



IKER  
GAZTE  
NAZIOARTEKO  
IKERKETA EUSKARAZ

### III. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2019ko maiatzaren 27, 28 eta 29  
Baiona, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:  
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

### INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Termoekonomia eraikinen sistema  
termikoetan**

*Ana Picallo-Perez eta  
José María Sala-Lizarraga*

11-17 or.  
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iii.03.01>



# Termoekonomia eraikinen sistema termikoetan

Picallo-Perez, Ana eta Sala-Lizarraga, José María

*ENEDI ikerketa taldea, Makina eta Motore Termikoen Saila,  
Bilboko Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea  
ana.picallo@ehu.eus*

## **Laburpena**

Gizarte jasangarri batean bizitzeko eraikinen energia-kontsumo handia ezinbestean murriztu behar da. Beraz, lan honetan exergia-analisia eta termoekonomia metodoak eraikinetan aplikatzen dira.

Exergia-metodoa oso erabilgarria da instalazioak, sistemak edota eraikin osoa diseinatzeko nahiz analizatzeko; exergiak ez duelako soilik energiaren kantitatea neurtzen, kalitatea ere neurtzen baitu. Exergia ekonomiarekin elkartzen bada termoekonomia tresna lortzen da zein sistemen azterketa sistematikoa eta optimizazioa egiten duen ekonomiaren ikuspegitik.

Aplikazio horiek eraikuntzen arloan ia ezezagunak dira; oso konplexua izateaz gain kontzeptu asko moldatu behar direlako. Lan honen jomuga, hain zuzen, eragozpen horiek gainditzea da.

Hitz gakoak: Eraikinen optimizazioa, exergia-suntsiketa, termoekonomia, energia-aurrezpena

## **Abstract**

*For a sustainable society, the high energy consumption in buildings must be reduced. Therefore, in this work, the exergy method and the thermoeconomic analysis are applied in buildings.*

*The exergy method is very useful for the design or analysis of facilities, systems or the entire building; exergy does not only measure the amount of energy, but also the quality. If exergy is combined with the economic analysis, Thermoeconomic science is created, which systematically examines and optimizes systems from an economic perspective.*

*These applications are almost unknown in the field of buildings, due to the complexity, the need of many concepts' adaptation, etc. The purpose of this work is to overcome these disadvantages.*

*Keywords: Optimization of buildings, exergy destruction, Thermoeconomics, energy savings*

## **1. Energia eta eraikinak: uneko egoera**

Egungo gizartearen bizitza-kalitatea eta ongizatea material- eta energia-kontsumo handiekin lotzen dira. Kontsumo horren zati handi bat hirugarren sektorean egiten da (egoitzetan eta zerbitzuetan) eta beste bat, garraio-sektorean. Bi talde horiek *sektore lausoa* eratzen dute eta horietan energia-kontsumoa mugatzeko beharrezko neurriak konplexuak dira.

Biztanleria hazten doalako eta ingurumen osasungarriak zein erosoak eskatzen direlako, eraikinen energia-kontsumoa nabari igo da azkenengo urteotan. Mundu mailan, eraikinek igortzen dute negutegi efektuko gasen heren bat eta hondakinen zein energia-kontsumoaren heren baten erantzule dira. Azken batean, eraikinek bizitza-ziklo osoan zehar energia behar dute, eraikuntzatik deuseztapenera. Energia zuzena eraikuntzan, operazioan, birgaitzean eta eraispenean erabiltzen da. Zeharkako energia, aldiz, etxebizitza eraikitzeke eta instalazioen materialak lortzeko behar da, (Sharma et al., 2011).

Hortaz, eraikinen kontsumoa murriztu behar da, batetik, energiaren beharra mugatzeko eta, bestetik, eraikuntza-sektorea hobetzeko.

### 1.1. Exergia eta eraikinak

Aurreko helburuak lortzeko, analisisetan *exergia* parametroa barneratu behar da, eraikinen azalean zein instalazioetan.

