

Unibertsitateen ingurumen-inpaktuaren analisia NESTen bidez eta haren eginkizuna GIHekin bat datorren hiri-plangintza jasangarri bati begira

(Analysis of the environmental impact of universities by NEST and
its role for sustainable urban planning aligned with the SDGs)

Iñigo León¹, Xabat Oregi¹, Cristina Marieta², Alba Arias^{*1}, Lara Mabe³

¹ Arkitektura Saila, Donostia (UPV/EHU)

² Kimika eta Ingurumen Ingeniaritza Saila, Ingeniaritza Fakultatea, Donostia (UPV/EHU)

³ Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance, Derio (BRTA)

LABURPENA: Azken urteotan, hirigileek eta arkitektoek irtenbideak bilatu behar izan dituzte hiri-proiektuen errendimendua hobetzeko, ingurumenaren gaineko eraginari, bizi-kalitateari eta arazo sozioekonomikoei dagokienez, bai Europako araudiek ezarritako helburuak lortzeko, bai Nazio Batuek ezarritako Garapen Iraunkorrerako Helburuak (GIH) lortzeko. Eraikinaren eskalako ingurumen- eta energia-inpaktuak amplifikatu egiten dira hiri mailan, eta ikusi da unibertsitate-campusak, beren tamaina, populazioa eta jarduera direla eta, «hiri txikitatz» har daitezkeela, ingurumenean duten eragina nabarmena dela. Azken urteotan, tresna berriak garatu dira ingurumen-inkaktu hori barruti mailan ebaluatzeko, bizi-zikloaren analisi baten bidez. Haien artean, NEST nabarmendu behar da, oinarritzko agertokia eta hobekuntza-hipotesiak aztertzeko tresna arin eta azkarra. Ingurumen-adierazleak eta adierazle sozioekonomikoak ebaluatzen ditu, eta bizi-zikloaren analisirako tresna gisa balio du auzo-eskalan eraikitako inguruneetan. Argitalpen honen egileek NEST erabili izan dute hainbat ikerketa-proiektutan, eta oinarritzko agertokiak aztertu eta zenbait kasuistikan hobekuntzak ebaluatu dituzte. Artikulu honetan, egindako ikerketen bilakaeraren laburpen bat aurkeztu, eta azterketa-kasu bakoitza eta ondorio orokorrak azaltzen dira. Duela gutxi hasi den ikerketa-proiektu bat ere aurkezten da, baso-biomasa energia-iturri berriztagarri gisa ezartzea helburu duena askotariko izaera, gobernantza, eskualde eta herrialdetako unibertsitate-campusetan. Unibertsitateen eta hirien arteko kooperazioak, sinergiak eta lankidetzak ekintzak ezartzeko, gizartearentzat funtsezkoak diren GIHen hobekuntzan aurrera egitea ahalbidetuko du.

HITZ GAKOAK: trantsizio energetikoa, energia berriztagarria, erabakiak hartzen laguntzeko tresna, bizi-zikloaren ebaluazioa, unibertsitatearen ingurumen-inkaktua, garapen iraunkorrerako helburuak.

ABSTRACT: Over the past few years, urban planners and architects have had to seek solutions to improve the performance of urban projects in terms of environmental impact, quality of life and socio-economic problems, in order to achieve the objectives set by the European regulations and by the Sustainable Development Goals (SDG) established by the United Nations. The environmental and energy impacts at the building scale are amplified at the urban level. In the case of University Campuses, due to their size, population and activity, they can be considered as «small cities» and it has been observed that their environmental impact is significant. In recent years, new tools have been developed to assess this environmental impact at the district level by a life cycle analysis. Among them, it is worth highlighting NEST, an agile and fast tool used to analyze the baseline scenario and improvement hypotheses. It assesses environmental and socio-economic indicators and serves as a life cycle analysis tool for the built environment at the neighborhood level. The authors of this publication have used NEST in different research projects and they have analyzed different baseline scenarios and evaluated improvements in some cases. The article presents a summary of the evolution of the research carried out, explaining each case of study and the general conclusions obtained. It also presents the research project that was recently started that study the possibility to set up the forest biomass as renewable energy source in the university campuses in different regions, governments and countries. The cooperation between universities and cities to establish synergies and cooperation actions will allow substantial progress in the improvement of the key SDGs for society.

KEYWORDS: Energy transition, renewable energy, decision support tool, life cycle assessment, university environmental impact, Sustainable development goals.

*** Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Alba Arias, Arkitektura Saila UPV/EHU, Plaza Oñati, 2 (20018 Donostia-San Sebastián, Gipuzkoa). – alabajunkal.arias@ehu.eus – <https://orcid.org/0000-0003-4447-7575>.

Nola aipatu / How to cite: León, Iñigo; Oregi, Xabat; Marieta, Cristina; Arias, Alba; Mabe, Lara (2021). «Unibertsitateen ingurumen-inkaktuaren analisia NESTen bidez eta haren eginkizuna GIHekin bat datorren hiri-plangintza jasangarri bati begira»; *Ekaia*, ale berezia 2021, 195-209. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.22082>).

Jasotze-data: 2020, urriak 01; Onartze-data: 2021, azaroak 09

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2021 UPV/EHU



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

1. SARRERA

2015ean, munduko liderrek Garapen Iraunkorrerako Helburuak (GIH) ezarri zituzten, pobrezia desagerrarazteko, planeta babesteko eta guztiontzako oparotasuna bermatzeko, garapen jasangarriarako agenda berri baten barruan. Helburu horiek 2030erako bete beharko lirateke [1].

