatea kontuan hartuz fatxada bakoitzaren guztizko  $U_{TOT_f}$  balio baliokidea lortu da, ikus 1. taularen eskuina.

**1. taula.** Gainazalen propietate fisiko-termikoak eta fatxadaren orientazio nagusia eta azalera.

| Fatxada  | Orientazio nagusia | Azalera m <sup>2</sup> |
|----------|--------------------|------------------------|
| Horma    | Iparra             | 260                    |
| Leihoa   | Iparra             | 12                     |
| Horma    | Hegoa              | 260                    |
| Leihoa   | Hegoa              | 12                     |
| Horma    | Ekialdea           | 530                    |
| Leihoa   | Ekialdea           | 24                     |
| Horma    | Mendebaldea        | 530                    |
| Leihoa   | Mendebaldea        | 24                     |
| Lurra    | Horizontala        | 815                    |
| Estalkia | Horizontala        | 815                    |

|          | Gainazala                                | Lodiera cm | Konduk-tibitatea kJ/(hm·K) | $U_{TOT_f}$ W/(m <sup>2</sup> ·K) |
|----------|------------------------------------------|------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Hormak   | Zeramikazko adreilu zulatua              | 15,0       | 2,74                       | 0,27                              |
|          | Poliestireno hedatuzko isolamendua (XPS) | 4,0        | 0,13                       |                                   |
|          | Artile minerala                          | 5,0        | 0,11                       |                                   |
|          | Barne-igeltsua                           | 2,0        | 1,08                       |                                   |
| Lurzorua | Zeramikazko zoladura                     | 1,5        | 3,13                       | 0,80                              |
|          | XPS isolamendua                          | 3,0        | 0,13                       |                                   |
|          | Masa-hormigoizko oinarria                | 10,0       | 1,98                       |                                   |
| Estalkia | Buztinezko teilak                        | 2,0        | 3,60                       | 0,53                              |
|          | XPS isolamendua                          | 4,0        | 0,13                       |                                   |
|          | Zurezko egitura eramailea, aglomeratua   | 9,0        | 0,65                       |                                   |
|          | Barne-igeltsua                           | 2,0        | 1,08                       |                                   |
| Lei.     | Leiho bikoitza                           | —          | —                          | 1,10                              |

### 3.3. Aldagaien parametrizazioa

Batetik, okupazioak, argiztapenak eta ekipamenduak bero-ekarpenak ( $\dot{Q}_{barne}$ ) [21] sortzen dituzte:

$$\dot{Q}_{Barne} = \dot{Q}_{perts.} + \dot{Q}_{argiz.} + \dot{Q}_{ek.} \quad (8)$$

Horiek estimatzeko EKTko [4] barne-karga eta ordutegia hartu da kontuan, eta horren arabera kalkulatu dira barne-kargak, ikus 2. taula.

**2. taula.** Berokuntza eta barne-irabazien ordutegiak.

|                             | Bizitegi-erabilera pribatuko espazio egokitueterako operazio-baldintzak |            |             |             |             |             |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                             | Ordutegia (ereduzko astea)                                              |            |             |             |             |             |
|                             | 0:00-7:00                                                               | 7:00-15:00 | 15:00-18:00 | 18:00-19:00 | 19:00-23:00 | 23:00-00:00 |
| Okupazioa                   | Barne-karga (W/m <sup>2</sup> )                                         |            |             |             |             |             |
| Lanegunak                   | 3,51                                                                    | 0,88       | 1,76        | 1,76        | 1,76        | 3,51        |
| Aste-bukaerako egunak       | 3,51                                                                    | 3,51       | 3,51        | 3,51        | 3,51        | 3,51        |
| Argiztapena + ekipamendua   |                                                                         |            |             |             |             |             |
| Lanegunak eta aste-bukaerak | 0,88                                                                    | 2,64       | 2,64        | 4,40        | 8,80        | 4,40        |

