



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Termoekonomia eta Adimen
Artifiziala batzeko metodoa,
eraikinen instalazio termikoetan
klima-aldaketaren ondorioak
kalkulatzeko**

*Irati Prol Godoy, Ana Picallo Perez,
José María Sala Lizarraga eta
Javier Rey Martínez*

71-83 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.10>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Termoekonomia eta Adimen Artifiziala batzeko metodoa, eraikinen instalazio termikoetan klima-aldaketaren ondorioak kalkulatzeko

Irati Prol-Godoy¹, Ana Picallo-Perez¹, José María Sala-Lizarraga¹, Javier Rey-Martínez²

¹*ENEDI ikerketa taldea, Ingeniaritza Energetikoko Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU); Pza. ingeniero Torres Quevedo, S/N, 48013 Bilbo, Espainia*

²*Grupo de Investigación Termotecnia de la Universidad de Valladolid, C/Plaza de Santa Cruz, 8, 47002 Valladolid, España*

irati.prol@ehu.eus

Laburpena

Eraikinen energia-kontsumo handiak, berotegi efektuko gasen isuriak, eta klima-aldaketaren tenperatura-igoera kontuan hartuta, beharrezkoa da eraikinen sistema termikoen funtzionamendua aztertzea eta hobetzea. Horregatik metodologia bat garatu da, Termoekonomia eta Adimen Artifizialeko metodoak nahastuz, klima-aldaketak eragindako eraikinen sistema termikoen kostu aldaketak iragartzeko.

Hitz gakoak: Sistema termikoak, Eraikinak, Termoekonomia, Adimen artifiziala, Klima-aldaketa

Abstract

The high energy consumption and greenhouse gas emissions of buildings, coupled with an imminent increase in global surface temperature due to climate change, makes evident the need to predict the performance of building thermal systems in the near future. Thus, this paper develops and describes an innovative methodology to generate a predictive model of the variables and cost of building thermal systems by mixing Thermoeconomics and Artificial Intelligence methods.

Keywords: Thermal-system, Buildings, Thermoeconomics, Artificial Intelligence, Climate change

1. Sarrera eta motibazioa

Eraikinetan kontsumitzen da Europar Batasuneko (EB) energiaren kontsumo totalaren %40-a eta energiarekin lotutako berotegi-efektuko gasen %36-a isurtzen dira. Horregatik, beharrezko neurriak hartu behar dira energia-kontsumoa murrizteko eta energia-eraginkortasuna sustatzeko EBan, eta batez ere, berotegi-efektuko gasen emisioak murrizteko (Vicepresidencia Tercera del Gobierno. Ministerio para la transformación ecológica y el reto demográfico).

Bestalde, klima-aldaketa dela-eta, planetaren gainazaleko tenperaturak gorantz doaz etengabe. Batez besteko tenperatura globala 0,76°C igo da azken 100 urteekin alderatuz (El cambio climático.) eta, gainera, bataz besteko berotze globala 2,2°C-takoa izango dela aurreikusten da 2100erako, 3,6°C-takoa 2200erako eta 4,6°C-takoa 2500erako, eta horrek ondorioak ekarriko ditu (Lyon et al., 2022). Azken finean, eraikinek konfort termikoa eta behar energetikoak asetu behar dituzte, kanpo baldintzen eta erabiltzaileen profilen arabera.

Ereduen portaera iragartzea giltzarria da eraikinen sistemak hobetzeko eta haien mantenua optimizatzeko. Gainera, horrek, ekipoen funtzionamendu adimentsua bermatzen du eta makinaren higadura goiztiarra hautemateko erabil daiteke. Iragartzeko erduekin (1) prozesuen erregimen onenak eta maiztasunak finka daitezke, (2) gehiegizko energia kontsumoa hauteman eta (3) baita funtzionamendu txarra ere hauteman daiteke.

Honegatik denegatik, sistemen kudeaketa egokia egitea gakoa da eta, energia aurrezteko, sistemen funtzionamendua eta haien produktuen etorkizuneko kostua aurreikusi behar da, besteak beste. Horrela, ekintzak burutu ahal izango dira, alde batetik, klima-baldintzen beharren arabera moldatzeko eta, beste alde batetik, berotegi-efektuko gas isurketen tenperaturen igoera geldiarazteko. Horrela, mantenu ekintzak dira eraikinen sistema termikoen funtzionamendu egokia eta haien energia efizientzia bermatzeko gako bat.