Energia forma anitzetan topa daiteke, besteak beste: elektrizitate, bero, lan, eta abarreko moduetan. Energia horiek beste batzuetan bihurtzen dira energia-galerarik gabe. Hori da, hain zuzen, *termodinamikaren lehen printzipioa* edo energiaren kontserbazioa. Halere, energia mota bat ezin da ehuneko ehunean beste era batean eraldatu, hots, unitateko etekinarekin. Esaterako, beroaren zati bat baino ezin da lanean bihurtu eta gainerakoa foku hotz batean lagatzen da (Carnot). Jakina denez, baieztapen horretan oinarritzen da *termodinamikaren bigarren printzipioa*, lehenengoak ez baitu bihurgarritasun gertaerarik jazotzen.

Horrela, energia formak beste motetan eraldatzeko gaitasunari energiaren *kalitatea* deritzo. Beraz, energiaren kantitate batek kalitate ezberdina du beste era batean bilakatzeko ahalmenaren arabera. Mota guztien artean *lana* hartzen da erreferentziazat eta, ondorioz, energiaren kalitatea lanean bihurtzeko gaitasuna da.

Idea hori *exergia* kontzeptuarekin adierazten da zeinek lanean bihurtzeko ahalmena adierazten baitu. Energia era batzuk guztiz eraldatzen dira lanean, elektrizitatea kasurako, orduan energia oro da *exergia*. Bestalde, beste batzuk, beroa adibidez, ezin dira osotasunean bihurtu eta zati bat baino ez da *exergia*. Orobat (eta funtsezko ideia da) energia kontserbatzen bada ere, *exergia* ez da kontserbatzen; alegia, prozesu edo talde guztien energia bihurketetan *exergia* suntsitu egiten da. Horrela, nahiz eta energia ezin den sortu ez deuseztatu, kalitatea txikituz doa. Kalitate-galera hori talde eta prozesuen perfektio faltarekin lotzen da eta termodinamikan *itzulezintasuna* deritzo.

Bada, energia-analisiaren oinarria lehen printzipioa da eta *exergia-azterketak*, ordea, bi printzipioetan du funtsa. Esanahi interesgarria duelako *exergiaren* metodologia bat dago zeinek prozesuak eta instalazioak aztertzen baititu. *Exergia-analisia* deritzo eta sistemak (eraikinak barne) diseinatzeko eta aztertzeko erabiltzen da.

Etxebizitzan eskariak kalitate maila ugari dauzka. Alde batetik, argiztapen eta etxeko tresnen energia elektrikoaren eskariak kalitate altua dauka; bestetik, beroa eta halako eskariak kalitate baxukoak dira. Lehenengoa asetzeko argindarra erabiltzen da eta bigarrena elikatzeke, ordea, gas naturala eta antzeko erregaiak. Bi iturriek daukate, halere, kalitate maila altua. Esan bezala, berotzeko edo hozteko energiek kalitate baxua daukate eta, hortaz, ez dago energia-iturriaren eta eskariaren arteko kalitateen egokitzapenik. Hori dela eta, *exergia-suntsiketa* handiak daude eta *exergia-galerak* (benetako galerak) energia-galerak baino askoz nabariagoak dira.

Arrazoi horiengatik, beroketa-sistema optimizatzeko hobe da *exergia* erabiltzea ohiko energia-balantzea baino. *Exergia-galerak* handiak badira, kalitate desegokiko energia erabili da eta, hortaz, beste sistema batzuk erabili behar dira. Eraikinek hobetzeko potentzial handia daukate, batez ere, energia-iturriaren eta eskariaren arteko lotura faltagatik. Orain arte kalitate baxuko demandak kalitate altuarekin asetu baitira.

## 1.2. Exergia eta termoeconomia

Ekonomia aldetik balioztatzeko kontzeptu garrantzitsua da baita ere exergia. Arkitektoen eta ingeniarien erronka sistema efizienteak egitea da, bai energia bai ekonomia bai ekologia ikuspegitik. Energia-narriatze mekanismoak ezagutzea funtsezkoa da horiek murrizteko eta euren eraginak baretzeko.

Instalazio baten ekoizpen-prozesua, esaterako berokuntza edo EUB, *ekonomiaren* ikuspegitik azter daiteke; horrela, baliabideen kostuak, taldeen inbertsioa, operazio- eta mantenu-kostuak, etab., kalkulatu dira baina, halere, ikuspuntu horrek ez ditu kostuak instalazioaren osagaietan banatzen. Bestalde, exergia-analisiak prozesu individualen etekina ebaluatzen du eta itzulezintasunak kokatzen eta zenbatesten ditu; dena den, ez du ekoizpen-prozesua ebaluatzen.