Bestetik, aireztapena ( $\dot{Q}_{airez.}$ ) naturalizat hartu da eta leihoen irekiek eragiten duen orduko aireberritzea parametrizatu da, eta batez beste  $ACH_{airez.} = 0,17$  1/h dela estimatu da. Infiltrazio-galerei ( $\dot{Q}_{inf.}$ ) dagokienez,  $ACH_{inf.} = 0,63$  1/h-ko aireberritze konstantea onartu da [22]. Hori sinplifikazio praktiko bat da, errealitatean  $ACH_{inf.}$  balioa aldatzen baitoa kanpo-faktore askoren eta eraikinaren dinamikaren arabera (haizea, kanpo-tenperatura, presio atmosferikoa eta eraikinaren estankotasuna, esaterako). Beraz, azterketa zehatzagoa eta errealistagoa egiteko hobe da  $\dot{Q}_{inf.}$  modu aldakorrean modelatzea, metodo dinamikoekin. Dena den, hasierako hurbilketa gisa eta infiltrazioen eragina kontuan hartzeko, balio konstantetzat hartzea erabaki da, gainerako aldagaien eragina hobeto interpretatzeko.

Beraz, aurrez aipatu bezala,  $\dot{Q}_{trans.}$  eta  $\dot{Q}_{eguzki}$  modelatu dira,  $\dot{Q}_{inf.}$  konstantetzat hartu da eta  $\dot{Q}_{airez.}$  eta  $\dot{Q}_{barne.}$  aldagaiak parametrizatu dira. Gainera,  $\dot{Q}_{berok}$  eskaria kalkulatzeko, EKTk [4] ezarritako ereduzko ordutegia eta egutegia gaineratu dira: urritik maiatzera, 07:00etatik 23:00etara, 20 °C-ko kontsignarekin eta 23:00etik 07:00etara 17 °C-ko kontsignarekin.

### 3.4. Ur Bero Sanitarioa

Trnbuild tresna eraginkorra da eraikin batean berokuntza-eskari dinamikoa simulatzeko, energia- eta masa-balantzeen bidez. Azaldu bezala, interfaze horrek fatxaden galera eta irabazi termikoak modelatzen ditu, tenperaturaren aldaketak, eguzki-erradiazioa eta eraikinaren energia-beharren faktoreak kontuan hartuta. Garrantzitsua da aipatzea Trnbuiden konfigurazio lehenetsiak ez duela UBSaren eskaria barne hartzen; izan ere, horrek ez du berokuntza-eskariaren ekuazioan eragiten. UBSaren eskariak instalazioaren guztizko energia-kontsumoan eragiten badu ere, ereduaren sartzek ez du zuzenean aldatzen  $\dot{Q}_{berok}$ , berokuntza-eskaria, eraikinaren eta ingurua- ren arteko bero-trukeen mende baitago soilik.

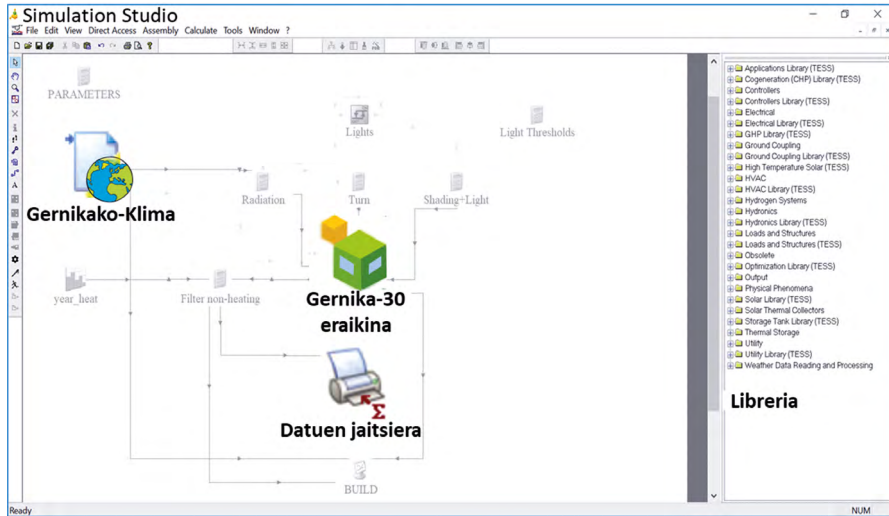
Hala ere, garrantzitsua da azpimarratzea UBS eskariak energia-etiketaren kalifikazioan eragiten duela. Kalifikazioa energia-kontsumo osoan oinarritzen da, eta, beraz, UBSaren eskari handiagoak energia-kontsumo globala areagotu lezake, UBS ekoizteko instalazioaren arabera, eta horrek eragin negatiboa izango luke etiketa energetikoan, nahiz eta berokuntza- ren eskari espezifikoak ez aldatu. Beraz, Trnbuidetako berokuntza-simulazioak UBSaren eskaria kontuan hartzen ez badu ere, garrantzitsua da eskari hori kontuan hartzea eraikinaren guztizko energia-errendimendua ebaluatzean.