Horregatik, lan honen helburua da eraikinen funtzionamendua eta kostua aurreikustea metodologia berritzaile batekin, instalazioak mantentzeko. Metodologia honek Termoeconomia eta datuetan oinarritutako Adimen Artifizialeko metodoak konbinatzen ditu.

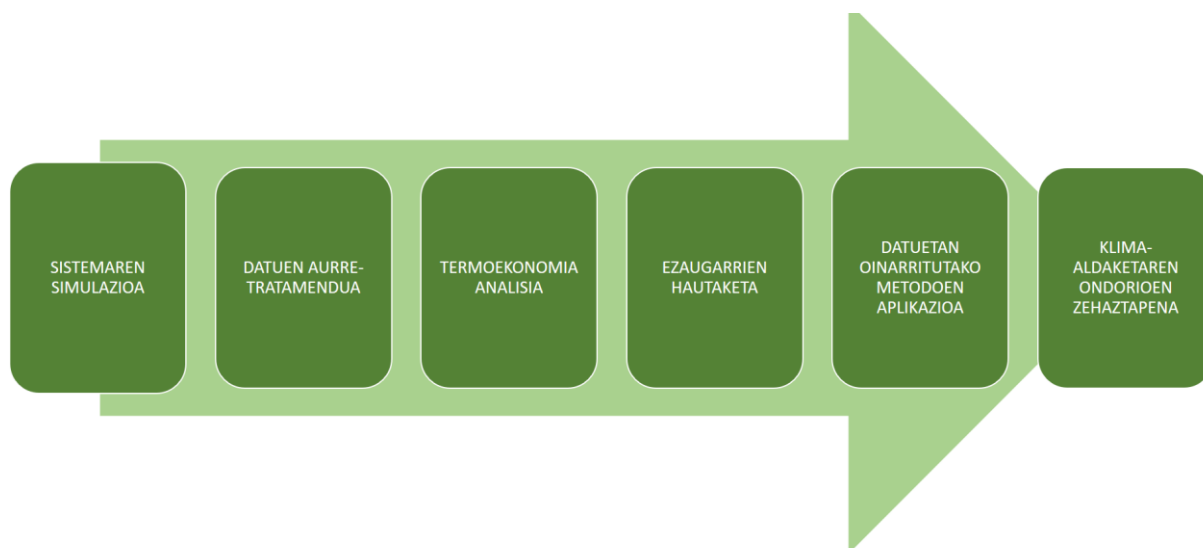
- Alde batetik, Termoekonomiak batzen ditu Termodinamika eta Ekonomia, termodinamikaren lehen eta bigarren printzipioan oinarrituz. Termoekonomiarekin esleitzen zaizkio instalazioaren fluxuei kostuak, eta horrela, sistema termikoaren energia-kateko kostu handieneko puntuak identifikatzen dira.
- Bestalde, Adimen Artifizialeko datuetan oinarritutako metodoek, datu historikoetatik ikasten dute (Wilhelm et al., 2021). Metodo hauek oso erabilgarriak dira monitorizatuta dauden eraikinen sistema termikoetan, dagoen datu kopuru handiagatik eta haien funtzionamendu dinamikoagatik.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Lan honen helburua da metodologia bat laburki deskribatzea, zeinek aldagai termodinamikoaren aldaketa eta eraikinen sistema termikoaren kostu/kontsumoaren igoera aurreikusten baititu, klima-aldaketa dela-eta. Metodologiaren lehenengo hurbilketa egiten da sistema termikoaren simulazioetatik jasotako datuetatik, ondoren, sistematika hau, sistema termiko errealeko sentsoreen datuetara estrapolatzeko. Horretarako 1. irudiko urratsak emango dira:

- Sistema simulatu → Datuak aurre-tratatu → Termoeconomia analisia egin → Ezaugarriak hautatu → Datuetan oinarritutako metodoak aplikatu → Klima-aldaketaren ondorioak zehaztu