Exergia-analisia ekonomiarekin bateratzen bada sistemak optimizatzeko tresna ahaltsua lortzen da. Gainera, nahiz eta ezaugarri oso ezberdineko produktu-sistema konplexuak izan, ekonomia eta exergia-metodoa nahastuz produktu guztiei kostuak esleia dakieke, unitate fisikoetan zein monetarioetan. Zientzia berri hori *exergoekonomia* da (Tsatsaronis, 1987) eta, oro har, *termoeconomia* ere deitzen da.

Termodinamika ekonomiarekin lotzeko *exergia-suntsiketa* erabiltzen da, edota termino zabaletan, itzulezintasuna. Horrek energiaren erabilgarritasun-galera adierazten du, alegia, talde baten perfekzio maila. Prozesu erreal oro itzulezina denez, baliabide naturalak kontsumitu eta betirako galtzen dira. Horrek kostua dakar (baliabideek kostua dutelako) eta energia-unitateetan edo monetarioetan neur daiteke. Horregatik, prozesu bat zenbat eta itzulezinagoa izan orduan eta baliabide natural gehiago kontsumituko ditu eta, ondorioz, handiagoa izango da produktuaren kostua. Beraz, termoekonomiak fluxuen eta itzulezintasunen kostu monetarioak kalkulatu dituzenez, ohiko energia-analisiak baino informazio gehiago ematen du.

## 2. Termoeconomia eraikinetan. Ikerketaren helburuak eta muina

Nahiz eta interes nabarmena izan, termoekonomiaren aplikazioa eraikinetan oraindik ikerketa mailan dago eta eguneroko praktikan gutxi erabiltzen da. Etxebizitzan eta, batez ere, instalazio termikoen aplikazioa arestikoa da eta alderdi metodologiko ugari egokitu behar dira; hein batean, ikerketa honen helburua horiek ebaztea da. Egun, termoeconomia eta exergia kontzeptua ez da instalazioen diseinua, mantenua eta kudeaketa hobetzeko profesionalen artean hedatu. Dena den, exergiaren kontzeptuak eraikuntza arloan ezagutzen hasi dira eta gero eta ohikoagoa da kontsumo gutxiko etxebizitzak low-ex izendatzea (CosteXergy, 2011).

Eraikinen edo instalazio barruko fluxuen kostuak ezagutzeko eraketa prozesua aztertu behar da, lehen mailako baliabideetatik hasita bukaerako produktuetaraino. Lehenengo printzipioaren energia-analisiarekin ebatzi ezin bada ere (batez ere sistemak konplexuak badira), exergiak onura nabarmenak ditu, esaterako:

- Irizpide fisikoekin produktuen prezioa lortzen da.
- Galeren leku zehatzak detektatu eta kostuak ebaluatzen dira. Gainera, hobetzeko proposamen errentagarriak lortzen dira, alegia, energia-auditoretzak egiteko balio du.
- Bukaerako produktuen kostua murrizteko eta baliabideak aurrezteko erabakitze-aldagaiak optimizatzen dira, bai optimizazio globalean bai lekukoan.
- Efizientzia gabeziak antzeman eta eragin ekonomikoak kalkulatu dira, hots, termoeconomia-diagnostikoa egiten da.
- Diseinurako alternatibak eta operazio-erabakien alternatibak lortzen dira.

Hortaz, termoekonomiaren aplikaziorako hiru eremu nagusi daude. Lehenengo, *energia-auditoretza* dago, termoeconomia aplikatuz itzulezintasunak eta taldeen etekinak kalkulatzeko, fluxuen kostuak (tartekoak zein bukaerakoak) ebaluatzen direlako.

Bigarren aplikazioa instalazioen *operazio-diagnostikoa* da eta etekinaren galera eta eragin ekonomikoa kalkulatzeko balio du. Informazio horrekin talde okerrak identifikatu eta instalazioaren gaineko eragina aztertzen da.