Bestalde, UBSaren eskaria Eraikintzaren Kode Teknikoak arautzen du, eta bizitegi-erabilera pribatuaren arabera balio orientagarriak ezartzen ditu. Erabilera pribatuko etxebizitzaren kasuan, EKTk eguneko 28 litroko kontsumo zenbatesten du pertsonako. Horrela, UBSaren kontsumoa proportzionala izango da, bai balio horrekiko, bai eskari hori hornitzen duen sistemaren errendimenduarekiko.

### 3.5. Simulation Studio-n urteko simulazio dinamikoa

Simulation Studio interfazean Gernika-30 eraikina tokiko klimaren menpe jarri da, ikus 4. irudia, eta urtebetez simulatu da, 0,125 orduko denbora-tartea erabiliz, eta orduz orduko energia-eskaria kanpo artxibo batera deskargatu da.

Aurrez aipatu bezala, eraikinaren  $C_{ep,nren}$  energia-kontsumoa eta  $E_{CO_2}$  isuriak kalkulatzeko % 90eko errendimenduko gas bidezko berokuntza-sistema zentralizatua hartu da kontuan.



4. irudia. Gernika-30 eraikina Simulation Studion.

#### 4. EMAITZAK

Modeloaren doiketa eta modeloaren energia-jarrera dinamikoa erakusten dira atal honetan.

##### 4.1. Modeloaren doiketa

Esan bezala, modeloa  $\dot{Q}_{airez.}$  eta  $\dot{Q}_{barne.}$  doitu dira, eta  $\dot{Q}_{inf.}$  galeraren kalkuluan 0,63 l/h aireberritze konstantea onartu da. Hurrengo 3. taulan doiketarako balio esanguratsu batzuk erakusten dira oinarritzko 6 saiakeretan zehar, zeinek aldagai bakoitzak duen pisua aurreikusteko balio baitute.  $\dot{Q}_{barne.}$  balioak asteko egunen eta ordutegiaren arabera modelatu dira [4].

- 1. saiakeran, eraikin hutsa modelatu da  $\dot{Q}_{barne.}$  kontuan hartu gabe, alegia, barne-irabazirik eta aireztapen-galerarik gabe; soilik infiltrazio- eta transmisio-galerekin eta baita eguzki-irabaziekin ere.
- 2. saiakeran  $\dot{Q}_{barne.}$  balioak estimatzeko 2. taula erabili da.
- 3. saiakeran  $\dot{Q}_{airez.}$  gehitu da,  $\dot{Q}_{barne.}$  balioak mantenduz.
- 4. saiakeran,  $\dot{Q}_{airez.}$  galeren balio gehigarria kontsideratu da soilik, barne-irabazirik gabe.
- 5. saiakeran barne-irabazien  $\dot{Q}_{perts.}$  soilik hartu da aintzat.
- 6. saiakeran  $\dot{Q}_{ekip.+argiz.}$  soilik hartu da kontuan.

### 3. taula. Modeloa doitzeko saiakeren laburpena

| Parametroak                            | Modeloa doitzeko saiakera batzuk |          |          |      |                                       |                                             |
|----------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                        | 1                                | 2        | 3        | 4    | 5                                     | 6                                           |
| $ACH_{inf.}$ (1/h)                     | 0,63                             | 0,63     | 0,63     | 0,63 | 0,63                                  | 0,63                                        |
| $ACH_{airez.}$ (1/h)                   | 0,00                             | 0,00     | 0,17     | 0,17 | 0,17                                  | 0,17                                        |
| $\dot{Q}_{barne.}$ (W/m <sup>2</sup> ) | 0,00                             | 2. taula | 2. taula | 0,00 | 2. taula (soilik $\dot{Q}_{perts.}$ ) | 2. taula (soilik $\dot{Q}_{ekip.+argiz.}$ ) |

Ostera egindako saiakera guztiak oinarritzko sei saiakera horien emaitzak kontuan hartuz egin dira.