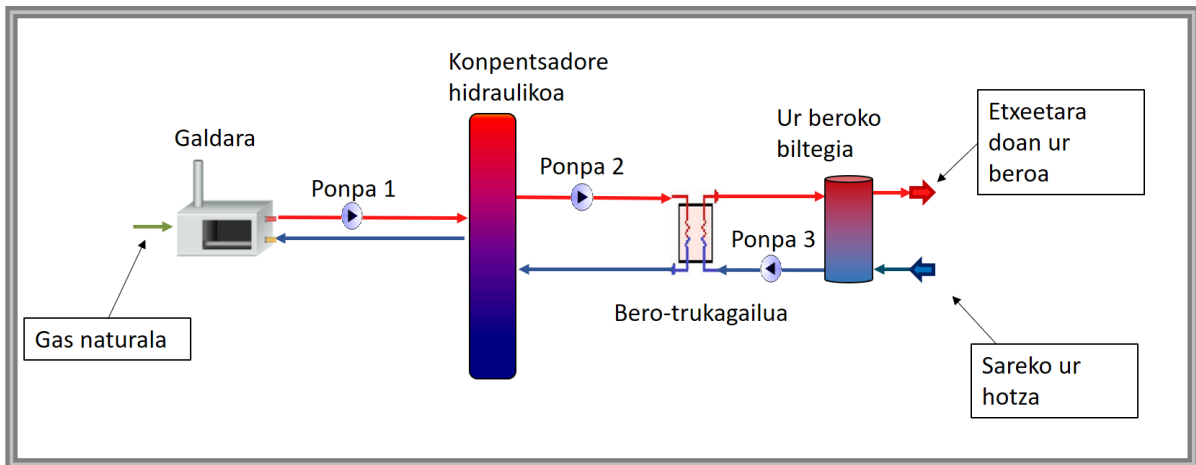
Irudia 1. Metodologian eman beharreko pausoak



3. Ikerketaren muina

Metodologia hobeto ulertzeko, 2. irudiko sistema termikoa erabiltzen da eredu gisa. Instalazio sinple bat da eta familia bakarreko etxebizitza baten UBSaren (ur bero sanitario) beharrak asetzen ditu, kondentsazio galdararen gas naturaleko kontsumotik abiatuz.

Irudia 2. Instalazioren eskema



Instalazioak ekipoa hauek ditu:

- Sorkuntza: Gas naturaleko 24 [kW]-ko galdara.
- Banaketa: Ponpa hidraulikoak, 50 [l]-tako konpentsadore hidraulikoa eta bero-trukagailua.
- Biltegitratzea: UBSko 1000 [l]-tako tankea.

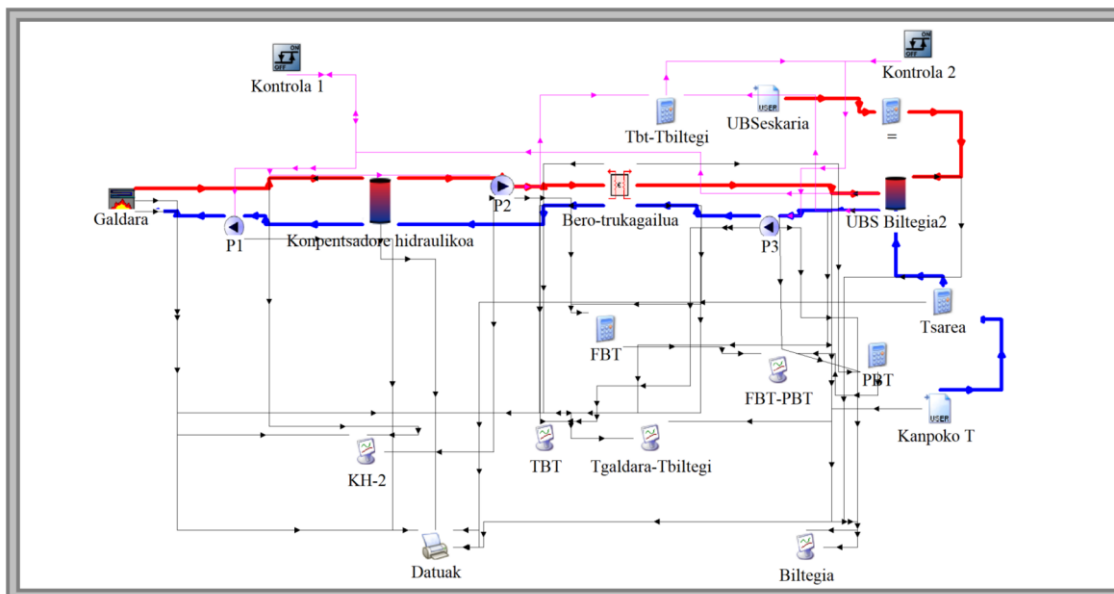
3.1 Datuak lortu sistemaren simulazioaren bidez