Azkenik, aplikaziorako hirugarren saila instalazioen *diseinua* da. Diseinu-optimizazioa egitura eta erabaki-aldagaiak hautatzean datza eta horrela produktuen bukaerako kostuak gutxiagotzen dira (EUB, berokuntza edo airearen girotzea); horiek segurtasun eta ingurumen-mugak, murrizketa finantzarioak, etab., dauzkate.

Beraz, exergia-analisia tresna aproposa da ingeniariaritzan, batez ere energia-efizientzia hobetzeko.

### 3. Termoeconomia eraikinetan. Ikerketa kasua

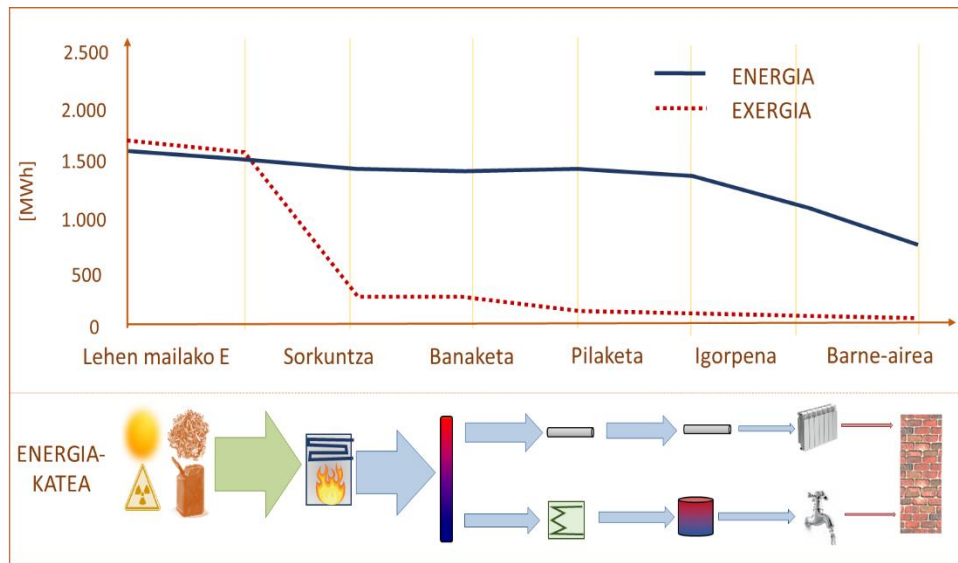
Arestiko teoriaren lekuko, Bilboko 4 etxebizitza-blokeen instalazio termikoa aztertuko da, era xumean, energia-auditoretzaren ikuspegitik; sistemak orobat, 566 bizilekuren berokuntza-eskaria eta EUB asetzen ditu, ikus 1. irudia (informazio zehatzerako irakurri Picallo-Perez et al., (2018)).

#### 1. irudia. Instalazio zentralako lau blokeen argazkiak



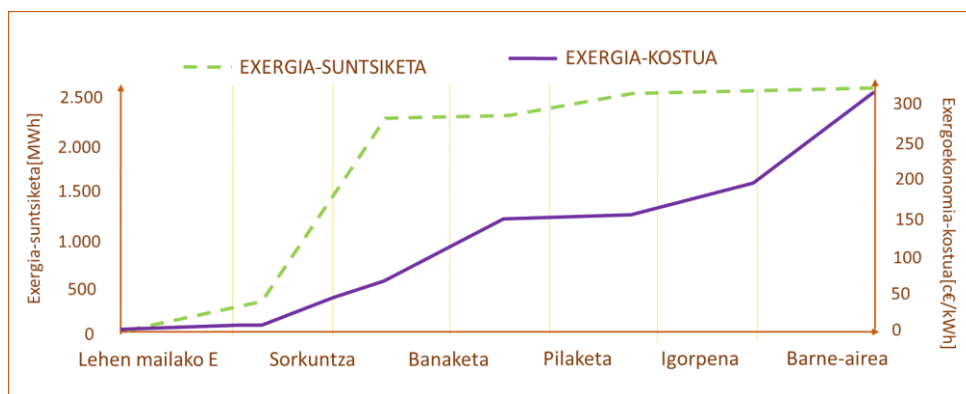
Instalazioaren exergia- eta energia-fluxuak 2. irudian aurkezten dira eta energia-katearen arabera banatu dira. Hasteko, lehen mailako energiatik/exergiatic abiatzen dira (erregai fosila); ondoren, sorkuntza, banaketa zein biltegitatezko prozesuak jasaten dituzte; gero, igorpen-elementuak (erradiadoreak eta ur-txorrotak) igarotzen dituzte eta, azkenik, barne-airera doaz. Bi fluxuak murriztuz doaz eraldaketak pairatu ahala, baina, txikitzearen arrazoiak ezberdinak dira. Hauek dira zergatiak:

## 2. irudia. Energia- eta exergia-fluxuen profila



- Batetik, energia-fluxuaren urritzea bat dator bero-galerekin; alegia, prozesuak ez direnez idealak (marruskadura-galerak, isolamendu gabeziak, etab. daudelako), zati bat bero eran galtzen da. Begiratu, adibidez, sorkuntza faseko energia-galera: lehen mailako erregaiaren energia ia guztia bilakatzen da banaketa-energian (energia-etekina % 97 da). Hala izanik, kanpo-girora iristen den energia-fluxua da sartzen dena ken bero-galerak.
- Bestetik, bero-galerez gain, prozesu bakoitzean energia degradatuz doa eta hori exergia-fluxuarekin ikusten da. Halaber, sorkuntza-fasean erregaiaren energia-kalitate gehiengoa suntsitu egiten da bero-energian eraldatzean (exergia-etekina % 13 da). Gainera, katearen bukaeran irteera-energiak ez du exergiarik, lan egiteko ahalmena erabat deuseztatu delako.

## 3. irudia: Eraikin baten energia- eta exergia-fluxuen profila



Informazio sakonagoa lortzen da termoeconomia aplikatzean eta, besteak beste, energia-kateko exergia-suntsiketa zein -kostu pilatuak kalkula daitezke, ikus 3. irudia. Horrela, prozesuen puntu ahulak detektatzen dira eta optimizatu beharreko osagaiak hautatzen dira. Esan bezala, bihurtzen exergia-suntsiketa igoerak kostua handitzen du; azken batean, lana egiteko gaitasuna alferrik galtzen hari baita. Ikerketa kasuan, esaterako, sorkuntza prozesuko errektuntza taldeak ordezkatu beharko lirarteke energia-kalitate baxuagoko taldeekin; bero-berreskurapenerako taldeekin edota energia berriztagarrien taldeekin, adibidez.

#### 4. Termoekonomiaren aplikazioa eraikinetan. Ondorioak

Prozesu industrialetan eta energia-plantetan exergia-kontzeptua aspaldi erabili izan den arren, egoitzetan zein hirugarren sektorean ozta-ozta erabili da.

Ondorioz, alde batetik, eraikinetan termoekonomiaren aplikazioa eskasa zelako eta, beste aldetik, kostuak kalkulatzeko, instalazioak diagnostikatzeko edota optimizaziorako tresna eraginkorra delako, azken urteotako ikerketak eraikinen exergia-aplikazioan oinarritu dira.

Horretarako, hiruhileko 3 egonaldi egin ziren (Berlineko TU Energia Ingeniaritza Institutuan, Palermo Unibertsitateko DEIMen eta Padova Unibertsitateko Ingeniaritza Industrialeko Departamentuan), 10 nazioarteko kongresuetan parte hartu zen (horietako batek artikulu onenaren saria jaso zuen) eta 5 JCR argitarapen egin ziren (Picallo-Perez et al., (2018), Picallo-Perez et al., (2018), Picallo-Perez et al., (2017), Picallo-Perez et al., (2017), Picallo-Perez et al., (2016)).

Are gehiago, liburu bat idatzi da (Sala-Lizarraga eta Picallo-Perez, 2019) eta bi argitarapen daude aldizkariaren ebaluazioaren zain (Picallo-Perez et al., Picallo-Perez et al.).

#### 5. Etorkizunerako norabidea

Lan hau hemen bukatu arren, hainbat etorkizunerako ikerketa-lerroren abiapuntua da:

Ikerketaren aplikazio praktikoari dagokionez, termoeconomia software bat egingo da termoeconomia kostu-kontaketarako eta diagnostikorako. Programa hori giltzarria izango da eraikinen instalazio errealak kudeatzeko, mantentzeko eta optimizatzeko.

Beste ikuspegi bat termoeconomia-diagnostikoa hobetzea da edozein sistemetan aplikatzeko. Aireztapen sistemak, esaterako, oso sistema konplexuak direnez, horien jarrera termoeconomikoa era lausoan aztertuta dago. Beraz, sakonki analizatu behar da.

Horretaz aparte, ingurugiroko inpaktua kuantifika daiteke *ingurugiro-exergia* teoriarekin. Beraz, sistemaren energia-, ekonomia- eta ingurugiro-analisi orokorra lortuko da. Horretarako, bizitza-zikloaren datuak behar dira; alegia, analisisa sehaskatik hilerrira egin behar da.

Amaitzeko eta aurreko gogoetak kontuan hartuz, europar direktibek zein nazioko gobernu probintzialesk exergia-analisiak barneratu beharko lituzkete. Modu horretan, mundu mailako beharrianak eta efizientzia hobekuntzak arinago lortuko dira.

#### 6. Erreferentziak

Sharma, A. Saxena, A. Sethi, M. Shree, V. eta Varun, A. (2011): "Life cycle assessment of buildings: a review", *Renew. Sustain. Energy Review* 15 871-875.

Tsatsaronis, G. (1978): "A review of exergoeconomic methodologies, en Second Law Analysis of Thermal Systems", *American Society of Mechanical Engineers*, Nueva York, 81-87.

C24 CosteXergy (2011): "Analysis and Design of Innovative Systems for LOW-EXergy in the Built Environment", *Cost-European Cooperation in Science and Technology*.

Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., Iribar-Solabarrieta, E., eta Hidalgo-Betanzos, J. M. (2018): "A symbolic exergoeconomic study of a retrofitted heating and DHW facility". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 119-133.

Picallo-Perez, A., Hidalgo-Betanzos, J. M., eta Sala-Lizarraga, J. M. (2018): "New Exergetic Methodology to Promote Improvements in nZEB" *Application of Exergy. IntechOpen*.

- Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., eta Escudero-Revilla, C. (2017): “A comparative analysis of two thermoeconomic diagnosis methodologies in a building heating and DHW facility”. *Energy and Buildings*, 146, 160-171.
- Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., Iribar-Solabarrieta, E., Odriozola-Maritorena, M., eta Portillo-Valdés, L. (2017): “Application of the malfunction thermoeconomic diagnosis to a dynamic heating and DHW” facility for fault detection. *Energy and Buildings*, 135, 385-397.
- Picallo-Perez, A., Escudero, C., Flores, I., eta Sala, J. M. (2016): “Symbolic thermoeconomics in building energy supply systems”. *Energy and Buildings*, 127, 561-570.
- Sala, J. M. eta Picallo-Perez, A. “EXERGY ANALYSIS AND THERMOECONOMIC OF BUILDINGS – design and analysis for sustainable energy systems”. *ELSEVIER*.
- Picallo-Perez, A., Sala, J. M., Tsatsaronis, G. eta Sayadi, S. “DYNAMIC ADVANCED EXERGY ANALYSIS IN BUILDING HEATING SYSTEMS –Dynamic Modelling, Avoidable/ Unavoidable, Endogenous/Exogenous and Mexogenous Exergy Destruction Assessment ”
- Picallo-Perez, A., Lazzaretto, A. eta Sala, J. M. “Overview and Implementation of Dynamic Thermoeconomic & Diagnosis Analysis in HVAC&R Systems”

## 7. Eskerrak eta oharrak

- Esker-ona eman nahi zaio Eusko Jaurlaritzaren Etxebizitza Sailari eta azken urteotako Etxebizitza Zuzendariei; bereziki D Agustin de Lorenzori (Eusko Jaurlaritzako Eraikuntzaren Legediaren eta Kalitate Kontrolaren zuzendaria eta Eraikuntza Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiaren zuzendaria (EKKL)).
- Lan hau beste lan batetik eratorria da: argitaratuko den “*EXERGIA-ANALISIA ETA TERMOEKONOMIA ERAIKINETAN – energia sistemen diseinua eta analisisa*” liburutik, hain zuzen.