4. taulan, emaitza nagusiak jasotzen dira, eta urteko bero-galerak eta -irabaziak erakusten dira. Ezagunak diren  $\dot{Q}_{trans.}$  eta  $\dot{Q}_{eguzk.}$  kontuan hartuz, eraikinaren urteko  $\dot{Q}_{berok.}$  energia-eskaria kalkulatu da.

Azaldu bezala, energia-kalifikazioa lortzeko energia primario ez-beharriztagarriaren kontsumo adierazlea ( $C_{ep,nren}$  [kWh/m<sup>2</sup> · urte]) kalkulatu behar da. Horretarako, energia-eskaritik energia-kontsumoa kalkulatu behar da etxebizitzaren instalazio termikoa kontuan hartuz; lan honetan % 90ko errendimenduko gas bidezko berokuntza-sistema zentralizatua hartu da kontuan.

Hortik energia primarioa kalkulatzeko koefizienteak (pauso-faktoreak) behar dira. Energia primarioa jatorrizko energia da, transformazioak edo bihurketak jasan aurretik, hala nola erregai fosiletan dagoen energia edo energia-plantetan sortutako energia. Koefiziente horiek [23] funtsezkoak dira energia-iturrien energia-efizientzia ebaluatzeko, eta energia-kontsumoaren ingurumen-inpaktua kalkulatzeko erabiltzen dira, erabilitako energia primarioari dagokionez. Bestalde eta era analogo batean, CO<sub>2</sub> isuriak ( $E_{CO_2}$ , [kg/m<sup>2</sup> · urte]) kalkulatzeko faktoreak ere badaude, energia-iturri jakin batetik kontsumitutako energia-unitate bakoitzeko zenbat karbono dioxido (CO<sub>2</sub>) isurtzen den adierazten duten balioak, hala nola gas naturala, elektrizitatea, gasolioa eta abar. Faktore horiei esker, energia-kontsumoaren karbono-aztarna ebalua daiteke. Gas naturalari dagokionez,

$$f_{ep,nren} = 1,19 \frac{kWh_{nren}}{kWh_{final}} \quad \text{eta} \quad f_{CO_2,ep,nren} = 0,252 \frac{kgCO_2}{kWh_{final}}$$

adierazleak daude.

Horrela, urteko energia-kontsumoa zein  $C_{ep,nren}$  eta  $E_{CO_2}$  kalkulatu dira dagozkien etiketekin. 4. taulak balio numerikoak jasotzen ditu, eta 5. irudian eraikinaren  $C_{ep,nren}$  erakusten da, modeloaren saiakeren eta lortutako etiketen arabera.