Esan bezala, sistemaren eredu termoekonomiko bat egin ahal izateko, ezagutu behar dira denboran zehar fluxuen aldagai termodinamikoak, zeintzuk kanpo tenperaturarekin erlazio naturik baitaude. Horregatik, eta lehenengo hurbilketa moduan, sistema TRNSYS softwarean simulatzen da. TRNSYS, eraikinen sistema termiko iragankorrak simulatzeko software ingurunea da eta erabat malgua da (Welcome | TRNSYS: Transient system simulation tool.). Laburbilduz, TRNSYSek bi atal ditu:

- Lehenengoa nukleo deritzon motorra da: instalazioaren sarrera fitxategiak irakurri eta prozesatu dituzte (klimateko datuak, kontsumo-profilak, etab.), sistema iteratiboki ebazten du, konbergentzia zehazten du eta sistemaren aldagaiak marrazten ditu. Nukleoak ere, beste gauza batzuen artean, propietate termofisikoak zehaztu, matrizeak alderantzizkatu, erregresio linealak egin eta kanpo datuen fitxategiak interpolatzen ditu.
 - Monitorizatutako instalazio erreal baten kasurako, datu horiek zuzenean instalazioko sentsoreetatik jasoko lirateke.
- TRNSYSaren bigarren atala, *type* deituriko liburutegi zabal batek osatzen du, eta *type* bakoitzak sistemaren atal baten errendimendua modelatzen du. Modeloak oso erabilgarriak dira erabiltzaileek alde aurretik dauden osagaiak aldatu ditzaketelako, edo euren osagaiak diseinatu.
 - Liburutegi honekin sistemaren osagaiak banan-banan karakterizatzen dira, hau da, sorkuntza-, banaketa- eta eskari-ekipoak, bai eta hauen aktibazio eta desaktibazioa kontrolatzen dituzten ekipoak hautatzen dira.

3. irudian adibideko sistema simulatzeko erabili den Simulation Studio-ko interfazea ageri da.

Irudia 3. Adibideko instalazioaren TRNSYSeko simulazioa



Hauek dira instalazioa eraikitzeko eman beharreko pausuak:

- 1) Ekipo bakoitzari egokien dagokion *type*-a aukeratzen da eta bere ezaugarri fisiko eta termodinamikoaren arabera konfiguratu da.
- 2) Kanpo sarrerak ezartzen dira, UBS eskaria eta sareko ur hotzaren tenperatura, adibidez.
- 3) Kontrola konfiguratu da funtzionamendu moduak ezartzeko. Zehazki:
 - UBS biltegia 60,5°C-tik behera dagoenean galdara pizten da eta, ordea, tankea 62°C-tik gora dagoenean gelditzen da.
 - UBS ekoizten hasten da – hau da, bigarren mailako zirkuituko bomba pizten da – bero-trukagailuaren primarioko sarrera-tenperatura 5°C handiagoa bada tankearen tenperaturarekiko, eta bukatzen da 2°C baino handiagoa denean.
- 4) Simulazio dinamikoen aldagaiak konfiguratu dira, “*denbora une*”a edo simulazioaren hasiera eta bukaera, esaterako.
 - Instalazio erreal batean datu hauek jarraian eskuratzen dira kontrol eta sentore sistemaren konfigurazioaren arabera.
- 5) Datuak grafiko baten bidez ikustarazten dira, kontrolaren egokitzapena eta funtzionamendu moduak egiaztatzeko.
- 6) Aldagai dinamikoen datuak Excel fitxategi batera erazten dira, ondorengo azterketa burutzeko.