Azken hamarkadetan, ingurumen-egoera kritikoa bilakatu da. Berotze globalaren, natura-baliabideen eta ozono-geruzaren agortzearen ondorioz, kontzientzia handia piztu da [2]. 2016an, munduko biztanleriaren % 54,5 hiri-lurretan kokatzen ziren, eta 2030erako % 60ra igotzea aurreikusten da [3]. Horren arrazoia zera da: hiriek negozio-, hezkuntza-, segurtasun- eta komunitate-aukera berriak eskaintzen dizkietela herritarrei. Hala ere, jarduera horiek guztiak aurrera eramateko, baliabide-ekarpen handia behar da, eta horrek, aldi berean, ekonomia- eta ingurumen-kostua dakar [4]. Berriki egindako ebaluazio batek iradokitzen du munduko energia primarioaren kontsumoaren bi heren hiri-eremuei egotz dakizkiekeela, han isurtzen baita energiarekin lotutako berotegi-efektuko gasen (BEG) % 71 [5]. Europar Batasunean, energia-kontsumo osoaren % 40 eraikuntzarekin lotuta dago [6]. Aldi berean, nabarmendu behar da, azken azterketen arabera, ingurune eraikiak direla energia-eraginkortasuna handitzeko potentzial handiena dutenak [7].

Ondorioz, Europar Batasunak estrategiak eta helburuak ezarri ditu energiaren kontsumoa murrizteko. Garrantzitsuenetako batzuk 2020ko, 2030eko eta 2050eko helburuak dira [8]; helburu horietan, berotegi-efektuko gasen emisioa % 20 murriztea, energiaren % 20 iturri berriztagarrien bidez ekoiztea eta energia-eraginkortasuna % 20ra arte hobetzea proposatzen da. Hori lortzeko, tresna nagusietako bat Eraikinen Energia Errendimenduari buruzko Direktiba izan da [6], ia energia-eskaririk gabeko eraikinak eraikitzea sustatzen duena.

Espainiaren kasuan, araudiak ezarri dira eraikinen energia-eskaria murrizteko eta energia berriztagarriak sustatzeko, elektrizitatea eta ur bero sanitarioa (UBS) ekoizteko iturri nagusi gisa. Araudi horien ondorioz, eraikuntzaren sektorean energia berriztagarriak ezartzeari dagokionez, 2019an direktiba bat onartu zen iturri berriztagarrien bidez sortutako energiaren ekoizpena eta autoekoizpena arautzeko [9]. Gainera, COVID-19ak Europan eragindako osasun-krisi orokorrari erantzuteko, 2020an energiaren arloko neurri berriak onartu dira. Neurri horien bidez, deskarbonizazio- eta iraunkortasun-agenda ezartzeko beharra sustatzen da, berriztagarrietan, energia-eraginkortasunean eta ekoizpen-prozesu berrietan egiten diren inbertsioek ekonomia suspertzeko eragile berde gisa jardun dezaten [10].

Egoera horrek argi eta garbi eskatzen du, bai maila publikoan, bai pribatuan, analistentzat eta hirigileentzat, proiektu berrien ezarpenean in-

gurumen-kontzientzia izateko beharra [11]. Izan ere, eraikinen eskalako ingurumenaren eta energiaren gaineko inpaktuak anplifikatu egiten dira hiri-eskalan [12]. Horregatik, ohikoa da hirigileek energia- eta ingurumen-eraginkortasuneko parametroak erabiltzea hiri-espazioak diseinatzeko eta garatzeko, eta barrutiak birgaitzeko proiektuetan [13]. Hala, GIHa lor-tzen laguntzen da, hala nola 11.a (hiri eta komunitate jasagarriak) edo 7.a (energia irisgarria eta ez-kutsagarria) [1]. Alabaina, ez ditugu beti eskura izaten tresna arinak eta azkarrak, eta, datu errealak eskura ez dauzkagula-rik, beharrezkoak dira kasuan-kasuan irtenbide egokiena azkar hartzen la-gunduko diguten tresnak.

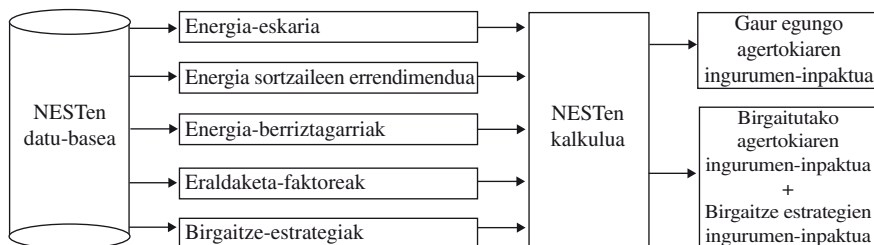
Hiriguneek ingurumenean duten inpaktu handiari buruz aipatutakoa kontuan hartuta, unibertsitate-campusetan («hiri txikitatz» hartzen dira, ta-maina, biztanleria eta jarduera konplexuagatik) ikusten da ingurumen-in-paktu handia dutela. Campus bat zenbat eta handiagoa izan, orduan eta energia gehiago kontsumitzen du, eta, beraz, baliabide natural gehiago behar ditu. Behar duen materia kantitate hori ezin du berez sortu, eta, be-raz, baliabide kopuru handiak garraiatzen dira ondasun eta zerbitzu bihur-tzeko eta, zati batean, hondakin eta emisio gisa ingurunera itzultzeko [14]. Gainera, unibertsitateek zeregin garrantzitsua dute gizartean, etorkizuneko graduatuak prestatzen, 4. GIHan (kalitatezko hezkuntza) delakoan adierazi bezala [1], haiek arduratuko baitira munduaren kudeaketaz, mantentzeaz, funtzionamenduaz eta etorkizuneko oparotasunaz.