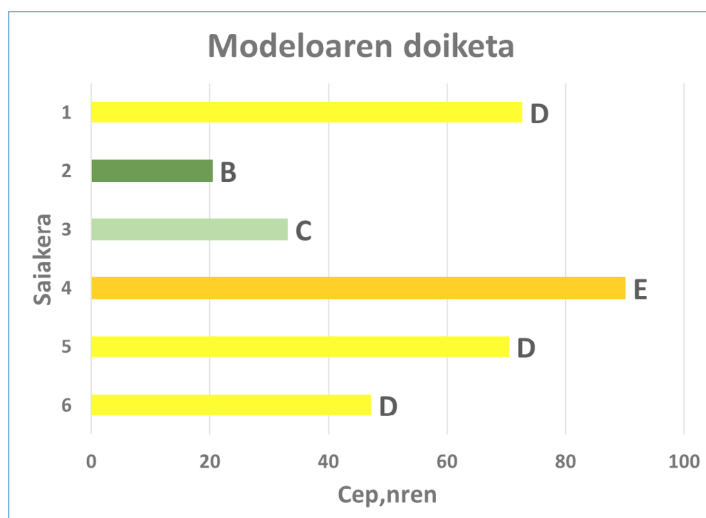
**4. taula.** Saiakeren emaitzak

| Emaitzak                                  |              |              |              |              |              |              |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Saiakera                                  | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            |
| $\dot{Q}_{inf.} + \dot{Q}_{airez.}$ (kWh) | -102.996     | -133.553     | -156.204     | -130.220     | -134.033     | -145.620     |
| $\dot{Q}_{barne.}$<br>(kWh)               | 0            | 328.245      | 328.245      | 0            | 95.218       | 0            |
|                                           |              |              |              |              | 0            | 233.027      |
| $\dot{Q}_{eguzki.}$ (kWh)                 | 8.568        | 8.568        | 8.568        | 8.568        | 8.568        | 8.568        |
| $\dot{Q}_{trans.}$ (kWh)                  | -18.955      | -234.988     | -232.203     | -18.837      | -79.632      | -169.575     |
| $\dot{Q}_{berok.}$<br>En.-eskaria (kWh)   | 113.383      | 31.728       | 51.594       | 140.490      | 109.879      | 73.601       |
| $\dot{Q}_{berok.}$<br>En.-kontsumoa (kWh) | 125.981      | 35.253       | 57.326       | 156.100      | 122.087      | 81.779       |
| $C_{ep,nren}$ (kWh/m <sup>2</sup> )       | <b>72,69</b> | <b>20,34</b> | <b>33,08</b> | <b>90,07</b> | <b>70,44</b> | <b>39,65</b> |
| $E_{CO_2}$ (kg/m <sup>2</sup> · urte)     | <b>15,39</b> | <b>4,31</b>  | <b>7,00</b>  | <b>19,07</b> | <b>14,92</b> | <b>9,99</b>  |

Emaitzei dagokienez, orobat:

- 1. eta 2. saiakerak alderatzean  $\dot{Q}_{barne.}$  irabaziaren eragina ikus daiteke, zeinek energia-kontsumoa -% 72 murrizten duen.
- Bestalde, batetik,  $\dot{Q}_{airez.}$  galeren eragin soila 1. eta 4. saiakerak konparatzean azter daiteke, zeinek energia-kontsumoa +% 24 igotzen duen. Bestetik,  $\dot{Q}_{airez.}$  galeren eta  $\dot{Q}_{barne.}$  irabazien konbinazioaren eragin ez-lineala 2. eta 3. saiakerak alderatzean azter daiteke, +% 63ko kontsumo-igoerarekin.
- 3. saiakera oinarritzat hartuz,  $\dot{Q}_{perts.}$  irabaziak energia-kontsumoa -% 22 murrizten du, eta  $\dot{Q}_{ekip.+argizt.}$  irabaziak, aldiz, -% 48.

Alderaketa horietatik abiatuz 3. saiakera hartu da eredugarritzat (berokuntza-eskariarekiko  $C$  etiketadun baliokideduna) eta modeloa horren arabera guztiz doitu da. Gogoratu behar da UBSaren kontsumoak eragindako energia ez-berriztagarriaren kontsumoa eta CO<sub>2</sub> isuriak gehitu behar zaizkiola.