3.2 Datuen aurre-prozesaketa

Jasotako datuetatik “datu-base gordina” deritzon DDBB bat lortzen da tenperaturekin, emariekin eta kontsumoen datu dinamikoekin, eta datu horiek landu behar dira fluxu bakoitzaren energiak kalkulatzeko. Aldagai hauek, sistemako sentoreetatik lor daitezkeen horiek dira. Horrela, aurre-tratamendu urrats honetan, garbiketa, integrazioa, eta transformazioa bezalako ekintzak burutzen dira (Mirnaghi y Haghghat, 2020):

- Integrazioak datuen erredundantzia saihesten du eta datuen arteko denbora une zehatza aldatzeko ere erabiltzen da, adibidez datuak minutuz minutu jaso izan badira, 5 minutuko tartera alda/pondera daitezke.

- Transformazioak datuak normalizatzen ditu, eskalatu eta garrantziaren arabera haztatzen ditu.
- Azkenik, murrizketa operazioa erabiltzen da datuen dimentsioa murrizteko. Horrela, aldagaien arteko erlazioak/interakzioak bilatuko dira, aldagai batzuk besteen mende adieraziz eta nahi diren aldagaiak hautatuz.

Aurreko datu-landuekin, Termodinamikaren Lehen eta Bigarren Printzipioan oinarrituta, ekipo nagusien sarrerako eta irteerako energia-fluxuak kalkulatu dira, eta baita ere instalazioaren portaera dinamiko zehazten da. Horrela jasotzen da osagaien arteko interkonexioen ikuspuntu globala eta “energia datu-basea” lortzen da. Honi esker, energia-errendimenduak edo kontsumo unitarioak bezalako barne-adierazleak lortzen dira, eta une bakoitzeko funtzionamendu-aktibo modua ezagutu.

3.3 Termoeconomia analisia

Termoeconomia analisia Termodinamikaren Lehen eta Bigarren Printzipioan oinarritzen da eta kanpo-tenperaturak eragindako kostuen igoera edo jaitsiera kuantifikatzeko erabiltzen da. Esan bezala, sistemen dinamismoan eta sistemaren kanpo baldintzekiko eta erabiltzaileekiko mendekotasunean datza zailtasuna. Horretaz gain, sistemako osagaiak (galdara, hoditeria, bero trukagailuak, etab.) elkarrekin konektatuta daude eta horien elkarrekintzak kontuan hartu behar dira. Bestalde, eraikinen funtzionamendu-arazo asko orekatu egiten dira kontrolaren konpentsazio automatikoarekin, kostua eta energia-kontsumoa igotzen den arren. Horregatik, oso garrantzitsua da exergian oinarritzen den Termoekonomiako egitura produktiboan oinarritzea. Honek osagaien arteko interrelazioak ulertarazi eta modelatzen ditu. Informazio gehiagorako irakurri erreferentzia hau: (Sala-Lizarraga y Picallo-Perez, 2019). Horrela, Termoeconomia softwarea elikatze “exergia datu-basea” lortzen da. Exergia energiak daukan kalitatea adierazten duen aldagai termodinamikoa da.

Termoeconomia software (Picallo-Perez, Sala-Lizarraga, & Portillo-Valdes, 2022) hau ENEDI ikerketa taldearen (Enedi – ENEDI ikerketa taldea – UPV/EHU) ikerketetan garatu da eta instalazioak sistema generiko eta dinamiko bezala ikusten ditu. Sistema horretan osagaien arteko exergia erlazioak fuel eta produktu deritzen fluxuekin adierazten dira. Softwareak bitarteko fluxuen arteko efektuak kuantifikatzen eta hautatzen ditu, osagai bakoitzak produktu finalean (kasu honetan, UBS ekoizpena) eragindako pisua detektatuz. Horrela, pisu hauetan oinarrituz (funtzionamendu adierazleak, hain zuzen) kuantifikatzen da kanpo-tenperaturaren aldaketa baten arriskua/eragina, azkenengo produktuan eta beste osagaietan.