Unibertsitateek hainbat helburutarako erabiltzen dute energia: argizta-pena, berokuntza, hoztea, garraioa eta ekipoak. Europa osoan, unibertsita-te-eraikin askok elektrizitate-kontsumo handia dute, baina baita berokun-tza- eta hozte-kontsumo handia ere [15]. Norvegiako unibertsitate-campus bateko energia-erabileren azterketa batek erakusten du elektrizitatearen erabilera berogailuarena baino handiagoa dela [16]. Horregatik, funtsez-koa da eraginkortasun energetikoa eta energia berriztagarrien erabilera sus-tatzea, 12. helburua (ekoizpen eta kontsumo arduratsuak) eta 7.a (energia irisgarria eta ez-kutsagarria) lortu ahal izateko [1]. Leal Filho-ren ikerke-taren arabera [17], mundu osoan zehar aztertutako 50 unibertsitatetatik, kontsumitutako energiaren % 1-20 soilik dator berriztagarrietatik. Haieta-tik, fotovoltaikoa da gehien erabiltzen den iturria (% 70). Biomazari, geo-termiari eta energia eolikoari dagokienez, antzeko erabilera-ehunekoa dute (% 18 inguru). Energia hidroelektrikoa ez da % 6tik gorakoa. Mohammadi eta Mehrpooyak aipatu bezala [18], zenbait erakunde energia berriztaga-riak areagotzeko neurriak hartzen hasi dira; hala, *mikrogrids* edo «energia-uharteak» ezarri dituzte, kasurako.

Europako Batzordearen [19] eta nazioarteko literaturaren arabera [14], bizi-zikloa aztertzeko metodologia (BZA) edozein jardueraren ingurumen-inpaktua zehazteko metodorik onenetako bat da gaur egun. BZAk anali-si-prozesu bat egiten du, zeinaren bidez sistema baten materia- eta ener-

gia-fluxuak kuantifikatzen eta ebaluatzen baitira [20]. Estandarizaziorako Nazioarteko Erakundeak (ISO, ingelesezko siglen arabera), produktua ingurumen-inpaktuaren laburpen orokorra izateko, BZA lau fase kontuan hartuta egin behar dela zehazten du: (I) ebaluazioaren helburuaren eta iris-menaren definizioa (unitate funtzionala, kalitate-irizpideak, sistemaren mugak, etab.), (II) bizi-zikloaren inbentarioa, (III) bizi-zikloaren ebaluazioa, eta (IV) interpretazioa. BZA produktua bizitzaren fase guztiak jasotzen ditu (sehaskatik hilobira). Eraikinetan, erabilera-fasea nagusitzen da beste gainetik [14]. Azken urteotan, tresna berriak garatu dira ingurumen-inpaktu hori barruti mailan ebaluatzeko, bizi-zikloaren analisi baten bidez [21]. Ikerketa honetan *Neighbourhood Evaluation for Sustainable Territories* (NEST) tresna erabili izan da [14, 22, 23].

NEST tresna Trimble SketchUpen plugin bat da, urbanistek eta arkitektoek gehien erabiltzen duten 3D modelatze-sistemetakoa bat oinarri duena. NESTek informazioa duen 3D eredu bat sortzeko aukera ematen du. Eredu horretan, eraikinaren eta distrituaren ezaugarri nagusiak jasotzen dira, zeinak beharrezkoak baitira ingurumen-inpaktuaren azterketa BZA bidez egiteko. NESTek hurbilketa zientifiko baten bidez garaturiko adierazle multzo baten ebaluazioa egiten du [22], baina baita hiri-plangintzaren eragiketa-helburuak eta tokiko araudiak kontuan hartuta ere. Adierazle horiek energiarekin, CO₂-arekin eta biodibertsitatearekin lotuta daude. 1. irudian, ingurumen-inpaktua ebaluatzerakoan NESTek baliatzen duen kalkulu-sistema azaltzen da. Tresna Espainian eta Frantzian erabiltzeko diseinaturiko dago.



1. irudia. Eraikinetarako ingurumen-ebaluazioaren prozesuaren NESTen diagrama [14].

NESTek ingurumen-adierazleak eta adierazle sozioekonomikoak ebaluatzen ditu, auzo-escalan eraikitako inguruneke BZA egiteko [22]. Tresna arin eta azkarra da oinarritzko agertokia eta, batez ere, hobekuntza-hipotesiak aztertzeko. Beste tresna batzuetan ez bezala, NESTen, aztertu beharreko barrutia osatzen duten eraikinen ezaugarriek pisu handia dute. Sortutako 3D ereduak interpretazio sinplea du ezaugarri nagusi, eta

modu egokian aplika daiteke unibertsitateko campus-eskalan, haren eragina ebaluatzeko. Tresnak 50 urteko bizi-denbora hartzen du kontuan eraikinetan eta 30 urtekoa azpiegituretan (behar izanez gero, ordezkapenak egin daitezke). Barrutiaren azterketan kontuan hartzen diren osagaiak, berriaz, hauek dira: (i) eraikinak, (ii) espazio irekiak, (iii) eraikinen eta espazio irekien funtzionamendua (ur bero sanitarioa, berokuntza, aireztapena, hozte-sistema), (iv) eraikin eta espazio irekiak osatzen dituzten materialen bizitzaren amaiera, eta (v) eguneroko mugikortasunerako operazio-eskakizunak [22].

Egindako azterlan bakoitzean, campus/barruti bakoitzaren egungo egoeraren baliokide den oinarritzko agertoki bat definitzen da (lehendik dauden eraikinak, azpiegitura eta mugikortasuna aztertuz). Ingurumen-inpaktua aztertzerakoan, funtsezko elementuetako bat eraikinen portaera energetikoa zehaztea da. Horretarako, datu errealak lortzea zaila denez, eraikinen kalifikazio energetikoan eta dagoen eremu klimatikoan oinarritutako datuak erabiltzen dira. Haietatik abiatuta, eraikin bakoitzaren berokuntza, UBSa, argiztapen-gastuak eta etxetresna elektrikoak zehazten ditu NESTek.

Argitalpen honen egileek NEST erabili dute hainbat ikerketa-proiektutan, eta zenbait kasuistikatako oinarritzko agertokiaren ebaluazioa eta hobekuntza-azterlanak egin dituzte. Artikulu honetan, egindako ikerketen bilakaeraren laburpen bat aurkezten da, eta azterketa-kasu bakoitza eta ondorio orokorrak azaltzen dira. Martxan den ikerketa-proiektua ere aurkezten da, baso-biomasa energia-iturri berriztagarri gisa ezartzea helburu duena askotariko izaera, gobernantza, eskualde eta herrialdeetako unibertsitate-campusetan. GIHei dagokienez, 17 GIHetatik, honako hauetan eragin nahi duten ikerketaren emaitzak erakusten dira artikulu honetan: 4.a (kalitatezko hezkuntza), 7.a (energia irisgarria eta ez-kutsagarria), 11.a (hiri eta komunitate jasangarriak), 12.a (ekoizpen eta kontsumo arduratsuak) eta 13.a (klimaren aldeko ekintza).

2. KASUAK ETA METODOAK

2015az geroztik, artikulu honen egileak unibertsitateko campusek ingurumenean duten eragina ikertzen ari dira. Egindako ikerketaren barruan, hiru fase nabarmendu daitezke.

2.1. Lehen fasea

Euskal Herriko Unibertsitatearen (UPV/EHU) laguntzarekin, UPV/EHUren ingurumen-inpaktuaren azterketa egin zen. Horretarako, hura osatzen duten lau campusak aztertu eta konparatu ziren. Hiri-garapenari eta kokapenari da-

gokionez, campusetako bi hirian kokatzen dira (Gasteiz eta Donostia-Ibaeta), eta beste biak, aldirietan (Eibar eta Leioa).

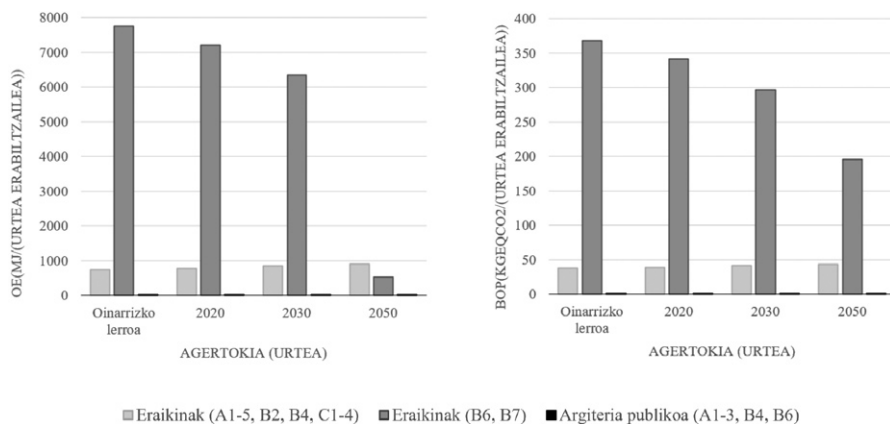
Campus bakoitzaren egungo egoera aztertu, eta 2020rako, 2030erako eta 2050erako berrikuntza-estrategien agertokiak planteatu ziren. Azterketaren helburua zen baieztatzea ea unibertsitatea, hiritik askea eta politikoki burujabea izaki, gai ote zen bere instalazioetan beharrezko hobekuntzak eta erreformak egiteko baliabide propioekin, Europako araudiek eta GIHeK ingurumenaren eta energiaren arloan ezarritako helburuak betetzera iristeko. Lortutako emaitzen artean, eraikinen funtzionamenduak eta erabiltzaileek campusetara egiten dituzten bidaiek eragindako inpaktuaren garrantzia azpimarratu behar da, bereziki Leioako campusaren kasuan, ibilgailu pribatuaren eta autobusaren erabilera nagusi baita bizikletaren, trenaren eta oinezko joan-etorrien aldean. Mugikortasunari lotutako inpaktua 13.168 MJ/(urte·erabiltzaile) eta 743 kgCO₂-baliokidea/(urte·erabiltzaile) da, eta hori zaila da edozein birgaitze-estrategiarekin konpontzea, muino batean isolatuta baitago Leioako campusa, Bilbotik 15 km-ra. Azterlan horretan, ez zen mugikortasuna hobetzeko kasurik aztertu; aitzitik, eraikinen mailako hobekuntza (isolamendua handitzea, leihoak aldatzea, galdara eraginkorrakoak jartzea edo panel fotovoltaikoak eta termikoak integratzea) eta espazio publikoen argiztapena hobetzeko agertokietan zentratu zen ikerketa.



2. irudia. Gasteizko Campusa [24].

3. irudian, adibide gisa, Gasteizko Campuseko hobekuntza-agertokietan lortutako emaitzak islatzen dira, oinarrizko energiaren (OE) eta bero-tze osoaren potentzialaren (BOP) inpaktuaren aldakuntzari dagokionez.

BZA faseak kontuan hartu dira (A1-3 ekoizpena da, A4 garraioa, A5 *in situ* prozesua, B2 mantentzea, B4 ordezte, B6 energiaren erabilera operazionala, B7 uraren erabilera operazionala, C1-4 bizitzaren amaierako fasea). Ikus daitekeenez, eraikinaren ekoizpen-faseetan inpaktu minimoa handituta (A1-5, B2, B4, C1-4), nabarmen murrizten da energiaren eta uraren erabilera operazionalak campusaren bizialdian eragindako inpaktua (B6 eta B7) [24]. Hau da, proposatutako birgaitzean erabili diren materialen biziklo osoa kontuan hartuta, ingurumen-inpaktu globala gehiago murrizten da materialak ezartzean baino. 2020, 2030 eta 2050 urteetarako OE kontsumoaren eta BOP emisioen balio absolutuak aztertzen badira, esan daiteke Eibarkoa dela campus jasangarriena, eta ondoren Donostiakoa. Gasteizkoak eta Leioakoak antzeko jokaera dute [24].



3. irudia. Gasteizko Campuseko agertoki bakoitzerako OE eta BOP inpaktu-adierazleen emaitzen alderaketa [24].

2.2. Bigarren fasea

Ikerketaren bigarren etapa Europako ESSAI URBAN proiektuak [23] egindako azterketaren osagarri gisa sortu zen. Bertan, Donostiako hiriaren ingurumen-inpaktua aztertu zen, NEST tresnarekin, eta, horretarako, hiriko barrutiak aztertu ziren, eta unibertsitatearen eremua ez zegoen jasota azterlanean. Beraz, ikerketa zabaltzeko beharra ikusirik, azterketa bat egin genuen, campusak hiriaren zati gisa zer eragin zuen jakiteko. Hala, ikuspegi berri bat sortu da, ingurumenaren eta energiaren arloko estrategia guztiak aztertu nahi dituen, hiria eta unibertsitatea eraberritzeko ekintza bateratu edo osagarriekin, eta, horretarako, sinergiak ezarri dira tokian tokiko udalpolitiken eta unibertsitatearen politiken artean, globalagoak baina deslokalizatuagoak.

1. taula. Berotze osoaren potentzialaren (BOP) emisioak biztanle edo erabiltzaile bakoitzeko (kg CO₂-baliokidea/biztanle), Donostia hiriko eta Donostiako unibertsitate-campuseko oinarrizko agertokian eta EIAEPk definitutako ekintza nagusiak aplikatu ondoren [11].

| | Deskribapena | Hiria | Campusa |
|---|---|--------------------|--------------------|
| Oinarrizko agertokia | 0. Hiriaren eta campusaren egungo egoera | $3,73 \times 10^3$ | $8,74 \times 10^2$ |
| EIAEPren zenbait ekintzaren aplikazioa | 1. Eraikin tertziarioetako ekipoen energia-errendimendua % 20 hobetu | $3,71 \times 10^3$ | $8,40 \times 10^2$ |
| | 2. Etxebizitza-erabilera duten eraikinen energia-eskaria % 25 murriztu | $3,69 \times 10^3$ | $8,74 \times 10^2$ |
| | 3. Eraikin tertziarioetako energia-eskaria % 20 murriztu | $3,65 \times 10^3$ | $7,74 \times 10^2$ |
| | 4. Eraikin tertziarioetako argiztapen-kontsumoa % 25 murriztu | $3,69 \times 10^3$ | $8,25 \times 10^2$ |
| | 5. Etxebizitza-erabilera duten eraikinen argiztapen-kontsumoa % 30 murriztu | $3,71 \times 10^3$ | $8,74 \times 10^2$ |
| | 6. Merkataritza-eraikinen argiztapen-kontsumoa % 40 murriztu | $3,60 \times 10^3$ | $8,74 \times 10^2$ |
| | 7. Etxebizitza-erabilera duten eraikinen berokuntza-eskaria % 30 murriztu | $3,64 \times 10^3$ | $8,74 \times 10^2$ |
| | 8. Ibilgailu pribatuen emisioak hobetu | $3,71 \times 10^3$ | $8,74 \times 10^2$ |
| | 9. Autobusen emisioak hobetu | $3,69 \times 10^3$ | $8,64 \times 10^2$ |
| | 10. Mugikortasun-eredua hobetu | $2,96 \times 10^3$ | $7,71 \times 10^2$ |
| | 11. Energia-eraginkortasunarekin lotutako estrategia guztiak | $3,31 \times 10^3$ | $6,89 \times 10^2$ |
| | 12. Mugikortasunarekin lotutako estrategia guztiak | $2,90 \times 10^3$ | $7,59 \times 10^2$ |
| | 13. Azterketan ebaluatutako estrategia guztiak aplikatu | $2,49 \times 10^3$ | $5,73 \times 10^2$ |

Horrenbestez, multzoaren beste azterketa bat egitea erabaki zen. Azterketa horretan, Donostiako energia jasangarrirako ekintza-planari begira [25] hurrengo urteetan ezarri beharreko ekintzak oinarri hartuta, zenbait birgaitze- edo hobekuntza-estrategia edo -agertoki ebaluatu ziren, hiriko ingurumen- eta energia-helburuak lortu ahal izateko (ikus 1. taula). Bigarren ikerketa horren emaitzek erakutsi zuten udalen eta campusen po-

litikak ez daudela elkarri lotuta baina lotuz gero emaitza hobeak lor daitezkeela. Gainera, berretsi zen hiriarekiko erakunde independente gisa aztertuz gero hobekuntza-tarte mugatua duela unibertsitateak. Aldiz, hiriaren zati gisa kontuan hartuz gero, hiriaren eta unibertsitatearen arteko sinergiekin eta ahalagintza konbinatuekin hobekuntza-balio optimoak lortzea ahalbidetzen dute, baliabide gutxiago erabiliz [24]. 1. taulak erakusten du nola unibertsitateko campusaren inpaktuak hiriarenak baino 10 aldiz txikiagoak diren gutxi gorabehera. Bi faktorek eragiten dute desberdintasun horretan. Lehenik eta behin, campuseko eraikinek hiriko zenbait auzotako eraikin zaharrek baino energia-eraginkortasun maila hobe dute. Bigarrenik, baliabide kopuru bererako, unibertsitatean hirian baino handiagoa da erabiltzaileen dentsitatea. Beraz, pertsona bakoitzaren eragina txikiagoa da unibertsitatean hirian baino.

2.3. Hirugarren fasea

Akitania-Euskadi-Nafarroa euroeskualdeko finantzaketa ekonomikoaz lagundutako hirugarren fase bat ireki da, eta, NESTen erabileraren bidez, hiru unibertsitate campusen ebaluazioa egiten ari dira, kontuan hartuta campusen ezaugarriak desberdinak direla. Batetik, batzuk publikoak dira eta beste batzuk pribatuak; bestetik, hiru lurraldetan eta herrialde desberdinetan kokatzen dira, eta, horregatik, lurralde-politika eta -gobernantza desberdinek eragiten dute (Euskadi eta Nafarroa Espainian eta Akitania Frantzian). Ikerketaren helburua gaur egun campus bakoitzean energia ez-berriztagarriak erabiltzeagatik sortzen ari diren ingurumen-inpaktuak zenbatzera bideratuta dago, baita etorkizuneko aldaketak proposatzera ere, campusak energia berriztagarrien bidez hornitu ahal izateko. Hala, campusek gai horri buruz Europako araudiak eta garapen iraunkorrerako helburuek (GIH) ezarritako baldintzetara hurbiltzeko aukera ematen duten agertokiak aztertuko dira. Aurretiaz azalduko lehen eta bigarren faseetan, oso agertoki eta hobekuntza orokorrak aztertzen ziren. Aldiz, hirugarren fasean, proiektuko hiru campusek beren eremuetan duten biomasaren potentziala aztertu, eta horrek energia ez-berriztagarrien erabileran izango duen eragina zenbatetsiko da.

Lan honetan, zenbait adierazle zenbatetsiko dira:

- Eraikin, azpiegitura eta garraio mailan, oinarritzko energia-eskaria (MJ/urte) eta berotze osoaren potentziala ($\text{kg CO}_2\text{-baliokide/urte}$).
- Eraikin bakoitzaren berokuntzarekin, hozketarekin eta ur beroaren hornikuntzarekin loturiko energia-kontsumoa (kWh/urte). Kontsumo hori zenbait energia-iturritan banatuko da: gas naturala, elektrizitatea, gasolioa edo biomasa.
- Eraikin bakoitzean energia berriztagarria zenbait iturritatik abiatuta (eguzki termikoa, fotovoltaikoa eta kogenerazioa) sorturiko energia kopurua (kWh/urte).

Ikerketarako, hiru lurraldeetako unibertsitate-campusak aukeratu dira: Donostiako campusa Euskal Autonomia Erkidegoan, Iruñekoa Nafarroako Foru Erkidegoan, eta Angelukoa, azkenik, Pirinio Atlantikoen departamenduan. Campus horiek hiri-garapen, tamaina eta eraikin mota desberdinetan oinarritzen dira (ikus 2. taula); hortaz, adibide adierazgarri gisa balioko dute, eta emaitzak antzeko ezaugarriak dituzten beste campusetara estrapolatzea ahalbidetuko dute. Gainera, campusetan aplikagarriak diren praktika onen zerrenda bat garatuko da, ingurumenaren gaineko eragina murrizteko.

Donostiako Campusa tamaina ertaineko unibertsitate publikoa da (ikus 4. eta 5. irudiak). Hiri-ehunean integratua eta eraikuntza heterogeneo multzo batez osatua dago, bai eraikuntza-sistemari dagokionez, bai erabilerari eta eraikuntza-urteari dagokienez ere. Komunikazio- eta mugikortasuneredu bikaina du, bai hiriguneari eta baita inguruko herriei begira ere.



4. irudia. Donostiako Campuseko ingurumen-inpaktuen ebaluazio grafikoa NEST simulazio bidez.

Donostiako Campusarekin alderatuta, Iruñeko Unibertsitateko campus pribatua handia da (ikus 5. irudia). Hiriaren kanpoaldean dago kokatua; 400.000 metro koadro inguruko azalera du, eta badira zenbait fakultate, ikastetxe eta kirol-instalazio [26, 27]. Eraikuntza multzoa heterogeneoa da, bai eraikuntza-sistemari dagokionez, bai erabilerari eta eraikuntza-urteari dagokienez ere.

Azkenik, Angeluko Campusa unibertsitate publiko eta txikia da (ikus 5. irudia). Hiri ehunean dago kokatua, Angeluko erdigunetik gertu. Baso batez eta dentsitate baxuko familia bakarreko etxebizitzaz inguratuta dago.



5. irudia. Donostiako, Iruñeko eta Angeluko campusen ortofotoak (ezkerretik eskuinera) [28, 29, 30].

2. taula. Donostiako, Iruñeko eta Angeluko campusen ezaugarri nagusiak.

| | Donostia | Iruñea | Angelu |
|---------------|---|-------------------------------|--------------------|
| Mota | Urbanoa | Suburbanoa | Urbanoa |
| Neurria | Ertaina | Handia | Txikia |
| Kudeaketa | Publikoa | Pribatua | Publikoa |
| Eraikuntza | Heterogeneoa | Heterogeneoa | Homogeneoa |
| Berdeguneak | Bai, baina gutxi | Bai, azalera handia | Bai, hiri-basoa |
| Mugikortasuna | Autoa, autobusa, trena, oinez eta bizikleta | Autoa, autobusa eta bizikleta | Autoa eta autobusa |

Oinarrizko agertokian lortutako emaitzak oinarri gisa hartuta, aztertuko da ea ezar daitekeen campus bakoitzean basoetako biomasa energia berriztagarrien iturri gisa erabiltzea. Bakoitzaren ezaugarriak eta tokiko biomasa-iturria lortzeko dituzten aukerak kontuan hartuta, orobat aztertuko da zein den autoekoizpenak campus bakoitza hornitzeko duen aukera erreala eta zer eragin duen horrek campuseko *mix* energetikoan.

3. ONDORIOAK

2015etik gaur arte egindako ikerketetatik eta aurretik azaldutakotik abiatuta, honako ondorio hauek atera dira.

NEST eta halako tresnak behar dira ingurumen-inpaktua eta inpaktu sozioekonomikoa modu erraz eta azkarrean aztertu ahal izateko, bizi-zikloaren analisia, egungo egoera eta barrutien edo hirien balizko aldaketa-egoe-

rak erabiliz. Gainera, tresna horiek lagungarriak izan behar dute campusak, barrutiak edo hiriak diseinatzeko, garatzeko, eraikitzeke eta berritzeko orduan erabaki azkarrak hartzeko iraupen luzeko azterketarik egin behar izan gabe.

Beste aplikazio batzuk ez bezala, NEST tresna arina eta azkarra da; hiriaren edo barrutiaren ingurumen-inpaktuak BZA bidez kalkulatzeko ahalbidetzen du, eraikinak ardatz hartuta. Energia berriztagarriak erabiltzera jo behar da, eta ez da baztertu behar beste energia batzuk erabiltzeko aukera, hala nola baso-biomasa. NESTek eszenatoki berri horiek simulatzeko eta soluziorik onena ebaluatzeko aukera ematen du.

Beharrezkoa da unibertsitatearen eta hiriaren politiken arteko sinergia sustatzea, ingurumenaren arloan errendimendu handiagoak lortzeko. Eredu horretan, unibertsitateek eragin handia dute, eta, beraz, kontuan hartu behar dira hirien aldaketan eta bilakaeran. Gainera, hobetzeko egin beharreko esku-hartzeak, bai campusean, bai hirietan, GIHeekin lotuta daude. Honako helburu hauek bereziki aipagarriak dira: 4.a (kalitatezko hezkuntza, biharko profesionalak unibertsitateetan trebatzen baitira); 7.a (energia eskuragarria eta ez-kutsagarria), 11.a (hiri eta komunitate iraunkorrak), 12.a (ekoizpen eta kontsumo arduratsua), eta 13.a (klima babes-teko ekintzak, proposatzen diren hobekuntza-proposamenek campusen ingurumen-inpaktua murriztea, energia-eraginkortasuna areagotzea eta iturri berriztagarrietatik abiatuta energiaren ekoizpena ezartzea dutelako helburu). Azken batean, hiri iraunkorrak eta klima-aldaketaren aurkako borroka sustatu behar dira.

ESKER ONA

Akitania-Euskadi-Nafarroa euroeskualdeari, 2019ko proiektuen deialdiaren esparruan *Bio4Uni: Evaluation of Synergies in the Generation and Use of Renewable Energy for Biomass to reduce the Environmental Impact of University Campuses* proiekturako emandako dirulaguntzarengatik.

Berrikuntzaren, Gizarte Konpromisoaren eta Kulturgintzaren Arloko Errektoreordetzari, eta Iraunkortasunaren Arloko Zuzendaritzari, ikerkuntzaren lehen faseetan dirulaguntza emateagatik.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Nazio Batuak. 2015. *Objetivos de desarrollo sostenible*. Hemen eskuragarri: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/> [2021eko irailaren 13an berrikusia].

- [2] ANASTASELOS, D., OXIZIDIS, S., & MANOUDIS, A. 2016. «Environmental performance of energy systems of residential buildings: Toward sustainable communities». *Sustainable Cities and Society*, 20, 96-108.
- [3] Nazio Batuk. 2016. *The World's Cities in 2016*. Data Booklet. Econ. Soc. Aff.29.
- [4] AHMAD, T. eta THAHEEM, M. J. 2018. «Economic sustainability assessment of residential buildings: A dedicated assessment framework». *Sustainable Cities and Society*, 38, 476-491.
- [5] IEA. 2016. *World energy outlook*. Int. Energy Agency, Paris.
- [6] The European Parliament And The Council Of The European Union. 2010 *Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings*. Hemen eskuragarri: <https://eur-lex.europa.eu> [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [7] FRANCISCO PINTO, J. eta CARRILHO DA GRAÇA, G. 2018. «Comparison between geothermal district heating and deep energy refurbishment of residential building districts». *Sustainable Cities and Society*, 38, 309-324.
- [8] Europako Batzordea. 2010. *2020 Climate & Energy Package European Commission*. Hemen eskuragarri: <http://ec.europa.eu> [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [9] Ministerio para la transición ecológica. 2019. *RD 244/2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. Hemen eskuragarri: www.boe.es [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [10] Estatuko Aldizkari Ofiziala (BOE 175. zk.). 2020. *Real Decreto Ley 23/2020 de 23 junio por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica*. Hemen eskuragarri: <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2020/06/23/23/com> [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [11] LEON, I.; OREGI, X.; MARIETA, C. 2020. «Contribution of University to Environmental Energy Sustainability in the City». *Sustainability*, 12, 774.
- [12] OLIVER-SOLÀ, J.; JOSA, A.; ARENA, A.P.; GABARRELL, X.; RIER-ADEVALL, J. 2011. «The GWP-Chart: An environmental tool for guiding urban planning processes. Application to concrete sidewalks». *Cities*, 28, 245-250.
- [13] YIGITCANLAR, T.; TERIMAN, S. 2015. «Rethinking sustainable urban development: Towards an integrated planning and development process». *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12, 341-352.
- [14] LEON, I., OREGI, X., & MARIETA, C. 2018. «Environmental assessment of four basque university campuses using the NEST tool». *Sustainable Cities and Society*, 42, 396-406.
- [15] KAPSALAKI, M. (INIVE EEIG) 2017. *Overview: Energy efficient university campus projects*. Hemen eskuragarri: <https://www.buildup.eu/en/node/55486> [2021ko irailaren 13an berrikusia].
- [16] J. GUAN, N. NORD, S. CHEN. 2015. «A Case Study of Campus Building End use of a University in Norway». *Adv. Mater. Res.* 1073-1076, 1259-1262.

- [17] LEAL FILHO, W., et al. 2019. «A Comparative Study of Approaches Towards Energy Efficiency and Renewable Energy use at Higher Education Institutions». *Journal of Cleaner Production*, 237, 117-128.
- [18] MOHAMMADI, A., MEHRPOOYA, M. 2018. «A comprehensive review on coupling different types of electrolyzer to renewable energy sources». *Energy*, 158, 632-655.
- [19] European Commission. 2014. *Communication from the commission to the European parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions on resource efficiency opportunities in the building sector. Com (2014) 445 final*. Hemen eskuragarri: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0445> [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [20] SCHEUER, C., KEOLEIAN, G. A., & REPPE, P. 2003. «Life cycle energy and environmental performance of a new university building: Modeling challenges and design implications». *Energy and Buildings*, 35(10), 1049-1064.
- [21] Oregi, X. 2016. *Techno-economic evaluation of building energy refurbishment processes from a life cycle perspective*. Euskal Herriko Unibertsitatea, Donostia, Espainia.
- [22] LOTTEAU, M., YEPEZ-SALMON, G., & SALMON, N. 2015. «Environmental assessment of sustainable neighborhood projects through NEST, a decision support tool for early stage urban planning». *Procedia Engineering*, 115, 69-76.
- [23] OREGI, X., POUSSE, M., MABE, L., ESCUDERO, A., & MARDARAS, I. 2016. «Sustainability assessment of three districts in the city of Donostia through the NEST simulation tool». *Natural Resources Forum*, 40, 156-168.
- [24] Ibarrola, E., Oregi, X., Leon, I., & Marieta, C. 2017. *Planificación urbana sostenible de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Evaluación de los aspectos Energéticos y Medioambientales del campus de Vitoria/Gasteiz*. RED-U2017 Nazioarteko Biltzarra, Bilbo, Espainia.
- [25] Donostiako Udala. 2011. *Plan de Acción para la Energía Sostenible (PAES-SEAP) del Municipio de Donostia-San Sebastián*. Hemen eskuragarri: https://www.donostia.eus/ataria/documents/8023875/8050877/Documento+PAES_cas.pdf/b9985321-6696-4ee6-884d-3de59a9851fe [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [26] UNAV. (s.f). *Nuestra Historia*. Hemen eskuragarri: <https://www.unav.edu/web/conoce-la-universidad/historia> [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [27] Insider Pamplona. (s.f). *Campus de la Universidad de Navarra*. Hemen eskuragarri: <http://www.insiderpamplona.com/webnueva/campus-de-la-universidad-de-navarra/> [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [28] Google Maps. (s.f). *Universidad de Navarra en Pamplona*. Hemen eskuragarri: <https://www.google.com/maps/search/pamplona+UNAV/@42.8016392,-1.6685101,15z/data=!3m1!4b1> [2021eko irailaren 13an berrikusia].

- [29] Google Maps. (s.f). *Universidad del País Vasco en San Sebastián*. Hemen eskuragarri: <https://www.google.com/maps/place/UPV/@43.3080061,-2.0128675,577m/data=!3m1!1e3> [2021eko irailaren 13an berrikusia].
- [30] Google Maps. (s.f). *Universidad de Pau y de los Países del Adour en Anglet*. Hemen eskuragarri: <https://www.google.com/maps/place/Cnam+Nouvelle-Aquitaine+Centre+D'anglet/@43.479324,-1.5106093,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd51400f19c3049b:0xb258a4f668acc2b2!8m2!3d43.4793201!4d-1.5084206> [2021eko irailaren 13an berrikusia].