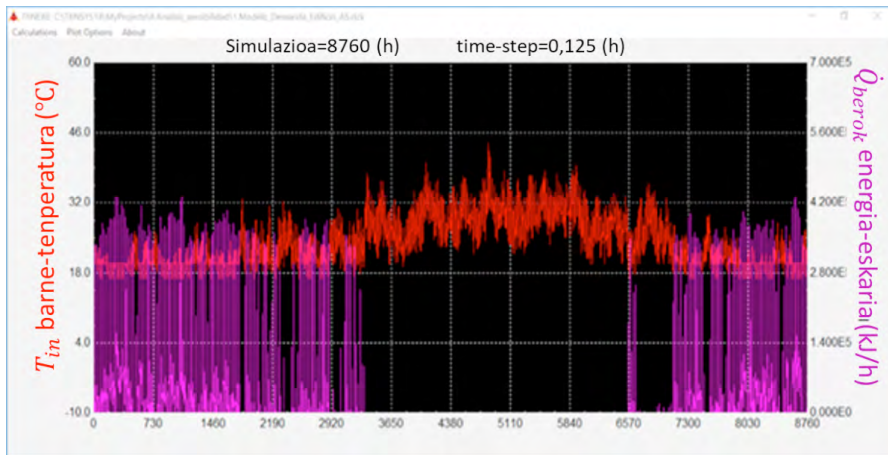


**5. irudia.** Modeloaren doiketa eta lortutako etiketa.

#### 4.2. Modeloaren energia-jarrera dinamikoa

Trnsys tresnaren abantaila, CE3X bezalako software sinplifikatuagoe-kin alderatuta, kalkulu dinamikoak eta analisi sakonagoak egiteko gaitasuna da. Ezaugarri horri esker, modeloaren energia-jarrera zehatzago eba-lua daiteke urtean zehar. Horregatik, ezinbestekotzat jotzen da grafiko dinamikoak aztertzea, Gernika-30 eraikinaren energia-aldaketak modu adierazgarrian islatzeko. Izatez, simulazioak datu anitz lortzeko aukera ematen du, hala nola bero-galera edo -irabazi bakoitzari dagozkion aldiu-neko balioak [kW], edo fatxadako geruzen tarteko tenperaturak [°C], bai eta klima-baldintzak edo beste hainbat parametro garrantzitsu ere.

Adibide gisa, 3. saiakeraren emaitza dinamikoak aurkezten dira 6. iru-dian, energia-eskaria (morez) eta eraikinaren barne-tenperatura (gorriz) sei-nalatz.



**6. irudia.** C etiketadun modeloaren energia-eskariak eta barne-temperatura urtean zehar.

Irudian agerian dago  $\dot{Q}_{berok}$  berokuntza-eskaria [kJ/h] urritik maitzera dagoela soilik ordutegiaren arabera 20 °C-ko edo 17 °C-ko kontsignarekin. Esan bezala, datu dinamikoen arabera energia-efizientzia bultzatzeko estrategiak ezar daitezke, energia-kontsumoa optimizatzeko eta eraikinaren iraunkortasuna sustatzeko.

## 5. ONDORIOAK

Hiriko aztarna ekologikoa zuzenean lotzen da eraikinen energia-kontsumoarekin eta horrek eraikuntza-sektorean energia-efizientzia hobetzeko premia nabarmentzen du. Beraz, ingurumen eta erronka ekonomikoetara aurrerako konponbideak behar dira, energia-eskari gero eta handiagoaren eta erregaien prezio gorabeheratsuen egoera dela-eta. Energia-ziurtagiriak eraikinen efizientzia kalifikatzen du A-tik G-rako eskala baten bidez, eta energia primario ez-berriztagarriaren kontsumoa eta CO<sub>2</sub> isuriak ebaluatzen ditu nagusiki. Simulazio aurreratuko tresnek, hala nola Trnsys softwareak, eraikinen energia-errendimendua optimizatzeko aukera ematen dute, haien geometriaren, sistema termikoen eta energia berriztagarrien integrazioaren azterketa xehatuaren bidez.

Lan honetan C energia-kalifikaziodun Gernika-30 izeneko eraikina modelatu da, ondoren instalazio termiko zentralizatua optimizatzeko. C etiketadun eraikinen efizientzia moderatua dela onartzen da, hala nola, isolamenduan eta eguzki-irabaziak kontrolatzeko mugak dituztela eta berokuntza-sistema konbentzionala dutela. Eraikinaren  $\dot{Q}_{berok}$  eskari termikoa

bero-galeren eta -irabazien arteko oreka batek zehazten duenez, erronka nagusia da aldagai horiek doitasunez modelatzea, eskura dagoen informazio mugatua baliatuz, zehazki geometria, orientazioa eta bero-transferentziaren koefiziente globala. Horretarako Trnsys softwarea erabiltzen da, eta analisi dinamiko bat egiten da  $\dot{Q}_{airez.}$  aireztapen eta  $\dot{Q}_{inf.}$  infiltrazio bidezko galerak eta  $\dot{Q}_{barne.}$  barne-irabaziak doitzeko. Modeloaren okupazioaren, ekipoen eta argiztapenaren barne-kargak EKTren arabera parametrizatzen dira, urritik maiatzera bitarteko berokuntza-egutegi bat ezarriz. Prozesuan zehar eraikina TrnBuild-en modelatzen da, Simulation Studio-n urtebetez 0,125 orduko denbora-tartearekin simulatu, eta saiakera bakoitzean energia-etiketaren balioa lortzen da.