Termoeconomia analisia burutzeko urrats hauek jarraitu behar dira:

- 1) “Exergia datu-basea” kalkulatu: komentatu bezala, Termodinamikaren Bigarren Printzipioarekin beharrezko exergia aldagaiak kalkulatu dira.
- 2) Grafo-sistema batez bidez definitzen da egitura produktiboa: osagaiak kutxa grisak dira eta horiek elkar konektatzeko sarrerako fuelak eta irteerako produktuak definitzen dira.
- 3) Balio ekonomikoak definitu: kostu aldakor eta finakoak zehazten dira. Kostu aldakorrak instalazioaren ekoizpenaren eta bere kontsumo aldakorraren, bai eta erabiltzaileen eskariaren eta kanpo tenperaturaren menpe daude eta baliabide-izaeraren prezioarekiko proportzionalak dira. Kostu finakoak instalazioaren operazio, mantenu eta amortizazio kostuekin erlazionatzen dira.
- 4) Termoeconomia balioen kalkulua: Termoekonomiaren oinarri matematikoak ezartzen dira eta fluxu bakoitzaren kostu unitarioak eta UBS-ko kostu totala kalkulatu dira, besteak beste.

3.4 Ezaugarrien hautaketa

Termoekonomia softwarea exekutatu ondoren eta ondorio egokiak lortu aurretik, hurrengo urratsa Termoekonomia emaitzen artean hobeezinak diren ezaugarrien azpimultzoa hautatzea da (Mirnaghi y Haghghat, 2020), hurrengoa lortuz:

- Alarma faltsu eta gehiegizko korrelazio kopuruak ekidin.
- Ereduaren gehiegizko doikuntzarako aukera murriztu.
- Ereduaren konplexutasuna murriztu.
- Zama konputazionala murriztu.

3.5 Datuetan oinarritutako metodoen aplikazioa

Ezaugarri baliagarriak hautatu ondoren, hurrengo urratsa klima-aldaketaren ondorioak kalkulatzeko metodoa garatzea da. Ikerketa honek alderatzen ditu klima-aldaketaren egoeraren (kanpo-tenperaturaren igoera) energia/exergia kontsumoak eta erreferentziazko (egungo tenperatura) kontsumoak. Modu honetan, klima-aldaketaren ondorioak adieraziko dira instalazioaren kontsumo globalaren aldaketarekin edo osagai bakoitzaren kontsumoen aldaketaren bitartez.

Horregatik, kanpo-tenperatura eta sistemako bitarteko kostuak estuki edo nasaiki erlazionatzen diren kuantifikatu behar da. Beraz, kostuak aukera hauen arabera modelatu behar dira:

- 1) Iragarriko den aldagai bakoitza (kanpo-tenperaturaren menpeko bitarteko kostuak) modu independentean modela daiteke, tenperatura datuetatik abiatuta.
- 2) Mailakatutako prozesu bat egin daiteke, zeinetan aldagaiak iragartzen doazen heinean, emaitza horiek erabiltzen baitira hurrengoak iragartzeko.
- 3) Aldi batean kalkula/iragarri daitezke aldagai guztiak.

Kanpo-tenperatura eta kostuak erlazionatzeko aurreko puntu hauek bi modutara ezarri daitezke:

- Momentuko unea iragartzeko aurreko uneko informazioa kontuan izanda. Hau RNN (*Recurrent Neural Network*) ereduarekin egin daiteke, zeintzuek datuen informazio sekuentziala identifikatzen eta ustiatzen baitute. Metodo hauek “memorian” gordetzen dute sekuentziaren ondoz ondoko osagaien informazioa. Logika hurrengo galdera erantzutean datza: “Esanguratsua al da aurreko unetako informazioa oraingo unean gertatuko dena iragartzeko?” Erantzuna baiezkoa bada, denborazko serieen kasuan bezala, orduan eredu informazio hori detektatzen eta aldagaiak aurreikusteko erabiltzen saiatuko da.
- Denbora uneko bakoitza behaketa independente gisa hartuta (hau da, denbora mendekotasuna alde batera utzita). Horrela, laginen arteko aldi baterako edozein mendekotasun-harreman hausten da. Kasu honetan, beste eredu sinpleago batzuk erabil daitezke eredu iragarle eraginkor moduan, hala nola *multi-layer perceptron*.

3.6 Klima-aldaketaren ondorioak zehaztu

Datuetan oinarritutako erabileratik abiatuta eta Termoekonomia kontzeptuak erabiliz, klima-aldaketaren ondorioak zehaztuko dira kanpo-tenperatura aldaketetan oinarrituz. Zoritzarrez, momentu honetan ez dago emaitzarik, metodologia lantzen baikaude.

4. Ondorioak

Laburbilduz, artikulu honek metodologia baten urratsak zehazten ditu kanpo-tenperaturaren aldaketaren eraginak kuantifikatzeko eraikinen sistema termikoetan kostu/kontsumoan.

Horretarako, Adimen Artifizialean eta Termoekonomian oinarritzen da iragartze eredu bat garatzeko. Eredu hau aplikagarria izango da mantenurako estrategiak zehazteko, berotegi-efektuko gasen isurketak eta baliabideen kontsumoa murrizteko.

Gainera, eraikinen sistema termikoetan Termoekonomia eta Adimen Artifizialeko metodoak batzea erabat justifikagarria da, instalazioak oso dinamikoak direlako eta egitura produktiboaren bidez instalazioa osotasunean konfiguratu daitekeelako. Alde batetik, Termoekonomiak fluxuen eta sistemaren kostuak kalkulatzeko modu global eta zehatzean irrebertsibilitateetan oinarritu z; eta bestalde, Adimen Artifiziala eraikinen sistema termikoen datu baseekin lan egiteko gai da.

5. Etorkizunerako norabidea

Alde batetik, esan bezala, metodologia hau eraikien sistema termiko errealean mantenu ekintzak eta estrategiak definitzeko lehenengo hurbilketa da. Horregatik, metodologiaren algoritmoa zehaztu ondoren, instalazio experimental baten ezarri eta balidatuko da.

Beste alde batetik, Termoekonomia eta Adimen Artifizialaren arteko batasun honek beste erabilera batzuen atak irekitzen ditu, adibidez, mantenu lanetarako akatsak iragartzeko tresnen eraketa.

6. Erreferentziak

El cambio climático. Retrieved from <https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico>

Enedi - ENEDI ikerketa taldea - UPV/EHU. Retrieved from <https://www.ehu.es/eu/web/enedi/eneditaldea>

Lyon, C., Saupe, E. E., Smith, C. J., Hill, D. J., Beckerman, A. P., Stringer, L. C., Aze, T. T. (2022). Climate change research and action must look beyond 2100 Wiley. doi:10.1111/gcb.15871

Mirnaghi, M. S., & Haghghat, F. (2020). Fault detection and diagnosis of large-scale HVAC systems in buildings using data-driven methods: A comprehensive review. *Energy and Buildings*, 229, 110492. doi:10.1016/j.enbuild.2020.110492

Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., & Portillo-Valdes, L. (2022). Development of a tool based on thermoeconomics for control and diagnosis building thermal facilities. *Energy (Oxford)*, 239, 122304. doi:10.1016/j.energy.2021.122304

Sala-Lizarraga, J. M., & Picallo Perez, A. (2019). *Exergy analysis and thermoeconomics of buildings*. San Diego: Elsevier Science & Technology. doi:10.1016/C2018-0-01196-2 Retrieved from [https://ebookcentral.proquest.com/lib/\[SITE_ID\]/detail.action?docID=5928206](https://ebookcentral.proquest.com/lib/[SITE_ID]/detail.action?docID=5928206)

Vicepresidencia Tercera del Gobierno. Ministerio para la transformación ecológica y el reto demográfico. Propuesta de directiva del parlamento europeo y del consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Retrieved from <https://energia.gob.es/es-es/participacion/paginas/detalleparticipacionpublica.aspx?k=500>

Welcome | TRNSYS: Transient system simulation tool. Retrieved from <https://www.trnsys.com/>

Wilhelm, Y., Reimann, P., Gauchel, W., & Mitschang, B. (2021). Overview on hybrid approaches to fault detection and diagnosis: Combining data-driven, physics-based and knowledge-based models. *Procedia CIRP*, 99, 278-283. doi:10.1016/j.procir.2021.03.041

7. Eskerrak eta oharrak

Egileak Misiones Euskampus 2.0 programari eskerrak eman nahi dizkio jasotako laguntzagatik, baita Eusko Jaurlaritzaren Eraikuntza Kalitatearen Kontroleko Laborategiari. Halaber, ISG ikerketa taldeko Roberto Santa Hermida eta Iñaki Inza Cano-ren ekarpenak eskertzen ditu.