Doikuntza-prozesua oinarritzko sei etapetako emaitzetan oinarritzen da, bakoitza energia-alderdi espezifiko batekin lotuz (barne-irabaziak, aireztapena, etab.). Hasierako saiakerak eraikina hutsik modelatzen du, eta gero barne-irabaziak gaineratzen zaizkio. Ondoren, aireztapen-galerak gehitu, eta okupazio-, ekipoz zein argiztapen-irabaziak desglosatzen dira. Ondorioz, oinarritzko saiakuntzen emaitzek erakusten dute bero-galeren eta -irabazien eragina energia-kontsumoan: orobat, barne-irabaziek kontsumoa % 72 murrizten dute, eta aireztapen-galerek, berriz, %24 igo. Emaitza horietan oinarrituz, 3. saiakuntza (C etiketarekin) erreferentzia gisa hartzen da amaierako eredua doitzeko.

Lortutako emaitzak eta Trnsysen garatutako eredu dinamikoa eraikinararen energia-birgaitzerako funtsezko diagnosi-tresna gisa erabil daitezke, eredu horren bidez zehaztasunez identifika daitezkeelako energia-efizientziari eragiten dioten eremuak, hala nola infiltrazioak eta aireztapena. Eraikinararen energia-kalifikazioa hobetzeko, adibidez, irtenbide pasiboak inplementa daitezke, esaterako, inguratzaile termikoa hobetzea, infiltrazioak zuzentzea, baoak zigilatzea eta leihoetako eta ateetako isolamendua hobetzea. Bestalde, modeloak irtenbide aktiboak erabiltzea iradokitzen du, adibidez, aireztapen behartuko sistema bat instalatzea, ahal dela energia-iturri berriztagarri elikatua, aireztapen naturala ordeztzeko. Esku-hartze horiek, energia-eskaera optimizatzeaz gain, haien eragina denboran zehar ebaluatzeko aukera ematen dute, jasangarritasuna lortzeko eta energia aurrezteko birgaitze-prozesu eraginkor bat gidatuz.

Bestalde, Trnsys, kalkulu dinamikoak egiteko gaitasunagatik, funtsezko tresnatzat hartzen da etorkizunean kontrolerako eta energia-birgaitzerako estrategiak ezartzeko, kontsumoa optimizatuz eta eraikinararen iraunkortasuna sustatuz.

## ESKER ONAK

Esker ona agertu nahi zaie Mikel Garro-Aguilar-en tesia finantzatzeko duen UPV/EHUri eta Eusko Jaurlaritzako Eraikinen Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiko kideei.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] C. MADUTA, D. D'AGOSTINO, S. TSEMEKIDI-TZEIRANAKI, L. CASTELLAZZI, G. MELICA, eta P. BERTOLDI, «Towards climate neutrality within the European Union: Assessment of the Energy Performance of Buildings Directive implementation in Member States», *Energy and Buildings*, vol. 301. 2023. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113716
- [2] DIRECTIVA (UE) 2024/1275 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios [online]. Eskura: <https://www.boe.es/doue/2024/1275/L00001-00068.pdf>
- [3] DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO [online]. Eskura: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=celex:32012L0027>
- [4] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE), <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>
- [5] 390/2021 ERREGE DEKRETUA [online]. Eskura: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-9176#dd>
- [6] EUSKO JAURLARITZA, 254/2020 Dekretua [online]. Eskura: <https://www.euskadi.eus/bopv2/datos/2020/11/2004947a.pdf>
- [7] EUSKO JAURLARITZA, 4/2019 Legea, otsailaren 21ekoa, Euskal Autonomia Erkidegoko Jasangarritasun Energetikoari buruzkoa, Abenduak 31, 2021.
- [8] EUSKO JAURLARITZA, Decreto 80/2014, de 20 de mayo, de modificación del Decreto por el que se regula la Inspección Técnica de Edificios en la Comunidad Autónoma del País Vasco [online]. Eskura: <https://www.euskadi.eus/eli/es-pv/d/2014/05/20/80/dof/spa/html/web01-a2zesosa/es/>
- [9] EUSKO JAURLARITZA, 25/2019 Dekretua [online]. Eskura: <https://www.euskadi.eus/bopv2/datos/2019/03/1901272a.pdf>
- [10] EUSKO JAURLARITZA, Orden de 16 de marzo de 2015, de la Consejera de Desarrollo Económico y Competitividad, por la que se regula el control y el registro de los Certificados de Eficiencia Energética [online]. Eskura: <https://www.euskadi.eus/orden/orden-de-16-de-marzo-de-2015-de-la-consejera-de-desarrollo-economico-y-competitividad-por-la-que-se-regula-el-control-y-el-registro-de-los-certificados-de-eficiencia-energetica/web01-a2libzer/es/>
- [11] C. BELTRÁN-VELAMAZÁN, M. MONZÓN-CHAVARRÍAS, eta B. LÓPEZ-MESA, «A new approach for national-scale Building Energy Models based on Energy Performance Certificates in European countries: The case of Spain», *Helijon*, vol. 10, no. 3. 2024. doi: 10.1016/j.helijon.2024.e25473

- [12] A. BEAULAC, T. LALONDE, D. HAILLOT, eta D. MONFET, «Energy modeling, calibration, and validation of a small-scale greenhouse using TRNSYS», *Applied Thermal Engineering*, vol. 248. 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.123195
- [13] RASHAD, M., ŽABNIENSKA-GÓRA, A., NORMAN, L., eta JOUHARA, H. (2022). «Analysis of energy demand in a residential building using TRNSYS». *Energy*, 254, 124357. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124357>
- [14] SAIFI, N., BELATRACHE, D., GHEDAMSI, R., MESSAOUDI, D., DOKKAR, B., RAHMOUNI, S., eta SETTOU, N. (2025). «Modeling energy consumption of the residential sector in Algeria in the long term». *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 10(3), 1563-1584. <https://doi.org/10.1007/s41207-024-00709-7>
- [15] SALA-LIZARRAGA ETA PICALLO-PEREZ, *Exergy Analysis and Thermoconomics of Buildings: Design and Analysis for Sustainable Energy Systems*. Butterworth-Heinemann, 2019.
- [16] GOBIERNO DE ESPAÑA, *Escala de calificación energética para edificios existentes*. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011ko maiatza [online]. Eskura: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11261\\_EscalaCalifEnerg\\_EdifExistentes\\_2011\\_accesible\\_c762988d.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11261_EscalaCalifEnerg_EdifExistentes_2011_accesible_c762988d.pdf)
- [17] MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO, *Calificación de la eficiencia energética de los edificios*, 2015 [online]. Eskura: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/documentos-reconocidos/normativamodelosutilizacion/20151123-Calificacion-eficiencia-energetica-edificios.pdf>
- [18] VILLANUEVA CÁRDENAS, L., eta VILLATORO FLORES, H. (2023). «Estimation of the Photovoltaic Potential on Rooftops in the City of San Pedro Sula, Cortés, Honduras». *E3S Web of Conferences*, 379, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337903001>
- [19] MEDJELDI, Z., KIRATI, A., DECHAICHA, A., eta ALKAMA, D. (2023). «Parametric design of a residential building system through solar energy potential: The case of Guelma, Algeria». *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(4), 042012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/4/042012>
- [20] ARIEF, Y. Z., ABUT, A. L. A., MUBARAKAH, N., SIREGAR, Y., ETERUDDIN, H., eta MASDI, H. (2023). «Simulation Investigation of Solar PV Rooftop Design at Faculty of Engineering-Universiti Malaysia Sarawak Building», Malaysia. 2023 7th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM), 144-149. <https://doi.org/10.1109/ELTICOM61905.2023.10443211>
- [21] R. VILLAR BURKE, M. SORRIBES GIL, D. JIMÉNEZ GONZÁLEZ eta J. SOBALER RODRÍGUEZ, «Guía de aplicación DB HE 2019», *Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana* [online]. Eskura: [https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/Guia\\_aplicacion\\_DBHE2019.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/Guia_aplicacion_DBHE2019.pdf)

- [22] MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA, «CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética Resolución conjunta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana», 2020 [online]. Eskura: [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/documentos-reconocidos/normativamodelosutilizacion/1-Condicioness\\_tecnicas\\_procedimientos\\_para\\_evaluacion\\_eficiencia\\_energetica.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/documentos-reconocidos/normativamodelosutilizacion/1-Condicioness_tecnicas_procedimientos_para_evaluacion_eficiencia_energetica.pdf)
- [23] GOBIERNO DE ESPAÑA, «Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA», 2014ko uztaila [online]. Eskura: [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/RITE/documentosreconocidosrite/Otros%20documentos/Factores\\_emision\\_CO2.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/RITE/documentosreconocidosrite/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf)