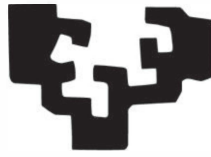


eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Doktorego tesia

Abiadura handiko trenak Espainiako garraio sektorearen trantsizio ekologikoari egiten dion ekarpena: bizi- zikloaren analisiaren ikuspegia

Andoni Kortazar García

DOKTOREGO TESIA

Abiadura handiko trenak Espainiako garraio sektorearen trantsizio ekologikoari egiten dion ekarpena: bizi-zikloaren analisiaren ikuspegia

La contribución del tren de alta velocidad a la transición ecológica del transporte en España: un enfoque de análisis del ciclo de vida

Egilea:

Andoni Rortazar García

Zuzendariak:

Gorka Bueno Mendieta

David Hoyos Ramos

Doktorego programa:

1758/ Garapenari buruzko ikasketak

www.hegoa.ehu.eus

Unibertsitatea:

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko

Unibertsitatea (UPV/EHU)

Data:

2021eko urria

Aita, Ama, Zitzu ta Uxueri

ESKERRAK

Pertsonalki eskerrak emango ditudan arren, eta hasiera batean lotsak pausua ematera oztopatuta, dokumentu honetan behin betirako idatziak geratuko diren hitzak uztea zuzenena dela uste dut. Prozesu honen bukaerara heldutakoan eta atzera begira, zenbaitekin zor handia dudala sentitzen dut. Ondoren botako ditudan izenen errebaso azkarra egin ondoren erabat hunkitu naizela aitortu behar dut eta honako hitz hauek horien guztien esker oneko keinu gisa balio dezatela. Agian, hauxe da atal honen xedea eta ibilbide luze honi itxiera emateko terapia bezala hartu dut.

Gogoratzen naiz nola 2017. urteko egun batean telefonoa eskegi eta artikulu batean zetorren kontaktuari deitu niola. Nire azalpenak eman ostean isiltasun tarte bat egon zen eta bitarteko baten bidez abisatu barik, atrako hau ideia ona ez zela burutik pasa zitzaidan ere. Ostera, Gorkak lasai egoteko eta lanean hasteko prest zegoela esan zidanean, une horretan bertan hasi nintzen lan egiten gaur arte ezagutu dudan zientzilaria fin eta onenarekin. Berarekin lan egiteko eseri naizen bakoitzean ikerketa lekzio bat bestearen atzetik jaso izan dut. Lau urte hauetan aurkitu ditugun oztopoei matematika eta bere ezagutzekin beti irtenbide zuzena aurkitzeko gai izan da. Beti lasai, pentsakor, besteari beti animatzen, edozein egun eta ordutan telefonoz daturen bat komentatzeko prest. prozesu osoan gardentasuna, zorrotasuna eta zehaztasuna ardatz bezala hartzen dituen etab. Langilea oso eta konprometitua erabat, bere betebeharrak profesionalen gaiterik dauden lanak hartzen dituen. Eta hori guztiaren gaiterik, markatu egin nauen apaltasun natural izugarri batekin. Estetika, itxurakeria, marketing-a edo harrotasuna egungo gizartean posizio pribilegiatua lortzeko hain garrantzitsuak bihurtu diren ezaugarrien aurrean, Gorka bezalako jende apala eta zintzoa ez da erraz aurkitzen. Hori da, hain zuzen ere, gaur egun daukagun krisiaren arrazoi nagusietako bat, gure etorkizuneko bidea kameran aurrean fotogenikoa den norbait markatuko du eta ez bere bizitza osoa ikasten/aztertzen/dibulgatzen

aritu den zientzilari zorrotz eta apal batek, noski. Gorka, bizitzak bidean jarri dictan oparia zara eta ez bakarrik zientzia alorrean, denetan baizik. Halako maila duen ikerlari apal batekin lan egitea ohore itzela izan da baina baita halako nortasun zintzoa duen pertsonarekin ere. Hemendik aurrera zurekin ikasten jarraitzeko gogoak 2017ko egun horretakoak baino handiagoak izatera eraman nauzu. Beraz, hori guztiagatik, milioika esker, benetan.

Tesi hau burutzeko osatu dugun taldea ona dela askotan esan egin dut, izan ere, lana beti aurrera jarriotasunez egin du eta hori gure perfil ezberdinen osagarritasun perfektoagatik izan dela uste dut. Gorkarekin prozesu analitikoan jardun ondoren, emaitza horiei errendimendu onena zelan atera David-ek beti argi izan du. Nora jo, nola, zein hitzekin, hau kendu eta beste hori jarri, irakurri-zuzendu, baina batez ere azalpenetan sumatzen diodan segurtasunak izugarritzko lasaitasuna sentitzera eraman nau. Romunikatzaile bikaina, konplexuak gerta daitezkeen gauzak era argien eta sinplean azaltzeko abilezia izugarria du. Ez dira gutxi telefonean eman ditugun orduak azken urte hauetan, tartean konfinamenduko aste horiek, baina beti hitz egiteko prest, batzuetan lanaz, beste askotan musikaz edo bizitzaz, baina beti eskuragarri hizketarako. Beraz, ondo zaindu eta gordeko dudan beste opari bat zara, David, eta hemendik aurrera gehiagotan jasan egin beharko nauzu. Lana daukagu eta nahiz eta zuk beste alorretan ibiltzen hasi zaren, ez zaitut trenetik jaisten utziko, egoera larria da eta ez dago plan "b"-rik. Beraz, egin dezagun dantza lasai erretzen ari den gela honetan. Mila esker, David, eta "keep rockin' in a free world".

Ofizialki lan talde honetako kidea ez izan arren, tesi hau berea balitz bezala hartu duen lagunari ere gorazarre txikia egin nahi nioke. Bizitzak berriz unibertsitatean elkartu gintuen eta agertu zen momentu beretik bere aholku guztiak nire ikerketa ibilbidea antolatzen eraman ninduten. Bide luze honetan eman beharreko pausu guztien azalpenak berak eman dizkit. Ez dira gutxi erantzun behar izan dizkidan galderak eta landu behar izan duen pazientzia nirekin. Eta hori gutxi ez bada,

batzuetan beraren telefono deia jaso, gauean "nire" tesiaren inguruan pentsatzen ibili dela eta ideia bat duela esatea gertatu zait. Eskuzabaltasun itzelaren adibidea zara, Eneko, eta bakarrik espero dut nik zure laguntza maila berean bueltatzen hastea. Eskerrik asko, Eneko.

Edozein zalantza argitzeko beti hor prest egon den beste pertsona bat ere eskertu nahi nuke. Familiakoa da eta, beraz, bere laguntza ibilbideak aspaldi hasi behar izan zuen, nire ikastolako egun horietan, hain zuzen ere. Bere berezko lasaitasunak eta positibismoak bere aholkuak adi entzutera narama beti. Denetan lagundu izan nau eta tesi honetan konkretuki euskarazko bertsiaren errebasoa (abuztuan!) egin du. Oporretan eta ni lana ematen! Barkatu eta mila esker, Pio, beti hor laguntzeko prest egoteagatik.

Eskertu ere Politika Publikoak eta Historia Ekonomikoa saila urte hauetan jaso dudan tratuagatik eta bereziki Luciari. Baita eskertu nahi nituzke Ekonomia Aplikatu 1-eko Gasteizko irakasle guztiak beraien taldekoa balitz bezala hartzeagatik. batez ere departamentuko bazkaria egiten dutenean. Eskerrik asko, Asier, zure esperientzia nirekin partekatzeagatik eta kudeaketa burokratikoak errazteagatik. Mila esker, Miren, zure ordezkaria izaten hasi nintzenean jasotako laguntza eta babes guztiagatik. Eskertu nahi nuke ere Ekopol ikerketa taldeari nire ikerketa lanerako espazioa emateagatik.

Azkenerako utzi ditut etxekoei zor dizkien hitzak. Urte hauek luzeak eta gogorak izan dira. Lanez gainezka ibili gara etxean baina niri denbora emateko eta tesia bukatu ahal izateko Zitzuk bere ikerketa eta akreditazioa albo batera utzi behar izan du. Horri gehitu behar zaio askotan etxeko lanak ere bikoiztu egin zaizkiola eta ez diot inoiz kexarik txikiena ere entzun. Amets goxo bat dirudi zuekin bizitzen ari naizena, beraz, mila esker, Zitzu eta Uxue, egunero ematen didazuen guztiagatik. Era berean, eskerrik asko aita eta ama nire ibilbide akademiko hau posible egiteagatik. Lau seme-alaba aurrera ateratzeko egin behar izan dituzuen ahaleginen jakitun naiz; aita lantegian goizeko turnoan, bazkaldu etxean eta arratsalde osoa bere eskaiola

tailerrean eta bitartean ama R 7-an gurekin leku batetik bestera. Esaldi soil bat besterik ez da, sukaldeko aulkitik ikusi dudana eguneroko errutinaren adibide txiki bat, hala ere jende xume eta apal hau borroka horretan murgilduta ikusteak balore zintzo horien ikasketa dakar nolabait. Beraz, aita eta ama, gauzak ezin hobeto egin dituzue, gutxitan nahi izan diguzue ezertan doktrinatu, baina ez da beharrezkoa izan, zuei soilik behatuz gero asko ikasten zen. Mila esker. Eta eskerrik asko, anaia-arreba, baita gainerako senide eta lagunei. Mila esker danori eta osasuna!

LABURPENA

Lur planetaren batez besteko tenperatura globalaren igoera edo klima-aldaketa arazo zabalago baten zati bat baino ez dira. Ingurumen-krisi globala ezin da alde batera utzi, haren ondorio larriak begien bistakoak eta nabarmenak dira, eta, beraz, jada ezin dira epe luzerako jarduerak bakarrik diseinatu; orainaldian eta premiazko neurriekin jarduten hasi behar da. Horrela, industriaurreko garaitik gertatzen ari den eta azken hamarkadetan bizkortu egin den batez besteko tenperatura globalaren igoerari eta klima-aldaketari erantzun koordinatu bat emateko Pariseko Akordioa erreferentzia eta esparru globala bilakatu da. Akordio horren arabera, helburua da "industriaurreko mailekin alderatuta munduko batez besteko tenperatura igoerak 2 °C-tik oso behera mantentzea, baina tenperaturaren igoera 15 °C-ra mugatzeko ahaleginekin jarraitzea". Ondorioz, Europar Batasunak (EB) eta haren estatu kideek berotegi-efektuko gasen (GHG) isuriak 1990. urtearekin alderatuta gutxienez %55 murriztu behar dituzte 2030erako, eta 2050. urterako isurien neutraltasuna lortu behar dute. Espainiaren kasuan, 2030erako konprometitutako GHG isurien murrizketa %23koa da.

Garraioaren sektorea berotegi-efektuko gasen igorle handienetako bat da Europan, eta isurketa horiek %29 igo dira 1990etik 2018ra arte. Gainera, 2050erako garraio-jarduera bikoiztea aurreikusten da. Testuinguru horretan, agerikoa dirudi Europako garraio-sektorearen ingurumen- eta klima-inpaktuak mugatzeko egungo neurriak ez direla nahikoak izango Europar Batasuneko epe luzeko helburuak lortzeko. Garraioaren jarduerak klima-aldaketari egiten dion ekarpena are gehiago mugatuko duten eta pertsonen eta salgaien mugikortasun iraunkorrera hurbilduko gaituzten neurri berriak behar dira. Horrela, ezinbestekoa da ingurumena gehien errespetatzen duten garraiobideak sustatzea. Batzuetan sektorearen trantsizio ekologikoan garraiobide nagusi gisa aurkeztuta, Abiadura Handiko Trena (AHT) Europan eta munduan zehar erritmo azkarrean hedatzen joan da. Garraiobide elektrikoa denez, beste modu kutsatzaileagoetatik erakartzen duen

garraio guztia (bidaiariak eta salgaiak), GHG isurketei eta energia aurrezteari dagokienez, zuzeneko hobekuntza dela bere alde argudiatzen da. Hala ere, baieztapen horiek AHTren ingurumen-errendimenduari buruzko azterlan partzialetan oinarritzen dira normalean, hau da, garraiobide horri buruz egin diren ingurumen-azterlan gehienek trenaren operazioa baino ez dute aztertzen, eta ez dituzte kontuan hartzen azpiegitura eraikitze eta mantentzeko faseei lotutako zamak. Eta AHT batek behar duen azpiegitura ez da, hain zuzen ere, sinplea: hormigoia eta altzairua bezalako baliabide material eta natural kopuru izugarria eskatzen du, baita lurraren mugimenduak ere. Beraz, energia asko kontsumitzen da eta atmosferara substantzia kutsatzaile asko isurtzen dira, eta horiek ere kontabilizatu egin beharko lirateke.

AHTko proiektu baten ingurumen-erantzuna ebaluatzeko orduan, proiektuaren bizitza baliagarri osoan zehar gerta daitezkeen ingurumen-inpaktu positibo eta negatibo guztien azterketa zorrotza egitea funtsezkoa da. Horrek esan nahi du AHTko azpiegitura baten bizitza baliagarria osatzen duten fase guztiak barneratu behar direla azterketan, ez bakarrik trenaren operazio-fasea, baita azpiegitura eraikitze eta mantentzeko faseak ere. Analisi hori egiteko, tesi honek Bizi Zikloaren Azterketaren (LCA) metodologia aplikatu du ezaugarri desberdinak dituzten bi AHT proiektuetan (Espainiako AVE sarea eta Euskal Y-a Euskadin), haien bizitza baliagarri osoan zehar, berotegi-efektuko gasen eta atmosferara egindako beste substantzia batzuen isuriei eta energia-kontsumoari dagokien ingurumen-zamak aztertuz. Horrela, garraiobide horrek klima-aldaketan duen eragina zehaztu ahal izan da, eta Parisko Akordioan ezarritako ingurumen-helburuak lortzeko egin dezakeen ekarpena egiaztatu ahal izan da ere.

AVE sareko LCAREN emaitzek Espainiako sare osoaren ingurumen-balantze garbia, kaltegarria izan gabe, apala dela erakusten dute. Azpiegiturak 20 urte baino gutxiago behar ditu eraikuntza- eta mantentze-faseari lotutako hasierako zamak konpentsatzeko. Emaitza

hori oso positibotzat har daiteke; hala ere, AVEaren operazioaren ondoriozko ingurumen-inpaktuaren murrizketak oso mugatuak dira. CO₂eq isurketei dagokionez, aurrezpen hori 2016an Espainiako garraioari lotutako isurketen %1 baino gutxiago da, eta urte berean Espainiako garraio-sektoreak kontsumitutako energia guztiaren %05 baino gutxiago. Gainera, AVE sarea osatzen duten korridore guztiek ez dute portaera berdina. AVEko lehen korridoreak Rataluniaraino eta Andaluziaraino martxan jartzeak bederatzi eta hamabi urteko operazioaren ondoren CO₂eq-en ingurumen-onura garbia eragin dute, hurrenez hurren. Hala ere, tesi honek sarea garraio-eskaera txikiagoa duten korridoretara hedatzen den heinean (Levanteko eta Iparraldeko korridoreak), ingurumen balantzearen emaitzak okerrera egiten duela erakusten du ere. AV sarea dentsitate demografiko txikiagoko eremuetara zabaltzeak garraio-dentsitatea murriztu du, eta bistakoa dirudi tarte berriak inauguratu ahala garraio-dentsitateak murrizten jarraituko duela. Beraz, sarearen ingurumen-balantze garbian eragin handiena duen faktorea, argi eta garbi, garraio-dentsitatea da, eta kasu honetan ez da nahikoa. Gainera, ingurumen-balantze hori onuragarria izan dadin, abiadura handiko garraio-eskaria, beste garraiobide kutsatzaileagoak diren batzuetatik AHTra desplazatetik etorri behar dela batez ere, eta ez eskari induzitu berri batetik, kontuan hartzea garrantzitsua da. Laburbilduz, AVE sareak klima-aldaketa arintzeko eta energia-mendekotasuna murrizteko duen gaitasuna ez da nahikoa gaur egungo ingurumen-krisi globalaren testuinguruan, hamarkada honetan bertan GHG isuriak nabarmen murriztea eskatzen baita.

Euskal V-aren ikerketaren emaitzek erakusten dutenez, sare horren eraikuntzaren ingurumen-zamak oso handiak dira, trenak inguruko orografia menditsuak dituen oztopoak gainditzeko egitura handi eta konplexuak eraiki behar direlako. Euskal Y-aren trazaduraren %70 tuneletatik eta bidezubietatik doa. Horrek baliabide material eta energetiko gehiago kontsumitzea dakarren arren, eta, beraz, proiektuaren ingurumen-balantzean pisu handia duen arren,

Oinarrizko Agertokiaren azterketak (aintzat hartutako kasurik baikorrena) Euskal Y-ak eraikuntza- eta mantentze-faseetako berotegi-efektuko gasen isuriak eta energia-kontsumoak 12 urte baino gutxiagoan konpentsatuko lituzkeela ondorioztatzen du. Euskal Y linearen aldeko ingurumen-balantze garbi hori azalduko lukeen faktore nagusia salgaien kamioien trafikoaren zati handi bat AHTra erakartzeko gaitasuna izango litzateke, betiere ADIFek argitaratutako bidaiarien eta salgaien eskariaren aurreikuspenak betetzen badira. Izan ere, zalantza handiak daude Euskal Y-ak salgaien eta bidaiarien garraio mistoa eskaintzeko eta, aldi berean, errepideko garraioarekin lehiakorra izango duen gaitasunari buruz: alde batetik, salgaien zein bidaiarien garraioa eskaintzen duten abiadura handiko azpiegituri lotutako muga tekniko garrantzitsuak daude, eta, beste alde batetik, gainerako AVE sarea eta Frantziar konexioa bidaiariak garraiatzeko bakarrik diseinatuta daude. Beraz, logikoagoa dirudi salgaien garraio-eskari errealistago batean pentsatzea; kasu horretan, Euskal Y-aren ingurumen-balantzearen emaitzak nabarmen okertzen dira, eta azkenean Euskal Y-aren bidez salgaiak garraiatuko ez balira eraikuntza-zamak 50 urteko operazioarekin ere ez amortizatzea gertatuko zen. Izan ere, Euskal Y-ko bidaiarien eskaria oso txikia da, eta beste abiadura handiko sare batzuen eskarrietatik oso urrun dago. Dena den, eskari-maila ofizialei eutsiz gero ere, balantze positibo hori klima-aldaketa arintzeko politiken testuinguru zabalagoari dagokionez hutsala da; izan ere, Euskadiko garraioaren sektoreko berotegi-efektuko gasen urteko isurketen %3 baino gutxiago eta urteko berotegi-efektuko gas totalen isurien %1 baino gutxiago murrizten lagunduko luke. Datu horiekin zaila dirudi orduan, 2050. urtea baino lehen, 30 urte eskasean, neutraltasun klimatikoa lortzeko hartutako konpromisoa betetzea.

Laburbilduz, klima-larrialdiaren egungo testuinguruan, abiadura handiko garraio-azpiegituran inbertitzeko erabakiak aukera bakoitza kasuz kasu aztertzetik etorri behar dira, eta eskari nahikoa bermatzen

dutenak baino ez dira egin behar; hori bai, eskari hori beste modu kutsatzaileagoetatik AHTra mugitzetik etorri behar da, eta ez eskari berria sortzetik. Baldintza horiek betetzen ez dituzten proiektuek ez dute hobekuntzarik ekarriko CO₂eq eta energia-kontsumoari dagokienez; aitzitik, egoera okertuko dute eta nazioarteko akordioak betetzea eragotziko dute.

AURKIBIDEA

I. KAPITULUA. SARRERA.....	3
1 Sarrera	5
1.1 Motibazioa	5
1.2 Tesiaren helburua	8
1.3 Tesiaren egitura	12
II. KAPITULUA. TESTUINGURUA	15
2 Testuingurua	17
2.1 Garapen Iraunkorraren kontzeptuaren jatorria eta bilakaera... 17	
2.2 Mugikortasun Iraunkorraren kontzeptuari hurbilketa laburra 25	
2.3 Garraioaren inpaktuak	30
2.3.1 Uraren kutsadura	31
2.3.2 Lurzoruaren kutsadura eta lurraldearen okupazioa.....	32
2.3.3 Kutsadura akustikoa eta bibrazioak.....	33
2.3.4 Istripuak	34
2.3.5 Garraio pilaketak.....	35
2.4 Garraioaren sektoreak klima-aldaketari egiten dion ekarpena 36	
2.5 Abiadura Handiko Trenaren (AHT) ekarpena Mugikortasun Iraunkorrari	41
III. KAPITULUA. METODOLOGIA:.....	47
3 Metodologia: Bizi-zikloaren Analisia (LCA)	49
3.1 LCAREN prozesua ISO arauak oinarri hartuta.....	52
3.1.1 LCAREN faseak	53
3.2 AHT kasu desberdinetan egindako LCA ikerketen berrikuspen bibliografikoa	56
3.3 AHT azpiegitura baten Bizi-Zikloaren Analisisirako (LCA) modelizazioa.....	60
3.3.1 AHTa eraikitze eta mantentzeko faseetako ingurumen-zamen kalkulua	62
3.3.2 AHTaren operazio-faseko ingurumen-zamen kalkulua.....	68
3.3.3 AHTra desplazatutako garraioari lotutako ingurumen-zamak 71	
IV. KAPITULUA.....	75

AVE SAREAREN ANALISIA	75
4 AVE sarearen analisia.....	77
4.1 AVEren testuingurua.....	77
4.2 Azterketa honen helburua eta egitura	79
4.3 Analisisian erabilitako datuen deskribapena	80
4.3.1 AVE sarearen diseinua edo trazadura	81
4.3.2 AVE sareko bidaiarien garraio eskaria.....	82
4.4 Agertokien deskripzioa	96
4.5 AVE sarearen LCaren emaitzak.....	100
4.5.1 Oinarrizko Agertokiaren emaitzak	100
4.5.2 Sentsibiltate-analisiaren emaitzak.....	105
V. KAPITULUA. EUSKAL Y-AREN ANALISIA.....	115
5 Euskal Y-aren analisia	117
5.1 Euskal Y-aren testuingurua.....	117
5.2 Analisi honen helburua eta egitura.....	120
5.3 Analisisian erabilitako datuen deskribapena	121
5.3.1 Euskal Y linearen diseinua eta trazadura.....	121
5.3.2 Bidaiarien eta salgaien eskariari buruzko datuak	123
5.4 Agertokien deskripzioa	127
5.5 Euskal Y-aren analisiaren emaitzak.....	131
5.5.1 Oinarrizko Agertokiaren emaitzak	131
5.5.2 Sentsibiltate-analisiaren emaitzak.....	134
VI. KAPITULUA.....	143
EZTABAIDA	143
6 Eztabaida.....	145
VII. KAPITULUA. ONDORIOAK	165
7 Ondorioak.....	167
VIII. KAPITULUA BIBLIOGRAFIA	175
8 Bibliografia.....	177

TAULEN AURKIBIDEA

<i>1.1 Taula. Ingurumen-adierazleak eta lotutako inpaktu-kategoriak.</i>	<i>11</i>
<i>2.1 Taula. 2015-2030 eperako Garapen Iraunkorarako Helburuak (SDGs). UNDP oinarri hartuta egina (2015).</i>	<i>24</i>
<i>2.2 Taula. GHG isurketak EB-2Ban, Espainian eta Euskadin, 1990-2017 epean. Europar Batzordea (2019) eta Eusko Jaurlaritza (2019) oinarri hartuta egina.</i>	<i>40</i>
<i>2.3 Taula. Garraio modu ezberdinen GHG isurketak EB-2Ban. Europar Batzordea (2019) oinarri hartuta egina.</i>	<i>40</i>
<i>3.1 Taula. Abiadura handiko trenbide-lineei buruzko LCA azterketa nagusiak.</i>	<i>59</i>
<i>3.2 Taula. Zubi eta biaduktuen inpaktua, km eta urtean. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>64</i>
<i>3.3 Taula. Lur mugimenduen inpaktua, km eta urte. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>64</i>
<i>3.4 Taula. Tunelen inpaktua, km eta urtea. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>65</i>
<i>3.5 Taula. Trenbide-trabesak eta balastoen inpaktua, km eta urtea. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>65</i>
<i>3.6 Taula. Trenbide-rail-aren inpaktua, km eta urte. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>66</i>
<i>3.1 Taula. Zutoinak, katenaria eta aireko kableen inpaktua, km eta urteko. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>66</i>
<i>3.8 Taula. Seinale eta komunikazio sistemen inpaktua, km eta urteko. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>67</i>
<i>3.9 Taula. Trenbideko eraikinen konstrukzioa eta mantentze lanak. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).</i>	<i>67</i>

- 3.10 Taula. AVE sarearen LCAaren azterketan garraio modu desberdinetarako aintzat hartutako inpaktu-koefizienteak. Ecoinvent 3.7 bertsioan oinarrituta eginda. (E1, E2, E3, E', ES sentsibilitatea aztertzeko agertoki ezberdinak dira). 69
- 3.11 Taula. Euskal Y-a linearen LCAa azterketan garraio modu desberdinetarako aintzat hartutako inpaktu-koefizienteak. Ecoinvent 3.7 bertsioan oinarrituta eginda (EB, E1, E2, E3, E', ES, E6 y E7 sentsibilitatea aztertzeko agertoki ezberdinak dira). 70
- 3.12 Taula. Beste modu batzuetatik AVEra desplazatutako garraioa. Betancor y Llobet (2015) oinarrituta eginda. 73
- 3.13 Taula. Beste modu batzuetatik Euskal Y-ra desplazatutako bidaiarien garraioa. ADIFen txostenetan (2015a, 2015b) oinarrituta eginda. 73
- 3.1'1 Taula. Beste modu batzuetatik Euskal Y-ra desplazatutako salgaien garraioa. ADIF txostenean (2015b) oinarrituta eginda. 73
- '11 Taula. AVE sare osoaren detaileen laburpena 2016. urtean. 82
- '12 Taula. Ipar korridoreko geltokien arteko distantziak eta geltoki bakoitzeko bidaiarien etorrerak eta irteerak. 84
- '13 Taula. Madril-Andaluziako geltokien arteko distantziak eta geltoki bakoitzeko bidaiarien etorrerak eta irteerak. 85
- '11 Taula. Madril-Levanteko geltokien arteko distantziak eta geltoki bakoitzeko bidaiarien etorrerak eta irteerak. 86
- '15 Taula. Madril-Rataluniako geltokien arteko distantziak eta geltoki bakoitzeko bidaiarien etorrerak eta irteerak. 87
- '16 Taula. Iparraldeko korridorean AVEren geltoki bakoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea. 91
- '11 Taula. Madril-Andaluzia korridorean AVEren geltoki bakoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea. 92

4.8 Taula. Madril-Levanteko korridorean AVEren geltoki bakoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea.	93
4.9 Taula. Madril-Rataluniako korridorean AVEren geltoki bakoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea.	94
4.10 Taula. 2016an AVEren sareko konexio espezifikoko bidaiarien trafikoa, Fundación de los Ferrocarriles Españoles (2017).	95
4.11 Taula. 2016an korridore bakoitzaren urteko garraioaren estimazioa eta bere garraio-dentsitatea.	96
4.12 Taula. Agertokien deskripzioaren laburpena.	97
4.13 Taula. Erreferentziako agertokiarekin (Oinarrizko Agertokia) eta agertoki alternatiboekin (EI-ES) lotutako sakoneko datuen testuingurua.	99
4.14 Taula. Rataluniako korridoreak Oinarrizko Agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantzea.	100
4.15 Taula. AVE sare osoaren (lau korridore) Oinarrizko Agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantzea (N.C: No Compensation in 100 years).	101
4.16 Taula. AVE sareko lau korridoreak eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako urteko ingurumen-inpaktua.	103
4.11 Taula. AVEren azpiegitura eraikitzea eta mantentze faseei lotutako GHG isuriak, bidaiari/kilometro bakoitzeko eta korridore bakoitzean.	104
4.18 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Andaluziako korridoreko balantze garbiaren emaitzak (N.C: No Compensation in 100 years).	106
4.19 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Iparreko korridoreko balantze garbiaren emaitzak (N.C: No Compensation in 100 years).	106
4.20 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Rataluniako korridoreko balantze garbiaren emaitzak (N.C: No Compensation in 100 years).	107

<i>4.21 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Levanteko korridoreko balantze garbiaren emaitzak (N.C: No Compensation in 100 years).</i>	<i>107</i>
<i>4.22 Taula. Andaluzia korridoreko emaitza zehatzak.</i>	<i>111</i>
<i>4.23 Taula. Ipar korridoreko emaitza zehatzak.</i>	<i>112</i>
<i>4.24 Taula. Rataluniako korridoreko emaitza zehatzak.</i>	<i>113</i>
<i>4.25 Taula. Levanteko korridorearen emaitza zehatzak.</i>	<i>114</i>
<i>5.1 Taula. Euskal V-aren azpiegituraren xehetasunak.</i>	<i>123</i>
<i>5.2 Taula. ADIFen lanetatik (2015a, 2015b) abiatuta Euskal V-aren bidaiarien garraio-eskaria.</i>	<i>126</i>
<i>5.3 Taula. Aztertutako agertoki guztien deskripzioaren laburpena.</i>	<i>128</i>
<i>5.4 Taula. Oinarrizko Agertokia eta agertoki alternatiboen (EI-E7) deskribapen xehea.</i>	<i>130</i>
<i>5.5 Taula. Euskal V lineako eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako urteko ingurumen-inpaktua.</i>	<i>132</i>
<i>5.6 Taula. Euskal V-a Oinarrizko Agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa.</i>	<i>132</i>
<i>5.1 Taula. Planteatutako agertoki guztien emaitzak, eraikuntza eta mantentze-faseen hasierako zamak konpentsatzeko behar diren eragiketa-urteen kopurua bezala aurkeztuta. (N.C: No Compensation in 100 years).</i>	<i>134</i>
<i>5.8 Taula. Euskal V-a EI agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa.</i>	<i>135</i>
<i>5.9 Taula. Euskal V-a E2 agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa.</i>	<i>135</i>
<i>5.10 Taula. Ingurumen-inpaktuaren urteko batez besteko balantze garbia, bizi-ziklo osoan metatutako balantzea eta E3 agertoki dinamikoan Euskal V-a eraikitzeako ingurumen-kargak konpentsatzeko beharrezkoak diren urteak.</i>	<i>136</i>

- 5.11 Taula. Euskal Y-a E4 agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa. 137
- 5.12 Taula. Euskal Y-a ES agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa. 138
- 5.13 Taula. Ingurumen-inpaktuaren urteko batez besteko balantze garbia, bizi-ziklo osoan metatutako balantzea eta E6 agertoki dinamikoan Euskal Y-a eraikitzeko ingurumen-kargak konpentsatzeko beharrezkoak diren urteak. 139
- 5.1'1 Taula. Euskal Y-a E7 agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa. 139
- 6.1 Taula. 2016an AHTaren sare nazionaletan bidaiarien garraio-dentsitatea. UIC (2016) estatistiketatik abiatuta egina. 146
- 6.2 Taula. AVE-aren Rataluniako korridorearen Oinarrizko Agertokiko ingurumen-inpaktuaren balantzea, luzera bereko autobideko okupazioaren bikoizketa (API), ibilgailuen elektrifikazioa (AP2) eta okupazioaren bikoizketarekin eta elektrizitate berriztagarriko ibilgailuen (AP3) agertokien alderaketa. 150
- 6.3 Taula. E4 eta E7 agertokien emaitzak (Euskal Y-a bidaiarien garraioarekin bakarrik), eraikuntza eta mantentze-faseen hasierako zamak konpentsatzeko beharrezkoak diren operazio-urteen kopuru gisa aurkeztuak. 155
- 6.1 Taula. Euskal Y-aren Bilbo eta Donostia-San Sebastián (110 km) konexioaren Oinarrizko Agertokiko ingurumen-inpaktuaren balantzea, konexio bereko AP-8 (100 km) autobideko okupazioaren bikoizketa (PE1), ibilgailuen elektrifikazioa (PE2) eta okupazioaren bikoizketarekin eta elektrizitate berriztagarriko ibilgailuen (PE3) agertokien alderaketa. 158

IRUDIEN AURKIBIDEA

<i>1.1 Irudia. Tesiaren egitura orokorra.</i>	12
<i>4.1 Irudia. AVE sarearen mapa (2016). Iturria: Bellet Sanfeliu and Santos Ganges, 2016.</i>	82
<i>4.2 Irudia. Andaluziako korridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari baliokideetan neurtutako garraioa.</i>	89
<i>4.3 Irudia. Levanteko korridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari baliokideetan neurtutako garraioa.</i>	89
<i>4.4 Irudia. Iparreko korridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari baliokideetan neurtutako garraioa.</i>	90
<i>4.5 Irudia. Rataluniako korridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari baliokideetan neurtutako garraioa.</i>	90
<i>5.1 Irudia. AVE eta Euskal V-a mapan. Iturria: (Bez, 2016) y Wikipedia (2020).</i>	119
<i>5.2 Irudia. Euskal V-ko bidaiarien eta salgaien urteko garraioaren bilakaera agertoki bakoitzean.</i>	140
<i>5.3 Irudia. Berotze globalaren (GWPI00) eta energia metatuaren eskaeraren (CED) adierazleen urteko balantzeen bilakaera.</i>	140
<i>5.4 Irudia. PM10 eta SO2 emisioen adierazleen urteko balantzeen bilakaera.</i>	141
<i>5.5 Irudia. NOx eta NMVOC emisioen adierazleen urteko balantzeen bilakaera.</i>	141
<i>6.1 Irudia. Abiadura handiaren garraio-dentsitatea Espainian, Frantzian, Japonian eta Txinan. UIC (2021) estatistiketatik abiatuta egina. Garraio-</i>	

*dentsitatea azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideetan ematen da
(ikus 10. oharra).*

148

AKRONIMOAK

Akronimoa	Ingelera/Frantseza	Gaztelera	Euskara
C	degree Celsius	grado Celsius	Celsius gradu
ACB	Cost-Benefit Analysis	Análisis de Coste-Beneficio	Kostu-Mozkin Análisis
ADIF	Administrator of Railway Infrastructures	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias	Trenbide Azpiegituren Administrazioa
ADIF-AV	Administrator of Railway Infrastructures-High Speed	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias-Alta Velocidad	Trenbide Azpiegituren Administrazioa-Abiadura Handia
AHT	High Speed Rail, HSR	Tren de Alta Velocidad, TAV	Abiadura Handiko Trena
AIC	Aviation-induced cloudiness	Nubosidad inducida por la aviación	Hegazkinek eragindako hodeiak
A!ReF	Independent Authority for Fiscal Responsibility	Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal	Erantzukizun Fiskaleko Agintaritza Independentea
ALE	Germany	Alemania	Alemania
AP-1-AP-3	Alternative scenarios on the motorway in Catalonia	Escenarios alternativos en autopista del corredor de Cataluña	Agertoki alternatiboak Kataluniako korridoreko autobideetan
AP-8	Cantabrian Highway	Autopista del Cantábrico	Kantauriko Autobidea
ASALE	Association of Academies of the Spanish Language	Asociación de Academias de la Lengua Española, ASALE	Gaztelaniaren Akademien Elkarte
AV	High Speed	Alta Velocidad	Abiadura Handia
AVE	Spanish High Speed Rail	Alta Velocidad Española, AVE	Espainiako Abiadura Handia
BPG	Gross domestic product, GDP	Producto Interior Bruto, PIB	Barne Produktu Gordina, BPG
CAHSR	California High Speed Rail	Tren de Alta Velocidad de California	Kaliforniako Abiadura Handiko Trena
CEO	Cumulative Energy Demand	Demanda acumulada de energía	Energia eskari metatua
CH	Switzerland (Ecoinvent database localization code)	Suiza (código de localización de la base de datos de Ecoinvent)	Suitza (Ecoinvent datu-basearen lokalizazio kodea)
CH.	Methane	Metano	Metano
CJRC	Central Japan Railway Company	Compañía de Ferrocarriles de Japón Central	Japoniako Erdialdeko Trenbide Konpainia
CML-IA	Impact Assessment method developed by the Institute of Environmental Sciences (Universiteit Leiden)	Método de evaluación de impacto desarrollado por el Instituto de Ciencias Ambientales (Universiteit Leiden)	Ingurumen Zientzien Institutuak (Universiteit Leiden) garatutako inpaktuaren ebaluazio metodoa.
CO	Carbon Monoxide	Monóxido de carbono	Karbono monoxido
CO2-eq	Carbon Dioxide Equivalent	Equivalente de dióxido de carbono	Karbono dióxidoaren baliokide
COP21	2015 United Nations Climate Change Conference	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2015	2015eko Nazio Batuen Klima Aldaketari buruzko Konferentzia
dB(A)	Decibel	Decibelio	Dezibelioa
DGT	Directorate-General for Traffic	Dirección General de Tráfico	Trafitko Zuzendaritza Nagusia
EI-E7	Scenarios 1 to 7	Escenarios del 1 al 7	letik 7ra agertokiak
EU, UE, EB	European Union, EU	Unión Europea, UE	Europar Batasuna
EB	Baseline Scenario	Escenario Base	Oinarritzko Agertokia
EICV	Life Cycle Impact Assessment, LCIA	Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida	Bizi-zikloaren inpaktuen ebaluazioa
EJR	East Japan Rail	Ferrocarril del este de Japón	Japonia ekialdeko trenbidea
ERTMS	European Traffic Management System	Sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario	Trenbide-trafitkoa kudeatzeko Europako sistema
EURO 5	Euro 5 standard	Norma euro 5	Euro 5 araua
EURO 6	Euro 6 standard	Norma euro 6	Euro 6 araua
EUSTAT	Basque Institute of Statistics	Instituto Vasco de Estadística	Euskal Estatistika Erakundea
g	gram	gramo	gramo
GHG, GEi, BEG	Greenhouse Gases	Gases de efecto invernadero, GEi	Berotegi Eftektuko Gasak, BEG
GJ-eq	Gigajoule equivalent	Gigajoule equivalente	Gigajoule baliokidea
GLO	Global (Ecoinvent database localization code)	Global (código de localización de la base de datos de Ecoinvent)	Global (Ecoinvent datu-basearen lokalizazio kodea)
GWPI00	Global Warming Potential in 100 years	Potencial de calentamiento global en 100 años	Berotze globaleko potentziala 100 urtean
HFC	Hydrofluorocarbons	Hidrofluorocarburos	Hidrofluorokarbonoak
Hz	Hertz	Hercio, Hertz	Hertz
ICE	InterCityExpress	InterCityExpress	InterCityExpress
ICV	Life-cycle inventory, LCI	Inventario de Ciclo de Vida	Bizi-Zikloaren Inbentarioa
IHOBE	Public Society for Environmental Management of the Basque Government	Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco	Eusko Jaurlaritzako Ingurumen Jarrikerako Sozietate Publikoa
ILCD	International Reference Life Cycle Data System	Sistema de referencia internacional de datos de ciclo de vida	Nazioarteko erreferentziako bizi-zikloko datuen sistema
INECO	Engineering and Transport Economics	Ingeniería y Economía del Transporte	Garraio Ingeniaritza eta Ekonomia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático	Klima-aldaketari buruzko Gobernuarteko Taldea
ISO	International Organisation for Standardisation	Organización Internacional de Normalización	Estandarizaziorako Nazioarteko Erakundea
kg	kilogram	kilogramo	kilogramo

**Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari
egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia**

Akronimoa	Ingelera/Frantseza	Gaztelera	Euskara
km	kilometre	kilómetro	kilometro
km/h	kilometre per hour	kilómetro por hora	kilometro orduko
km ²	square kilometre	kilómetro cuadrado	kilometro karratu
kt	kilotonne	kilotonelada	kilotona
ktep	kilotonne of oil equivalent (ktoe)	kilotonelada equivalente de petróleo	kilotona petrolio baliokide (ktpb)
kV	kilovolt	kilovoltio	kilovolt
LAV	High Speed Line	Linea de Alta Velocidad	Abiadura handiko linea
LCA	Life Cycle Assessment	Análisis de Ciclo de Vida, ACV	Bizi-Zikloaren Analisia, BZA
LCI	Life Cycle Inventory	Inventario de ciclo de vida	Bizi-zikloaren inbentarioa
LCIA	Life Cycle Impact Assessment	Evaluación de impacto del ciclo de vida	Bizi-zikloaren inpaktuaren ebaluazioa
MJ-eq	megajoule equivalent	megajoule equivalente	megajoule baliokide
mm	millimetre	milímetro	milimetro
Mp	million passengers (Mp)	millón de pasajeros	milioi bidaiari
Mpkm	Milions of passengers and kilometre	Millones de pasajeros kilómetro	Milioika bidaiari kilometro
Mt	milion tonnes	millón de toneladas	milioi tona
Mtkm	million ton-kilometres	millón de toneladas-kilómetro	milioi tona-kilometro
N.C.	No Compensation	Sin Compensación	Konpentsaziorik ez
N2O	nitrous oxide	óxido nitroso	oxido nitrosoa
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio	Aeronautika eta Espazioaren Agentzia Nazionala
NBE, UN, ONU	United Nations Organization, UN	Organización de las Naciones Unidas, ONU	Nazio Batuen Erakundea, NBE
NDC	Nationally Determined Contributions	Contribuciones determinadas a nivel nacional	Nazio Ekarpren Zehatzak
NF,	nitrogen trifluoride	trifluoruro de nitrógeno	nitrogeno trifluoruroa
NM VOC	Non Methane Volatile Organic Compounds	compuestos orgánicos volátiles no metánicos	metano a ez diren konposatu organiko lurrunkorrak
NOX	nitrogen oxide	óxidos de nitrógeno	nitrogeno-oxidoak
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos	Ekonomiako Lankidetzeta eta Garapenerako Erakundea
p/v	vehicle occupancy rate, people per vehicle	tasa de ocupación del vehículo, personas por vehículo	kotxeen okupazio-tasa, pertsonak kotxekeo
PBL	Bid Base Budget	Presupuesto Base de Licitación	Lizitazioaren oinarritzko aurrekontua
PE1-PE3	Alternative scenarios on the AP-8 motorway in the Basque Country	Escenarios alternativos en autopista AP-8 de Euskadi	Agertoki alternatiboak Euskadiko AP-8 autobidean
PFC	perfluorocarbons	fluorocarburos	perfluorokarbonoak
pkm	Passenger-kilometre	pasajero-kilómetro	bidaiari-kilometro
PM10/PM2.5	particulate matter	material particulado	partikula esekiak
PNUMA	United Nations Environment Programme, UNEP	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente	Nazio Batuen Ingurumen Programa
PSOE	Spanish Socialist Workers' Party	Partido Socialista Obrero Español, PSOE	Espainiako Langile Alderdi Sozialista
RAE	Royal Spanish Academy	Real Academia Española (RAE)	Espainiako Errege Akademia
RAILISA	Rail Information System and Analyses	Análisis y sistemkataluníaa de información ferroviaria	Trenbideen azterketa eta informazio-sistema
RENFE	National Network of Spanish Railways	Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles	Espainiako Trenbideen Sare Nazionala
RER	Region of Europe (Ecoinvent database localization code)	Región de Europa (código de localización de la base de datos Ecoinvent)	Europako eskualdea (Ecoinvent datu-basearen lokalizazio kodea)
RF	Radiative Forcing	Forzamiento radiativo	Indartze erradiatiboa
RFI	Radiative Forcing Index	Índice de forzamiento radiativo	Indartze erradiatiboaren indizea
SDG	Sustainable Development Goals	Objetivos de Desarrollo Sostenible	Garapen Iraunkorraren Helburuak
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry	Sociedad de Toxicología y Química Ambiental	Toxikologia eta Ingurumen Kimikako Elkartea
SF,	sulphur hexafluoride	hexafluoruro de azufre	sufre hexafluoruroa
SNFC	Société Nationale des Chemins de fer Français	Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses	Frantziar Burdinbideen Sozietate Nazionala
S02	sulphur dioxide	dióxido de azufre	sufre dioxidoa
SPRI	Basque Agency for business development	Agencia vasca de desarrollo empresarial	Enpresen garapenerako Euskal Agentzia
t	tonne	tonelada	tona
TGV	Train à Grande Vitesse	TGV	TGV
THSRC	Taiwan High Speed Rail Corporation	Corporación de trenes de alta velocidad de Taiwán	Taiwango abiadura handiko trenen korporazioa
TJ	terajoule	terajoule	terajoule
UGT	General Union of Workers	Unión General de Trabajadores, UGT	Langileen Batasun Orokorra (kenduko nuke, ez da erabiltzen)
UIC	International Union of Railways	Unión Internacional de Ferrocarriles	Nazioarteko Trenen Batasuna
UKHS2	United Kingdom High Speed line 2	Linea 2 de Alta Velocidad del Reino Unido	Erresuma Batuko Abiadura Handiko linea 2

Akronimoa	Ingelera/Frantseza	Gaztelera	Euskara
UN	United Nations	Naciones Unidas	Nazio Batuak
UNDP	United Nations Development Programme	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD	Garapenerako Nazio Batuen Programa
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	Nazio Batuen Rlima Aldaketari buruzko Esparru Hitzarmena
VAO	High Occupancy Vehicles	Vehículos con Alta Ocupación	Okupazio-maila handiko fbilgailuak
WHO	World Health Organization	Organización Mundial de la Salud, OMS	Osasunaren Mundu Erakundeak
WJRC	West Japan Rail Company	Compañía ferroviaria del oeste de Japón	Japoniako mendebaldeko tren konpainia

ERUAZIOEN NOMENKLATURAK

I Garbia (t)	Ingurumen inpaktu garbia, t urtean
$I_{AHTrekin}$	Ingurumen inpaktu garbia, AHT proiektua burututa
$I_{AHTgabe}$	Ingurumen inpaktu garbia, AHT proiektu barik
$I_{AHTgarraioa}$	AHTaren ingurumen inpaktua
I_{AHTra} desplazatutako garraioa	AHTra desplazatutako garraioaren ingurumen inpaktua
$\Sigma I_{Eraikuntza \wedge Mantentzea}^{AHT}$	AHTaren eraikuntza eta mantentze faseen ingurumen inpaktua
$\Sigma I_{Operazioa}^{AHT}$	AHTaren operazio fasearen ingurumen inpaktua
$\Sigma_i I_{i \rightarrow AHT}^i$	Beste garraio moduetatik AHTra desplazatutako garraioaren ingurumen inpaktua
$IIG_{operazioa}(t)$	Operazio fasearen ingurumen inpaktu garbia, t urtean
$\Sigma_i T_{AHTrekin}^i(t)$	Garraio modu bakoitzeko urteko eskaria, AHT proiektua burututa
$c_{AHTrekin}^i(t)$	Garraio modu bakoitzari aplikatutako koefizientea, AHT proiektua burututa
$\Sigma_i T_{AHTgabe}^i(t)$	Garraio modu bakoitzeko urteko eskaria, AHT proiektua ez bada burutzen
$c_{AHTgabe}^i(t)$	Garraio modu bakoitzari aplikatutako koefizientea, AHT proiektua ez bada burutzen
$T^{AHT}(t)$	AHTaren eskaria, t urtean
$c^{AHT}(t)$	AHTari aplikatutako koefizientea
$\Sigma_i T_{i \rightarrow AHT}^i(t)$	Beste garraio moduetatik AHTra desplazatutako garraio totala
$c^i(t)$	Garraio modu bakoitzari aplikatutako koefizientea
$I_{saihestua}$	Ingurumen inpaktu garbi saihestua
$\Sigma_i I_{i \rightarrow AHT}^i$	Beste garraio moduetatik AHTra desplazatutako ingurumen inpaktu garbiak
i	Garraio modu bakoitza (aurreko formuletan)
(t)	Urtea
c	Inpaktu koefizientea
T	Garraio eskaria
DP	Bidaiari-dentsitatea (density of passengers)
P	Azpiegituretatik mugitzen diren urteko bidaiariak
L	Sarearen hedadura lineala
DT	Garraio-dentsitatea (density of transport)
T	Azpiegituretak zerbitzatzen duen urteko garraio osoa (transport)

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sehtorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

Im Bidaiari bahoitzah sarearen barruan egindaho batez besteho desplazamendua

Peq Urtero sare osoan bidaiatzen duten bidaiarien hopuru baliohidea

**Abiadura handiko trenak Espainiako garraio
sektorearen trantsizio ekologikoari egiten dion
ekarpena: bizi-zikloaren analisiaren ikuspegia**

I. KAPITULUA. SARRERA

1 Sarrera

1.1 Motibazioa

Dagoeneko gizartea nabaritzen hasi da ingurumen-krisia, gero eta nabarmenagoak dira klima aldaketaren zenbait arrasto eta iritzi publikoan krisiari neurri zuzentzaileak ezarri behar direla inoiz baino onartuago dago. Egoera hori egungo sistema sozioekonomikoaren eta gizakiak hamarkadetan zehar sortutako kutsadura larriaren ondorio da eta horren jatorri antropogenikoa ez bairik gabe baitago (IPCC, 2015). Hori dela eta, komunitate zientifikoko hainbat eremutatik ohartarazi dute Berotegi-Efektuko Gasen (Greenhouse Gases, GHG ingeleraz) isuriak nabarmen murriztu behar direla, horiek baitira "berotegi-efektua" deritzonaren eta klima-aldaketaren kausa nagusia. Hala, 2015ean, Klima Aldaketari buruzko Nazio Batuen Esparru-Konbentzioaren Konferentzia egin zen Parisen, COP21 izenez ezagunagoa. Klima-aldaketaren aurka inoiz egin den akordiorik handiena izan zen, izan ere, nazioarteko itun hau 196 herrialdek sinatu zuten; hain zuzen, GHG isurketen % 99ren erantzuleek sinatua. Parisko Akordioa izenez ezagunagoa da, bertan ezarri zen honako helburua: mende honetan, eta industriaurreko garaiarekiko, planetaren batez besteko tenperatura 2 °C-tik behera igotzea, hala ere ahaleginak egin behar dute igoera hori 1.5 °C-tik gorakoa izan ez dadin (United Nations, 2015). Helburu hori lortzeko, GHGen emisioen eta energia-kontsumoaren kontrolak funtsezkoak dira. Testuinguru horretan, Europar Batasunak (EB) eta erakundearen herrialde kideek, akordio horren sinatzaile gisa, aurrez ezarritako helburuak eguneratu dituzte, eta GHGen emisioak 1990 urtea oinarri hartuta, 2030 urterako gutxienez %55 murriztea (aurreko akordioa %40koa zen), eta 2050erako emisioen neutraltasuna lortu ahal izatea, ezarri dute. Gainera, herrialde bakoitzak bere ekintza egitasmo klimatikoa du. Egitasmoak Nazio

Ekarpen Zehatzak izena du (ingelesez NDC, Nationally Determined Contributions), eta Espainiak GHGen emisioak 2030erako %23 murrizteko helburua ezarrita du. Helburu hori eta beste batzuk, bai estrategia zein baliabide ekonomiko erabilgarriak ere, jasoak daude duela gutxi onetsitako Espainiako Rlima Aldaketaren Legean (Boletín Oficial del Estado, 2021).

Testuinguru horretan, pertsonen eta salgaien mugikortasuna estrategia erabakigarri horretan funtsezkoa da; izan ere, Europako GHGen emisioen laurdena produzitzen du (Euskadiko %30 inguru). XVIII. mendera arte, pertsonen eta salgaien mugikortasuna oso mugatua zen, gizakien eta animalien energiak, urak eta haizeak eragindako energia berriztagarriak erabiltzen ziren. Lurrun-makina asmatu zenetik eta lehen lurrunezko trena abian jarri zenetik mundua eta historia aldatu ziren. Une horretatik aurrera, pertsonak eta salgaiak azkarrago bidaiatzen hasi ziren, eta distantziak ez ziren oztopo handiak izaten. Ikatzaren bidez propulsiatutako trenak mundu fisikoa eta soziala berregituratu zuen, eta, trenaren ondoren, autoak, kamioiak, autobusak, hegazkinak... garatu ziren ere. Garraio modu berri bat jaio zen, eta, hala, bidaiarien eta salgaien trafikoa etengabe hazi zen, gaur egun etengabe hazten jarraitzen duena. Arazoa makina mugikor horiek nagusiki petroliotik eratorritako erregai fosilekin funtzionatzen dutela da. Gaur egun, petrolioak munduko garraioak kontsumitzen duen energiaren %95 ematen du; joan-etorriak eragiten dituzten jardura ia guztiak petrolioaren mende daude (Urry, 2013). Sektore horrek sortzen dituen emisioak GHGen emisio guztien laurdena inguru dira Europan, eta murriztu beharrean, %29 igo dira 1990etik 2018ra bitartean (European Environment Agency, 2019a). Gainera, Europako Batzordearen aurreikuspenaren arabera garraio-jardura 2050erako bikoiztuko da (European Commission, 2011a, 2013a), eta horrek zaildu egingo luke ingurumen eta klima-helburuak betetzea (European Environment Agency, 2018a). Hala, garraio-sektoreak, bereziki, GHGen

emisioak %60 murriztu beharko lituzke 2050erako, 1990eko datuekin alderatuta {European Commission, 2011a).

Europako Ingurumen Agentziaren iritziz, Europako garraio-sektorearen ingurumen- eta klima-eraginak mugatzeko egungo neurriak EBaren epe luzeko helburuak lortzeko ez dira nahikoak izango {European Environment Agency, 2018a). Beraz, neurri berriak hartu behar dira garraio-jarduerak klima-aldaketan duen eragina are gehiago mugatzeko. Ingurumena gehiago errespetatzen duen mugikortasunerako estrategia komunari dagokionez, ingurumena gehien errespetatzen duten garraiobideen sustapena nabarmentzen da {European Commission, 1992) eta Abiadura Handiko Trenak {AHT} hutsune hori betetzen duela dirudi; izan ere, trenbideko garraioak ahalmen handia izan dezake GHGen emisioak nabarmen murrizteko eta, ondorioz, energia aurrezteko {California High-Speed Rail Authority, 2016; European Court of Auditors, 2018; Jehanno *et al.*, 2011). AHTak elektrizitatearekin hornitzen denez eta elektrizitate hori zati batean jatorri berriztagarrikoa bada, orduan garraiobide hori ingurumen-onura argia dela argudiatzen da, bidaiariak/salgaiak ohiko jatorri fosileko garraiobideetatik (automobila, hegazkina...) emisio atmosferiko gutxiago dituen era desplazatzen baititu. Ildo horretatik, Eusko Jaurlaritzak, adibidez, abiadura handiko Euskal Y-a proiektuak Euskadiko garraioaren deskarbonizazioari egingo dion ekarpen handiena edo herrialdearen trantsizio ekologikoaren jauzi kualitatibo garrantzitsuena izango dela adierazi du {SPRI, 2020). Zalantzarik gabe, garraio-teknologia horrek ingurumenean duen potentzialari buruzko baieztapen sendoak dira. Baina, zer ekarpen egiten dio AHTak deskarbonizazioari? Zein azterketatan oinarritzen da baieztapena? Oro har, zein metodologia erabili da baieztapen horiek egin ahal izateko?

Garraiobide horren balizko onurak, ordea, trenaren operazioa soilik aztertzen duten analisietatik datoz eta ez dituzte kontuan hartzen azpiegiturak eraikitze, mantentze eta eraisteko faseei lotutako zamak (Bueno *et al.*, 2017; Chester and Horvath, 2010; Heather Jones *et*

al., 2016). Hala ere, kontuan hartu behar da edozein garraio-azpiegitura eraikitzeke baliabide natural eta material ugari behar direla, hala nola hormigoia eta altzairua, eta lurraren mugimenduak ere. Oro har, material eta energia ugari kontsumitzen dira, atmosferara substantzia kutsatzaile asko isuri egiten dira eta horiek guztiek ere kontuan hartu beharko lirateke onurak aztertzeke eta erabakiak hartzeke prozesuan. Horregatik guztiagatik, ingurumen-azterketa zorrotza eta egokia egitea funtsezkoa da, abiadura handiko proiektuaren bizitza baliagarri osoan sor daitezkeen ingurumen-inpaktu positiboak zein negatiboak kontutan hartuz; era berean, azpiegituraren eraikuntza eta mantentze faseak ingurumen-inpaktuaren analisisian barneratu behar dira.

1.2 Tesiaren helburua

Ikerketa honen helburu nagusia AHTak klima-aldaketa arintzeko duen potentziala aztertzea da eta, hartara, Parisko hitzarmenean ezarritako ingurumen-helburuak lortzeko egin dezakeen ekarpena egiaztatzea. Zehazkiago, lan honek ezaugarri desberdinak dituzten bi AHT proiekturen bizitza baliagarri osoan ematen diren GHGen emisio eta energia-kontsumo guztiak aztertuko ditu, garraiobide horrek klima-aldaketan izan dezakeen eragina zehazteko. Ingurumen-gaiek gero eta garrantzi handiagoa dute erabaki publikoak hartzeko orduan, bereziki garraioaren sektorean. Hori dela eta, Europako Batzordeak azpimarratu behar izan du neurri batzuk hartu behar direla garraio-jarduerak klima-aldaketan egiten duen ekarpena mugatzeko, eta ingurumen-ondorio garrantzitsuak izan ditzakeen edozein ekimen politikoren prozesuan ingurumen-ebaluazioak indartzeko eskatu du (European Commission, 2013a).

Helburu nagusi hori lortzeko, lehenik, ikerketa honetan AHT garraio-azpiegitura baten bizitza baliagarriaren fase bakoitzari lotutako ingurumen-inpaktuak aztertuko dira. Hau da, beharrezko azpiegitura eraikitzeke, erabiltzeko eta mantentzeko faseak kontuan hartuko dira

azterlanean, egungo literatura espezifikoan dagoen hutsunea betetzeko asmotan. AHTaren ingurumen-ebaluazioei buruzko azterketa gehienek (3.1 Taula) trenaren operazio-fasea baino ez dute kontuan hartzen, eta orduan alde batera uzten dituzte azpiegitura eraikitze lanak eta egitura mantentzeak izan ditzakeen zama guztiak. Horrela, lan honetan, lehenik eta behin, bidaiarien zirkulaziorako soilik diseinatua dagoen Espainiako AVE (Alta Velocidad Española) sare osoaren eraikitze, mantentze eta operazio faseei lotutako ingurumen-inpaktuak aztertuko dira.

Bigarrenik, bidaiarien eta merkantzien trafiko mistorako diseinatuta dagoen Euskal Autonomia Erkidegoko abiadura handiko linearen ("Euskal Y-a") eraikitze, mantentze eta operazio faseei lotutako ingurumen-inpaktuak aztertuko dira. Abiadura handiko Euskal Y lineak AVE sarearekiko ezaugarri bereziak eta desberdinak ditu, hala nola trafiko mistorako diseinatua egotea eta euskal orografia menditsuak eraikuntzan sor ditzakeen eskakizun teknikoak.

Bi azterketatan, abiadura handiko proiektu bakoitzaren bizitza baliagarria 60 urtekoa dela suposatuz egingo dira, Bizi-Zikloaren Analisiaren (LCA, Life Cycle Assessment ingeleraz) metodologia aplikatuko da eta eskura dauden trafiko azken datuak erabilita.

AVEaren kasuan erabili diren datuak 2016 urteko bidaiarien trafikoari buruzkoak dira, eta Euskal Y-aren kasuan, ADIFek bidaiari eta salgaien zirkulazioari buruzko estimazioak dira eta bi txosten hauetan kontsulta daitezke: "Estudio de rentabilidad económico-social y financiera de la Línea de Alta Velocidad Vitoria-Bilbao-San Sebastián y tramo en 3 carriles Astigarraga-Irún" (2015a), eta "Estudio de rentabilidad económico-social y financiera de la Línea de Alta Velocidad Vitoria-Bilbao-San Sebastián e implantación del ancho estándar UIC en los tramos Burgos-Vitoria y Astigarraga-Irún" (2015b). 2016 urtean AVE egituraren sarearen hedadura geografikoa 2600 km ingurukoa zen, Euskal Y-ren kasuan, oraindik eraikitze-fasean dago, baina datu guztien

arabera, hedadura 190 km-koa, gutxi gora behera, izango dela aurreikusi da.

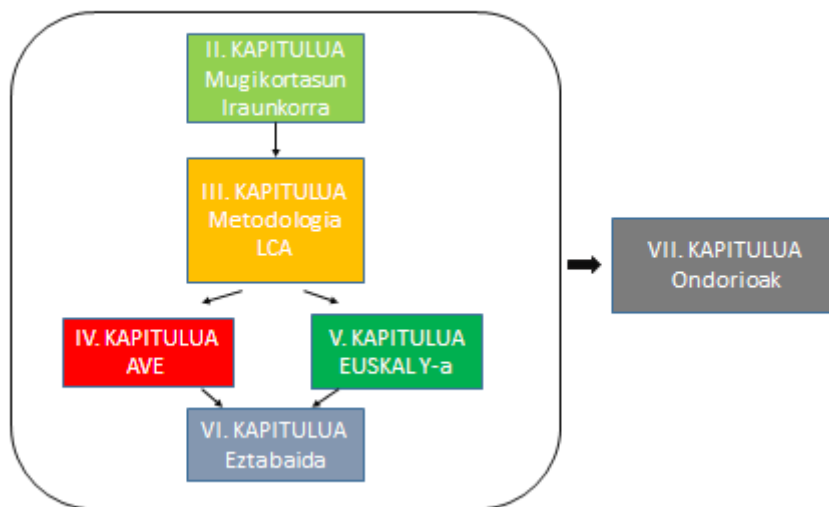
Espainiako AVE sarean eta Euskadiko abiadura handiko linean bizi-ziklo osoan sortutako ingurumen-karga garrantzitsuenen azterketa sakon hori inpaktu-kategoria hauetan eta oinarrizko fluxu hauetan azaltzen da (1.1 Taula): GHGen emisioak, CO₂-eq (berotze globalaren ingurumen-inpaktuaren kategoriarekin lotuta); energia metatuaren eskaria (CED, Cumulative Energy Demand ingeleraz); partikula esekiak, PM₁₀ (giza toxikotasunarekin lotuta); SO₂ emisioak (azidotzea, giza toxikotasuna, oxidazio fotokimikoa); NO_x-en emisioak (azidotzea, eutrofizazioa, giza toxikotasuna) eta metanoa ez diren konposatu organiko lurrunkorrak, ingeleraz Non Methane Volatile Organic Compounds (NMVOC) (ekotoxikotasuna, giza toxikotasuna, oxidazio fotokimikoa, ozono-agortzea). Hala ere, garrantzitsua da azpimarratzea AHTaren eraikuntzak eta operazioak eragiten dituzten eta kontuan hartzen ez diren beste ingurumen-dimentsio batzuk badaudela, hala nola: habitat edo bizilekuaren zatiketa, floran eta faunan eragindako inpaktuak (biodibertsitateari eragin dezaketeenak), lur emankorren okupazioa, paisaiaren gaineko inpaktua, zarata eta bibrazioak, etab. Izan ere, ingurumen-inpaktuak antzekoak <lira errepideetan eta trenbideetan (Cour des Comptes, 2014; Dorsey *et al.*, 2015; Jehanno *et al.*, 2011).

11 Taula. Ingurumen-adierazleah eta lotutaho inpahtu-hategoriah.

Inpaktu-kategoria	
Berotze Globala (GWPI00)}	<p>100 urteko denbora-horizonterako Berotegi Efeztuko Gas {BEG} bakoitzaren berotze-potentzial globala. Rarbono dioxidoa ez bezalako berotegi-efektuko gasak dira, hala nola metanoa, oxido nitrosoa, ozonoa, klorofluorokarbonoak. Rarbono dioxidoaren baliokide bihurtu eta aurkezten dira. Norbanako, erakunde, ekitaldi edo produktu baten karbono-aztarna neurtzeko erabiltzen den adierazlea da.</p> <p>Unitatea: kilogramoa CO₂eq LCIA metodoa: CML-IA {baseline} ("CML-IA Characterisation Factors," 2021)</p>
Energia metatuaren eskaera (Cumulative Energy Demand, CED)	<p>Adierazle honek zerbitzuaren bizitzan zehar izandako zuzeneko eta zeharkako energia-kontsumo guztia kalkulatu du, eta, beraz, bizi-zikloaren fase guztiak aztertzen ditu. Garrantzitsua da energia-kontsumoan aurreztea, petrolio eta gasa bezalako erregai fosilak ez baitira agortezinak.</p> <p>Unitatea: MJ LCIA metodoa: Energia metatuaren eskaera {CED} Ecoinvent-ek argitaratutako metodoan oinarritua {Hischier et al., 2010}. Normalizazioa eta ponderazioa: Energia metatuaren eskaera.</p>
Oinarrizko fluxuak	
Partikula esekiak (PM10)}	<p>Airean dauden partikulak, 10 mikrometro baino gutxiagoko diametroa dutenak eta berehala lurrean bukatzen ez dutenak. Azken hamarkadetan, partikula horien kopurua nabarmen handitu da atmosferan, giza jardueraren ondorioz. Jatorri naturaleko partikulei, hala nola polenari edo basamortuko hautsari, iturri desberdinetako partikula ugari gehitu behar dizkiegu, horietako bat garraioa. Giza osasunerako arriskua agerikoa da eta tamainaren, konposizioaren eta jatorriaren arabera aldatzen da. Arnas arazoak, narritadurak eta minbizia dira ondorio ohikoena.</p> <p>Unitatea: gramoak Erlazionatutako inpaktu-kategoriak: giza toxikotasuna {CML-IA baseline}.</p>
Sufre dioxidoa (SO2)	<p>Gas honen emisioak tenperatura altuko industrietan eta erregai fosiletatik (petrolio eta kalitate baxuko ikatza) elektrizitatearen ekoizpenean gertatzen dira. Euri azidoaren arazoietako bat da, airearen hezetasunarekin konbinatzean azido sulfurikoa sortzen delako, nagusiki basoak eta basoko bizitza kaltetzen dituen. Giza osasunaren gaineko eragin nagusiak bronkitisa eta asma dira, besteak beste.</p> <p>Unitatea: gramoak Erlazionatutako inpaktu-kategoriak: Azidifikazioa, giza toxikotasuna, oxidazio fotokimikoa (CML-IA baseline).</p>
Metanoa ez diren konposatu organiko lurrunkorrak (NMVOC)	<p>NMVOCak gas formako konposatu organikoak dira, erraz lurrunten dira eta hidrokarburoz osatuta daude; beraz, garraioaren sektorea da emisio gehien sortzen dituen sektoreetako bat. Arriskutsuak dira gizakien osasunerako, kantzerigenoak izan daitezkeelako eta lurzoruan ozonoa edo smog fotokimikoa sortzen duten konposatuak direlako.</p> <p>Unitatea: gramoak Erlazionatutako inpaktu-kategoriak: ekotoxikotasuna, giza toxikotasuna, oxidazio fotokimikoa, ozono geruzaren kaltetzea (CML-IA non-baseline).</p>
Nitrogeno-oxidoak (NOx)	<p>Gas hauek nitrogeno oxidoak dira eta kutsatzaile nagusia tenperatura altuko ibilgailu motordunetan eta zentral elektrikoetan sortzen den nitrogeno dioxidoa da. Espozizio iraunkorren ondoren giza osasuneari dituen ondorioak arnas traktuaren narritaduratik biriken kalte itzulezina da.</p> <p>Unitatea: gramoak Erlazionatutako inpaktu-kategoriak: Azidifikazioa, giza toxikotasuna, eutrofizazioa {CML-IA baseline}, oxidazio fotokimikoa (CML-IA non-baseline).</p>

1.3 Tesiaren egitura

Jarraian, tesi honen egitura eta bertan jasotako kapitulu bakoitzaren edukia deskribatuko dira labur-labur. Beheko **1.1 Irudia**-k tesiaren egitura orokorra eta kapituluaren arteko loturak azalduko ditu.



1.1 Irudia. Tesiaren egitura orokorra.

II. kapituluan ikerketa honen testuingurua aurkeztuko da. Lehenik eta behin, Garapen Iraunkorra kontzeptuaren jatorriaren eta bilakaeraren errepassoa egingo da. Kontzeptuarekin lotutako gertaera garrantzitsuenak azalduko dira; besteak beste, kontzeptuaren lehen agerpena eta aurkezpena, haren definizioa eta haren interpretazioari buruz sortutako problematika. Beraz, "Garapena" eta "Jasangarritasuna" terminoak argitu nahi dira. Ondoren, Mugikortasun Iraunkorraren kontzeptua izango dugu. Horrela, Garapen Iraunkorraren kontzeptua garraioaren sektorearekin atxikirik, pertsonen eta salgaien mugikortasunean eta irisgarritasun-beharretan zentratu nahi da. Mugikortasun eta garraio-jarribide berrien beharra hobeto uler dezagun, jarduera horrek sortzen dituen inpaktu nagusiak zein diren

azaltzea funtsezkoa da. Modu horren bidez, garraioak ingurumenean dituen ondorio nagusienak egokiro deskribatuko dira. Hain zuzen ere, berotegi-efektuko gasen {GHG} eta energia-kontsumoaren alorrean garraio-sektoreak klima-aldaketari egingo dizkion ekarpen nagusiak zehaztuko dira. Atal hau amaitzeko, Abiadura Handiko Trenak teknologia gisa dituen ezaugarri nagusiak zehaztuko dira eta amaieran nazioarteko esperientzia nabarmenenen errebaso historikoa egingo da.

111 kapituluan, ikerketa-lan honen oinarri metodologikoak azaltzen dira. Bizi-zikloaren Analisiaren {LCA} metodologiaren aplikazioaren garapenean egindako aurrerapenak errebasatuko dira. Metodologiaren prozesua eta aplikazio-faseak ISO 14040 arauaren arabera deskribatuko dira, eta hainbat AHT lineatan egin diren LCAREN azterketa nagusiak jasoko dira. Azkenik, AHT azpiegitura baten LCARako diseinatutako modelizazioa zehatz-mehatz erakutsiko da. Arestian aipatu den bezala, AHTko azpiegitura baten ingurumen-inpaktu garbiaren balantzea lortzeko, kalkuluak eraikuntza, mantentze eta operazio faseen artean banakatzen dira. Atal honetan, azterketa egitean erabilitako tresnak ere aurkezten dira.

IV. kapituluan, Espainiako AVE sareari egindako LCA-a deskribatuko da. Hasteko, sarearen eraikitze prozesuko gertaera garrantzitsuenen errebasoa eta azpiegitura osoa osatzen duten lau korridoreren aurkezpena egingo da. Abiadura handiko garraio trafikoko informazioaren gainean dagoen hutsunea bete ahal izateko, egin den garraio-eskariaren estimazio-prozesua deskribatuko da. Ondoren, analisiaren erreferentzia gisa balio duen oinarrizko agertokia zehaztuko da, baita sentikortasun-analisan planteatutako bost agertoki alternatiboak ere. Azkenik, egoera bakoitzerako AVEaren sare osoko LCA honetatik lortutako emaitzak erakutsiko dira.

V. kapituluan, Euskal Y-a abiadura handiko lineari buruz egindako LCAREN azterketa zehaztuko da. Atalaren hasieran, proiektuaren testuingurua zehaztuko da eta linea horren ezaugarri nagusiak

errepatatuko dira. Ondoren, azterketarako behar diren datuak aurkeztuko dira, hala nola, linea osoaren ibilbidearen errepasso zehatza eta bidaiarien eta salgaien eskaria. Jarraian, kasu hau aztertzeko diseinatutako oinarrizko agertokiaren eta sei agertoki alternatiboen propietateak deskribatuko dira. Azkenik, agertoki bakoitzerako lortutako emaitzak erakutsiko dira.

Aurreko ataletan lortutako emaitzak VI. kapituluan sakonki aztertu eta eztabaidatu egingo dira. Gainera, azterlan honen prozesuan zehar aurkitu diren mugak azalduko dira eta halaber etorkizuneko ikerketetarako planteatzen diren aukerak ere.

Azkenik, VII. kapituluan doktorego-tesi honetan ateratako ondorio nagusiak azaltzen dira.

Tesi honen gaiaren esparruan hainbat lan egin eta argitaratu dira jada edota argitaratze prozesuan dira. Besteak beste, Madril eta Leon hiriak lotzen dituen eta Iparraldeko korridoreari dagokion ibilbideari buruzko ingurumen-azterketa egin eta argitaratu da (Rortazar *et al.*, 2020). Ondoren, AVEaren sare osoaren ingurumen-azterketari buruzko beste artikulu akademikoa argitaratu da (Rortazar *et al.*, 2021a) eta, aldi berean, azterlan horretan erabilitako datu guztien bilduma eta azterketa azalduz beste artikulu bat ere argitaratu da (Rortazar *et al.*, 2021b). Ondo bidean, laster argitaratuko dira, halaber, Euskal Y linearen ingurumen-azterketa azalduko duen artikulua (Rortazar *et al.*, Argitaratzeke) eta baita azterlan horretan erabilitako datuak azalduko eta deskribatuko dituen ere (Rortazar *et al.*, Argitaratzeke).

II. KAPITULUA. TESTUINGURUA

2 Testuingurua

Ingurumenaren degradazio bizkorraren eta garraio-eskaera globalaren hazkunde konstante eta garrantzitsuaren aurrean, ezinbestekoak dira garraio sektoreak ingurune naturalean sortarazten duen kutsadura-presioa murriztuko dituen neurriak lehenbailehen aplikatzea. Horrela, Mugikortasun Iraunkorraren kontzeptua egungo gizarteek lortu beharreko helbururako gida gisa agertzen da, eta Garapen Iraunkorraren kontzeptu zabalagoaren osagarri bat da. Atal honetan, Garapen Iraunkorraren paradigman jatorria eta bilakaera berrikusiko dira, eta, jarraian, Mugikortasun Iraunkorraren oinarritzko printzipioak azalduko dira.

2.1 Garapen Iraunkorraren kontzeptuaren jatorria eta bilakaera

Garapen Iraunkorra munduko gaurkotasun sozioekonomikoaren termino aipatuenetako eta eztabaidagarrienetako bat da. Gaur egun, gizarte-eragile askok terminoari erreferentzia egiten diote ingurumenarekin zerikusia duten gaiak aipatzeko, hala nola talde ekologistek, enpresa multinazionalak, alderdi politikoek edo sindikatuek (Greenpeace, 2019; Iberdrola, 2020; PSOE, 2017; UGT, 2020). Gizarte-eremu ezberdin askotariko erabilera intentsibo horrek haren hasierako zentzua erabat aldatzea eragin du. Definizioaren anbiguotasunari esker, hainbat eragilek esanahi desberdinak esleitu dizkiete garapenaren eta jasangarritasunaren terminoei.

Herrialde garatuen industrializazio handiaren ondoriozko lehen ingurumen-arazoen egiaztapena dela eta, 1972an Erromako Klubak "The limits to growth" txostena argitaratu zuen, non herrialde industrializatuentzako hazkunde nuluaren alde egiten zen, ingurumenaren narriadura eta planetako baliabideen gehiegizko kontsumoa geldiarazteko. Hazkundearen mugei eta aldagai ekologikoa

ekonomian txertatzeari buruzko eztabaida hasi eta areagotu zen hurrengo hamarkadetan. Honela, planetaren mailan lehen ingurumen-arazoak egiaztatu ondoren (XX. mendeko 80ko hamarkadan), ohikoak bilakatu ziren kezkak eta protestak. Azpimarratzekoak izan ziren zenbait gertakari: ozono-geruzaren zuloa (NASA, 2021), gas-ihesa Bhopalen (India) (Eckerman, 2019), Txernobylgo hodei erradioaktiboa (Lecomte-Pradines *et al.*, 2020), edateko uraren eskasia (Naciones Unidas, 2021) eta kutsadura kimiko globala (Ritchie and Roser, 2017). Muga fisiko argiak dituen ingurune batean hazkunde mugagabearen bateraezintasuna egiaztatu ondoren, ingurumenaren aldeko hainbat gizarte-mugimenduren sorrerak gobernuak eta erakundeak ingurumenaren aldeko lehen neurriak hartzera bultzatu egiten zituen. Hala, 1984an, Nazio Batuen Erakundeak Ingurumenari eta Garapenari buruzko Munduko Batzordea (World Commission on Environment and Development, ingeleraz) ingurumenaren babes-politikak koordinatzeko eratu zuen. 1987an Garapen Iraunkorra terminoari behin betiko definizio formala eman zitzaion. Batzorde horrek "Our common future" txostena argitaratu zuen, Gro Harlem Brundtland batzordeko presidentearen abizenagatik ezagunagoa dena, "Brundtland txostena":

*"Garapen iraunkorra egungo belaunaldien beharrak asetzen dituen garapena da, etorkizuneko belaunaldiek beren beharrak asetzeko duten gaitasuna arriskuan jarri gabe."*¹

Une horretatik aurrera, bi hitz horiek ezagunak egingo ziren eta banaezinak agertu ziren testuinguru ekonomiko, sozial edo ingurumenekoetan. Txosten horrek jarduera-plan orokor bat zehaztu zuen, eta hainbat helburu interesgarri ezarri zituen. Funtsean, hazkunde mugagabea ezinezkoa da baliabide fisiko mugatuekin; beraz, hazkundera mugatu beharko da eta horren ordean, garapena sustatu

¹ "Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" (Comisión Mundial sobre el Medioambiente y el Desarrollo, 1987).

gizartearen bizi-baldintzen eta ongizatearen hobekuntza kualitatibo gisa. Garapenak, hazkunde kuantitatiboaren ordeز, ongizatea handitzen du, errenta-banaketa bidezkoago baten eta garapen teknologikoaren bidez. Oro har, txostenak gizadiaren oinarritzko premiak asetzeko betebeharra azpimarratu zuen, baina, bereziki, herri, gizarte zein banako txiroenak, kontuan hartuta teknologiak ezin duela baliabideen eskasia gainditu.

Jasangarritasunaren kontzeptua ingurune naturalak berak ezartzen dituen mugekin lotzen da, hau da, dimentsio ekologikoarekin. Jasangarritasuna edo Iraunkortasuna sistema ekonomikoak ingurune naturalera egokitzeko duen gaitasuna da (Bermejo, 2014). Etengabeko hazkunde-eredua ez da fisikoki bideragarria izango epe luzera; izan ere, ekosistemak mugatuak baitira, oso kalteberak eta birsortzeko ahalmen mugatua dute (Antigüedad *et al.*, 2016). Hala, sistema ekonomikoa bera sistema zabalagoa den natura beraren azpisistema bat da eta beraz, edozein sistema ekonomikoren existentzia arriskuan geratzen da bere euskarri fisikoa larriki degradatzen bada. Beraz, jasangarritasunaren kontzeptuak denbora eta elkartasun-osagaia du, bai belaunaldien barruan, bai belaunaldien artean; izan ere, natura eta ingurumen-baliabideak babestea aipatzen da txostenean, etorkizuneko belaunaldiek beren aukerak maximizatu ahal izan ditzaten baliabideen erabileran, eta, horrela, haien ongizatea handitu.

Laburbilduz, Brundtland txostenak hazkunde mugagabea arbuiatzen du, eta funtsezko premiak asetzeko hazkundera baino ez du bermatzen {bereziki Hegoaldeko herrialde globalen kasuan). Hazkundera, berez, ez da nahikoa, errenta-banaketa berdinzaleagoa behar da, bai eta hobekuntza teknologikoa ere. Eta dena jasagarria izan behar da ingurumen perspektiba batetik, hau da, ingurune naturala aldatu gabe, oraingo eta etorkizuneko belaunaldien biziraupena arriskuan ez jartzeko. Garapena, gizartearen ongizatea hobetzeko, eta jasangarritasuna, iraunkorra eta denboran asimilagarria izateko.

Horren ildotik, 1992an Rio de Janeiron batzartu zen Lurraren I. goibileratik aurrera, non 172 herrialdeek Garapen Iraunkorraren printzipioak sinatu zituzten, Garapen Iraunkorraren terminoa masiboki zabaldu zen, kontraesan asko sortu dituen arren. Herrialde edo erakunde bakoitzak jatorrizko definizioari buruz askotariko interpretazioa egiten du. Aitzitik, termino beretik abiatuta kontrako planteamenduak aurkeztera gerta daiteke.

Lehenik eta behin, ekonomia neoklasikoa jarraituz, hazkunde mugagabea jasangarritasunaren ikuspuntutik erabat bideragarria dela argudiatzen da, ingurumenari eta baliabideei buruzko neurri egokiak hartuz gero (Turiel, 2020). Ikuspegi honen arabera, Lurra baliabide naturalen iturri agorrezina da eta gizakiek sortutako hondakinak bereganatzeko gaitasun osoa du. Beraz, hazkunde ekonomikoa etengabea eta mugagabea izan daiteke, izan ere, baliabideak ez dira faltako produkzioaren eta kontsumoaren hazkundearekin aurrera jarraitzeko, eta era berean, ingurumenak hazkundeak berak sorturiko hondakinak asimilatuko ditu edota asimilatzeke ahalmena izango du. "Hazkundearen desmaterializazioaren" teoriaren pean, hazkunde mugagabea defendatzen duten jarrera asko biltzen dira eta hauentzat hazkunde mugagabea garapen teknologikoari esker posiblea da, baliabideen kontsumoa murriztu baitaiteke. Horrela, oso ohikoa da erreferentziazko erakundeetan garapen terminoaren ordez hazkundea erabiltzea, edo "hazkunde ekonomikoa jasangarria" (The World Bank, 2020), "hazkunde mugatua" edo "hazkunde berdea" (OECD, 2020) ... bezalako adierazpenak aurkitzea eta ondorioz Garapen Iraunkorraren jatorrizko printzipioetatik aldenduz. Batzuetan hazkundearen eta jasangarritasunaren artean bateraezintasunik ez dagoela esaten da, eta beste batzuetan biak osagarri gisa ere azaltzen dira (El País, 2020; UN, 2020). Beste eremu batzuetan hazkunde ekonomikoa ingurumena babesten edo hobetzen inbertitzeko funtsak izateko funtsezkoa dela argudiatu da. Horrela, Kuznets-en ingurumen-kurbaren teoriaren arabera, herrialde baten garapen ekonomikoaren lehen faseetan

ingurumen-kalte saihestezina den hipotesia irudikatzen da, baina errenta per capita handitzen doan heinean, hazkunde ekonomiko hori ingurumena babesteko eta ingurumen-degradazioa geldiarazteko beharrezko inbertsioa ahalbidetzen du (Catalán, 2014). Bestela esanda, teoria honen arabera hazkunde ekonomikoak eta Garapen Iraunkorrak eskutik joan behar dute nahitanahiez (Sachs, 2016). Ruznets-en teoria horri buelta ematen dioten ikuspegiak ere badaude, horiek ingurumenaren babesa hazkunde ekonomikoaren iturri izan daitekeela azaltzen baitute (OECD, 2020). Hau da, ingurumena babesteko inbertsioak ingurumena kontserbatzeko balioko luke, baina, era berean, hazkunde ekonomikoa sustatuko luke, aberastasun handiagoa pilatuz eta ingurumen-kontserbaziora funts gehiago bideratu ahal izango lirake. Laburbilduz, ekonomia neoklasikotik Garapen Iraunkorraren printzipioak gaur egungo hazkunde ekonomikoaren ereduaren galgatzat hartu dira. Hazkunde mugagabea ezinezkoa dela onartzeak ekoizpen eta kontsumo sistema kapitalista jasagarria ez dela esan nahi du eta, beraz, hazkundeak eraldatua edo ordezkaturia izan behar duela.

Bigarrenik, Garapen Iraunkorraren jatorrizko printzipioak errespetatzearen alde dauden eta jasagarritasun terminoak hazkunde ekonomikoa mugatzea dakarrela argudiatzen duten ikuspegiak taldekatu daitezke. Gaur egungo sistema ekonomikoak berak planetaren ingurumenaren degradazioa eragiten du. Berriztagarriak ez diren baliabideak mugatuak dira, baliabideen stock jakin bat dago, aldi luze samarrean zero birsortze-tasa duten baliabidetzat har daitezke (Ali *et al.*, 2018; Lujala, 2003), eta horien kontsumoak hura desagertzea dakar, stock-a murriztea, alegia. Gainera, horrelako baliabideen kontsumoak ingurumen-inpaktu larriak sortzen ditu. Baliabide berriztagarriak, berriz, hasiera batean, agorrezinak dira baldin eta haien kontsumoa birsortze-tasaren azpitik badago. Kontsumoan oinarritutako egungo sistema ekonomiko kapitalistaren hazkunde mugagabeak berekin dakartza, besteak beste, epe luzera onartu ezin

diren baliabide naturalen kontsumo erritmoak, ingurune naturalak bereganatu ezin dituen hondakinen pilaketa eta klima-aldaketa eragiten duten emisio atmosferiko kutsagarriak. Oro har, etorkizuneko belaunaldien beharrak asetzeko aukerak larriki mehatxatzen dituzten ondorio negatibo itzulezinak. Iraunkortasunaren kontzeptuak naturako lege fisikoak errespetatzea dakar, hori baita egungo eta etorkizuneko belaunaldien beharrak asetzeko modu bakarra. Hazkunde ekonomikoa, BPGa (Barne Produktu Gordina) bezalako aldagai neurgarrien hazkunde kuantitatibo gisa, jasanezina da (UN, 2011). Aldagai jakin batzuen hobekuntza kualitatiboa baino ez da bideragarria, hala nola eraldaketa-prozesua edo ongizate-egoera handiago bateranzko trantsizioa baina materialki edo hazkunde kuantitatiboan neurtu gabea (Freimann *et al.*, 2014).

Hala ere, Garapen Iraunkorrari buruzko eztabaida ez da soilik haren interpretaziora mugatzen, praktikan jartzea eta kontzeptua bere zentzurik zabalenean operatibizatzea ere zaila da. Errealitatea konplexua eta dinamikoa da oso, eta horrek berekin dakar ezartzen diren ingurumen-arloko baldintzak eta akordioak etengabe berrikustea. Hala, nazioarteko komunitateak Garapen Iraunkorrari buruz hartutako konpromisoak eguneratzeko, Nazio Batuak erakundeak goi-bilera bat bultzatu zuen New Yorken 2015ean. Urte horretako irailaren 25ean, NBEko (Nazio Batuen Erakundea) kide ziren 193 herrialdek "Gure mundua eraldatu: Garapen Iraunkorrerako 2030 Agenda"² onartu zuten, Agenda 2030 bezala ezagunagoa dena. Akordio honek pobreziarekin amaitzeko, planeta babesteko eta 2030erako pertsona guztiek bakea eta oparotasuna izango dutela bermatzeko dei unibertsala egin zuen (UNDP, 2015).

Agendan 2015-2030 aldirako Garapen Iraunkorrerako Helburuak (SDGs, Sustainable Development Goals ingeleraz) izenekoak jasotzen dira. 17 helburu dira, elkarren artean integratuak eta erlazionatuak, gizarte,

² "Transforming our world: the 2030 agenda for Sustainable Development".

ekonomia eta ingurumen jasangarritasuna orekatzeko. Gainera, helburu bakoitzak beste helburu espezifiko batzuk barneratzen ditu eta 2030erako lortu behar dira. Hauek dira 17 helburu nagusiak:

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

2.1 Taula. 2015-2030 eperaho Garapen Iraunhoraren Helburuak (SDGs). UNDP oinarri hartuta egina (2015).

SDGs for 2015-2030

1. Pobreziaren amaiera.	Pobreziari amaiera ematea bere forma guztietan eta mundu osoan.
2. Gasea zero.	Goseari amaiera ematea, elikagaien segurtasuna eta nutrizioaren hobekuntza lortzea eta nekazaritza iraunkorra sustatzea.
3. Osasuna eta ongizatea.	Bizitza osasuntsua bermatzea eta guztion ongizatea sustatzea adin guztietan.
4. Kalitatezko hezkuntza.	Kalitatezko hezkuntza inklusiboa eta ekitatiboa bermatzea eta guztientzako etengabeko ikaskuntzarako aukerak sustatzea.
5. Genero berdintasuna.	Genero-berdintasuna lortzea eta emakume eta neska guztiak ahalduntzea.
6. Ur garbia eta saneamendua.	Uraren eta saneamenduaren eskuragarritasuna eta kudeaketa iraunkorra bermatzea guztientzat.
7. Energia eskuragarria eta ez kutsatzailea.	Energia eskuragarria, fidagarria, iraunkorra eta modernoa bermatzea guztientzat.
8. Lan duina eta hazkunde ekonomikoa.	Hazkunde ekonomiko iraunkorra, inklusiboa eta iraunkorra, enplegu osoa eta produktiboa eta guztientzako lan duina sustatzea.
9. Industria, berrikuntza eta azpiegiturak.	Azpiegitura erresilienteak eraikitzea, industrializazio inklusiboa eta iraunkorra sustatzea eta berrikuntza sustatzea.
10. Desberdintasunak murriztea.	Herrialdeetan eta haien artean desberdintasuna murriztea.
11. Hiri eta komunitate iraunkorrak.	Hiriak eta giza kokalekuak inklusiboak, seguruak, erresilienteak eta iraunkorrak izan daitezen lortzea.
12. Kontsumo eta ekoizpen arduratsuak.	Kontsumo eta ekoizpen modalitate iraunkorrak bermatzea.
13. Klimaren aldeko ekintza.	Klima-aldaketari eta haren ondorioei aurre egiteko premiazko neurriak hartzea.
14. Itsaspeko bizitza.	Ozeanoak, itsasoak eta itsas baliabideak modu iraunkorrean erabiltzea eta kontserbatzea.
15. Lehorreko ekosistemen bizitza.	Lurreko ekosistemen erabilera iraunkorra babestu, berrezarri eta sustatu, basoak modu iraunkorrean kudeatu, desertifikazioaren aurka borrokatu, lurren degradazioa gelditu eta biodibertsitatearen galera gelditu.
16. Bakea, justizia eta erakunde sendoak.	Gizarte baketsu eta inklusiboak sustatzea Garapen Iraunkorrerako, guztientzako justiziarako sarbidea erraztea eta kontuak ematen dituzten erakunde eraginkor eta inklusiboak eraikitzea maila guztietan.
17. Helburuak lortzeko aliantzak.	Garapen Iraunkorrerako Mundu Aliantza ezartzeko eta biziberritzeko bitartekoak indartzea.

Sektore ekonomiko guztiak helburu horien eraginpean daudela garrantzitsua da azpimarratzea. Garraioari dagokionez, sektore horrek zeregin kritikoa du Garapen Iraunkorraren esparruan, ingurumenean, ekonomian edota gizartean eragiten dituen inpaktuengatik. Beraz, agenda honen helburua ingurumena gehiago errespetatzea da, alegia, pertsonen eta salgaien Mugikortasun Iraunkorra lortzea.

2.2 Mugikortasun Iraunkorraren kontzeptuari hurbilketa laburra

XX. mendearen bigarren erdiko hazkunde ekonomiko handiak mundu-mailako harreman ekonomiko eta sozialen konplexutasuna areagotu zuen. Harreman ekonomiko, sozial, politiko eta kultural horien globalizazioak mugikortasuna eta garraioa nabarmen handitzea sorrarazi zuen. Inoiz ez da hainbeste pertsona eta salgai garraiatu, ez kopuruari, ez distantziari dagokionez. Eta prozesu hori guztia posible bilakatu da petrolioaren deribatuek eta oso kutsagarriak diren beste baliabide ez-berriztagarri batzuek sortutako energiari esker; ondorioz, ingurumenean sortutako ondorioak kezkarriak izan dira. Zalantzarik gabe, egungo gizarteak aurrekaririk gabeko ingurumen-krisi globalari aurre egin behar dio, eta mugikortasunak zeregin erabakigarria izango du egoera horri eusteko edo lehengoratzeko estrategian. Horrela, Mugikortasun Iraunkorraren kontzeptuaren helburu nagusia mugikortasunaren eta garraioaren hazkundera ingurumen-mugekin uztartzea da. Ideia hori eta bere printzipioak Europar Batasunaren "Green Paper on the impact of transport on the environment" (1992) dokumentuan jasotzen dira. Bertan, dimentsio soziala, ekonomikoa eta ingurumenekoa barne hartzen dituen ikuspegi integral batetik, garraioaren sektorea, oro har, eta beraren ingurumen-inpaktuak, kostu sozialak eta petrolioarekiko mendekotasuna aztertzen dira. Hala, estrategia bateratu berria proposatzen du, sektorearen eginkizun ekonomiko eta soziala ahaztu gabe, nolabait ingurumenean izango dituen ondorioak murriztuko dituen garraioa lortzeko. Beraz,

Mugikortasun Iraunkorraren kontzeptua ulertzeko Brundtland txostenean aurkeztutako Garapen Iraunkorraren printzipioari kasu egin behar zaio, garraio sistemari moldatutakoa delako, azken batean {Guillamón and Hoyos, 2005}.

Garraioari eta Garapen Iraunkorrari buruzko literaturan ohikoa da "Mugikortasun Iraunkorra" edo "Garraio Iraunkorra" bezalako adierazpenak aurkitzea eta baliokidetzat jotzea; hala ere, funtsezkoa da bien arteko bereizketa ezartzea. Ohiko definizio bat garraioa eragileen arteko elkarreragina errazten duen benetako mugimendua edo bitartekoa da {ASALE and RAE, 2021}; kontzeptua, ordea, konplexuagoa da. Garraioa adiera zabalago baten parte da: mugikortasuna, eta, zehazki, benetako mugimenduan mugitzeko nahia edo beharra gauzatzea da {Gudmundsson, 2005}. Hau da, pertsona edo salgaia leku batetik bestera lekualdatzeko ekintza da, norberarenak ez diren beste bitarteko batzuk erabiliz, ibilgailu baten bidez; pertsonak berez (oinez, saltoka, igerika...) mugi daitezke; salgaiak, berriz, ez. Baina ezberdintasuna ez datza horretan bakarrik, garraioa gaur egun sektore ekonomiko oso batekin ere lotzen dugu, non azpiegitura eta gainontzekoak sartzen ditugun. Ondorioz, garraioa gehiago lotzen zaio eskaintzari, azpiegituren ustiapenari eta zirkulazioaren kudeaketari; laburbilduz, garraioaz hitz egiterakoan gehiago lotzen zaie sektorearen alderdi teknikoari.

Mugikortasuna, berriz, garraioa baino kontzeptu zabalago gisa, bere kabuz edo besteren bidez mugitzeko gaitasuna da {ASALE and RAE, 2021}. Bestela esanda, mugikortasuna irisgarritasun-arazo oro konpontzen duen eta pertsonen beharrak asetzea ahalbidetzen duten ondasunak, zerbitzuak edo kontaktuak lortzeko norberaren edo besteren baliabideen bidez egiten den desplazamendua da. Beraz, garraioaz ari garenean lotzen ez dugun dimentsio soziala du mugikortasunak. Garraioa ibilgailuaren bidezko espazioan gauza baten benetako desplazamendua nahita egiteko prozesua bada ere, mugikortasuna ez da hori bakarrik; horrez gain, pertsonen espazio

geografikoan beren kabuz edo beste batzuen bidez mugitzeko duten gaitasuna edo desplazamendu potentziala ere jasotzen du. Mugikortasuna, orduan, eskaerarekin lotuta dago, mugitzeko pertsonen nahien edo beharren bidez, eta eskaintzarekin, azpiegituren gehieneko ahalmenaren bidez. Hala bada, mugikortasuntzat pertsona bat trenez lanera joatea edota pertsona bera etxetik bizilagunaren etxera oinez joatea hartzen da.

Ondorioz, eta aurreko guztia kontuan hartuta, Europako Batzordeak (2001) honela definitzen du Mugikortasun Iraunkorra: ekonomia, ingurumena eta gizarte-premiak eraginkortasunez eta ekitatiboki asetzeko gai den sistema, eta, aldi berean, orain eta etorkizunean, saihestu daitezkeen edo beharrezkoak ez diren inpaktu kaltegarriak eta horiekin lotutako kostuak minimizatzen dituen. Egungo garraio-ereduaren ingurumen-narriadura atzeraezina pixkanaka murriztea ahalbidetzen duen prozesua da, eta, aldi berean, egungo eta etorkizuneko belaunaldien irisgarritasun premia asetzen duena. Definizio hori aztertuta, Mugikortasun Iraunkorra Garapen Iraunkorraren testuinguru zabalago batean dagoela ikus daiteke, non ingurumena prozesuaren erdigunea den. Mugikortasun Iraunkorrak Garapen Iraunkorraren printzipioak eta helburuak pertsonen eta salgaien mugimenduan integratzen ditu, eta herrialde industrializatuetakoko garraio-sistema fisikoki bideragarria ez dela, ez epe laburrera, ez epe luzera, alegia, ez dela iraunkorra berresten du (Banister *et al.*, 2011; European Commission, 1992). Azken hamarkadetako gizartearen motorizazio globalak petrolioarekiko menpekotasuna gero eta handiagoa izatea ekarri du, eta horrek ingurumen-inpaktu larriak, baliabidearen agortzea eta prezioa nabarmen igotzea ere ekarri ditu. Hala, Garapen Iraunkor baterako berriztagarriak ez diren baliabideak baliabide berriztagarriekin ordeztzea saihestezina duen garraio sektore jasangarriago bat ezinbestekoa izango da.

Mugikortasun Iraunkorra etorkizun hurbilerako mugikortasun modu eta politika berrietan pentsatzeko premia formalizatzen duen kontzeptua da, irisgarritasunaren beharra bermatzen jarrai dadin baina ingurumen mugak gaintitu gabe {Gudmundsson *et al.*, 2015). Hala ere, ez dirudi egungo Europako jarduerak egungo legeriak ezartzen duen jasangarritasun maila behar bezala ezartzen dutenik {Humphreys, 2010). Ohiko garraio politikek, gero eta handiagoa den eskariari eskaintza handituz erantzuten jarraitzen dute; hala nola, azpiegitura berrietan inbertitzea edo garraio zerbitzuak handitzea, eta horrek muga naturalak gaintitzen jarraitzea ekarriko luke. Beraz, badirudi orain eraginkorragoa eta iraunkorragoa izango dela ahaleginak eta politikak zentratzea azpiegituren erabileraren eraginkortasuna hobetzeko, dela mugikortasun beharra eta garraio eskaera murrizteko, dela garraio publikoa zein gutxien kutsatzen duten garraiobideak sustatzeko. Mugikortasun Iraunkorra kontzeptua operatibizatzeke zailtasun horiek hartu beharreko neurriak ez zehaztearen edo helburuen artean ez lehenestearen ondorio dira. Hala, hierarkiak politika energetikoetan edo hondakinen kudeaketan lehenespen gida gisa erabiltzea oso ohikoa da, baita garraioan ere. Adibidez, Erresuma Batuko Garapen Iraunkorreko Batzordeak {2011) garraio politikan erabakiak hartzeke eta garraiobide jasangarri gehienak lehenesten direla bermatzeko tresna bat eskaintzen du, hau da, garraio sistemak jasangarritasunaren ikuspegitik ebaluatzeke esparru orokor bat eskaintzen du. Zehazki, dokumentu horrek lau lehentasun mailako garraio hierarkia bat ezartzen du: (1) eskaria minimizatzea; (2) intermodalitatea; (3) eraginkortasuna optimizatzea; eta (4) edukiera handitzea.

Hierarkia horren helburuei erantzuteke, garraio-politika berriak soilik ezartzea ez da nahikoa izango; aitzitik, erronka horri hainbat esparru eta diziplinatatik egin beharko zaio aurre. Erantzuna diziplina askotarikotik etorri behar izango da; ezinbestean, holistikoa eta integrala izango da, hainbat eragile eta erakunderen parte-hartzeaz eta kontzientziatioaz, garraio-ohiturak eta bizimoduak aldatzeke

{Guillamón and Hoyos, 2005). Adibidez, garraio eskaria murrizteko hurbiltasuna sortzea eta, ondorioz, lekualdatzeko premiaren presioa murriztea beharrezkoa izango da, eta erronka horri erantzuteko garraio politikak soilik aplikatzea ez da nahikoa. Helburu hori lortzeko eta adibidez ibilgailu pribatuarekiko menpekotasuna murrizteko zerbitzuak zentzuzko distantzia geografikotan kontzentratu eta urbanizazio sakabanatua saihestuko duen lurralde-antolamendua behar da. Hala ere, garraio eskariaren presio hori murrizteko herritarrentzat garraioari eta kontsumoari buruz kontzientziatzeko kanpainak ere beharrezkoak izango dira. Gutxiago kutsatzen duten garraio moduetara aldatzeko, garraio publikoaren erabilera sustatzen duten edo eremu jakin batzuetan ibilgailu pribatuaren erabilera tarifitzen duten garraio politikak beharko dira. Neurri osagarriak dira guztiak eta horien bidez ere garraio sistemaren eraginkortasun handiagoa errazten da.

Trantsizio honetan berrikuntza teknologikoa garraio sistema ekoefizienteagoa eta jasangarriagoa lortzeko ere funtsezkoa izango da {European Commission, 2011b). Garraioaren eraginkortasun ekologikoa hobetzeko hobekuntza teknologikoak ezinbestekoak dira, ibilgailuak eta azpiegiturak hobeto aprobetxatu beharko dira eta bidaiariak eta salgaiak ingurumena gehiago errespetatzen duten garraibideetara desplazatu beharko dira ere. Horrela izanik ere, ibilgailu pribatuen elektrifikazioak, propulzio sistemen efizientzia hobetzeak eta komunikazio sistema berriek nabarmen lagun dezakete garraio sistemaren jasangarritasunean. Testuinguru honetan hainbat esparrutik Abiadura Handiko Trena {AHT) garraibiderik jasangarriena eta GHG isuriak nabarmen murrizteko eta energia aurrezteko potentzial handiena duena bezala aurkeztu ohi dute {California High-Speed Rail Authority, 2016; European Court of Auditors, 2018; Jehanno *et al.*, 2011). AHTa garraio modu elektriko bat denez, ingurumenaren onura argia dela argudiatzen da, izan ere, bidaiariak (eta salgaiak kasu batzuetan) garraio modu kutsagarriagoetatik (autoa, kamioia,

hegazkina...) ingurumen inpaktu txikiagoko batera desplazatzen baititu. Hala ere, egile batzuek zalantzan jarri dituzte ustezko aurrezki horiek, argudiatuz ingurumen ebaluazio horietako batzuk trenaren operazio fasea soilik aztertzen duten analisietatik datozela, eta analisitik kanpo uzten dituztela azpiegiturearen eraikuntza, mantentze eta eraipen faseak, horiei lotutako kargak edo aurrezkiak kontabilizaziotik kanpo utzita (Bueno *et al.*, 2017; Chester and Horvath, 2010; Heather Jones *et al.*, 2016). Azken batean, garraio azpiegitura berrietan inbertitzearen helburua garraio eskaintza edo gaitasuna handitzea da, garraio hierarkiaren azken helburua, hain zuzen ere. Azken aukera izan behar du horrek, izan ere, horrelako azpiegitura konplexuak eraikitzeak ondorio negatiboak ditu ingurumenean, zalantzarik gabe, eta horiek azpiegiturearen bizitza baliagarri osoan zehar behar bezala kuantifikatu behar dira. Hala, garraioaren sektoreak sor ditzakeen ingurumen inpaktu nagusiak hurrengo epigrafean laburbilduko dira.

2.3 Garraioaren inpaktuak

Garraio aktibitateak hainbat ondorio edo alterazio eragiten ditu gizartean, ekonomian eta ingurumenean. Hala ere, lan honetan ez dira aztertuko sektore horrek eragin ditzakeen ondorio ekonomikoak eta sozialak. Ikerketa honek atmosferako emisio nagusietan jartzen du arreta, hala nola, berotegi-efektuko gasetan (GHG), bai eta metatutako energia-kontsumoan ere, klima-aldaketan duten eragina ikusteko. Beraz, atal honetan, lehenik eta behin, garraioak ingurumenean eta giza bizitzan dituen ondorio nagusiak errepasatuko dira, eta, ondoren, garraioak GHG emisioen eta energia kontsumoaren bidez klima aldaketari egindako ekarpen nagusiak esplizituago eta zehatzago azalduko dira.

Lehen azaldu bezala, azken hamarkadetako pertsonen eta salgaien garraio intentsiboak ondorio larriak eragin ditu ingurumenean.

Ingurumena planetan bizi diren espezieek, gizakiek barne, bere bizitza garatzen duten ingurune naturala da. Ura, airea, lurra eta lehengaiak bezalako baliabideen epe luzerako eskuragarritasunaren mende dago bizi kalitatea, baita natura eta kultura ondarearen mende ere (European Commission, 1992). Garraioak eragindako ingurumen inpaktuen zerrenda oso zabala da, beraz, lan honetan literatura espezializatuan esanguratsuenak eta ohikoenak direnak baino ez dira aztertuko. Inpaktu horiek, alde batetik, garraioaren operazioak eragindako aldaketek eragiten dituzte, eta, bestetik, garraioaren operaziorako behar den azpiegituraren instalazioaren espazio fisikoen okupazioak eta ikusizko intrusioak.

2.3.1 Uraren kutsadura

Uraren kutsadura substantzia kimikoak askatzearen ondorioz ekosistema akuiferoen (ibaiak, aintzirak, itsasoak) kalitatearen aldaketa da. Alterazio horrek eragin zuzena du floran, faunan eta giza osasunean. Garraioak, nola ez, hainbat modutan laguntzen du kutsadura prozesu horretan. Erregai fosilak erabiltzearen ondoriozko emisio atmosferiko kutsagarriak euria egin ondoren uretan amaitzen dira. Istripua gertatuz gero edo zamalanetan hainbat konposatu kimiko aska daitezke ingurura eta uretan amaitu, hala nola salgai arriskutsuak edo erregaiak. Itsas garraioa da uraren kalitatearen narriaduran eragin handiena duen garraio modua (Rodrigue, 2020). Dragatze-jarduerak, hondakin ezberdinen isurketa, lasta-urak eta petrolio-isuriak dira ura kutsatzeko arrazoi nagusiak.

Harreman biologiko estua dago lurzorua, airearen eta uraren ekosistemen artean, eta, beraz, horietako bat eraldatzeak eragina du bestean.

2.3.2 Lurzoruaren kutsadura eta lurraldearen okupazioa

Konposatu kimikoak edo fisikoak askatzeagatik lurzoruaren eta haren propietateen degradazioa edo kalitate-galera da. Garraio aktibitateak lurzoru kutsatzen laguntzen du, euria egin ondoren lurzorian amaitzen diren erregai fosilen erabileraren ondoriozko emisio kutsatzaileen bidez. Gainera, produktu kimiko arriskutsuen eta erregaien ustekabeko edozein isurketek zuzenean eragiten dio lurzoruari.

Europako Batzordearen datuen arabera (2019), EB-28ko errepide sareak 5 milioi kilometroko luzera du, eta horietatik 77000 kilometro bide azkarrekoak dira. Trenbide sareak 335000 kilometroko luzera du, horietatik 117000 elektrifikatuak daudelarik, eta, azkenik, 42000 kilometro bide nabigagarri daude. Datu horien arabera garraio-sareak eta haien azpiegiturak Europako azalera eraikiaren %3 baino ez badira ere, lurraldearen okupazioari lotutako inpaktu zuzenak behar bezala kontuan hartu behar dira.

Garraio azpiegitura instalatzeak normalean iraunkorra den eta askotan itzulezina den lurzoruaren erabilera aldatzea dakar. Lursailaren okupazio horrek eta azpiegituraren eraikuntzak dakartzan lur-mugimenduek inguruneko baldintza naturalak aldatzea eragiten dute eta, ondorioz, tokiko ekosistemei eragiten diete. Habitat naturala kaltetu edo suntsi dezake, paisaia-balio handiko eremuak kaltetu ditzake edo oreka ekologikoa hautsi dezake bizitza basatiari bereziki eraginez (European Commission, 1992).

Azpiegitura horien neurriek hesi-efektu kaltegarria eragiten dute faunaren mugikortasunerako eta, horren ondorioz, askotan oztopo arkitektonikoa gainditu nahi duten animaliak harrapatzeagatik istripuak gertatzen dira.

2.3.3 Kutsadura akustikoa eta bibrazioak

Kutsadura akustikoa pertsonak eta salgaiak garraiatzeko jarduerak eragindako gehiegizko soinuari deitzen zaio. Inpaktu hori gertatzen da motorren soinuagatik, pneumatikoen edo trenbide-gurpilen errodaduragatik, ibilgailuen erresistentzia aerodinamikoagatik, etab. Osasunaren Mundu Erakundeak (WHO, World Health Organization ingeleraz) gizakien osasunean dituzten eragozpenak dezibelioen (dB(A)) maila ezberdinen arabera ezartzen ditu. Hala, 55 eta 65 dB(A) arteko balioak dituzten soinuak gogaikarritzat jotzen dira, eta 65 dB(A) baino gehiagoko soinuak maila ez onargarriak izango lirateke.

Europar errepide garraioak eragiten die biztanle gehienei. Europar Batasuneko biztanleen %15 errepideko trafikoa eragindako 65 dB(A)-tik gorako eremutan bizi da, eta %40 maila gogaikarria den eremuetan bizi da. Espainian, biztanleen %30 65 dB(A) -tik gorako eremuetan bizi da (European Environment Agency, 2018b). Gainera, urbanizazio sakabanatuak gora egin ahala ibilgailu pribatuz eta hegazkinez garraiatzeko eskariak 2050era arte hazten jarraitzea espero da, hain justu garraioaren kutsadura akustikoan gehien eragiten duten garraiobideak (European Commission, 2013a; Miri, 2019).

Osasunaren gaineko ondorioak askotarikoak dira. Deserosotasuna edo nekea eragin dezaketen eragozpenetatik abiatuta, esposizioa maila altukoa edo etengabea bada, loaren nahasmenduak, suminkortasuna, estresa eta arazo psikologikoak sor daitezke. Izan ere, WHOk jada identifikatzen du garraioak eragindako zarata Europar osasunerako kaltegarriena den bigarren ingurumen-kausa dela (lehena atmosferarako isuriak dira) (World Health Organization, 2011).

Garraioak eragin dezakeen beste inpaktu garrantzitsu bat ibilgailuek trafikotik gertu dauden eremuetan sortzen dituzten bibrazioak dira. Garraioak sorturiko bibrazioa ibilgailuak igarotzearen ondorioz zerbaiten mugimendua edo oszilazioa bezala defini daiteke. Aldaketa horrek kalteak eragin diezazkieke egiturei, eraikinei eta lurzoruari,

baina kutsadura akustikoaren antzeko ondorioak ere eragin ditzake gizakien osasunean eta faunan. Karga astunak daramaten kamioiek jendea bizi den lekuak zeharkatzen badituzte bibrazio handiak sortuko dituzte eta ondorio zuzenak sortuko dizkiete inguruko pertsoneri eta faunari baina baita errepideetan, eraikinetan eta abarretan. Salgai-trenak batez ere bibrazio handiak eragiten dituzte etxebizitzak gertu badaude, eta hori Europako hiri-inguruetan gertatu ohi da.

2.3.4 Istripuak

Pertsonen eta salgaien trafikoa etengabe hazten ari denez ohikoa da arrisku-egoerak gertatzea, baita kasu batzuetan kalte pertsonalak ematea ere. Errepide garraioa, kopuru absolutuetan, hildako eta zauritu gehien dituen modu bezala nabarmentzen da. Urtero 1.3 milioi pertsona inguruk galtzen dute bizia errepidean munduan (OMS, 2017). Garraio modu honetan erabiltzaileek azpiegitura partekatzen dute, ibilgailuak abiadura handian gidatzen dituzte, auto-ilarak normalak dira, beraz istripuak ohikoak dira eta horiek murrizteak garraio-politiken erronka handienetako bat izan behar du. Hala ere, European, 2017ko estatistikek adierazten dute errepideko garraioan hildakoak %56 murriztu direla 2000. urtearekin alderatuta.

2017. urtean 25256 pertsonak bizia galdu zuten Europar Batasuneko errepideetan, 51 hildako milioi bat biztanleko (European Commission, 2020) 2000. urtean 57082 hildako izan zirenean (European Commission, 2019). Espainian, 2017. urtean 1830 hildako izan ziren errepideko zirkulazio-istripuetan, 2000. urtean baino %68 gutxiago, 5777 hildako egon baitziren. Espainian 2019an 36 pertsona hil ziren errepidean milioi bat biztanleko, EBko batez bestekoaren oso azpitik (European Commission, 2020).

Aurreko emaitzek azken hamarkadetan hartutako neurriek eta segurtasunaren arloko aurrerapen teknologikoak emaitza positiboak lortu dituztela erakusten dute. Erakundeek errepideko segurtasuna

hobetu dezaketen alderdiak arautu dituzte. Gidariantzako eta bidaiariantzako segurtasun-uhala nahitaez erabiltzeak, puntukako gidabaimenak, gehieneko zirkulazio-abiadura mugatzeak, zehapenak ezartzeak eta gidariak edari alkoholduak kontsumitzeko mugak kontrolatzeak edo ibilgailuen kalitatea kontrolatzeak, Europako errepideetan heriotzak murrizten lagundu dute.

Bidaiariak garraiatzeko beste modu batzuetako istripuak ez dira hain ohikoak, baina jende gehiagok bidaiatzen duenez, istripuak gertatutakoan hauek larriagoak izaten dira. Hala ere, ez da hain ohikoa, eta garraiatutako bidaiari-kilometro bakoitzeko neurtzen badugu, hegazkina istripu gutxien eragiten dituen garraiobidea da.

2.3.5 Garraio pilaketak

Pilaketa, garraio-azpiegituraren erabiltzaileek elkarri sortzen dioten aldi baterako eta iraupen aldakorreko blokeoa da. Une jakin batean garraio-eskaintzaren eta eskariaren arteko desorekaren emaitza da; azpiegiturak zerbitzua emateko duen gehieneko ahalmenaren eta erabiltzaileek erabiltzeko eskariaren arteko desoreka (De Rus *et al.*, 2003). Une jakin batean, azpiegitura erabiltzeko eskaera haren gehieneko edukiera baino handiagoa da. Oso ohikoa da errepideko hiri-zirkulazioan eta gero eta gehiago aire-garraioaren sektorean. Disonantzia hori edozein garraio moduetako eskaria denboran oso konstantea ez delako eta epe laburreko azpiegituren eskaintzaren edo gehieneko ahalmenaren zurruntasunagatik gertatzen da.

De Rus *et al.* (2003) azaltzen dutenez, erabiltzaileak aldi berean azpiegituraren asetasunaren eragileak eta sufritzen dutenak dira. Azpiegitura erabiltzeko eskatzen dutenean, pilaketan laguntzen ari dira, eta, ondorioz, saturazio horren ondorioak jasango dituzte. Pilaketaren ondorio zuzena buxatutako azpiegitura baten ondoriozko gaitasun eta mugikortasun murrizketa da. Aldi baterako edo pilaketak

irauten duen bitartean eskain dezakeen zerbitzua ez da gertatuko, edo behintzat haren kalitatea nabarmen murriztuko du.

Errepide garraioan, pilaketen ondorioz erabiltzaileen beraien artean sortzen dizkioten oztopoak ibilgailuen desplazamendu abiadura asko murriztera eramaten du. Abiadura murrizteak erregai-kontsumoa handitzea eta erabiltzaileek denbora galtzea eragiten du. Aireko garraioan, trafikoa ez da libre, beraz, pilaketak izaera ezberdina du, baina erabiltzaileek euren artean sortzen duten oztopoa ere bada.

Aireportuko azpiegiturek, bere baliabide mugatuengatik (pistak, langileak eta terminalak) gehieneko gaitasuna edo eskaintza maximo bat du, beraz, aireko garraioa aurrerapen askorekin antolatzen eta programatzen da. Aireportuek, azken batean, beren ahalmenen maximo horretan funtzionatzen dute gehienetan, orduko hegaldi kopuru maximoa ahalbidetuz. Eta, batzuetan, baina gero eta sarriago, alterazio txiki batek azpiegitura erabiltzeko eskaria eskaintza baino handiagoa izatea eragin dezake, ondorioz, hegaldien pilaketa luzea hasten da. Hegaldi bat aireportu jakin batera atzeratzen bada, litekeena da aireportu baten edo batzuen programazioan aldaketa handiak eragitea eta atzerapena pilatzen joatea. Domino efektu hau, sektore honen bereizgarria da, eta inpaktu garrantzitsu batzuk eragiten ditu: alde batetik, bidaiariek eta airelineek denbora galtzea, eta, bestetik, erregai gehiago kontsumitzea irteerako pistetan denbora gehiago itxaron behar duten hegazkinetan.

2.4 Garraioaren sektoreak klima-aldaketari egiten dion ekarpena

Garraioan atmosfera helburu duten eta hainbat ondorio eragiten dituzten isuri kutsatzaile ugari sortzen dira. Garraioaren emisio nagusiak, Ingurumenaren Europako Agentziaren arabera, honako hauek dira: karbono monoxidoa (CO), sufre-dioxidoa (SO_x), nitrogeno-oxidoak (NO_x), erregai lurruntzetik eratorritako metanoa ez diren konposatu organiko lurrunkorrak (COVDM, ingelesezko NMVOC),

materia partikula esekiak errepideen, pneumatikoen eta frenoen higaduratik datozenak (PM_{2.5} eta PM₁₀), eta, azkenik, klima-aldaketaren gaineko eragina neurtzeko erreferentziazko ingurumen-adierazlea osatzen duten emisio batzuk, Berotegi-Efektuko Gasak (GHG), CO₂-eq unitateetan adierazita. Hauek dira Rlima Aldaketari buruzko Nazio Batuen Esparru Ronbentzioaren txostenetan sartzen diren GHGak: karbono dioxidoa (CO₂), metanoa (CH₄), oxido nitrosoa (N₂O), sulfuro hexafluoruroa (SF₆), hidrofluorokarbonoak (HFC), perfluorokarbonoak (PFC) eta nitrogeno trifluoruroa (NF₃).

Isurketa atmosferiko generikoak murriztu egin dira Europan 1990etik, eta garraioak bere pisua izan du. Izan ere, CO eta NMVOC emisioak %86 inguru murriztu dira, NO_x emisioak %41 (emisio guztien erdia baino gehiago garraiotik datoz) eta SO_x emisioak %63. PM_{2.5} eta PM₁₀ partikulen isurketak %40 eta %34 murriztu dira, hurrenez hurren, 2000. urtearekin alderatuta (European Environment Agency, 2019b). 1990. urteaz geroztik garraio-jarduerak nabarmen gora egin badu ere, garraioaren isuri generiko gehienek beheranzko joera argia dute EBn. Hala ere, murrizketa horiek ez dira berdin gertatu garraio modu guztietan. Sektoreak sortzen dituen emisio gehienen eragilea errepide garraioa da; beraz, errepideetako murrizketek eragin nabarmena dute murrizketa orokorretan. 2017. urtean eta 1990. urtearekin alderatuta, errepide garraioan sorturiko CO eta NMVOC emisioak %90 inguru, SO_x emisioak %99 eta NO_x emisioak %60 murriztu dira. Murrizketa horiek garraioan neurri eta teknologia berriak aplikatzearen ondorio izan daitezke, hala nola airearen kalitatearen kudeaketaren arloan aplikatzen direnak: emisio gutxiko eremuetan zirkulatzeko debekuak, pilaketagatiko tasa edo gehieneko abiadura mugatzea. Hala ere, emaitza horiek azken urteetan egindako aurreikuspenen azpitik daude etorkizuneko garraio-eskariaren gutxiespenen eta diesel ibilgailuen salmenten igoeraren ondorioz. Errepideetan zirkulatzen ari diren diesel ibilgailuen kopuruak gora egin duenez, PM_{2.5} partikulen isurketak %22

igo dira 2000. urtearekin alderatuta (European Environment Agency, 2021).

Nazioarteko aireko eta itsasoko garraio moduek, aldiz, emisioak areagotu dituzte ia emisio generikoen adierazle guztietan. 1990eko datuekin alderatuta, aire garraioan NO_x emisioak %171 handiagoak dira (bikoitza baino gehiago), %30 eta %29 PM2.5 eta PM10 emisioak, hurrenez hurren. Usas garraioak ere NMVOC emisioak %20 eta NO_x emisioak %26 igo ditu, baina PM2.5 eta PM10 emisioak %26 murriztu dira 2000. urtearekin alderatuta (European Environment Agency, 2021).

Berotegi Efektuko Gasen (GHG) emisioei dagokienez, erregai fosilen egungo kontsumo intentsiboak "berotegi efektua" eragiten duten emisioak bidaltzen ditu atmosferara. Gas horien metaketak atmosferaren erradiazio termikoaren prozesua aldatzen du eta horren emaitza lurrazaleko tenperaturaren igoera da. Lurraren batez besteko tenperaturaren igoera horrek klima-aldaketa dakar epe ertain eta luzera. Beraz, pertsona, erakunde, ekitaldi edo produktu batek klima-aldaketan izan ditzakeen eraginak adierazteko erabiltzen den adierazlea da. Berotegi-efektuaren erantzule diren hainbat gas adierazle bakarrean integratzen dira eta karbono dioxido unitate baliokideetan (CO₂-eq) adierazten dira.

Planetaren tenperaturaren igoera 2 gradu zentigradutik behera mantentzeko helburua lortzeko, EBk GHG isurketak 2030erako %55 murrizteko konpromisoa hartu du, 1990eko urtearekin alderatuta (European Commission, 2016). Gainera, tarteko helburuak eta helburu sektorialak daude, Parisko akordioen ildo beretik doazenak. Zehazki, garraioaren sektorerako, 2011ko Liburu Zurian, 2050. urterako eta 1990. urtearekin alderatuta, garraio sektoreko berotegi-efektuko gasen (GHG) isuriak %60 murriztea ezarri zen eta tarteko helburu bezala isurketa horiek %20 murriztea 2008. urtearekin alderatuta (hau da, 1990. urtean baino %8 gehiago) (European Commission, 2011a). Dokumentu honetan garraioaren arloko berrogei ekimen zehatz jasotzen dira, besteak beste,

bidaiarien eta salgaien distantzia ertaineko garraioaren %50 errepidetik trenera desplazatu eta hiriak ohiko ibilgailu motordunez askatzea.

Gaur egun, garraio-sektoreak energia primario globalaren %25 kontsumitzen du (Moriarty and Honnery, 2016), eta Europan, zehazki, garraio-sektoreko energia-kontsumoa %32 handiagoa izan zen 2017an 1990ean baino (European Environment Agency, 2021). Energia hori batez ere berriztagarriak ez diren baliabideetatik dator eta, horrela, CO₂ isuri globalen %24 sortzen du (European Environment Agency, 2019a). Europako Batzordearen urteko GHG isuriei buruzko datuen arabera (2.2 Taula) (2019), 2017an GHG isuriak Europan 4483 milioi tona CO₂-eq izan ziren, 1990ean baino %21.6 gutxiago (5723 milioi tona CO₂-eq). Hala ere, berotegi-efektuko gasen isurketek 2008 eta 2013 artean izandako atzeraldi ekonomiko globalaren ondorioz etengabe behera egin badute ere, isurketa horien %28 (1250 Mt CO₂-eq) garraio-sektoretik datoz, 2016an baino %22 gehiago eta 1990ean baino %28 gehiago. Eta garraioko berotegi-efektuko gasen (GHG) isurketen ia %72 errepide garraiotik datoz (2.3 Taula). Hala ere, termino erlatiboetan eta 1990eko datuekin alderatuta, aireko garraioak gorakada handiena izan du; izan ere, %110 igo dira haren isurketak, eta, ondoren, errepide garraioak (%23) eta itsas garraioak (%19) sortutakoak. Trenbideak bere GHG isurketak %54 murriztu ditu 1990. urtearekin alderatuta, batez ere, munduko zirkulazioan gero eta pisu txikiagoa duelako.

2017an, GHG isurketak EBko kide diren herrialdeen erdietan baino gehiagotan hazi dira, eta Espainiak izan du igoerarik handiena (14.2 Mt CO₂-eq). Espainian, berotegi-efektuko gasen isurketak %22 hazi dira 1990-2017 aldian, baina gaur egun garraiotik datozen berotegi-efektuko gasen isurketak %70 handiagoak dira. Euskadin, 2017an berotegi-efektuko gasen guztizko isurketak 1990ekoak baino %6 txikiagoak izan dira, baina garraioaren sektoreari lotutako isurketak %130 igo dira. Hala ere, 2030erako Euskadiko Energia Estrategian (Ente Vasco de la Energía, 2017) jasotako euskal energia-sistemaren epe luzerako ikuspegiaren arabera, "Petrolioaren zero kontsumoa 2050ean erabilera

energetikoetarako" "garraio-sistemaren egiturazko aldaketa" eskatuko luke (37. or.).

Datuak ikusita, argi dago garraioaren sektorea ezarritako helburuak betetzetik urrun dagoela. Berotegi-efektuko gasen isuriak bi heren inguru murriztu beharko lirateke 2050erako, 1990eko mailekin alderatuta, garraio-isurpen horiek %60 murrizteko helburua betetzeko. Sektore horrek azken urteotan izan duen etengabeko hazkundearen eta etorkizunean izan dezakeen hazkundearen ondorioz, Mugikortasun Iraunkorra lortzeko erronka toki, nazio, Europa eta mundu mailan lehenetasun estrategikoa bihurtu da.

2.2 Taula. GHG isurhetah EB-2Ban, Espainian eta Eushadin, 1990-2017 epean. Europar Batzordea (2019) eta Eusho Jaurlaritza (2019) oinarri hartuta egina.

	2017			1990			1990-2017	
	GHG Mt CO ₂ -eq	GarraioGHG MtCO ₂ -eq	%	GHG MtCO ₂ -eq	GarraioGHG MtCO ₂ -eq	%	GHG	GarraioGHG
UE-28	4483	1249.9	28%	5722.9	973.1	17.0%	-22%	28%
Espainia	357.3	127.5	36%	293.3	75.2	25.6%	22%	70%
Euskadi	19.6	6.6	34%	20.8	2.9	13.8%	6%	130%

2.3 Taula. Garraio modu ezberdinen GHG isurhetah EB-2Ban. Europar Batzordea (2019) oinarri hartuta egina.

Garraio modua	2017		1990		1990-2017
	GHG Mt CO ₂ -eq	%	GHG Mt CO ₂ -eq	%	%
Hegazkina	174.3	13.9%	83.0	8.5%	110%
Errepidea	895.8	71.7%	729.6	75.0%	23%
Trena	6.6	0.5%	14.2	1.5%	-54%
Itsasoa	16.7	1.4%	140.9	14.5%	19%
Beste batzuk	6.1	0.5%	5.3	0.5%	19%
Totala	1249.8	100%	973.0	100%	28%

2.5 Abiadura Handiko Trenaren (AHT) ekarpena Mugikortasun Iraunkorrari

Abiadura Handiko Trenaren (AHT) ezaugarri nagusia, izenak berak dioen bezala, abiadura da. UICren (2018) irizpideen arabera, AHTa eraiki berriko abiadura handiko azpiegituretan 250 km/h-tik gorako abiaduran ibil daitekeen trena da, edota egokitutako eta ekipatutako linea konbentzionaletatik 200 km/h-tik gorako abiaduran ibil daitekeen trena ere. AHTa, ordea, ez da ohiko trena baino abiadura handiagoan ibil daitekeen tren azkarra bakarrik; errealitate konplexuagoa da. Abiadura horiek lortzeko, ezaugarri zehatz eta zorrotzak dituen azpiegitura bat eraikitzea beharrezkoa da, berariaz diseinatutako trenak, trafikoa kontrolatzeko sistema aurreratuak, trenaren kontrol automatikoko sistemak, etab. Azken batean, elementu tekniko aurreratu eta espezifiko batzuk biltzen dituen sistema konplexu bat da.

Azpiegitura eraikitzeke eskakizun teknikoek dagokienez, linea konbentzional batekin konparatuta aldaketa nabarmenak daude. Bihurguneen erradioak zabalagoak izan behar dira trena errailetik ateratzea saihesteko; izan ere, zenbat eta abiadura handiagoa izan, orduan eta indar zentrifugo handiagoa sortzen da. Halaber, maldak leunagoak izan ohi dira energia-kontsumo handiegia edo balazta-higadura saihesteko. Espainian, adibidez, bidaiarientzako abiadura handiko linea eskusiboen gehieneko malda %2.5ekoa da, eta %1.5ekoa trafiko mistoena (Trenvista, 2015). Praktikan, abiadura handiko lineak desnibel txiki horiek aprobetxatzeko diseinatuta daude, hau da, goranzko arrapalak erraz igotzeko ia energiarik kontsumitu gabe jaitsieren energia zinetikoaz baliatzen dira.

Alderdi horiek eragin zuzena dute linearen diseinuan, zailtasun orografikoak gainditzeko aukerak nabarmen mugatzen baitituzte. Beraz, abiadura handiko linea baten trazadura ahalik eta zuzenena izan dadin eta malda handirik izan ez dezan, tunelak eta biaduktuak eraiki beharko dira orografiak hala eskatzen duen lekuetan. Lurraren

orografia menditsua den eskualdeetan, tunelak eta zubiak eraikitzea trazaduraren zati handi bat izan daiteke, eta horrek baliabideen kontsumo handiagoa eta kostu ekonomiko handiagoak dakartza. Hori da Euskal Y-aren kasua, trena ia ikusezina izango baita eraikiko diren 80 tunelengatik (Euskal Trenbide Sarea, 2021).

Trenbidearen zabalera ezin da oso estua izan, abiadura handian egonkortasuna txikiagoa baita. Arrazoi fisikoengatik, beraz, zabalera metrikoa baino handiagoa behar da, eta horrela, ohiko lineetan aurki zitezkeen zabalera ezberdinak bateratzeko European 1435 mm-ko zabalera ezartzea erabaki zen. Hori dela eta, herrialde askok abiadura handiko linea berriak eraiki behar izan dituzte gainerako trenbideen zabalera ez den beste batekin.

Trenen aspektu teknikoak ere eskusiboak dira eta berezko ezaugarriak dituzte 250-300 km/h-tik gorako abiaduran zirkulatzeko. Argitu behar da abiadura handiko tren guztiak ez direla berdinak, aldeak baitaude sektoreko hainbat enpresak fabrikatutako modeloen artean. Gainera, lehen belaunaldiko abiadura handiko trenak jaio zirenetik bilakaera nabarmena izan da. Oro har, AHT batek marruskadura, airearekiko erresistentzia eta zarata ahalik eta gehien murrizteko diseinu aerodinamikoa du. Instalatutako motorrek eta horien potentziak trenaren abiadura emango dute, eta horrela, gaur egun 400 km/h-ko abiadura gainditu dezaketen trenak daude probetan (Seijas, 2019), hala nola, AVE Class 103, ICE 3 Class 407 edo TGV Duplex, besteak beste.

Trenen abiadura hain altuak direla-eta, kontrol eta segurtasun sistemek ere espezifikokoak izan behar dute. Askotariko sistemak, mailak eta bertsioak daude, baina helburu nagusiak istripu-arriskua murriztea eta trenbide-zirkulazioaren kudeaketa eraginkorragoa izatea dira. European erkidegoaren bateragarritasuna lortzeko, abiadura handiko sareak dituzten herrialdeek ERTMS (European Traffic Management System) sistema instalatzea erabaki zuten, eta, horrela, etorkizunean

Europako herrialdeen arteko trenbide-zirkulazioen elkarreragingarritasuna ahalbidetzea.

Ezaugarri tekniko zehatz eta zorrotz horiekin, UIC (2020) erakundeak emandako datuen arabera, mundu osoko 21 herrialdek dute operazioan gaur egun abiadura handiko tarteren bat, eta beste 23 herrialdek eraikitzen edo planifikatzen ari dira tarteren bat. Eraiki eta operazioan <lauden kilometro gehienak Asian eta European daude. AHT baten munduko lehen esperientzia Japonian izan zen 1964an, Tokaido Shinkansen martxan jarri zenean. Japoniako linea honek Osaka eta Tokio hiriak lotzen zituen, herrialdeko metropoli-eremu handienak, eta justu garaiz Tokyo 1964ko olinpiadetarako (Japan Station, 2021). Lehen AHT linea horren eraikuntzak, bigarren mundu-gerratik etengabe hazten ari zen eta pilaketa-maila handia zuen ekonomia baten garraio-gaitasuna handitzeko beharrari erantzuten zion. Ondoren, sare hori hedatu egin da, eta herrialde japoniarrean biztanle gutxiago dituzten hainbat hiri batu dira. Gaur egun, 3000 km-tik gorako sareari esker herrialdeko uharterik handiena (Honshu) iparraldetik hegoaldera, Sapporotik Ragoshimaraino, zeharkatzea posible da. Herrialdearen errealitate demografikoari eta lurraldearen antolaketari esker, herrialdeko metropoli-eremu populatuena lotzen dituen eta bidaiariak eskusiboki garraiatzen dituen abiadura handiko sare linealak ahalbidetu ditu.

Shinkansen sisteman oinarrituta, Txinako gobernuak abiadura handiko tren-sistema planifikatzen hasi zen 90eko hamarkadan eta 2008an Beijing eta Tianjin arteko lehen linea ireki zenetik hedapen nabarmena izan du. Gaur egun, munduko abiadura handiko sarerik zabalena da, operazioan 35000 km baino gehiago dituen (Wikipedia, 2021a), hau da, munduan eraikitako abiadura handiko kilometro guztien bi heren Txinan daude. Hasieran inportatutako teknologiarekin operatzen hasi baziren ere, gaur egun tren, segurtasun-sistema eta osagai gehienak tokikoak dira.

Estatu Batuetan ez dago nazio osoa konektatuko duen abiadura handiko sare bat eraikitzeko planik. Hala ere, hainbat proiektu indibidual daude estatu federaletan, baina gehienetan oraindik ez da aurrerapen garrantzitsurik egin. Gaur egun, Boston eta Washington hirien arteko linea baino ez dago operazioan eta Raliforniako linea, San Frantzisko eta Los Angeles hiriak lotuko dituen, eraikitze fasean dago {UIC, 2020).

Europan hainbat herrialdek egin dute garraio mota horren aldeko apustua: Austriak, Belgikak, Finlandiak, Danimarkak eta abarrek dute gutxienez abiadura handikotzat har daitekeen tarteren bat. Hala ere, ez dago Europako abiadura handiko trenbide-sarerik, soilik abiadura handiko linea nazionalen konglomeratu heterogeneo bat dago, estatu kideek modu isolatuan planifikatu eta eraikitakoak {European Court of Auditors, 2018}. Italia izan zen abiadura handiko trenbide bat inauguratu zuen lehen herrialdea, zehazki Florentzia eta Erroma artekoa eta 1977an inauguratu zena. Ondoren, Frantzia izan zen 1981ean Paris eta Lyon arteko abiadura handiko linea martxan jarri zuen bigarren herrialdea. Gaur egun, Trains à Grand Vitesse {TGV} delakoak, izar formako 2800 kilometro inguruko abiadura handiko sare bat du, Paris herrialdeko erpin geografiko bakoitzean dauden hiriekin lotzen duena. Nabarmendu beharreko datu gisa, abiadura handiko tren komertzial baten egungo abiadura errekorra TGVak du, 2007ko apirilaren 3an 574.8 km/h-ra iritsi baitzen {High Speed Rail Alliance, 2020}.

Alemaniak 1991n inauguratu zuen bere lehen abiadura handiko linea. Airelinea nazionalen arteko kompetentziak eta Japoniako eta Frantziako abiadura handiko esperientziek tren honen lehen ebaluazioak sustatu zituen Alemanian (Railway Technology, 2021). InterCity Express {ICE} sarea abiadura handiko linea eskusiboek eta 200-230 km/h-ko abiadura handietara operatzeko egokitutako linea zaharrek osatzen dute. Sare honek berezia egiten duen propietate bat du; sare honetatik, bidaiarientzako abiadura handiko trenak,

merkantzia trenak eta bidaiarientzako tren azkarrak ibil daitezkeelako. Sare hori garraio mistorako egokitzeko, inbertsio eta mantentze-kostu handiak behar izan dira {European Court of Auditors, 2018}.

Espainiak 1992an inauguratu zuen Madril eta Sevilla lotzen zituen bere lehen abiadura handiko linea. Orduetik, sarea etengabe hazi da eta planifikatutako azken zatia eraikitzen amaitzen denean, sareak 5000 km-tik gorako hedadura izatea espero da {UIC, 2020}. Gaur egun, abiadura handiko kilometro gehien dituen Europako herrialdea da {3402 km}, eta munduko bigarrena, Txinaren atzetik. AVE sarearen xehetasunak IV. Kapituluari deskribatzen dira.

Afrikan Marokok bakarrik dauka gaur egun abiadura handiko trena. Al Boraq, Tanger eta Casablanca hiriak lotzen ditu 323 kilometroko ibilbidean eta 320 km/h-ko abiadura maximoarekin {Wikipedia, 2021b}. Linea honen hedapena planifikatuta dago, baita Egipton eta Hegoafrikan abiadura handiko linea berrien lehen zatia eraikitzea ere.

Ekialde Hurbilean Turkia, argi eta garbi, garraio modu horren alde apustu egiten ari da. Gaur egun, Ankara, Istanbul eta Konya hiriak lotzen dituen sarea operatibo du, eta herrialdearen ekialdera eta mendebaldera hedatzen ari da {Global Railway Review, 2021}. Iranek hainbat zati ditu eraikitze fasean eta herrialde osara hedatzea planifikatuta dauka. Saudi Arabian 2018tik aurrera Medina eta Meka hiriak lotzen dituen linea operazioan dago.

Brasil, Sao Paulo eta Rio de Janeiro hiriak konektatuko duen abiadura handiko linea bat eraitzeko asmoa duen Hego Amerikako herrialde bakarra da. Hasiera batean, proiektua estrategikotzat jo zen 2016ko olinpiadei begira, baina atzerapenak etengabeak izan dira eta ez dirudi epe ertainera egoera hori aldatuko denik {McDonald, 2021}.

**III. KAPITULUA.
METODOLOGIA: BIZI-ZIKLOAREN
ANALISIA (LCA)**

3 Metodologia: Bizi-zikloaren Analisia (LCA)

Bizi-zikloaren Analisia (LCA, Life Cycle Assessment ingeleraz) metodologia nahiko berria da, izan ere, lehen urratsak joan den mendeko 60ko hamarkadan ematen hasi baziren ere, mende berrira arte ez da hedapen esanguratsurik izan metodologiaren garapenari, estandarizazioari eta aplikazioari dagokienez. Era berean, motel bada ere, gero eta enpresa, kontsumitzaile eta gobernu gehiagok ekoizpen eta kontsumo iraunkorra sustatzen ari dira; produktuaren edo zerbitzuaren bizi-ziklo osoan baliabideak aurrezteari buruz pentsatzen dute (Mazzi, 2020).

Kutsadurarekiko kezka gero eta handiagoak, baliabide-urritasunak eta, oro har, XX. mendearen bigarren erdialdean ingurumenaren degradazioak zerikusi handia izan zuten ingurumen-inpaktuak eta baliabide materialen eta energetikoen kontsumoak aztertzeke metodologiak garatzeko motibazioan. Joan den mendeko 60ko hamarkadan produktu edo prozesu baten bizitza baliagarri osoaren ingurumen-inpaktuak zenbatzera bideratutako metodologiaren lehen pausuak ematen hasi ziren. Estatu Batuetako eta Europako sektore akademiko eta industrialen lankidetzatik, batez ere, baliabide material eta energetikoen kontabilizazio fisikoan arreta jarriko zuten lehen oinarriak sortu ziren. Enpresek produktuaren edo zerbitzuaren bizi-ziklo osoan kontsumitutako baliabideen eta sortutako isurketen kontabilizazio zehatza eta konfidentziala zen eta, horrela, produktu edo zerbitzu horiei lotutako datu orokor bat lortzen zuten. Bizi-zikloaren ikuspegi osoa aplikatuko zuen lehen azterlanetako bat Coca Cola enpresak 1969. urtean edariaren ontzia aztertzeke egindakoa izan zen (Bjørn *et al.*, 2018). Elikagaien eta edarien ontziratzea, oro har, baliabideen kontsumo handiko sektorea zen garai hartan, eta, beraz, hondakin solidoak eskala handian sortzen zituen. Hondakinaren kudeaketa arazoa zen jada, eta horregatik, 80ko hamarkadan, esnea

ontziratzeke aukera desberdinak eta aukera bakoitzari lotutako ingurumen-inpaktuak erkatuko zituen bizi-zikloaren ikuspegia zuten azterlan ugari egin ziren European {Mekel *et al.*, 1990}.

90eko hamarkadan metodologia horrek aurrerapena eta garapena izan zuen alde guztietan. Diziplina ezberdinetako gero eta produktu eta prozesu gehiago aztertzen ziren metodologia horren bidez, enpresatik hasi eta hezkuntzaren sektoreraino. Arazoa zen metodologiaren aplikazioari buruzko ikuspegi ugari zeudenez eta horri buruzko adostasun zientifikorik ez zegoenez, produktu berari buruzko hainbat azterlanek emaitza desberdinak eman zezaketela. Era berean, kuantifikazioak inbentario gero eta zabalagoak eta konplexuagoak sortzera eramaten zuten. Inbentario hauek formatu heterogeneoa zuten eta partekatzeko nekez egin zitekeen. Aztertu beharreko inpaktukategoriari buruz ere ez zegoen adostasunik. Horrela, 90eko hamarkada honetan, SETAC {Sociedad de Toxicología y Química Ambiental gaztelaniaz} erakundeak nazioarteko koordinazio eta lankidetzaren prozesua sustatu zuen. Prozesu horren ondorioz, LCA metodologiaren hainbat zatiren aplikaziorako txostenak eta gidak argitaratu ziren. Hori guztia LCArako Praktiken Rodean jasotzen da {SETAC, 1994}, 1993an metodologia aplikatzeko argitaratutako lehen gida eta eskuliburua. Hasierako esparru horretatik abiatuta, SETAC-aren eta Nazio Batuen Ingurumenerako Programaren {PNUMA, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente gaztelaniaz} arteko lankidetzaren hasiko zen. Elkarte horrek Bizi Zikloaren Ekimena {LCI, Life-Cycle Inventory ingeleraz} emango luke 2002an, LCAREN ikuspegi metodologikoa mundu osoan zabalduko zuena. Era berean, eta aldi berean, LCAREN erreferentzia-esparru tekniko bat ezartzeko printzipio eta irizpideen estandarizazioa eta harmonizazioa garatu zen. Horrela, estandarizazio-prozesua Normalizazio edo Estandarizaziorako Nazioarteko Erakundearen {ISO, International Organization for Standardization

ingeleraz) babespean hasiko zen. 1997an ISO 14040-14043³ arauak argitaratu zirenean, LCA metodologia unibertsalki aplikatzeko oinarriak ezarri ziren. Gaur egun garapen metodologikoa lantzen jarraitzen den arren, arau horiek definitutako egituraren oinarriek indarrean jarraitzen dute (Toniolo *et al.*, 2019). Horiek, ordea, ez dira LCA aplikatzeko jarraibide metodologiko espezifiko eta zehatzak; beraz, Europako Batzordeak 2005ean abiarazi zuen European Platform on Life Cycle Assessment delakoa (European Commission, 2021)⁴. Bere mugarri nagusiak honako hauek izan dira: Bizi-Zikloaren Datuen Nazioarteko Sistema (ILCD, International Reference Life Cycle Data System ingeleraz)⁵ garatzea, bizi-zikloaren inbentarioetako datu-base batean eta metodologia aplikatzeko gida batzuen bilduma; Europako Batzordearen gomendioa produktuen eta erakundeen ingurumen-aztarna kalkulatzeko⁶ (European Commission, 2013b); eta bizi-zikloaren pentsamenduarekin eta analisiarekin lotutako hainbat proiektu, plataforma eta tresna bultzatzea.

Datuen gardentasuna, interpretazioa eta transmisioa errazteko, eta azken batean, datuen kalitatea eta homogeneousazioa areagotzeko, XXI. mendearen hasieran datu espezifikoaren lehen formatuak sortuko dira. Gehien ezagutzen den eta LCAko tresna nagusiek erabiltzen duten formatua Ecospold da. Era berean, hainbat produktu, prozesu eta zerbitzuren bizi-zikloaren inbentarioak biltegitzen zituzten lehen datu-baseak agertuko ziren. Ingurumen-inpaktua ebaluatzeko hainbat metodo biltzen hasi ziren ere. Metodo horiek, karakterizazio-faktore jakin batzuen bidez, datu-baseetan inbentariatutako energia-kontsumoaren, materialen eta atmosferara, uretara eta lurzorura egindako isurketen oinarritzko fluxuak erlazionatzeko aukera ematen dute ingurumen-inpaktuaren hainbat kategoriatako inpaktu zehatzei

³ ISO 14040 printzipioak eta marko orokorra; ISO 14041 helburua eta irismena; ISO 14042 bizi-zikloaren inpaktuen ebaluazioa; ISO 14043 bizi-zikloaren interpretazioa.

⁴ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/>

⁵ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html>

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013H0179>

buruzko informazio espezifikoarekin. Ecoinvent da, gaur egun, Ecospold datu-formatua duen datu-baseetako bat, eta sektore eta jarduera ugari jorratzen ditu. Era berean, gero eta konplexuagoa den LCA metodologia aplikatzeko eta datu-base zabalagoak ustiatzeko, LCAREN software espezifikoaren lehen bertsioak jaio ziren, hala nola SimaPro eta GaBi (Ormazabal *et al.*, 2014).

XXI. mendearen hasierarekin, gero eta enpresa pribatu gehiago hasiko ziren beren LCA azterlanen emaitzak txosten gisa publiko egiten. Aldizkari akademikoek LCAREkin lotutako artikuluen gorakada handia izan zuten eta 1996an LCAN espezializatutako lehen aldizkari akademikoa sortu zen, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Azken hogeitun urteotan, era horretako artikuluen argitalpenaren hazkundera esponentziala izan da. Bestalde, Europako agintari eta erakunde publikoek metodologia hori ingurumen-arloan erabakiak hartzeko erabiltzean izan duten hazkundera ere garrantzitsua izan da. Horrela, LCA azterketetan oinarritutako produktuen etiketatze ekologikorako lehen sistemak sortuko ziren, kontsumitzailea ingurumen-inpaktu txikiak dituzten produktuak identifikatzera bideratu beharko luketenak.

3.1 LCAREN prozesua ISO arauak oinarri hartuta

ISO arauen arabera, Bizi-Zikloaren Analisia (LCA) produktu, zerbitzu edo jarduera baten bizitza erabilgarrian sortutako ingurumen-inpaktuak ebaluatzeko tresna bat da, lehengaiak eskuratzen denetik, ekoizpen eta erabilera faseak barne eta bere bizitza erabilgarriaren amaierara arte (ISO, 2006). Sehaskatik hilobirako Ingurumen Balantze (IB) edo analisi bezala deskribatu ohi da, erreferentzia bezala organismoen ziklo biologikoa baitu. Produktu edo zerbitzu baten bizi-zikloa osatzen duten ingurumen-prozesu guztiak identifikatzea oso nekeza eta sakona da. Fase bakoitzaren lehengaien, energiaren eta abarren kontsumoak zehatz-mehatz aztertzea ez da erraza, eta LCAak

ebaluazio integral hori modu ordenatuan egiteko aukera ematen du. Metodo kuantitatiboen bidez, bizi-zikloan zehar kontsumitutako baliabideak eta sortutako isurketak kuantifikatzen ditu eta inbentarioa egiten du. Lehengaien erauzketa, produktua fabrikatzeko erabilitako energia kontsumoa, produktua erabilera eta azken xedapena kontuan hartuta, ingurumen-balantzearen emaitzak datu enpirikoetan erakusten ditu. Sarritan, produktu edo zerbitzu baten LCA datu-base zehatzen erabileran oinarritzen da, eta datu-base horiek dagoeneko aztertutako beste produktu eta prozesu batzuen bizi-zikloen inbentarioak batzen ditu (LCA hibridoa deitzen zaio). LCAREN izaera kuantitatibo horrek ondoren hainbat prozesuren ingurumen-inpaktuak alderatzeko aukera ematen du (horiek ere karakterizatuta, sailkatuta eta estandarizatuta daude) eta, horrela, ingurumena gehien errespetatzen duten prozesuak identifikatu ahal izateko. Era berean, ingurumen-inpaktu handienak dituzten faseak identifikatzeko aukera ematen du eta fase batetik bestera ingurumen-kargak desplazatzeaz prebenitzen du, adibidez, fase jakin bateko kargak jaisteko ahaleginak egiten direnean besteak kontuan hartu gabe.

3.1.1 LCAREN faseak

Jarraian, LCA prozesua osatzen duten fase metodologikoak deskribatzen dira labur-labur. Fase horiek ISO 14040 arauan jasota daude.

1. **Helburua eta irismena zehaztu.** Azterketaren galdera nagusia planteatzen da, hau da, azterlanaren arrazoia. Horrela, LCAREN azterketa zer testuingurutan egingo den ezartzen da eta irismena mugatzen da. Horrek esan nahi du aztertu beharreko sistemaren unitate funtzionala definitzea, azterlanaren produktuari edo zerbitzuari lotutako jarduera eta prozesu nagusiak identifikatzea, aztertuko diren ingurumen-inpaktuaren kategoriak hautatzea,

aztergai den sistemaren hedadura geografikoa eta denborazkoa definitzea, etab.

2. Inbentarioa. Fase honen helburua unitate funtzionalak deskribatutako zerbitzuari edo funtzioari lotutako fluxu fisiko guztiei buruzko datuak eta informazioa biltzea da. Bizi-Zikloaren Inbentarioak (LCI, Life-Cycle Inventory ingeleraz) bizitza baliagarri osoari lotutako produktuaren edo zerbitzuaren inputak (baliabide materialak, energetikoak eta zerbitzuak; adibidez, garraioa edo bizi-amaierako tratamendua) eta outputak (isuriak eta sortutako hondakinak) kantitate-zerrenda batean biltzen ditu.

3. Inpaktuen ebaluazioa. Inbentarioko fluxuen kuantifikazioak ingurumen-inpaktuen modura interpretatzen dira. Horretarako, inbentarioko inputak eta outputak ingurumen-inpaktuen adierazle bihurtuko dituen modelizazioa diseinatu behar da. Bizi-zikloaren Inpaktuen Ebaluazioak (LCIA, Life-Cycle Impact Assessment ingeleraz) ingurumen-inpaktuen irismena eta intentsitatea dimentsionatzen ditu, LCIn jasotako datuak ingurumen-eragina zehatzetan bihurtuz. ISO 14040 arauaren arabera, ingurumen-inpaktuaren ebaluazioa bost urrats bete behar ditu, eta horietatik lehenengo hirurak nahitaezkoak dira:

a. Ingurumen-inpaktuaren kategoria adierazgarrienak eta horietako bakoitzerako adierazle nagusiak hautatzea. Hautaketa hori azterketaren helburuaren arabera izango da, eta kategoria nagusiak hauek izan daitezke: berotze globala, erregai fosilen agortzea, eutrofizazioa, materialen azidotzea edo materialen agortzea.

- b. Fluxu/substantziak inpaktu-kategorietan sailkatu dagokion adierazlearen gainean duten ekarpenaren arabera. Guztiz normala da LCIn elementu berak eragina izatea hainbat inpaktu-kategoriatan (adib., airera egiten diren metano-isurketek beroketa globala eta oxidazio fotokimikoa eragiten dute).
- c. Elementu batek ingurumen-inpaktuaren kategoria batean egiten duen ekarpena kalkulatzeko, kategoria horren erreferentzia-elementuari dagokionez (karakterizazioa). Urrats horren bidez, LCIn elementu jakin baterako jasotako datua ingurumen-kategoria jakin batean duen karakterizazio-faktorearekin biderkatzen da, eta, horrela, unitate baliokideetan duen ingurumen-inpaktua lortzen da.
- d. Emaitzak unitate neutroetan bihurtzeko Normalizazioa egiten da. Karakterizazioaren emaitzak normalizazio-faktore batekin zatiketa egiten da.
- e. Ponderazioa, emaitza globalak lortzea ingurumen-inpaktua adierazten duten guztizko puntuazio gisa. Normalizazioaren emaitzei ponderazio-faktore bat aplikatzen zaie.

Deskribatutako urratsak modu ordenatuan egiteko gida gisa balio duten LCIAren hainbat metodologia daude: ReCiPe⁷ (Huijbregts *et al.*, 2017), Ec99, CML⁸ (Guinée *et al.*, 2002).

Ingurumen-inpaktuaren emaitza orokorrak lortu ondoren, interpretatu egin behar dira, azterlanaren helburuaren barruan planteatutako

⁷ <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>

⁸ <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>

galderei behar bezala erantzuteko. Hau da, LCAk subjektibotasun ukitu bat badu gehienbat ingurumen-inpaktu jakin batzuei pisu desberdina emateko orduan. Azkenik, emaitzen aldaketa ikusteko eta analisiari eta haren ondorioei sendotasun handiagoa emateko sentzibilitate-azterketa bat egitea garrantzitsua da.

3.2 AHT kasu desberdinetan egindako LCA ikerketen berrikuspen bibliografikoa

Ikerketa-proiektu honen ardatza abiadura handiko tren-azpiegituren LCA da, klima-aldaketa arintzeko, energia-kontsumoa eta beste ingurumen-inpaktu batzuk murrizteko duten ahalmena ebaluatzeko. Horretarako, proiektuaren eraikuntzaren, mantentzearen eta operazioaren ingurumen-inpaktuak eta kontsumitutako energia kontabilizatu nahi dira, kasu honetan 60 urteko bizitza baliagarrian.

Abiadura handiko azpiegitura ezberdinen inguruan egindako LCA azterketa batzuk aurki daitezke egungo literatura espezializatuan. **3.1 Taula-k** abiadura handiko trenbide-lineei buruz egindako LCAREN zenbait azterlan jasotzen dira. Chesterrek eta Horvathek (2010) Kaliforniako abiadura handiko lineari (CAHSR, 1100 km) buruzko azterketa bat egin dute. Gaur egun eraikitzen ari da, eta sei eta zortzi urte artean beharko lirateke azpiegitura eraikitzearen karbono-aztarna orekatzeko, betiere AHTaren okupazio-tasa gainerako garraiobideen gainetik mantentzen bada. Changek eta Kendallek (2011) antzeko ondorioak atera dituzte San Francisco-Anaheim (CAHSR, 725 km) linearen azterketan. Berotegi-efektuko gasen isuriak amortizatzeko sei urte beharko liratekeela ondorioztatzen dute, nahiz eta 20 urte baino gehiago beharko liratekeen okupazio-tasak uste baino txikiagoak izango balira. Barnesek (2014) Kaliforniako linea ere aztertu du, eta, batetik, hormigoiazen ekoizpenean zementuaren zati bat errauts hegalariekin ordezkatzea, eta, bestetik, AHTan energia berriztagarriaren erabilera CAHSR klima-aldaketaren aurkako

borrokan eraginkorragoa izan dadin aukerarik onenak direla ondorioztatu du. Yue *et al.* {2015) Txinako Beijing-Shanghaiko abiadura handiko linearen LCA egin dute, eta AHTaren operazio-faseak ingurumenean azpiegitura eraikitzeke faseak baino ekarpen esanguratsuagoa duela zehaztu dute. Gainera, ingurumen-inpaktuak, oro har, elektrizitate-ekoizpenean ikatzaren kontsumoa mugatua bada, trenen erabilera optimizatzen bada, errauts hegalariak erabiltzen badira, edo zubien eta tunelen eraikuntza mugatua bada nabarmen murriztu daitezkeela adierazi dute.

Hainbat azterlanek Europako zenbait AHT proiektu ere aztertu dituzte. Banarrek eta Ózdemirrek {2015) Turkiako sarearen LCA egin zuten eta, ingurumen-karga guztietatik %58 eraikuntza-faseari eta %42 operazio-faseari dagokiola ondorioztatu zuten.

Akermanek {2011) Europabanan linea suediarra LCA ikuspegitik aztertu du, eta isurketa guztiak urtean OSS milioi tona CO₂ baliokide murriztu daitezkeela ondorioztatu du. Carnet *et al.* {2017) azken mende osoan Erresuma Batuan egin den garraio-azpiegitura handienaren karbono-aztarna aztertu dute, Londres iparraldeko hainbat hirirekin lotuko duen AHTa, eta honek ez duela CO₂ isurien murrizketan lagunduko ondorioztatu dute. Janes *et al.* {2016) Lisboa eta Porto hiriak lotuko dituen etorkizuneko abiadura handiko linearen ingurumen-inkaputu totalak aztertu dituzte. Emaitzen arabera, AHTaren operazioak proiektuko isuri atmosferiko gehien sortuko duen fasea izango da (%69 CO₂, %76 SO₂, %82 PM10), eta gainerako zama azpiegituraren eraikuntzarekin, mantentzearekin eta bizi-baliagarriaren amaierako eraispenearekin lotuta daude.

Espainiako AVE sareari dagokionez, bibliografia espezializatua aztertu ondoren, oraindik ez da egin sarearen bizi-ziklo osoarekin lotutako ingurumen-karga guztiak kontuan hartzen dituen LCA azterketarik. García Alvarezek {2010) Madril-Bartzelona lineako bidaiari bakoitzak 30 kg CO₂ gutxiago isurtzen lagun dezakeela ondorioztatu du, baina

azpiegituraren eraikuntza-kargak kontuan hartu gabe. Bueno *et al.* {2017} AVE sarearen iparraldeko korridorearen zati izango den Euskal Autonomia Erkidegoko abiadura handiko linearen {Euskal Y} LCA egin dute. Azpiegituraren eraikuntza eta mantentze-faseak sartu dituzte azterketan eta ondorioetan azaltzen dute azpiegituraren eraikuntza eta mantentze-faseei lotutako CO₂ isuriak ez liratekeela inoiz konpentsatuko eta 55 urteko operazioa beharko litzatekeela energia aurrezten hasi aurretik.

Azkenik, Cuenot-ek {2016} UICrako {Unión Internacional de Ferrocarriles gazteleraz} tren linea ezberdinen karbono-aztarna kalkulatzeko metodologia nagusiei buruzko lanen sintesia egin du eta Tuchschnid *et al.* {2011} egindakoa lan zehatzena, gardenena eta emaitza fidagarrienak eskaintzeko bermerik onena duena dela ondorioztatu du. Lan honek tren-azpiegituraren elementu guztien inbentario eta balorazio zehatza egin du, eta emaitzak eraikuntza-elementu bakoitzaren inpaktu-faktoreetan islatu dira. Hori da, hain zuzen ere, tesi honetan azpiegituraren eraikuntzan ematen diren ingurumen-zamak kalkulatzeko lan horretan erabilitako ikuspegiari jarraitzeko arrazoi nagusia.

3.1 Taula. Abiadura handiho trenbide-lineei buruzho LCA azterheta nagusiah.

Proiektua	Herraldea	Erreferentzia	km	Azterketan kontutan hartutako faseak
California HSR (CAHSR)	EE.BB	Chester eta Horvath (2010)	1100	Azpiegituraren eraikuntza, operazioa
San Francisco-Anaheim (CAHSR)	EE.BB	Chang eta Kendall (2011)	725	Azpiegituraren eraikuntza
California HSR (CAHSR)	EE.BB	Barnes E. (2014)	1100	Diseinu/Eraikuntza fasea; erabilpen fasea
Beijing-Shanghai	Txina	Vue et al. (2015)	1318	Tren en fabrikazioa, mantentzea, operazioa eta eraispena; Azpiegituraren eraikuntza; operazioa
TurkishHSR	Turkia	Banar eta ózdemir (2015)	888	Tren azpiegituraren eraikuntza, mantentzea, operazioa; trenen fabrikazioa, mantentzea, operazioa
Europabanan line	Suedia	Akerman J. (2011)	740	Tren azpiegituraren eraikuntza, mantentzea, operazioa; trenen fabrikazioa, mantentzea, operazioa
UKHS2	Erresuma Batua	Carnet et al. (2017)	556	Azpiegituraren eraikuntza, operazioa
Lisbon and Porto	Portugal	Jones et al. (2016)	297	Tren azpiegituraren eraikuntza, mantentzea, operazioa eta eraispena; trenen fabrikazioa, mantentzea, operazioa eta eraispena.
Madril-Bartzelona	Espainia	García Álvarez A. (2010)	621	Tren en operazioa
Euskal V	Espainia	Bueno et al. (2017)	180	Azpiegituraren eraikuntza, operazioa

3.3 AHT azpiegitura baten Bizi-Zikloaren Analisisirako (LCA) modelizazioa

Abiadura handiko azpiegitura berri bat abian jartzearen Ingurumen-Inpaktu Garbiaren (IIG) balantzea lortzeko, garraiobide guztien ingurumen-inpaktuak bi agertoki alternatibotan konparatu behar dira, bata AHTrik gabe eta bestea AHTa zerbitzuan dela⁹. Beraz, ingurumen-adierazle jakin baterako (CO₂-eq edo NO_x emisioak, adibidez) AHT berri baten eraikuntzaren, mantentzearen eta operazioaren IIG, matematikoki honela adierazten da:

$$II \text{ Garbia } (t) = II_{AHTrekin} - II_{AHT \text{ gabe}} \quad [1]$$

Hala ere, II-aren balantze hori kalkulatzeko, ez da beharrezkoa bi garraio-agertoki horien, AHTrekin eta AHTrik gabekoa, kalkulu esplizitu eta osoa egitea, baizik eta soilik haien arteko diferentzia. Beraz, AHT dagoen agertokiko AHTaren garraioari lotutako ingurumen-inpaktuen eta AHTrik gabeko agertokiko beste garraiobide batzuetatik AHTra desplazatutako garraioari lotutako ingurumen-inpaktuen arteko diferentziak kalkulatzeko, nahikoa eta matematikoki baliokidea da:

$$II \text{ Garbia} = II_{AHT \text{ garraioa}} - II_{AHTra \text{ desplazatutako garraioa}} \quad [2]$$

Beste garraiobide kutsagarriagoetatik AHTrako trafiko desplazamendua AHTaren ingurumen-onura bezala kontabilizatu behar da. Hala ere, AHTaren operazioari lotutako inpaktu horiek

⁹ Modelizazioa Bueno et al. (2017) oinarri hartuta diseinatzen da.

kontabilizatzeaz gain, beraren azpiegituraren eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako ingurumen-inpaktu posible guztiak eta posible den garraio induzitu berria ere kontuan hartu behar dira. Horrela, AHTaren eraikuntza, mantentze eta operazio-faseen ingurumen-inpaktu guztiak kalkulatu behar dira eta horiei beste garraibideetatik AHTra desplazatutako garraioari lotutako ingurumen-inpaktu guztiak kendu behar zaizkio. Matematikoki, honela adieraz daiteke:

$$II \text{ Garbia} = \sum II_{\text{Eraikuntza} \wedge \text{Mantentzea}}^{\text{AHT}} + \sum II_{\text{Operazioa}}^{\text{AHT}} - \sum_i II_{i \rightarrow \text{AHT}}^i \quad [3]$$

Non, i , garraiatzeko beste garraibide alternatiboak adierazten dituen. Azterlan honetan hegazkina, ohiko trena, autobusa eta auto pribatua kontsideratzen dira.

Laburbilduz: 1) azpiegituraren bizi-zikloa 60 urtekoa da (Stripple and Uppenber, 2010); baina 2) trafikoari buruz eskuragarri dauden datuak urterokoak direnez, 3) azpiegituraren urteko ingurumen-balantzea kalkulatu behar da (hau da, unitate funtzionala urteko garraio-zerbitzua izango da); 4) azpiegitura eraikitzeo zamak martxan jarri aurretik gertatzen direnez, zama horiek modu homogeneoan banatzen dira bizi-denbora osoan urteko balantze hau kalkulatzeko; 5) modu osagarrian, azpiegiturak hasierako zama horiek konpentsatzeko behar dituen operazio urteak ere kalkulatu dira.

[3] ekuazioaren arabera, AHTaren edozein proiektuk ingurumen-onura garbia ekarriko du kategoria jakin batean, baldin eta haren eraikuntzari, mantentze-lanei eta operazioari lotutako urteko ingurumen-kargak beste modu batzuetatik AHTra mugitutako garraioak saihestutako zamak baino txikiagoak baldin badira (hau da, $II < 0$). Ondorioz, ingurumen-adierazle jakin batean edozein AHT lineak

dituen ingurumen-onura garbiak isuri atmosferiko eta energia-kontsumoaren maila altuagoak dituzten beste garraiobide batzuetatik trafiko-kopuru handiak erakartzeko gaitasunaren mende daude kritikoki. Hurrengo ataletan, AHT baten azpiegitura eraikitze eta mantentzeko faseei lotutako ingurumen-kargak (3.3.1 atala), AHTaren operazio-faseari lotutako ingurumen-kargak (3.3.2 atala) eta kutsagarriagoak diren beste garraiobide batzuetatik AHTra desplazatutako trafikoak eragindako ingurumen-aurrezpenak (3.3.3 atala) aztertuko dira.

3.3.1 AHTa eraikitze eta mantentzeko faseetako ingurumen-zamen kalkulua

AHT azpiegitura bat eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako ingurumen-inpaktuak kalkulatzeko, azpiegiturako elementu bakoitzari (zubia, tunela, etab.) Tuchs Schmid *et al.* lanak emandako ingurumen-inpaktuaren koefizientea aplikatzen zaio (2011). Azpiegiturako zenbait elementuk, hala nola trenbideetarako errailek eta trabesek, 30 urteko bizitza erabilgarria dutenez, eraikuntza-zama batzuk azpiegituraren bizitza baliagarriaren erdia igaro ondoren gertatuko dira. Gainera, mantentze-zama gehienak azpiegituraren balio-bizitzan zehar gertatzen dira. Sinplifikatzeko, karga horiek eraikuntza-fasean hasierako karga guztiekin batera gertatzen direla suposatzen da. Benetako egoerarekiko desbideratze horrek konpentsaziorako behar diren operazio-urteen gehiegizko estimazioa dakar. Akats hori, ordea, oso mugatua da; izan ere, mantentze-zama totalak eraikuntza-zamen %1ean soilik kalkulatu dira (Tuchs Schmid *et al.* 2011).

Espainiako AVE sareak 2016. urtean operazioan zituen 2583 kilometro lau korridoretan banatuta. Trenbide sare osotik 170 km (%6.6) zubiak eta biaduktuak dira, eta 248 km (%9.6) tunelak; Guadarramako tunel independenteak nabarmentzen dira hemen, bakoitza 28 kilometroko luzerarekin. Euskal Y-aren lineari dagokionez, Euskadiko orografia

menditsua dela eta, 189 kilometroko trazaduratik, %56 (105 km) tuneletatik doa, %13 biaduktuen gainean (25 km) eta %31 (53 km) baino ez da agerian.

Ondorengo 3.2-3.9 Taula-tan isuri atmosferikoentzako (CO₂, PM₁₀, SO₂, NO_x, NMVOC) eta energia-kontsumorako (CEO) abiadura handiko azpiegituretan inbentariatutako elementu bakoitzari aplikatuko zaion inpaktu-koefizienteak (km-ko eta urteko terminoetan) aurkeztuko dira: zubiak eta biaduktuak (3.2 Taula), lur-mugimenduak (3.3 Taula), tunelak (3.4 Taula), trenbide-trabesak eta balastoak (3.5 Taula), trenbide-erraila (3.6 Taula), zutoinak, katenaria eta aireko kableak (3.7 Taula), seinaleak eta komunikazioak (3.8 Taula) eta trenbide-eraikinen eraikuntza eta mantentze-lanak (3.9 Taula).

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

3.2 Taula. Zubi eta biaduktuen inpahtua, hm eta urteho. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).

	CO ₂	CED	PM10	SO ₂	NO _x	NM VOC
BIADUKTUEN INPAKTUA 60 urte	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	MJ-equ-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹
Biaduktua, trenbide bat	154925	1485081	154	188	319	60
Biaduktua, trenbide bi	258209	2475135	256	305	532	100
Biaduktua txikia, hormigoia, trenbide bat	67534	646981	67	80	139	26
Biaduktua txikia, hormigoia, trenbide bi	112557	1078302	112	133	232	44
Burdin zubia, trenbide bat	136412	2246780	468	352	332	54
Burdin zubia, trenbide bi	227353	3744633	780	587	553	91

3.3 Taula. Lur mugimenduen inpahtua, hm eta urteho. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).

	CO ₂	CED	PM10	SO ₂	NO _x	NM VOC
LUR MUGIMENDUAK 60 urte	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	MJ-equ-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹
Lur mugimenduak, trenbide bat, linea zaharren berritzea	1662	31815	163	277	1829	258
Lur mugimenduak, trenbide bi, linea zaharren berritzea	2753	53025	272	461	3048	43
Lur mugimenduak, trenbide bat, eraikuntza berria	5993	109103	6	10	68	10
Lur mugimenduak, trenbide bi, eraikuntza berria	9791	176878	1051	1594	11078	1611

3.4 Taula. Tunelen inpartua, hm eta urteho. Iturria: Tuchschnid et al. (2011).

	CO ₂	CO ₂ e	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	NM _{OC}
TUNELEN INPARTUA 60 urte	t-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	GJ-equ-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t-urte ⁻¹ ·km ⁻¹
Aire zabalean, trenbide bat	285.35	3037.29	0.43	0.42	0.63	0.10
Aire zabalean, trenbide bi	475.58	5062.16	0.72	0.70	1.06	0.17
Zulatuta, trenbide bat	169.61	1591.13	0.13	0.20	0.37	0.05
Zulatuta, trenbide bi	282.69	2651.88	0.22	0.34	0.63	0.09

3.5 Taula. Trenbide-trabesah eta balastoen inpartua, hm eta urteho. Iturria: Tuchschnid et al. (2011).

	CO ₂	CO ₂ e	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	NM _{OC}
TRENBIDE-TRABESAR ETA BALASTOEN INPARTUA	kg-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	MJ-equ-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ ·km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ ·km ⁻¹
Hormigoi trabesa, trenbide bat	5184	84827	6.03	9.77	17.32	3.13
Hormigoi trabesa, trenbide bi	10340	169058	12.02	19.48	34.53	6.23
Egur trabesa, trenbide bat	6328	337382	17	18	28	17
Egur trabesa, trenbide bi	12699.23	675774.38	33.47	35.63	46	33.99
Burdin trabesa, trenbide bat	9778.93	171929.18	29.55	25.01	27.85	4.74
Burdin trabesa, trenbide bi	19700.15	347212.78	59.22	50.38	56.42	9.59
Lauza gabeko balastoak trenbide bat	11285.45	118160.77	9.96	14.97	26.56	4.63
Lauza gabeko balastoak trenbide bi	22166.12	226406.92	18.99	28.92	52.18	8.81

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sehtorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

3.6 Taula. Burdinbidearen inpahtua, hm eta urteho. Iturria: Tuchschnid et al. (2011).

	CO ₂	CEO	PMIO	SO ₂	NO _x	NMVOC
RAIL INPARTUA, 30 urte	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	GJ·equ·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹
Rail UIC 60, trenbide bat	6.09	96.97	0.0182	0.0134	0.0138	0.0021
Rail UIC 60, trenbide bi	12.18	193.94	0.0365	0.0268	0.0276	0.0043
Rail S49, trenbide bat	4.98	79.35	0.0150	0.0110	0.0110	0.0020
Rail S49 trenbide bi	9.97	158.85	0.0299	0.0220	0.0226	0.0035
Rail S54, trenbide bat	5.56	88.58	0.0168	0.0123	0.0125	0.0019
Rail S54, trenbide bi	11.10	176.92	0.0335	0.0246	0.0251	0.0039

3.7 Taula. Zutoinah, hatenaria eta aireho hableen inpahtua, hm eta urteho. Iturria: Tuchschnid et al. (2011).

	CO ₂	CEO	PMIO	SO ₂	NO _x	NMVOC
ZUTOINAR, RATENARIA ETA AIRERO RABLEEN INPARTUA	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	GJ·equ·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹	t·urte ⁻¹ ·km ⁻¹
Ratenaria kablea, trenbide bat	0.353	6.938	0.0039	0.0184	0.0040	0.0007
Ratenaria kablea, trenbide bi	0.706	13.875	0.0078	0.0369	0.0080	0.0014
Zutoinak eta aireko kableak, hormigoia, trenbide bat	1.367	23.578	0.0030	0.0038	0.0030	0.0006
Zutoinak eta aireko kableak, hormigoia, trenbide bi	2.734	47.155	0.0060	0.0076	0.0060	0.0013
Zutoinak eta aireko kableak, burdina, trenbide bat	1.235	21.974	0.0031	0.0035	0.0028	0.0006
Zutoinak eta aireko kableak, burdina, trenbide bi	2.469	43.948	0.0062	0.0071	0.0056	0.0012
Aireko kableak, trenbide bat, tunela	0.536	10.413	0.0009	0.0019	0.0011	0.0002
Aireko kableak, trenbide bi, tunela	1.071	20.826	0.0019	0.0039	0.0023	0.0004

III. Rاپitulua. Metodologia

3.8 Taula. Seinale eta homunihazio sistemen inpahtua, hm eta urteho. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).

	CO ₂	CED	PM10	SO ₂	NO _x	NM VOC
SEINALE ETA ROMUNIRAZIOEN INPARTUA	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	MJ-equ-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹
Seinaleztapena, km eta trenbide bat	33	548	0.09	0.08	0.08	0.02
Seinaleztapena, km eta trenbide bi	56	914	0.14	0.13	0.14	0.03
Telekomunikazio kablea, km eta trenbide bat	380	11632	3	14	3	1
Telekomunikazio kablea, km eta trenbide bi	634.47	19400.9	4.38	23.48	5.26	1.51
Drainatze kablea, km eta trenbide bat	295.21	2634.42	0.07	0.23	0.68	0.16
Drainatze kablea, km eta trenbide bi	491.81	4388.95	0.12	0.38	1.13	0.26
Tren kontrol zentroa, eraikina	226.96	3886.42	0.62	0.54	0.51	0.14
Tren kontrol zentroa, instalazio elektrikoa	965.43	20254.63	3.05	5.48	2.78	0.83

3.9 Taula. Trenbideho eraihinaren honstruhzioa eta mantentze lanah. Iturria: Tuchs Schmid et al. (2011).

	CO ₂	CED	PM10	SO ₂	NO _x	NM VOC
ERAIRINEN RONSTRURZIOA ETA MANTENTZE LANEN INPARTUA	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	MJ-equ-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹	kg-urte ⁻¹ -km ⁻¹
Hiriarteko trenen trenbide-korapiloa	164714	1310519	115	165	310	54
Tokiko trenentzako trenbide-korapiloa	68142	539044	47	68	128	22
Tren lokalentzako geltokia	10407	81429	7	10	20	3
Salgai-trenen geltokia	156005	1283304	113	159	311	55
Trenak mantentzeko eta konpontzeko gunea	122083	686672	22	78	215	31
Transformazio-azpiestazioa: eraikina	642	6482	0	1	1	0
Transformazio-azpiestazioa: instalazio elektrikoa	4901	86222	31	114	29	5

3.3.2 AHTaren operazio-faseko ingurumen-zamen kalkulua

Abiadura handiko linea baten operazio-faseko ingurumen-zamak lortzeko, garraio-eskaerei (T^i) lortutako ingurumen-inpaktuaren koefizientea aplikatuko zaie:

$$IIG_{operazioa}(t) = \sum_i T_{AHTrekin}^i(t) \cdot c_{AHTrekin}^i(t) - \sum_i T_{AHTgabe}^i(t) \cdot c_{AHTgabe}^i(t) [4]$$

[3] eta [4] ekuazioak konbinatuta:

$$IIG_{operazioa}(t) = T^{AHT}(t) \cdot c^{AHT}(t) - \sum_i T_{i \rightarrow AHT}^i(t) \cdot c^i(t) [5]$$

Non T^{AHT} AHTko urteko garraioa den; c^i aztertutako inpaktukategorian i garraio moduaren inpaktu-koefizientea; eta $T_{i \rightarrow AHT}^i$ urtero i modutik AHTra desplazatutako garraioa da.

[5] aplikatzeko, batetik, AHTko bidaiarien garraioa T^{AHT} kuantifikatu behar da, eta bestetik, AHTa operazioan jartzeak abiadura handiko lineara $T_{i \rightarrow AHT}^i$ mugiarazten duen garraioa ere. Espainiako AVE sarearen kasurako urteko garraioaren kalkulua 4.3.2 atalean zehazten da, eta Euskal Y-aren kasurako 5.3.2 atalean. Beste garraio modu batzuetatik AHTra desplazatutako trafikoaren kalkulua 3.3.3 atalean zehazten da.

Ondoren, AHTaren operazio-fasearen azterketan aintzat hartutako garraio moduetarako inpaktu-koefizienteak (c^i) Ecoinvent (3.7 bertsioa) (Steubing et al., 2016) datu-basearen inbentarioetan oinarrituta lortu dira, eta ondoren, openLCA (1.10 bertsioa) softwarearekin prozesatuta (Ciroth, 2007) (ikus **3.10 Taula** eta **3.11 Taula**). Ecoinventen datu-baseak ibilgailuei lotutako ingurumen-zametaz (automobilak, autobusak, ohiko trenak, hegazkinak, etab.) aparte garraio-azpiegituren eraikuntzari eta mantentze-lanei lotutako

zamak ere barneratzen dituenek, kontabilizazio bikoitza saihesteko, Ecoinventen AHT azpiegiturearen eraikuntza eta mantentze-zamak deskontatu egin dira alde aurretik.

3.10 Taula-n bidaiarien garraiorako soilik den AVE sareko LCAan erabilitako inpaktu-koefizienteak aurkezten dira, eta 3.11 Taula-n, berriz, bidaiarien eta merkantzien garraio mistorako diseinatuta dagoen Euskal Y lineako LCAan erabilitako inpaktu-koefizienteak.

3.10 Taula. AVE sarearen LCAaren azterhetan garraibide desberdinetaraho aintzat hartutako inpaktu-koefizienteak. Ecoinvent 37 bertsioan oinarrituta eginda. (E1, E2, E3, E4, ES sentsibilitatea aztertzeho agertohi ezberdinah dira). (p/v, passenger per vehicle)

GARRAIOBIDEA	Berotze Globala gCO ₂ eq·pkm ⁻¹	CEO MJ·pkm ⁻¹	PM10 g·pkm ⁻¹	SO ₂ g·pkm ⁻¹	NOx g·pkm ⁻¹	NMVOC g·pkm ⁻¹
Bidaiari hegazkina, distantzia laburra	159.37	241	0.04	0.22	0.72	0.10
Bidaiari autobusa	49.44	0.82	0.03	0.08	0.47	0.08
Auto partikularra mix (56% diesela, 44% gasolina, 1.68 p/v)	187.39	2.86	0.11	0.31	0.46	0.17
Auto partikularra mix (56% diesela, 44% gasolina, 2.52 p/v) (E1)	124.92	1.91	0.07	0.21	0.31	0.11
Auto partikularra mix (56% diesela, 44% gasolina, 3.36 p/v) (E2)	93.69	1.43	0.08	0.16	0.23	0.08
Auto elektrikoa, Mix elektrikoa Espainia 2017, 1.68 p/v (E4)	92.74	1.99	0.12	0.36	0.29	0.07
Auto elektrikoa, Mix elektrikoa 100% berriztagarria, 3.36 p/v (ES)	28.15	0.70	0.08	0.09	0.09	0.03
Bidaiari trena, Mix elektrikoa Espainia 2017	54.65	1.18	0.08	0.19	0.31	0.03
Bidaiari trena, Mix elektrikoa 100% berriztagarria (ES)	27.12	0.73	0.04	0.08	0.22	0.03
Abiadura handiko bidaiarien trena, Mix elektrikoa Espainia 2017 (azpiegitura kenduta)	32.91	0.86	0.03	0.15	0.10	0.01
Abiadura handiko bidaiarien trena, Mix elektrikoa 100% berriztagarria (azpiegitura kenduta) (ES)	6.42	0.43	0.02	0.02	0.02	0.00

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

3.11 Taula. Eushal Y-a linearen LCA azterhetan garraibide desberdinetaraho aintzat hartutaho inpahtu-hoefizienteah. Ecoinvent 3.7 bertsioan oinarrituta eginda (E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7 sentsibilitatea aztertzeho agertohi ezberdinah dira). (plv: people per vehicle)

GARRAIOBIDEA	Berotze Globala gCO ₂ eq-pkm ⁻¹	CED MJ-pkm ⁻¹	PM10 g-pkm ⁻¹	SO _x g-pkm ⁻¹	NO _x g-pkm ⁻¹	NM VOC g-pkm ⁻¹
Bidaiari hegazkina, distantzia laburra	159.37	2.41	0.04	0.22	0.72	0.10
Bidaiari autobusa	49.44	0.82	0.03	0.08	0.47	0.08
Auto partikularra mix (56% diesela, 44% gasolina, 1.68 p/v) (E1,E2,E3,E4)	187.39	2.86	0.11	0.31	0.46	0.17
Auto partikularra mix (56% diesela, 44% gasolina, 3.36 p/v) (E1)	93.69	1.43	0.08	0.16	0.23	0.08
Auto elektrikoa, Mix elektrikoa 100% berriztagarria, 1.68 (E5,E6,E7)	56.30	1.40	0.10	0.18	0.17	0.07
Bidaiari trena, Mix elektrikoa Espainia 2017	54.65	1.18	0.08	0.19	0.31	0.03
Bidaiari trena, Mix elektrikoa 100% berriztagarria (E5,E6,E7)	27.12	0.73	0.04	0.08	0.22	0.03
Abiadura handiko bidaiarien trena, Mix elektrikoa Espainia 2017 (azpiegitura kenduta)	32.91	0.86	0.03	0.15	0.10	0.01
Abiadura handiko bidaiarien trena, Mix elektrikoa 100% berriztagarria (azpiegitura kenduta) (E5)	6.42	0.43	0.02	0.02	0.02	0.00
Salgaien kontainer-itsasontzia	9.31	0.13	0.01	0.12	0.19	0.01
Salgaien kamioia, 16-32 tona metriko, EURO6	161.40	2.65	0.11	0.21	0.23	0.13
Salgaien trena, Mix elektrikoa Espainia 2017	25.04	0.57	0.03	0.10	0.11	0.01
Salgaien trena, Mix elektrikoa 100% berriztagarria (E5,E6,E7)	10.12	0.33	0.02	0.03	0.06	0.01

3.3.3 AHTra desplazatutako garraioari lotutako ingurumen-zamak

AHT azpiegitura ezartzearen ondorioz ingurumenean aurreztutako edozer positiboa izango da bere ingurumen-inpaktu garbiaren balantzean, baina, onura horiek etorriko dira, batez ere, bidaiariak edo salgaiak kutsagarriagoak diren beste garraibide batzuetatik, hala nola autotik edo hegazkinetik, AHTra desplazatzearen ondorioz. Beraz, AHTk erakartzen duen garraio-eskaria horrelako azpiegitura bati buruz egin nahi den edozein azterketatan funtsezko faktorea da. Beste modu batzuetatik AHTra desplazatutako garraio osoari lotutako ingurumen-inpaktu saihestuak honela kalkulatu dira:

$$I_{saihestua} = \sum_i II_{i \rightarrow AHT}^i = \sum_i T_{i \rightarrow AHT}^i(t) \cdot c^i(t) \quad [6]$$

Adierazle espezifikoko baterako, korridore batean beste modu batzuetatik AHTra desplazatutako garraio osoari lotutako ingurumen-inpaktu saihestuak kalkulatzeko, korridoreko garraio-dentsitateari (urteko pkm-tan neurtuta) garraibide horretatik desplazatutako garraioaren ehunekoak eta dagokion inpaktu-kategoriaren koefizientea biderkatuta kalkulatu da.

Lan honetan erabilitako desplazatutako garraioaren ehunekoak aldatu egiten dira aztertutako kasuaren arabera. 2016an Espainiako AVE sarea aztertzeke, Betancorrek eta Llobetek (2015) emandako informazioa erabili da. Lan honek AVE sareko korridore bakoitzetik igarotzen diren bidaiarien jatorriari buruzko ikerketa bat jaso du, eta, alde batetik, garraibide bakoitzetik AHTra desplazatutako garraioaren ehunekoak zehaztu ditu, eta, bestetik, korridore bakoitzean eragindako eskari berriaren ehunekoak ere. Informazio hori **3.12 Taula**-n jaso da.

Euskal Y-aren kasurako, erabilitako garraio desplazatuaren ehunekoak proiektuaren dokumentazioan eskuragarri dauden garraio-eskariaren datuetatik abiatuta lortu dira. ADIFek (2015a, 2015b) egindako

proiektuaren errentagarritasun ekonomiko-sozialari eta finantzarioari buruzko azterlanetan, AHTa duten eta AHTrik ez duten agertokietan aurreikusitako bidaiarien garraio-eskaerak alderatuz, garraio modu bakoitzetik Euskal Y-ra bidaiarien garraio desplazatua lortu da (3.13 Taula). Euskal Y-an bidaiarien garraio-eskaerari buruzko informazio zehatza 5.2 Taula-n batzen da. Bestalde, Euskal Y-ak erakartzen dituen salgaien garraioaren ehunekoak ADIFen 2020-2049 aldirako txostenaren 92. taulan (2015b) eskuragarri dagoen informaziotik abiatuta lortu dira. Dokumentu horretan eskaintzen diren salgaien garraio-fluxuetan oinarrituta hurrengoko suposizioak egin dira: %5 soilik dela trafiko induzitua, desplazatutako trafikoaren %80 kamioitik, %10 tren konbentzionaletik eta %5 soilik itsas garraiotik datorrela (3.14 Taula).

III. Rapitulua. Metodologia

3.12 Taula. Beste modu batzuetatik A V Era desplazatutako garraioa. Betancor eta Llobet (2015) oinarrituta eginda.

	SEKZIOA					
	Madril-Bartzelona	Madril-Zaragoza/Zaragoza-Bartzelona	Katalunia korridoreko gainerakoa	Andaluzia korridorea	Levante korridorea	Ipar korridorea
Hegazkinetik	43%	267%	0%	45%	45%	0%
Autobusetik	325%	133%	0%	2%	2%	5%
Auto partikularretik	1607%	20%	45%	12%	15%	30%
Trenetik	2729%	4933%	45%	23%	30%	33%
Eskari berria	1039%	2667%	10%	15%	8%	30%

3.13 Taula. Beste modu batzuetatik Eushal V-ra desplazatutako bidaiarien garraioa. ADIFen txostenetan (2015a, 2015b) oinarrituta eginda.

	Autoa	Autobusa	Trena	Hegazkina	Desplazatu totala	Eskari berria
Euskal Y	46.72%	998%	2730%	451%	8851%	1149%

3.14 Taula. Beste modu batzuetatik Eushal V-ra desplazatutako salgaien garraioa. ADIF txostenean (2015b) oinarrituta eginda.

	Kontainer itsasontzia	Kamioia 16-32 t	Salgaien trena	Desplazatutako totala	Eskari berria
Euskal Y	5%	80%	10%	95%	5%

**IV. KAPITULUA
AVE SAREAREN
ANALISIA**

4 AVE sarearen analisia

4.1 AVEren testuingurua

Espainiako abiadura handiko sarea eraikia eta zerbitzuan dagoen Europako sare handiena eta munduko bigarrena da, Txinakoak bakarrik gainditzen duena (European Court of Auditors, 2018). Termino erlatiboetan, Espainia munduko liderra da (Albalate and Bel, 2016). Espainiako Abiadura Handiko Trenak (AVE, Alta Velocidad Española gaztelaniaz) 250-300 km/h-ko abiaduran, 1435 mm-ko nazioarteko zabalerako lineetan, 25 kV eta 50 Hz-etan elektrifikatuta eta distantzia luzeko ibilbideetan operatzen du (Ferropedia, 2016). Gaur egun, abiadura handiko zerbitzu horiek, AVEz gain, hainbat zerbitzumarkeen pean ematen dira ere, hala nola ALVIA, AVANT eta AV-City. Bestalde, 2005ean, RENFE estatuko enpresa bi enpresatan banatu zen: Renfe Operadora eta ADIF. Lehena, gaur egun, Espainiako trenbide sektoreko bidaiari eta salgaien garraio operadore nagusia da, eta trenen eraikuntzaz eta mantentzeaz arduratzen da. Bigarrena, berriz, trenazpiegitura ustiatzeaz arduratzen den enpresa publikoa da, eta, beraz, abiadura handiko lineak eraikitzeaz eta mantentzeaz arduratzen da.

AVEren abiadura handiko lehen linea Madril eta Sevilla artean 1992ko apirilaren 21ean inauguratu zen; ordutik, sarea herrialde osoan zabaldu da. Gaur egun, lau korridore nagusik Espainiako hiriburua, Madril, inguruko beste eskualde batzuekin lotzen dute:

1. **Andaluziako korridorea.** 1992an Expo '92 ekitaldiaren harira, Estatuko hiriburua Sevillarekin lotu zuen linea estreinatu zen; Ciudad Real, Puertollano, Villanueva de Córdoba eta Kordoba tarteko geltokiekin. Geroago, 2005ean, Madril eta Toledoren arteko lotura ireki zen. Azkenik, 2007an, Kordoba eta Malaga arteko lotura ere inauguratu zen.

2. **Kataluniako korridorea.** 2008an Madril eta Bartzelona hirien arteko lotura osatu zen. Estatuko dentsitate demografiko handiena duten bi zentroak lotzen ditu eta beste geltoki hauek ditu: Guadalajara, Calatayud, Zaragoza, Tardienta, Huesca, Lleida eta Tarragona. 2013an Frantziarekin eta Girona eta Figuereseko geltokiekin lotura ireki zen.
3. **Iparraldeko korridorea.** Madril Kantauri itsasertzeko hiru ardatzekin lotzeko diseinatutako korridorea da. Gaur egun, AVE Leoneraino iritsi da, Segovia, Valladolid, Palentzia eta Zamora hirietan geltokiak eukiz. Galiziako Autonomia Erkidegoan, 2012tik, A Coruña, Santiago de Compostela eta Ourense hiriak lotu dira ere. Euskal Y-a korridore hori osatuko lukeen beste zatia da. Tesi honen esparruan korridore honen ingurumen-balantzearen aurretiazko azterlan bat aurkeztu da jada (Kortazar *et al.*, 2020).
4. **Levanteko korridorea.** Espainiako estatuko hiriburua Levanteko kostaldearekin lotzen du. 2011n Madril eta Valentzia hiriak lotu ziren, eta 2013an Alacantekiko lotura zabaldu zen. Tarteko geltokiak Cuenca, Requena, Albacete eta Villena dira.

Guztira, 2016an 2583 km zeuden operazioan eta gaur egun beste zati batzuk eraikitzen edo proiektatzen ari dira. Sarearen zatirik handiena nazioarteko zabalera (1435 mm) obra berrikoa da; Espainiako ohiko trenak zabalera iberiarrean (1668 mm) ibiltzeak historikoki eragin duen hesi-efektua konpontzeko, bi sareetatik bidaiatu dezaketen zabalera aldakorreko trenak ere erabiltzen dira (Zembri and Libourel, 2017). Tren horiek azpiegituran zehar instalatu behar izan diren zabalera-aldagailuetan beren ardatzen zabalera aldatzen dute. 2017ko

urtarrilean hoge zabalera-aldagailu zeuden Espainian (European Court of Auditors, 2018).

4.2 Azterketa honen helburua eta egitura

AVE sarearen ikerketa honen helburu nagusia Espainiako abiadura handiko sareak klima-aldaketa arintzeko eta energia-kontsumoa murrizteko duen papera aztertzea da. Ondorioz, AVE sarea eraikitzearekin, mantentzearekin eta operatzearekin lotutako ingurumen-inpaktuak eta energia-kontsumo esanguratsuenak LCA metodologiaren bidez eta 60 urteko bizitza baliagarrian aztertu dira. Azterlan honen irismen geografikoa 2016an funtzionamenduan zegoen AVEren sare osoa da, gutxi gorabehera lau korridore nagusitan zehar 2500 km-tan hedatu dena. Azterketa honen unitate funtzionala AVE sareak urtebeteko operazioan zerbitzatutako bidaiarien garraioa da, administrazioek erabiltzen dituzten bidaiarien trafikoaren estimazioak urterokoak baitira. Ingurumen-balantzearen emaitzak **1.1 Taula-n** deskribatutako ingurumen-inpaktuaren sei adierazle garrantzitsuenen bidez aurkeztu dira. AVE sare osoaren ingurumen-azterketari buruzko azterlan hau jada argitaratutako artikulu akademiko batean dago jasota (Kortazar *et al.*, 2021a), eta, azterlanean erabilitako datu guztiak baita argitaratuta dagoen Data in Brief batean (Kortazar *et al.*, 2021b) ere jaso eta azaldu dira.

Aurreko atalean proiektuaren aurrekarien eta atal honetako helburuen sarrera eta deskribapen laburra aurkeztu ondoren, 4.3 atalean azterketarako behar izan diren datuak eta informazioa zehaztu dira. Sarearen diseinua eta trazadura 4.3.1 atalean deskribatu da, eta 4.3.2 atalean garraio-eskariaren estimazio prozesua azaldu da. 4.4 atalean, oinarritzko agertokiaren eta sentzibilitate-analisiaren agertokien ezaugarriak eta propietateak deskribatu dira. Azkenik, 4.5 atalean lortutako emaitzak erakutsi dira; 4.5.1 atalean oinarritzko agertokiari

dagozkionak, eta 4.5.2 atalean sentzibilitate-analisiaren agertokiei dagozkionak.

4.3 Analisisian erabilitako datuen deskribapena

Atal honetan, AVE sarearen LCA azterketa egiteko behar izan diren datuak eta informazioa aurkezten dira. Lan honek 2016an AVE sarearen eraikuntza eta mantentze faseak operazio-fasearekin batera barneratu ditu azterketan eta atmosferara egindako isurketen eta energia-kontsumoaren murrizketei dagokienez ea proiektua justifikatuta dagoen ala ez egiaztatzen du.

Trenbide-azpiegituraren eraikuntzari lotutako ingurumen-zamak aztertzeke, batetik, sare osoaren ibilbidearen deskribapen zehatza egin behar da (erabilitako material guztien inbentario xehatua barne), eta, bestetik, azpiegiturak eman duen garraio-zerbitzuari buruzko informazioa, bidaiari-kilometro (pkm) gisa neurtua, eta ematen diren garraibideen arteko bidaiarien desplazamenduak.

Analisi honen unitate funtzionala AVE sare osoak operazioko urte batean zerbitzatutako bidaiarien garraioa da, administrazioek erabiltzen dituzten bidaiarien trafikoaren estimazioak urterokoak baitira (ikus **4.2-4.5 Taula-k**). Analisi honetan agertoki guztietan eta azpiegituraren bizitza baliagarri osoan garraio-baldintzak konstante mantentzen direla suposatu da: bidaiarien urteko garraioa, beste garraibideetatik desplazatutako bidaiariak eta AVE eta beste garraibideen (autoa, autobusa, ohiko trena eta hegazkina) operazioarekin lotutako ingurumen-inpaktuak. Salgaien garraioa ez da kontsideratu azterketa honetan, AVE sarea bidaiarien garraio eskusiborako diseinatu baitzen (Bel, 2010)¹⁰.

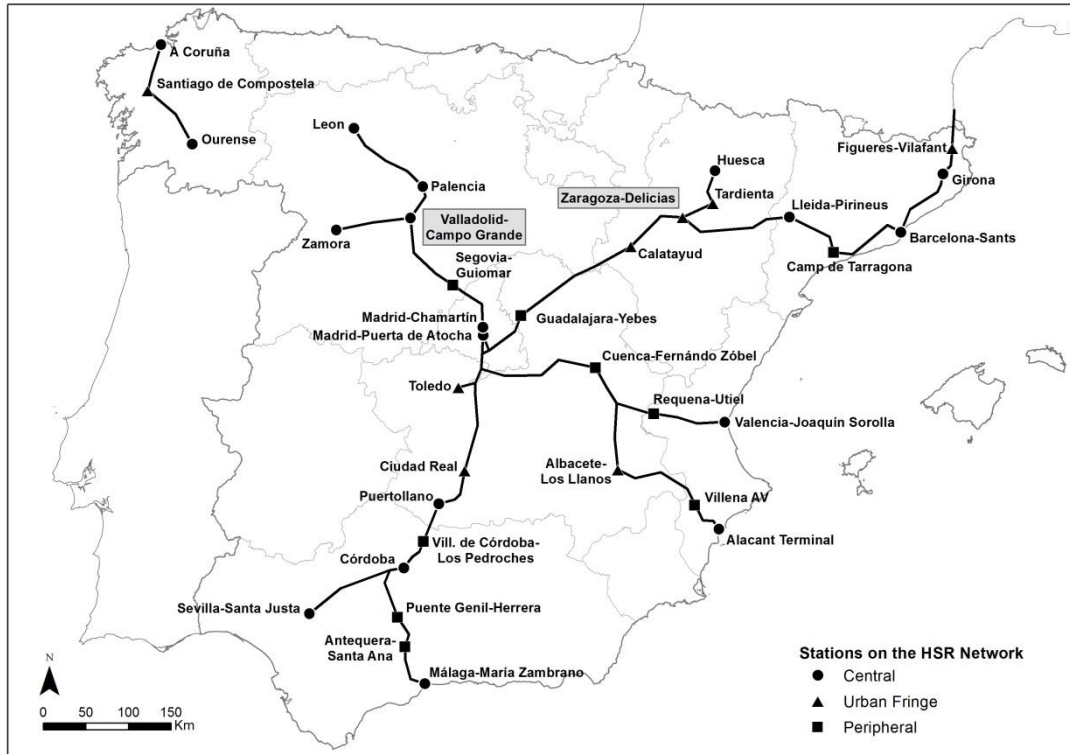
¹⁰ Esan daiteke bidaiarientzako abiadura handiko sare bat eraikitzeak ohiko trenbide-sarean salgaiak garraiatzeko tokia libre utz dezakeela, eta hori kontuan hartu behar dela. Hala ere, uste dugu hori ez dela beharrezkoa, ohiko sarearen ahalmen inaktiboa dela eta.

4.3.1 AVE sarearen diseinua edo trazadura

AVE sareko linea bakoitzaren diagrama zehatza funtsezkoa da sare horren eraikuntza eta mantentze-lanen ingurumen-zamak kalkulatzeko. Horrek inplikatzen ditu mapak, ibilbideak, azpiegiturak, neurketak, ezaugarriak, etab. Publikoki eskuragarri dagoen informazio gehiena karakterizazio egokia ahalbidetzen ez duten diagrama partzialetan datza. Hori konpontzeko, Google Earth eta Google Maps aplikazioen sateliteetako eta aireko irudien bidez ibilbide guztiaren errepassoa eta inbentario sakona egin da. Horri esker, xehetasunez karakterizatu ahal izan da azpiegitura osoa (laburpena **4.1 Taula-n**). AVE sarearen trazadura osoaren deskribapen zehatza Kortazar *et al.* (2021) lanean kontsulta daiteke.

Madril eta Sevilla hiriak lotuko zituen Espainiako AVE sarearen lehen linea 1992ko apirilaren 21ean inauguratu zen; ordutik, sare hori Madriletik herrialde osora diseinu erradial bati jarraituz hedatu da (Bel, 2010). Gaur egun, lau korridore nagusi daude, eskualde ezberdinak estatuko hiriburuarekin lotzen dituztenak. Hauek dira lau korridoreak: Madril-Katalunia, Madril-Leon (Iparraldeko korridorea), Madril-Levante eta Madril-Andaluzia. Guztira, 2583 kilometro zeuden martxan 2016an (ikus 4.1 atala).

Abiadura handiko trenak Espainiako garraio sektorearen trantsizio ekologikoari egiten dion ekarpena: bizi-zikloaren analisiaren ikuspegia



4.1 Irudia. AVE sarearen mapa (2016). Iturria: Bellet Sanfelix and Santos Ganges, 2016.

4.1 Taula. AVE sare osoaren detaileen laburpena 2016. urtean.

Korridorea	km	Zubiak eta biaduktuak				Totala (A+B)	Totala % (A+B)
		Tunelak (A)	%	(B)	%		
Andaluzia	646.8	46.5	7.2%	46.5	7.2%	93.0	14.4%
Iparraldekoa	445.2	46.7	10.5%	20.9	4.7%	67.6	15.2%
Katalunia	883.0	95.3	10.8%	66.3	7.5%	161.6	18.3%
Levante	607.9	59.2	9.7%	36.9	6.1%	96.1	15.8%
Totala	2582.9	247.8	9.6%	170.5	6.6%	418.4	16.2%

4.3.2 AVE sareko bidaiarien garraio eskaria

Lan honetan aurre egin behar izan zaion arazo garrantzitsu bat AVEko bidaiarien eta haien bidaia-distantzien datu kuantitatibo xehatuen falta edo gabezia izan da, funtsezkoa baita azpiegituraren operazio-

fasea behar bezala ebaluatzeko. Renfe Operadorak, Espainiako trenbide-sektoreko bidaiari-operadore nagusiak, ez du Espainiako abiadura handiko korridoreen garraioari buruzko urteko daturik ematen- pkm-tan neurtuta- eta konexio espezifiko batzuen datu partzialak baino ez dira lortu (ikus **4.10 Taula**) (Fundación de los ferrocarriles españoles, 2017). Urtero, ohiko distantzia luzeko bidaiarien estatistikak argitaratzen dira egindako distantziei inolako erreferentziarik egin gabe eta AVEren bidaiarien datuei erreferentzia espezifikorik egin gabe. AVEko bidaiariei buruzko informazio bakarra Galán *et al.*-ek (2017) ematen dute. Hauek, 2015ean AVE geltoki bakoitzerako bidaiarien etorrerei eta irteerei buruzko datuak aurkeztu zituzten. Bestalde, García (2017) antzeko informazioa eskaintzen du baina kasu honetan 2016. urterako. Informazio honetatik abiatuta **4.2-4.5 Taula**-tan , geltokien arteko distantziei buruzko informazioa, batetik, eta, bestetik, AVE sare osoko geltoki bakoitzeko bidaiarien etorrerak eta irteerak jasotzen dituzten matrizeak adierazi dira.

4.2 Taula. Ipar horridoreho geltohen arteho distantziah eta geltohi bahoitzeho bidaiarien etorrerah eta irteerah.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Madril-Leon	Madril-Chamartín	Segovia Guiomar (AV)	Valladolid Camp.Gran.	Palentzia	Lean	Medina del Campo(AV)	Zamora
2382.97	Madril-Chamartín	0	68.3	179.3	230.6	345.4	155	232.4
920.67	Segovia Guiomar (AV)	68.3	0	111	162.3	277.1	86.7	164.1
1059.53	Valladolid Camp.Gran.	179.3	111	0	51.3	166.1	68.3	145.8
95.85	Palentzia	230.6	162.3	51.3	0	114.8	119.6	197
277.99	Lean	345.4	277.1	166.1	114.8	0	234.4	311.8
16.3	Medina del Campo (AV)	155	86.7	68.3	119.6	234.4	0	77.4
69.5	Zamora	232.4	164.1	145.8	197	311.8	77.4	0
4822.81								

4.3 Taula. Madril-Andaluziako geltokien arteko distantziak eta geltoki bakoitzeko bidaiarien etorrerak eta irteerak.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Madril-Andaluzia	Madril-Atocha	Toledo	Ciudad Real	Puertollano	Villanueva de Cordoba	Cordoba Central	Sevilla S.J.	Puente Genil Herrera (AV)	Antequera Santa Ana	Malaga Maria Zambrano
6846.04	Madril-Atocha	0	74.2	170.7	209.7	285.2	354.1	470.2	419.3	454.5	512.4
1549	Toledo	74.2	0	137.5	176.5	252	320.9	437	386.1	421.3	479.2
1083.61	Ciudad Real	170.7	137.5	0	39	114.5	183.4	299.5	248.6	283.8	341.7
441.98	Puertollano	209.7	176.5	39	0	75.5	144.4	260.5	209.6	244.8	302.7
20.7	Villanueva de Cordoba	285.2	252	114.5	75.5	0	68.9	185	134.1	169.3	227.2
2297.23	Cordoba Central	354.1	320.9	183.4	144.4	68.9	0	116.1	65.2	100.4	158.3
3926.61	Sevilla S.J.	470.2	437	299.5	260.5	185	116.1	0	173.7	208.9	266.8
110.7	Puente Genil Herrera (AV)	419.3	386.1	248.6	209.6	134.1	65.2	173.7	0	35.2	93.1
314.74	Antequera Santa Ana	454.5	421.3	283.8	244.8	169.3	100.4	208.9	35.2	0	57.9
2559.21	Malaga Maria Zambrano	512.4	479.2	341.7	302.7	227.2	158.3	266.8	93.1	57.9	0
19149.82											

4.4 Taula. Madril-Levanteho geltohien arteho distantziah eta geltohi bahoitzeho bidaiarien etorrerah eta irteerah.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Madril-Levante	Madril-Atocha	Cuenca-Fernando Zobel	Albacete-Los Llanos	VillenaA.V	Alacant-Terminal	Requena - utiel	Valencia J.Sorolla
2460.21	Madril-Atocha	0	195.1	321	435.5	486.1	327.4	396.8
299.21	Cuenca-Fernando Zobel	195.1	0	125.9	240.4	291	132.3	201.7
348.2	Albacete-Los Llanos	321	125.9	0	114.5	165.1	154.4	223.8
56.89	VillenaA.v.	435.5	240.4	114.5	0	50.6	268.9	338.3
1182.55	Alacant-Terminal	486.1	291	165.1	50.6	0	319.5	388.9
20.6	Requena - Utiel	327.4	132.3	154.4	268.9	319.5	0	69.4
2499.32	Valencia J.Sorolla	396.8	201.7	223.8	338.3	388.9	69.4	0
6866.99								

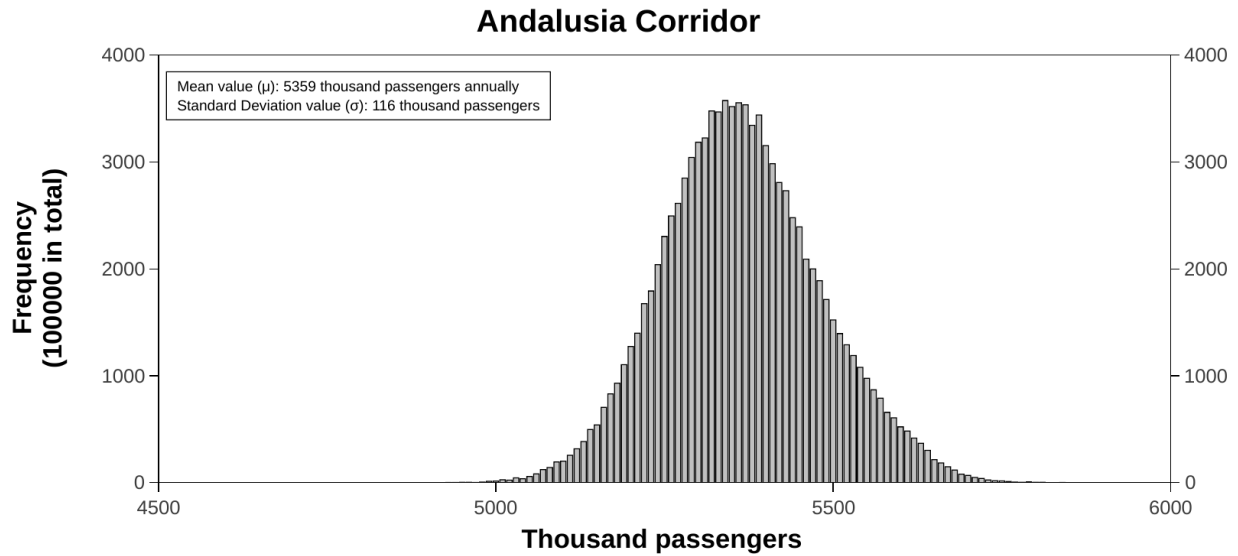
4.5 Taula. Madril-Rataluniaho geltohen arteho distantziah eta geltohi bahoitzeho bidaiarien etorrerak eta irteerak.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Madril-Ratalunia	Madril-Atocha	Guadalajara-Yebes	Calatayud	Zaragoza Delicias	Tardienta	Huesca	Lleida-Pirineus	Camp.Tarragona	Barcelona Sants	Girona	Figueres - Vilafant	Frantzia
8279.26	Madril-Atocha	0	64.4	221.1	306.7	365.4	386.1	442.1	520.9	621.3	715	749.2	758.2
73.64	Guadalajara-Yebes	64.4	0	156.7	242.3	301	321.7	377.7	456.5	556.9	650.6	684.8	693.8
150.27	Calatayud	221.1	156.7	0	85.6	144.3	165	221	299.8	400.2	493.9	528.1	537.1
2607.85	Zaragoza Delicias	306.7	242.3	85.6	0	58.7	79.4	135.4	214.2	314.6	408.3	442.5	451.5
11	Tardienta	365.4	301	144.3	58.7	0	20.7	194.1	272.9	373.3	467	501.2	510.2
80.6	Huesca	386.1	321.7	165	79.4	20.7	0	214.8	293.6	394	487.7	521.9	530.9
828.48	Lleida-Pirineus	442.1	377.7	221	135.4	194.1	214.8	0	78.8	179.2	272.9	307.1	316.1
688.89	Camp.Tarragona	520.9	456.5	299.8	214.2	272.9	293.6	78.8	0	100.4	194.1	228.3	237.3
7735.37	Barcelona Sants	621.3	556.9	400.2	314.6	373.3	394	179.2	100.4	0	93.7	127.9	136.9
1274.4	Girona	715	650.6	493.9	408.3	467	487.7	272.9	194.1	93.7	0	34.2	43.2
557.8	Figueres - Vilafant	749.2	684.8	528.1	442.5	501.2	521.9	307.1	228.3	127.9	34.2	0	9
826.6	Frantzia	758.2	693.8	537.1	451.5	510.2	530.9	316.1	237.3	136.9	43.2	9	0
23104.2													

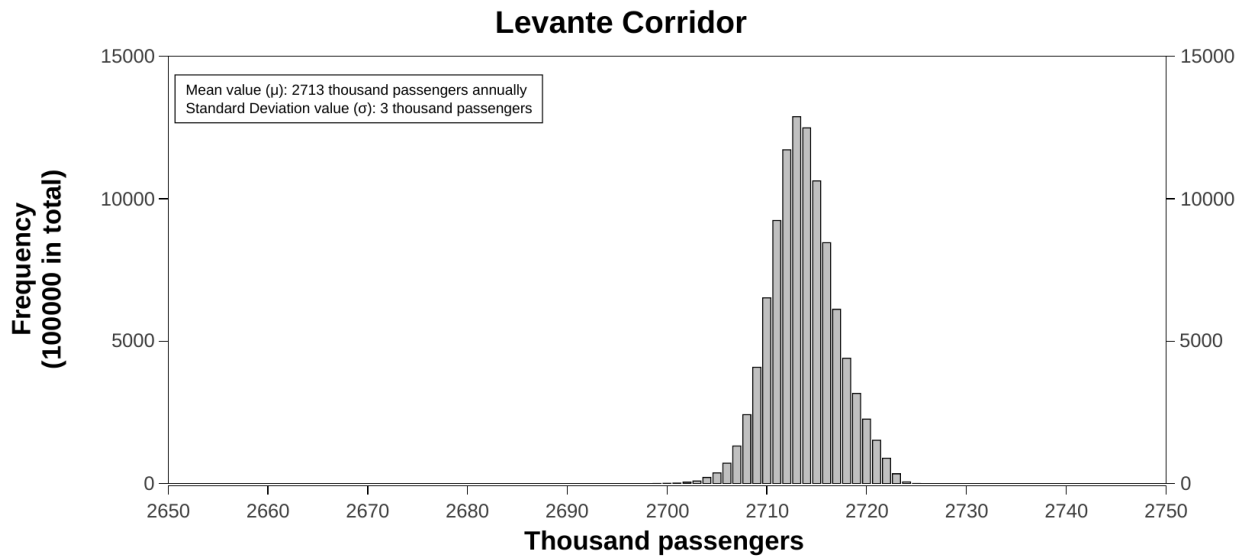
Hala ere, iturri horiek ez dute ikerketa honetarako funtsezkoa den informazioa, alegia, ez dute bidaiariak egindako distantziak jasotzen. Hala eta guztiz ere, informazio horrek azpiegitura osoko garraio-dentsitatea mugatzeko aukera ematen du. Gabezia hori konpontzeko, Galán *et al.* (2017), García (2017) eta Ferrocarriles Españoles (2017) (**4.10 Taula**) informaziotik abiatuta, Python-en algoritmo bat programatu da geltokien artean zoriz sortutako bidaiari-mugimenduen matrize batzuk kalkulatzeko dituen.

N geltoki dituen AVEko edozein linearentzat, bere geltokien arteko distantzien matrizea ($n \times n$ matrizea, n geltokien arteko distantziekin) eta geltoki bakoitzera iritsi eta irteten diren urteko bidaiarietako bektorea (**4.2-4.5 Taula-k**) kontuan hartuta, algoritmoak inguruneko baldintzak betetzen dituen $n \times n$ mugimendumatrize bat sortzeko aukera ematen du. Algoritmoaren zenbait exekuzioak (10^5), aztertu nahi den linearen estatistikoki tratatu daitezkeen bidaiarien garraiorako matrize posible batzuk ematen dituzte.

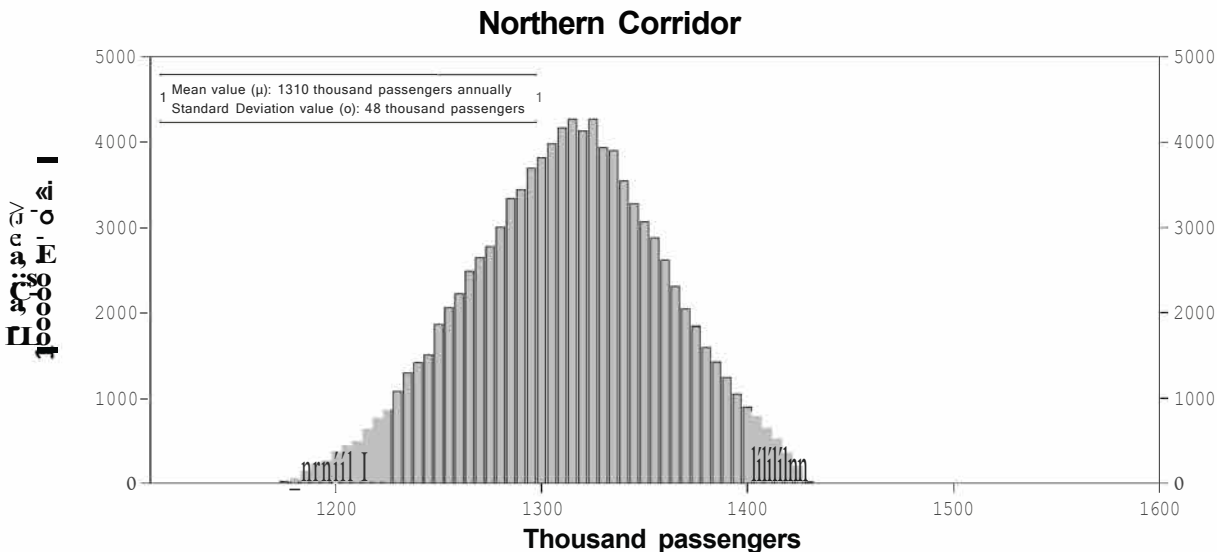
Tratamendu estatistiko horren emaitzak honako irudi eta taula hauetan jaso dira. **4.2-4.5 Irudia-k** Python-en kalkulu-algoritmoak emandako histogramak erakusten dituzte. Kalkulu-algoritmoaren ehun mila exekuzioren gainean histograma bakoitzak urteko garraio-dentsitatearen probabilitatearen banaketa adierazten du, azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari kopuruaren arabera neurtuta. Kalkulu-algoritmoaren emaitzen tratamendu estatistikoek AVE sareko korridore bakoitzeko estazio bakoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoa (hau da, estazioen arteko batez besteko trafikoa) ematen dute. Ikusi **4.6-4.9 Taula-k**.



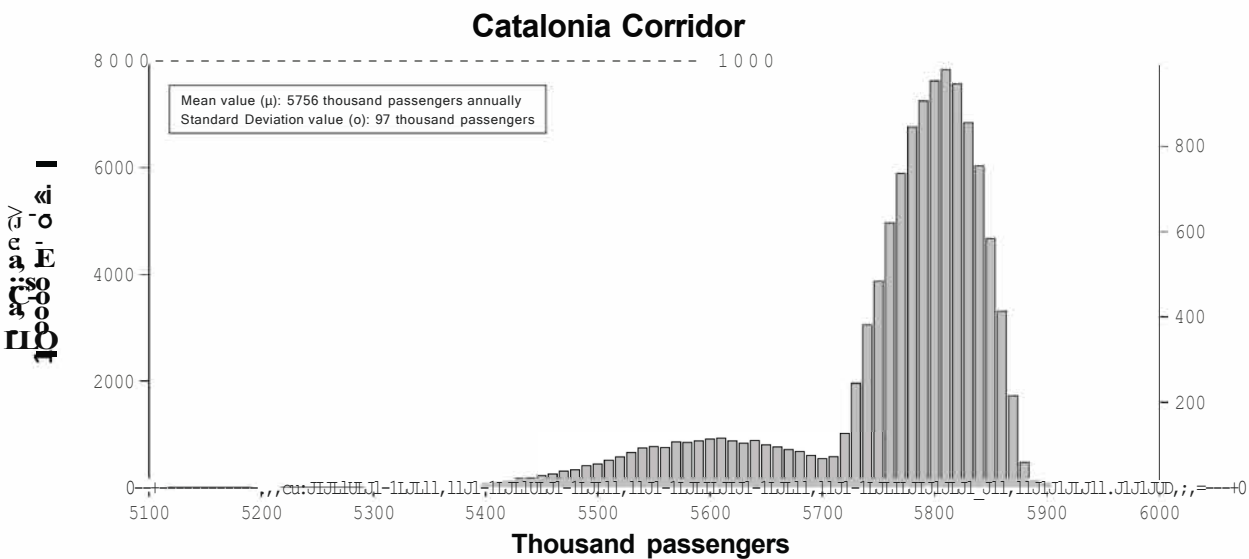
4.2 Irudia. Andaluziako korridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari baliokideetan neurtutako garraioa.



4.3 Irudia. Levanteko korridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari baliokideetan neurtutako garraioa.



4.4 Irudia. Iparreko horridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteho bidaiari baliohideetan neurtutako garraioa.



4.5 Irudia. Rataluniako korridorean garraiatutako bidaiarien estimazioaren histograma. Azpiegitura osoaren gaineko urteko bidaiari baliokideetan neurtutako garraioa.

4.6 Taula. Iparaldeko korridorean AVEren geltoki bakoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan) (error<%2)	Iparreko korridorea	Madril-Chamartín	Segovia Guiomar (AV)	Valladolid Camp.Gran.	Palentzia	Leon	Medina del Campo (AV)	Zamora
2382.97	2341.7	Madril-Chamartín		582.7	390.9	189.5	940.3	197.0	41.3
920.67	938.8	Segovia Guiomar (AV)			345.1	4.2	1.3	4.4	1.1
1059.53	1041.0	Valladolid Camp.Gran.				125.2	22.8	129.5	27.5
95.85	321.4	Palentzia + Santander					0.4	1.6	0.4
277.99	965.4	Leon + Oviedo + Ourense						0.4	0.1
16.3	333.3	Medina del Campo (AV) + Salamanca							0.4
69.5	70.8	Zamora							
4822.81	6012.4 ¹¹								

¹¹ Korridoretik kanpo egindako ibilbide partzial batzuk barne (Santander, Oviedo, Ourense eta Salamanca irten/heldu).

4.7 Taula. Madril-Andaluzia korridorean AVEren geltoki bakoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an	Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Madril-Andaluzia	Madril-Atocha	Toledo	Ciudad Real	Puerto llano	Villanueva deCordoba	Cordoba Central	Sevilla S.J.	Puente Genil Herrera (AV)	Antequera Santa Ana	Malaga María Zambrano
6846.04	6276.4	Madril-Atocha		493.5	332.6	130.0	5.9	883.8	2555.6	31.9	91.9	1751.2
1549	1561.9	Toledo			145.6	56.3	2.6	327.7	316.1	13.8	39.7	166.5
1083.61	1093.6	Ciudad Real				37.5	1.7	218.3	211.1	9.1	26.3	111.3
441.98	446.6	Puertollano					0.6	84.6	81.4	3.5	10.1	42.6
20.7	20.9	Villanueva de Cordoba						3.8	3.7	0.2	0.5	1.9
2297.23	2292.3	Cordoba Central							451.8	20.7	59.6	242.0
3926.61	3930.7	Sevilla S.J.								19.9	57.5	233.5
110.7	111.9	Puente Genil Herrera (AV)									2.4	10.4
314.74	318.1	Antequera Santa Ana										30.1
2559.21	2589.5	Malaga María Zambrano										
19150	18642											

4.8 Taula. Madril-Levanteho horridorean AVEren geltohi bahoitzean igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan) (error<%4.1)	Madril-Levante	Madril-Atocha	Cuenca-Fernando Zobel	Albacete-Los Llanos	VillenaA.V	Alacant-Terminal	Requena-Utiel	Valencia J.Sorolla
2460.21	4018.5	Madril-Atocha		123.5	312.6	18.7	1329.7	6.6	2227.4
299.21	276.7	Cuenca-Fernando Zobel			12.6	12.6	7.5	4.5	115.9
348.2	347.5	Albacete-Los Llanos				2.0	1.6	0.7	17.9
56.89	53.4	Villena A.v.					1.4	0.7	18.0
1182.55	1352.1	Alacant-Terminal						0.5	11.4
20.6	19.4	Requena - Utiel							6.4
2499.32	2397.1	Valencia J.Sorolla							
6867	8465								

Abiadura handiko trenaren Espainiako garraio sektorearen trantsizio ekologikoaren egiten dion eragina: bizi-zikloaren analisiaren ikuspegia

4.9 Taula. Madril-Ratalunia horri dagokien AVEn geltohi bakoitzeko igo eta jaitsi diren bidaiarien batez bestekoaren matrizea.

Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan)	Bidaiarien etorrerak eta irteerak 2016an (milakotan) (error<5%)	Madril-Ratalunia	Madril-Atocha	Guadalajara-Yebes	Calatayud	Zaragoza Delicias	Tardienta	Huesca	Lleida-Pirineus	Camp.Tarragona	Barcelona Sants	Girona	Figueres - Vilafant	Frantzia
8279.26	6932.6	Madril-Atocha		31.6	7.9	1383.8	0.5	34.8	282.1	337.9	3904.8	536.0	57.1	356.1
73.64	77.3	Guadalajara-Yebes			0.1	14	0.0	0.0	0.4	0.3	42.0	0.7	0.3	0.5
150.27	423.9	Calatayud				2.7	0.0	0.1	0.8	0.6	408.8	14	0.6	0.9
2607.85	2662.9	Zaragoza Delicias					0.0	15	13.5	9.2	793.0	22.4	420.5	14.9
1.1	12	Tardienta						0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
80.6	84.9	Huesca							0.5	0.3	46.1	0.8	0.3	0.5
828.48	870.5	Lleida-Pirineus								2.8	556.6	6.6	2.7	4.4
688.89	723.5	Camp.Tarragona									362.9	4.6	19	3.0
7735.37	7443.1	Barcelona Sants										755.2	94.8	478.3
1274.4	1339.6	Girona											4.5	7.3
557.8	585.8	Figueres-Vilafant												3.0
826.6	868.9	Frantzia												
23104	22014													

4.10 Taula. 2016an AVEren sareko konexio espezifikoetako bidaiarien trafikoa, Fundación de los Ferrocarriles Españoles (2017).

Korridorea	Konexioa	Urteko bidaiari kopurua (milakoetan)	Urteko bidaiariak, Python algoritmoak ajustatuta (milakoetan)
Andaluzia	Madril-Córdoba	880	884
	Madril-Sevilla	2545	2556
	Madril-Málaga	1745	1751
Iparraldekoa	Madril-Valladolid	390	391
	Madril-Leon, -Ourense, -Oviedo	939	940
Katalunia	Madril-Zaragoza	1373	1384
	Madril-Lleida	280	282
	Madril-Tarragona	335	338
	Madril-Bartzelona	3875	3905
	Zaragoza-Bartzelona	787	793
Levante	Madril-Albacete	328	313
	Madril-Alicante	1394	1330
	Madril-Valencia	2336	2227

4.11 Taula-k 2016an AVEren sareko lau korridore bakoitzerako garraio estimazioaren laburpena jasotzen du. Kataluniako korridorean, adibidez, 2016an 11.01 milioi bidaiarien bidaiak erregistratu ziren bitartean, geltokietan bidaiarien erregistroarekin bateragarriak diren mugimendu horien 10^5 distribuzio posiblek, 5083 milioi bidaiari-km-ko batez besteko balioa duen garraio-estimazioa ematen du, 85.7 milioi bidaiari-km-ko desbideratze estandarrekin. Kalkulu hau urtean azpiegitura osoarekiko 5.76 milioi bidaiari baliokideko garraio-dentsitatea¹² da, eta korridoreko batez besteko ibilbidea 462 km-koa

¹² Garraio-azpiegitura baten errendimendua neurtzeko eta tamaina desberdineko azpiegiturekin konparazioa egin ahal izateko, ezinbestekoa da garraio-eskariaren adierazle bat izatea. Hau, garraioarekin lotutako magnitude bat sarearen hedadurarekin zatituz lortzen da. Autore batzuek lineako km bakoitzeko urteko bidaiari-dentsitatea aukeratzen dute ($DP=P/L$, non P azpiegituratik mugitzen diren urteko bidaiariak diren, eta L sarearen hedadura lineala den). Adierazle horrek, ordea, ez du jasotzen bidaiariak egindako batez besteko distantziari buruzko informaziorik, azpiegitura batetik bestera alda daitekeena. Bidaiariak egindako batez besteko distantzia desberdina bada sare desberdinetan, emaitzak ezin dira zuzenean alderatu garraioari dagokionez (desplazamendu-kopuruari dagokionez soilik izango lirateke alderagarriak).

izango da. Espainiako sare osoan (2583 km), batez besteko ibilbidea 391 km-koa eta garraio-dentsitatea 4.17 milioi bidaiarikoa izango da.

4.11 Taula. 2016an korridore bakoitzaren urteko garraioaren estimazioa eta bere garraio-dentsitatea.

Korridorea	Luzeera (km)	Bidaiarien desplazamenduak (milioiak)	Garraioa (milioi pkm, batzestekoa)	Garraioa (milioi pkm, desbidazio estandarra)	Batazbesteko desplazamendu luzeera (km)	Azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideak (milioiak, batzestekoa)	Azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideak (milioiak, desbidazio estandarra)
Andaluzia	647	9.32	3467	75.05	355	5.36	0.116
Iparraldekoa	445	3.01	583	1.3	194	1.31	0.048
Katalunia	883	11.01	5083	85.7	462	5.76	0.097
Levante	608	4.23	1650	1.8	390	2.71	3
Total	2583	27.57	10783		391	4.17	

4.4 Agertokien deskripzioa

Lan honetan aztertutako agertoki guztiek testuinguru teknologiko eta sozioekonomiko konstantea kontsideratzen dute azpiegituraren bizi-ziklo osoan. Horrek esan nahi du aldaezintzat jotzen direla garraio-eskaria, desplazatutako trafikoa, ibilgailuen okupazio-tasak, energia-intentsitateak edo mix elektrikoa. Analisiaren kalkulu-epea 60 urtetan ezarri da, izan ere, trenbide-sare baten osagai gehienek espero den balio-bizitza eta erreferentziazko beste azterlan batzuetan erabilitako balio-bizitzaren berdina baita (Stripple and Uppenber, 2010).

Lan honetan lineako km bakoitzeko urteko garraio-dentsitatea erabiltzen da ($DT=T/L$, non T azpiegiturak zerbitzatzen duen urteko garraio osoa den, eta L azpiegituraren hedadura lineala). T ere adieraz daiteke $T=P \cdot lm$ bezala, non lm bidaiari bakoitzak sarearen barruan egindako batez besteko desplazamendua den. Garraio dentsitateak (DT) bidaiari-unitateak ditu ($DT=P \cdot lm/L=P_{eq}$), eta sarean urtero bidaiatzen duten bidaiarien kopuru baliokidea bezala interpreta daiteke, bakoitzak bidaia bakoitzean sarearen hedadura osoa zeharkatzen duela suposatuz.

Magnitude horrek abantaila garrantzitsuak ditu: sarearen hedadurarekiko independentea da, eta oso hedadura desberdineko azpiegiturako garraio-zerbitzua konparatzea ahalbidetzen du; bidaiari bakoitzak sarean egindako batez besteko distantzia kontuan hartzen du (garraio-neurria da, ez desplazatutako bidaiarien kopurua); eta sare lineal sinpleenean mugitzen diren bidaiarien baliokidea ere bada, L distantziaz bereizitako A eta B bi nodo lotzen dituenarekin.

Oinarrizko Agertokia, LCA honetarako erreferentzia gisa balio duena, honako suposizio hauetatik abiatu da: Espainian ibilgailu partikularren %56 diesel turismoak eta %44 gasolina turismoak dira {DGT, 2018}; beste garraibide batzuetatik AVErantz desplazatutako garraioa Betancor eta Llobet {2015) lanetik hartu dira; AVE azpiegiturako korridore bakoitzeko bidaiarien garraioa 4.3.2. atalean adierazten dena da {4.11 Taula); mix elektrikoa Espainian 2017. urtekoa da {Ecoinvent v3.7), eta ibilgailu partikularren okupazio-tasa 168 bidaiariko da ibilgailu bakoitzeko (p/v, passenger per vehicle ingeleraz), S.G. de Explotación erakundeak 2014an egindako inkestari jarraikiz {Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2018).

Aztertutako aldagai batzuen ziurgabetasunari erantzuteko, bost sentsibilitate-egoera ezberdin aztertu dira {E1, E2, E3, E4, ES). Agertoki bakoitzean, Oinarrizko Agertokian definitutako aldagaietako bat aldatzen da emaitzetan duten eragina aztertzeke. Egoera horietan egindako aldaketek, ordea, ez dute inolako eraginik azpiegituraren eraikuntza eta mantentze-zametan, baina beste garraibideetatik desplazatutako garraioari lotutako zametan eta AVEren operazio-fasearen zametan eragina izan dezakete. Ondorengo 4.12 Taula-k agertoki horien ezaugarri nagusien laburpena jasotzen du eta 4.13 Taula-k agertoki bakoitzaren ezaugarriak xehetasunez aurkezten ditu.

4.12 Taula. Agertohien deskripzioaren laburpena.

	Auto partikularren okupazio tasa (p/v, passengers per vehicle)	AVE eskaria	Auto partikularra	Mix elektrikoa
Oinarrizko Agertokia	168	Oinarrizko Agertokia	%56 diesela, %44 gasolina	Espainia 2017
E1	252	Oinarrizko Agertokia	%56 diesela, %44 gasolina	Espainia 2017
E2	336	Oinarrizko Agertokia	%56 diesela, %44 gasolina	Espainia 2017
E3	168	%100 handiagoa	%56 diesela, %44 gasolina	Espainia 2017
E4	168	Oinarrizko Agertokia	Auto elektrikoa	Espainia 2017
ES	336	Oinarrizko Agertokia	Auto elektrikoa	%100% berriztagarria

Lehen bi agertokietan (E 1 eta E2), erakundeek ibilgailuak partekatzeari dagokionez susta ditzaketen mugikortasun-politika berrien eragina aztertzen da, eta horrek ibilgailu partikularren okupazio-tasa handitzea ekarriko luke. El agertokiak ibilgailu bakoitzeko 252 (p/v) bidaiariko okupazio-tasa suposatzen du, Adra *et al.* (2010) 2020an Espainiarako kalkulaturakoaren arabera. Bigarren agertokian (E2), ibilgailu pribatuen batez besteko okupazio-tasa bikoiztu egin da oinarrizko agertokiarekin alderatuta: 336 (p/v) bidaiari ibilgailu bakoitzeko. Hirugarren agertokiak (E3) garraio-eskariaren eragina aztertu du eta egungo eskaria bikoiztu egin dela korridore guztietan suposatu du. Laugarren agertokiak (E4) garraioaren elektrifikazioaren eragina aztertzen du, auto partikular guztiak elektrikoak direla suposatuz. Azkenik, bosgarren agertokian (E5) ibilgailu partikularra, tren arrunta eta AVE erabat elektrikoak dira, elektrizitatearen ekoizpena %100 berriztagarria da eta ibilgailu partikularren batez besteko okupazio-tasa ibilgailu bakoitzeko 336 (p/v) bidaiariko dela suposatzen du.

1f.13 Taula. Erreferentziaho agertohiarehin (Oinarrizho Agertohia) eta agertohi alternatiboehin (EI-ES) lotutaho atzealdeho (background) datuen testuingurua.

	Oinarrizko A11-ertokia	E1	E2	E3	E4	ES
Agertokien deskripzioa	Baldintza orokorrak (garraio-eskaria, beste modu batzuetatik desplazatutako garraioa, mix elektrikoa, ibilgailuen okupazio-tasak) 2016an Espainiarako dokumentatutakoak dira, eta azpiegituraren balio-bizitza osoan konstante mantentzen dira.	Ibilgailu partikularrek 2020an Espainiarako espero diren okupazio-tasak dituzte	Ibilgailu partikularren okupazio-tasa bikoitza, 2016ko datuekin alderatuta	AVEren garraio-eskaria bikoitzu egin da korridore guztietan, 2016ko garraio-eskaerarekin alderatuta	Ibilgailu partikular guztiak elektrikoak dira.	Ibilgailu partikular guztiak elektrifikatuta daude eta propultsio elektrikoa jatorri berriztagarriko elektrizitatearekin elikatzen da (kotxeak eta tren elektrikoak)
Mix elektrikoa	Espainia 2017; Ecoinvent v3.7 Espainiarako 2017an zehaztutakoaren arabera: Elektrizitate merkatua, tentsio handia (ES) Elektrizitate merkatua, tentsio txikia (ES)					%100 berriztagarria; erregai fosilekin eta nuklearrarekin sortutako elektrizitatea nahasketatik ezabatuta
AVE eskaria	2016ko AVE garraio eskaria (Oinarrizko Agertokiko eskaria)			Garraio-eskaria bikoitzu egin da Oinarrizko Agertokiarekin alderatuta	Oinarrizko Agertokiko eskaria	
Beste moduetatik desplazatutako garraioa	Beste modu batzuetatik AVErantz desplazatutako garraioa Betancor eta Llobet (2015) lanetik hartu dira					
Auto partikularren okupazio-tasa	168 p/v; Espainiako batez besteko okupazio-tasa 2014an (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2018)	2.52 p/v; Espainia 2020rako Adra et al.-ek (2004) estimatua	336 p/v; Okupazio-tasa bikoitzu egiten da erreferentziako egoerarekin alderatuta	168 p/v; Espainiako batez besteko okupazio-tasa 2014an (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2018)	336 p/v; Okupazio-tasa bikoitzu egiten da erreferentziako egoerarekin alderatuta	
Auto propultsioa	%56 Auto diesela eta %44 gasolina, DGT (2018) estatistika Ibilgailuen ezaugarriak Ecoinvent v3.7-en datozenak. Auto diesela: garraioa, bidaiari kotxea, tamaina ertaina, diesela, EURO 5 (RER) Auto gasolina: garraioa, bidaiari kotxea, tamaina ertaina, gasolina, EURO 5 (RER)				Ecoinvent v3.7 datubasean zehaztutako ezaugarri elektrikoak Ibilgailua: garraioa, bidaiari kotxea, elektrikoa (GLO) Elektrizitatea: elektrizitate merkatua, tentsio txikia (ES))	Elektrizitate berriztagarriko propultsio elektrikoa E4-n bezala; erregai fosilekin eta nuklearrarekin sortutako elektrizitatea nahasketatik ezabatuta
AVE operazioa	Ecoinvent v3.7 zehaztutakoa 11. arraioa, bidaiarien tren, abiadura handia (ALE); elektrizitatea: elektrizitate merkatua, tentsio handia (ES)					Besteetan bezala, abiadura handiko trenen eta ohiko trenen elektrizitatea izan ezik, horietan erregai fosilen eta nuklearren hornidura ezabatu e11. iten baita nahasketatik.
Beste moduen ezaugarriak (hegazkina, autobusa, tren)	Ecoinvent v3.7 aplikazioan hurrengo garraio moduetarako zehaztutako ibilgailuen ezaugarriak: Hegazkina: garraioa, bidaiariak, aireontzia, oso distantzia laburreko hegaldia (GLO) Autobusa: garraioa, bidaiari autobusa (CH) Tren arrunta: garraioa, bidaiari tren (ALE); elektrizitatea: elektrizitate merkatua, tentsio handia (ES)					

4.5 AVE sarearen LCAREN emaitzak

Atal honetan, egindako modelazioarekin Oinarrizko Agertokian eta sentsibilitatea aztertzeko proposatutako bost agertoki alternatibo bakoitzean lortutako emaitzak aurkezten dira. Agertoki guztietan AVE sareko korridore bakoitzaren ingurumen-balantzeen emaitzei buruzko informazio xehatu guztia **4.22-4.25 Taula**-tan jasotzen da.

4.5.1 Oinarrizko Agertokiaren emaitzak

Ondorengo **4.14 Taula**-k Kataluniako korridorearen Oinarrizko Agertokiaren emaitza nagusiak laburbiltzen ditu, sareko garraio osoaren %47 jasan baitu. Eta **4.15 Taula**-k Espainiako abiadura handiko sare osorako erreferentziako agertokiaren emaitza nagusiak laburbiltzen ditu. Ingurumen-balantzearen emaitzak urteko kopuruetan adierazten dira.

4.14 Taula. *Kataluniako korridoreak Oinarrizko Agertokian duen ingurumen-inpaktuaren balantzea.*

Kataluniako korridorea	Berotze Globala kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	CED TJ-urte ⁻¹	PM10 t-urte ⁻¹	SO ₂ t-urte ⁻¹	NO _x t-urte ⁻¹	NMVOC t-urte ⁻¹
Azpiegituraren eraikuntza eta mantentzea	73.81	927.77	103.72	161.62	254.79	41.69
Operazioa (5.76 milioi bidaiari)	167.27	4370.85	172.39	779.85	524.49	32.17
Desplazaturako garraioa	-543.71	-8900.62	-288.55	-1017.30	-2101.56	-393.85
Inpaktu garbia	-302.64	-3602.00	-12.44	-75.83	-1322.29	-319.99
Konpentsaziorako beharrezko urteak	11.76	12.29	53.57	40.84	9.69	6.92

IV. Rapitulua. AVE sarearen analisisia

4.15 Taula. AVE sare osoaren (lau horridore) Oinarrizko Agertohian duen ingurumen-inpaktuaren balantzea (N.C: No Compensation in 100 years).

AVE	Berotze Globala kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	CEO TJ-urte ⁻¹	PM10 t-urte ⁻¹	SO _x t-urte ⁻¹	NO _x t-urte ⁻¹	NM VOC t-urte ⁻¹
Azpiegituraren eraikuntza eta mantentzea	196.69	2535.83	285.02	452.22	705.31	114.96
Operazioa (4.17 milioi bidaiari)	354.82	9271.65	365.68	1654.25	1112.56	68.24
Desplazaturako garraioa	-1161.63	-18838.51	-562.48	-2088.87	-4696.56	-809.87
Inpaktu garbia	-610.13	-7031.03	88.22	17.60	-2878.69	-626.67

Konpentsaziorako beharrezko urteak	urteak	urteak	urteak	urteak	urteak	urteak
Totala AVE sarea (4.17 milioi bidaiari)	15	16	87	62	12	9
Andaluzia korridorea (536 milioi bidaiari)	9	11	96	57	8	7
Iparreko korridorea (131 milioi bidaiari)	79	98	N.C	N.C	73	34
Kataluniako korridorea (576 milioi bidaiari)	12	12	54	41	10	7
Levanteko korridorea (271 milioi bidaiari)	20	21	N.C	80	16	14

AVE sarearen balantzearen emaitza, Berotze Globalari dagokionez, 610.13 kt-CO₂eq-urte⁻¹-koa da. Ez dezagun ahaztu inpaktu-balantzearen emaitza negatiboa izatea ingurumen-arloko onura bati dagokiola. [3] ekuazioaren arabera, emaitza negatibo batek esan nahi du AVE sarearen eraikuntzarekin, mantentzearekin eta operazioarekin lotutako ingurumen-zamak beste garraio modu batzuetatik AVEra desplazatzen diren bidaiarien garraioari lotuta saihestu diren zamekin konpentsatzen direla. Azpiegitura eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako inpaktu gehienak linea martxan jarri aurretik gertatzen direnez, abiadura handiko edozein linea berri ingurumen-defizitarekin hasiko da eta zenbait urteko operazioaren ondoren konpentsatuko da, hori bai, operazio fasearen inpaktuak beste garraiobide batzuetan saihestutako inpaktuak baino txikiagoak badira. Hasierako defizit hori konpentsatzeko behar diren operazio-urteen kopurua aldatu egiten da ingurumen-inpaktuaren adierazle bakoitzerako. Konpentsazio horiek hasten diren une zehatza informazio erabakigarria da, batez ere energia aurrezteko eta isurketa kutsatzaileak murrizteko epekin lotutako Europako helburuei dagokienez. Inpaktu-adierazle bakoitzean

konpentsazio hori emateko behar diren urteak 4.14 Taula eta 4.15 Taula-tako azken lerroetan adierazten dira.

4.15 Taula-n ikus daitekeen bezala, AVE sare osoaren ingurumen-saldo garbia inpaktu-kategoria guztietan negatiboa da, PM10 eta SO₂ partikuletan izan ezik. CO₂eq, CEO, NO_x eta NMVOC adierazleek 9 eta 16 urte bitartean behar dituzte konpentsazioa lortzeko; SO₂ isurketek, berriz, 62 urte eta PM10-ekoek 87 urte behar dituzte, hau da, ez dira konpentsatuko azpiegituraren balio-bizitza osoan.

Lan honek ingurumen-balantzean azpiegitura eraikitzearekin lotutako ingurumen-zamen garrantzia hauteman du. Fenomeno hori oharkabean pasatzen da beste azterketa analitiko eta metodologiko batzuetan (D'Alfonso *et al.*, 2015). Espainiako AVE sareak 2016an, lau korridoretan banatuta, 2583 kilometro eraikiak eta operazioan zituen. Trenbide sare osotik 170 km (%6.6) zubiak eta biaduktuak dira, eta 248 km (%9.6) tunelak, Guadarramako tunel independenteak nabarmentzen direlarik, 28 kilometroko luzerarekin bakoitza. 4.16 Taula-n, AVE sareko lau korridoreak eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako urteko ingurumen-inpaktua erakusten da. Ingurumen-inpaktuak antzekoak dira korridore guztientzat termino erlatiboetan neurtzen direnean, hau da, linearen kilometroaren eta operazio-urtearen arabera. Rataluniako korridoreak inpaktu erlatibo handiagoak baditu ere, eta Andaluziako korridoreak inpaktu erlatibo txikiagoak baditu ere, korridore bakoitzaren batez bestekoaren desbideratzeak %15etik beherakoak dira CO₂ emisioetan, %10etik beherakoak CEDentzat eta %7tik beherakoak PM10, NO_x eta NMVOC emisioentzat. CO₂ isurien batez bestekoa (75.85 t km⁻¹ urte⁻¹) Tuchschnid *et al.*-ek (2011) herrialde batzuetako sare konbentzionaletarako eskainitako balio maximoa baino altuagoak dira (38.8-71 t km⁻¹ urte⁻¹), baina Baron *et al.*-ek (2011) abiadura handiko sare batzuetarako emandako balio minimoa baino baxuagoa (79-270 t km⁻¹ urte⁻¹).

D'Alfonso *et al.*-ek (2016), beste azterlan batzuetan oinarrituta, abiadura handiko azpiegituraren eraikuntzak 5 g CO₂ gehiago gehitzen dituela linean zerbitzatutako bidaiari-kilometro {pkm} bakoitzeko onartu dute. Balio hori, ordea, lineak zerbitzatutako garraio-kopuruaren arabera da erabat eta hau, AVEren kasuan, munduko beste sare batzuen baino askoz txikiagoa da {ikus 6.1 Taula). 4.16 Taula-n jasotako datuek, korridore bakoitzaren urteko garraioa kontuan hartuta {ikus 4.17 Taula), korridore bakoitzaren eta sare osearen eraikuntzari eta mantentze-lanei lotutako GHG aztarna kalkulatzeko aukera ematen dute. AVE sare osearen batez besteko aztarna 18.24 gCO₂eq/pkm da (D'Alfonso *et al.*-ek (2016) emandako balioa baino 3.6 aldiz handiagoa), baina diferentzia handiarekin korridoreen artean: 121 g Andaluzian, 145 g Katalunian, 28.1 g Levanten eta 59.3 g Iparraldeko korridorean.

4.16 Taula. AVE sareko lau korridoreak eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako urteko ingurumen-inpaktua.

	CO ₂	CED	PMIO	S0 ₂	NO _x	NMVO _C
	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	TJ·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹
Andaluzia korridorea (647 km)	64.846	0.885	0.102	0.164	0.254	0.041
Iparreko korridorea (445 km)	77.775	0.971	0.106	0.171	0.263	0.042
Kataluniako korridorea (883 km)	83.593	1.051	0.117	0.183	0.289	0.047
Levanteko korridorea (608 km)	76.212	0.993	0.112	0.178	0.279	0.045

4.17 **Taula.** AVEren azpiegitura eraikitze eta mantentze faseei lotutako GHG isuriak, bidaiari-kilometro bakoitzeko eta korridore bakoitzean.

Rorridorea	Luzera (km)	Garraioa (milioi pkm)	Azpiegituren eraikuntzarekin eta mantentze-lanekin lotutako berotegi-efektuko gasen (GHG) urteko isurketak, korridorearen km bakoitzeko (t CO ₂ e/km ¹ -urte ⁻¹)	Azpiegituren eraikuntzarekin eta mantentze-lanekin lotutako berotegi-efektuko gasen (GHG) urteko isurketak korridore bakoitzean (t CO ₂ -urte ⁻¹)	Azpiegituren eraikuntzarekin eta mantentze-lanekin lotutako berotegi-efektuko gasen (GHG) urteko isurketak pkm-ko eta korridore bakoitzean (gCO ₂ /pkm)
Andaluzia	647	3466	64.85	41942	12.10
Iparraldekoa	445	583	77.78	34606	59.36
Ratalunia	883	5083	83.59	73809	14.52
Levante	608	1649	76.21	46331	28.09
Totala	2583	10781		196689	18.24

Ingurumen-balantze netoari dagokionez, emaitzak nabarmen aldatzen dira korridore batetik bestera (ikus 4.22-4.25 Taula-k). Korridore guztiek penintsulako periferia estatuko hiriburuarekin, Madrilekin, diseinu erradial batean lotzen dute, baina garraio-dentsitateari eta saihestutako garraioaren izaerari dagokienez baldintza oso desberdinekin. Beraz, abiadura handiaren inbertsiorako erabakia kasuz kasuko analisi baten ondorioa izan behar da, hau da, korridore edo linea bakoitzaren ingurumen-jardunaren arabera erabakitzea funtsezkoa da.

Kataluniako korridoreak (Madril-Bartzelona-Frantzia) sareko garraio bolumen handiena jasaten du eta garraio proportzio handia hegazkinetik desplazatzen duenez Andaluziako korridorearen emaitzekin antzekoak izango dira. CO₂eq, CED, NO_x eta NMVOC inpaktuek 7 eta 12 urte bitartean behar dituzte konpentsatzeko; SOTk 41 urte behar ditu eta PM10 54 urtetan konpentsatzen da. Argi eta garbi, korridore hau Espainiako AVE sare osoaren Berotze Globalaren gaineko inpaktuaren murrizketaren eragile nagusia da, CO₂eq isurketen murrizketa osoaren %44ren erantzule baita. Korridore hau, halaber, sareko energia-kontsumoaren murrizketaren eragile nagusia da (%51).

Andaluziako lineak (Madril-Sevilla-Malaga) 7 eta 11 urte bitartean behar ditu CO₂eq, CED, NO_x eta NMVOC adierazleen inpaktuak

konpentsatzeko. Hala ere, 57 urte inguru behar dira SO₂ konpentsatzeko, eta ez da konpentsaziorik lortzen (96 urte) PM10 partikuletan, batez ere hegazkinetik desplazatutako garraioaren proportzio handiagatik (%45) (hegazkina PM10 partikulen igorle baxua da, eta partikula horien emisioa handia da AHTa elikatzen duen mix elektrikoaren produkzioan). Baina aireko garraioak saihestutako berotegi-efektuko gasen (GHG) urteko emisioak (249 kt CO₂ urtean) saihestutako emisio guztien %65 dira, AVEk eragindako garraio berriari lotutako emisioak baino askoz handiagoak (garraio osoaren %15, urtean 17.1 kt CO₂).

Emaitzek okerrera egiten dute beste bi korridoreetan, batez ere garraio-dentsitate txikiagatik. Levanteko korridorean (Madril-Valentzia-Alacant) CO₂eq, CED, NO_x eta NMVOC adierazleetan 14 eta 21 urte bitartean behar dira konpentsazioa emateko. PM10 (143 urte) eta SO₂ (80 urte) isurketak ez lirateke konpentsatuko azpiegituraren balio-bizitza osoan.

Ipar korridorean (Madril-Leon-Zamora) emaitzarik txarrenak ematen dira. Linea honetako 1.3 milioi bidaiariko garraio-dentsitateak ez du, aztertutako inpaktu-kategoria ia guztietan eta azpiegituraren balio-bizitza osoan, inolako konpentsaziorik eragiten. NMVOC isurketen kasuan bakarrik ematen da konpentsazioa, 34 urtetan, hain zuzen ere.

4.5.2 Sentsibilitate-analisiaren emaitzak

Zenbait aldagaitan izandako aldaketek AVEren azpiegituraren ingurumen-balantze garbi osoan duten eragina egiaztatzeko sentsibilitate-analisi bat egin da. Bost agertoki alternatibo aztertu dira (ikus 4.3 atala deskribapen zehatz baterako). AVE sareko lau korridoreetako bakoitzaren emaitzak, azpiegitura eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako ingurumen-kargak konpentsatzeko beharrezkoak diren operazio urteei dagokienez, **4.18-4.21 Taula**-tan daude.

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

4.18 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Andaluziaho horridoreho balantze garbiaren emaitzah (N.C: No Compensation in 100 years).

	Berotze Globala	CEO	PMIO	S02	Nux	NMVOC
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarrizko Agertokia, urteak)	9	11	96	57	8	7
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E1, urteak)	11	13	N.C	94	8	8
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	11	14	N.C	N.C	8	8
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	5	6	48	29	4	4
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	11	13	85	49	8	8
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	9	10	66	18	7	9

4.19 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Iparraldeho horridoreho balantze garbiaren emaitzah (N.C: No Compensation in 100 years).

	Berotze Globala	CEO	PMIO	S02	Nux	NMVOC
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarrizko Agertokia, urteak)	79	98	N.C	N.C	73	34
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E1, urteak)	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	48
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	61
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	40	49	N.C	N.C	36	17
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	67
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C

IV. Rapitulua. AVEsarearen analisisia

4.20 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Rataluniahoko horridoreho balantze garbiaren emaitzah (N.C: No Compensation in 100 years).

	Berotze Globala	CED	PMIO	SO _x	NO _x	NMVOG
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarritzko Agertokia, urteak)	12	12	54	41	10	7
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E1, urteak)	15	17	88	92	11	9
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	17	20	N.C	NC	12	10
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	6	6	27	20	5	3
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	17	16	47	33	11	10
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	17	17	64	24	11	12

4.21 Taula. Sentsibilitate-analisiaren Levantehoko horridoreho balantze garbiaren emaitzah (N.C: No Compensation in 100 years).

	Berotze Globala	CED	PMIO	SO _x	NO _x	NMVOG
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarritzko Agertokia, urteak)	20	21	NC	80	16	14
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E1, urteak)	22	25	NC	NC	17	16
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	24	27	NC	NC	17	17
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	10	11	72	40	8	7
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	24	25	NC	71	17	17
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	21	22	NC	36	16	19

Emaitzak ibilgailu pribatuen okupazio-tasarekiko nahiko sentikorrek direla ikus daiteke. Eraikuntza eta mantentze-faseetan sortutako ingurumen-inpaktuak konpentsatzeko, urte batzuk gehiago behar dira ibilgailu pribatuen okupazio-tasa handiagoa denean (E1 eta E2). Batez besteko okupazio-tasak gora egin lezake azpiegituraren bizitza baliagarrian; izan ere, gaur egun gizartean ibilgailuen erabilera partekatua sustatzeko hainbat ekimen instituzional agertzen ari dira, hala nola okupazio handiko ibilgailuentzako soilik diren VAO bide-erreak (Fontes *et al.*, 2014). Tasa hori bikoiztuko balitz, 3.36 pertsona ibilgailuko (E2), eta AVEko bidaiari kopurua konstante mantenduko balitz, aztertutako ingurumen-adierazle guztiek okerrera egingo lukete Oinarrizko Agertokiarekin alderatuta. Emaitza horiek nahiko logikoak dira; izan ere, zenbat eta okupazio handiagoa ibilgailu partikularretan, orduan eta ingurumen-inpaktu txikiagoa pertsona-kilometroko garraio modu pribatu horretan. Beraz, E1 eta E2 agertokietako baldintzen pean, bidaiariak auto partikularretatik AVEra erakartzeak AVEren ingurumen-inpaktuen balantze garbian ondorio ez hain onuragarriak eragingo ditu.

4.2.2 atalean AVEren korridore bakoitzean 2016an izango duen garraio-eskariaren estimazioa deskribatu da. Azterlan honetan 2016ko amaieran operazioan zeuden AVEko korridore guztiak barneratu dira. Bidaiarien garraioaren eskariak etorkizunean gora egin dezakeenez, E3 agertokiak AVEren korridore bakoitzeko garraioaren urteko eskaria bikoiztu egiten dela eta gainerako parametroek berdin jarraitzen dutela suposatzen du. Ingurumen ikuspegi batetik, eskaria handitzeak bi eragin kontrajarri ditu: eragin positiboa, beste garraiobide kutsagarriagoetatik (hegazkina edo autoa) AVEra desplazatutako bidaiariekin batez ere eman denean; eta eragin negatiboa, eskaera berri baten ondorioz ematen denean. 4.22-4.25 Taula-tan ikus daitekeenez, bidaiarien eskaria bikoizteak korridore guztien ingurumen-jarduera hobetzen du, eta konpentsazio-urteak erditik gora murrizten ditu, lehen aipatutako efektu positiboa efektu negatiboa baino handiagoa baita.

Hala ere, azpimarratu behar da emaitza horiek oso sentikorrek direla korridore bakoitzean eskari berriaren magnitudearekiko: (1) CO₂eq emisioen hobetzea lortzeko, sortutako eskari berriak Andaluziako korridoreko eskari berri osoaren (berria eta desplazatutakoa) %70 baino txikiagoa izan behar du; (2) Rataluniako korridoreko eskari osoa eskari berria edo induzitua izan liteke; (3) Levanteko kasuan ez luke %63tik gorakoa izan behar; eta (4) CO₂eq eta CED terminoetan hobekuntza lortzeko, Ipar Korridorean %44 eta %34 baino baxuago mantendu behar da, hurrenez hurren.

E4 agertokiak ibilgailu partikularrak elektrikoak diren egoera aztertzen du. Arrazoizkoa da motor elektrikoak automozioaren sektorean gero eta pisu gehiago hartzea, eta horrek murriztu egingo lituzke errepideko garraioaren etorkizuneko ingurumen-inpaktuak. Aldagai horrek AVEaren urteko balantze garbiko emaitzetan duen eragina nabarmendu da. Egoera horretan, Oinarrizko Agertokian AVEko lau korridoreen eraikuntzari, mantentzeari eta operazioari lotutako ingurumen-zamak ez dira aldatzen, baina desplazatutako garraioari lotutako zamak murriztu egiten dira. Adierazle guztien balantzeek okerrera egin dute Oinarrizko Agertokiarekin alderatuta, PMIO eta SOT koek izan ezik, hobera egin baitute, nahiz eta lehenengoa ia hutsala izan. Errepideko garraioa elektrifikatzean, ingurumen-zamak nabarmen murrizten dira garraio modu horretan, eta, beraz, errepideko zirkulazioa abiadura handiko trenbidera desbideratzearen onurak txikiagoak dira. Ingurumen-onura horiek are txikiagoak dira ibilgailu elektrikoek iturri berriztagarrien bidez ekoiztutako elektrizitatearekin funtzionatzen badute. Testuinguru hori bosgarren eta azken agertokian (ES) aztertu da, non ibilgailu partikularrak elektrikoak diren, okupazio-tasa ibilgailu bakoitzeko 3.36 bidaiariko den eta elektrizitatearen produkzioa iturri berriztagarriekin egiten den suposatuta den. Agertoki honetako konpentsazio-urteak aurreko agertokien (E4) antzekoak dira. Izan ere, ibilgailuen okupazioa bikoiztearen ondoriozko balantzearen

okerragotzea AVEa ere %100 berriztagarria den elektrizitatearekin ere aritzeak konpentsatuko du.

4.22 Taula. Andaluzia horidoreho emaitza zehatzak.

Andaluziako korridorea	CO2eq kt-urte ⁻¹	CEO TJ-urte ⁻¹	PMIO t-urte ⁻¹	SO2 t-urte ⁻¹	NOx t-urte ⁻¹	NMVOC t-urte ⁻¹
Azpiegituraren eraikuntza eta mantentzea	41.94	572.14	65.90	106.13	164.14	26.65
Operazioa (536 milioi bidaiari) (Oinarrizko Agertokia)	114.08	2981.00	117.57	531.87	357.71	21.94
Desplazaturako garraioa (Oinarrizko Agertokia)	-379.23	-6066.28	-158.68	-643.08	-1622.91	-249.84
Inpaktu Netoa (Oinarrizko Agertokia)	-223.21	-2513.14	24.80	-5.08	-1101.06	-201.25
Inpaktu Netoa (E1, 252 p/v)	-197.22	-2116.42	39.88	38.53	-1036.91	-178.24
Inpaktu Netoa (E2, 336 p/v)	-184.23	-1918.06	47.42	60.34	-1004.83	-166.74
Inpaktu Netoa (E3, AVE eskari bikoitza)	-488.35	-5598.42	-16.31	-116.29	-2366.26	-429.14
Inpaktu Netoa (E4, mugikortasun elektrikoa)	-183.83	-2152.06	19.53	-23.53	-1029.10	-162.49
Inpaktu Netoa (E5, okupazio altua, mugikortasun elektrikoa eta berriztagarria)	-223.98	-2706.52	5.19	-257.11	-1153.26	-152.80
Inpaktu nulurako urteko garraioa (Oinarrizko Agertokia, Mp)	0.85	0.99	8.59	5.11	0.70	0.63
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E 1, Mp)	0.94	1.14	13.57	8.41	0.73	0.70
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E2, Mp)	0.99	1.23	19.11	12.42	0.75	0.74
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E3, %)	69.73	54.22	19.37	22.69	76.97	88.00
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E4, Mp)	1.00	1.13	7.62	4.39	0.74	0.76
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E5, Mp)	0.85	0.94	5.82	1.57	0.67	0.80
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarrizko Agertokia, urteak)	9	11	96	57	8	7
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E 1, urteak)	11	13	152	94	8	8
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	11	14	214	139	8	8
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	5	6	48	29	4	4
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	11	13	85	49	8	8
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	9	10	65	18	7	9

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

It23 Taula. Iparraldeho horidoreho emaitza zehatzah.

Iparraldeko korridorea	CO2eq	CED	PM10	SO2	NOx	NM VOC
	kt-urte ⁻¹	TJ-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	34.61	432.17	47.31	76.30	117.06	19.02
Operazioa (1.31 milioi bidaiari) (Oinarrizko Agertokia)	19.19	501.38	19.77	89.46	60.16	3.69
Desplazaturako garraioa (Oinarrizko Agertokia)	-45.37	-765.56	-30.84	-94.65	-156.84	-37.01
Inpaktu Netoa (Oinarrizko Agertokia)	8.42	167.99	36.24	71.11	20.39	-14.29
Inpaktu Netoa (E1, 2.52 p/v)	19.35	334.80	42.58	89.45	47.36	-4.62
Inpaktu Netoa (E2, 3.36 p/v)	24.81	418.21	45.75	98.62	60.85	0.21
Inpaktu Netoa (E3, AVE eskari bikoitza)	-17.76	-96.19	25.17	65.92	-76.29	-47.61
Inpaktu Netoa (E4, mugikortasun elektrikoa)	24.98	319.82	34.03	63.35	50.64	2.00
Inpaktu Netoa (E5, okupazio altua, mugikortasun elektrikoa eta berriztagarria)	26.45	385.85	40.10	59.28	55.73	7.75
Inpaktu nulurako urteko garraioa (Oinarrizko Agertokia, Mp)	1.73	2.14	5.60	19.25	1.59	0.75
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E 1, Mp)	2.97	5.81	13.11	-7.60	2.20	1.05
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E2, Mp)	4.63	40.55	39.80	-4.48	2.73	1.32
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E3, %)	43.70	34.40	1.43	5.62	47.02	75.03
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E4, Mp)	7.08	7.70	7.00	12.72	2.58	0.99
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E5, Mp)	5.56	12.22	8.60	5.87	2.50	2.21
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarrizko Agertokia, urteak)	79	98	256	882	73	34
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E 1, urteak)	136	266	600	-348	101	48
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	212	1858	1823	-205	125	61
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	40	49	128	441	36	17
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	216	231	214	354	106	67
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	255	560	394	269	115	101

IV. Rapitulua. AVEsarearen analisia

4.24 Taula. Rataluniaho horridoreho emaitza zehatzah.

Kataluniako korridorea	CO2eq kt-urte ⁻¹	CED TJ-urte ⁻¹	PM10 t-urte ⁻¹	SO2 t-urte ⁻¹	N _{ox} t-urte ⁻¹	NMVOC t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	7381	927.77	103.72	161.62	254.79	41.69
Operazioa (s. 76 milioi bidaiari) (Oinarrizko Agertokia)	16727	4370.85	17239	779.85	524.49	32.17
Desplazaturako garraioa (Oinarrizko Agertokia)	-543.71	-8900.62	-288.55	-1017.30	-2101.56	-393.85
Inpaktu Netoa Oinarrizko Agertokia)	-302.64	-3602.00	-12.44	-75.83	-1322.28	-319.98
Inpaktu Netoa (E1, 252 p/v)	-223.67	-2396.30	33.39	56.71	-1127.32	-250.08
Inpaktu Netoa (E2, 336 p/v)	-184.19	-1793.45	56.30	122.98	-1029.84	-215.13
Inpaktu Netoa (E3, AVE eskari bikoitza)	-679.08	-8131.77	-128.61	-313.28	-2899.36	-681.66
Inpaktu Netoa (E4, mugikortasun elektrikoa)	-182.98	-2504.61	-28.44	-131.91	-1103.59	-202.21
Inpaktu Netoa (E5, okupazio altua, mugikortasun elektrikoa eta berriztagarria)	-186.40	-2256.37	621	-234.70	-1110.02	-161.92
Inpaktu nulurako urteko garraioa (Oinarrizko Agertokia, Mp)	113	118	5.14	3.92	0.93	0.66
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E1, Mp)	143	161	8.49	8.87	1.06	0.82
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E2, Mp)	165	196	12.59	24.08	1.14	0.93
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E3, %)	10081	7802	49.46	34.77	102.55	144.44
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E4, Mp)	165	156	4.52	3.17	1.08	0.98
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E5, Mp)	163	168	6.12	2.35	1.07	1.18
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarrizko Agertokia, urteak)	12	12	54	41	10	7
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E1, urteak)	15	17	88	92	11	9
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	17	20	131	251	12	10
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	6	6	27	20	5	3
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	17	16	47	33	11	10
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	17	17	64	24	11	12

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

4.25 Taula. Levanteho horridorearen emaitza zehatzak.

Levanteko korridorea	CO ₂ eq	CEO	PM10	SO ₂	NOx	NM VOC
	kt-urte ⁻¹	TJ-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	46.33	603.75	68.09	108.17	169.32	27.60
Operazioa (271 milioi bidaiari) (Oinarrizko Agertokia)	54.28	1418.42	55.94	253.07	170.20	10.44
Desplazaturako garraioa (Oinarrizko Agertokia)	-193.32	-3106.05	-84.41	-333.85	-815.25	-129.18
Inpaktu Netoa (Oinarrizko Agertokia)	-92.71	-1083.88	39.63	27.40	-475.73	-91.15
Inpaktu Netoa (E1, 252 p/v)	-77.26	-847.92	48.60	53.34	-437.57	-77.47
Inpaktu Netoa (E2, 336 p/v)	-69.53	-729.94	53.08	66.31	-418.49	-70.63
Inpaktu Netoa (E3, AVE eskari bikoitza)	-231.75	-2771.51	11.16	-53.38	-1120.78	-209.89
Inpaktu Netoa (E4, mugikortasun elektrikoa)	-69.29	-869.12	36.50	16.42	-432.93	-68.10
Inpaktu Netoa (E5, okupazio altua, mugikortasun elektrikoa eta berriztagarria)	-83.38	-1039.34	34.42	-72.64	-476.04	-61.44
Inpaktu nulurako urteko garraioa (Oinarrizko Agertokia, Mp)	0.90	0.97	6.49	3.63	0.71	0.63
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E1, Mp)	0.10	0.11	0.95	0.54	0.08	0.07
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E2, Mp)	0.11	0.12	1.23	0.70	0.08	0.08
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E3, %)	63.14	49.05	1.92	15.35	71.24	82.74
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E4, Mp)	1.09	1.11	5.85	3.20	0.76	0.78
Inpaktu nulurako urteko garraioa (E5, Mp)	0.97	1.00	5.49	1.62	0.71	0.84
Konpentsaziorako beharrezko urteak (Oinarrizko Agertokia, urteak)	20	21	144	80	16	14
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E1, urteak)	22	25	210	118	17	16
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E2, urteak)	24	27	272	155	17	17
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E3, urteak)	10	11	72	40	8	7
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E4, urteak)	24	25	129	71	17	17
Konpentsaziorako beharrezko urteak (E5, urteak)	21	22	121	36	16	19

V. KAPITULUA. EUSKAL Y-AREN ANALISIA

5 Euskal Y-aren analisia

5.1 Euskal Y-aren testuingurua

Euskadi, Espainiako estatuko eskualderik populatuenetako eta industrializatuenetakoa da (300 biztanle km² bakoitzeko). Izan ere, 2.2 milioi biztanle inguru ditu (Espainiako biztanleriaren %4.6), errenta per capita handienetakoa du, eta bere ekonomiak estatuko BPG-aren (Barne Produktu Gordina) %6.3 suposatzen duen erkidego autonomoa da. Bere kokapen geografikoagatik, Euskadi, Espainia eta Frantzia artean pertsonak eta salgaiak garraiatzeko gune estrategikoa izan da beti.

Testuinguru horretan, Euskal Y-a izenez ezagutzen den abiadura handiko linea Espainiako Abiadura Handiko Sarearen (AVE) iparraldeko korridorearen zati bat izateko diseinatu zen. Espainia eta Frantzia mugaren mendebaldeko muturretik lotzen dituen linea izango da. Ildo estrategikoa da, beraz, abiadura handiko Europa barneko sarearen hegoaldeko korridorean (Gobierno Vasco, 2012). ADIF-AV enpresa publikoa arduratzen da AVEren azpiegitura diseinatzeaz, eraikitzeaz eta mantentzeaz, eta, beraz, baita Euskal Y-az ere.

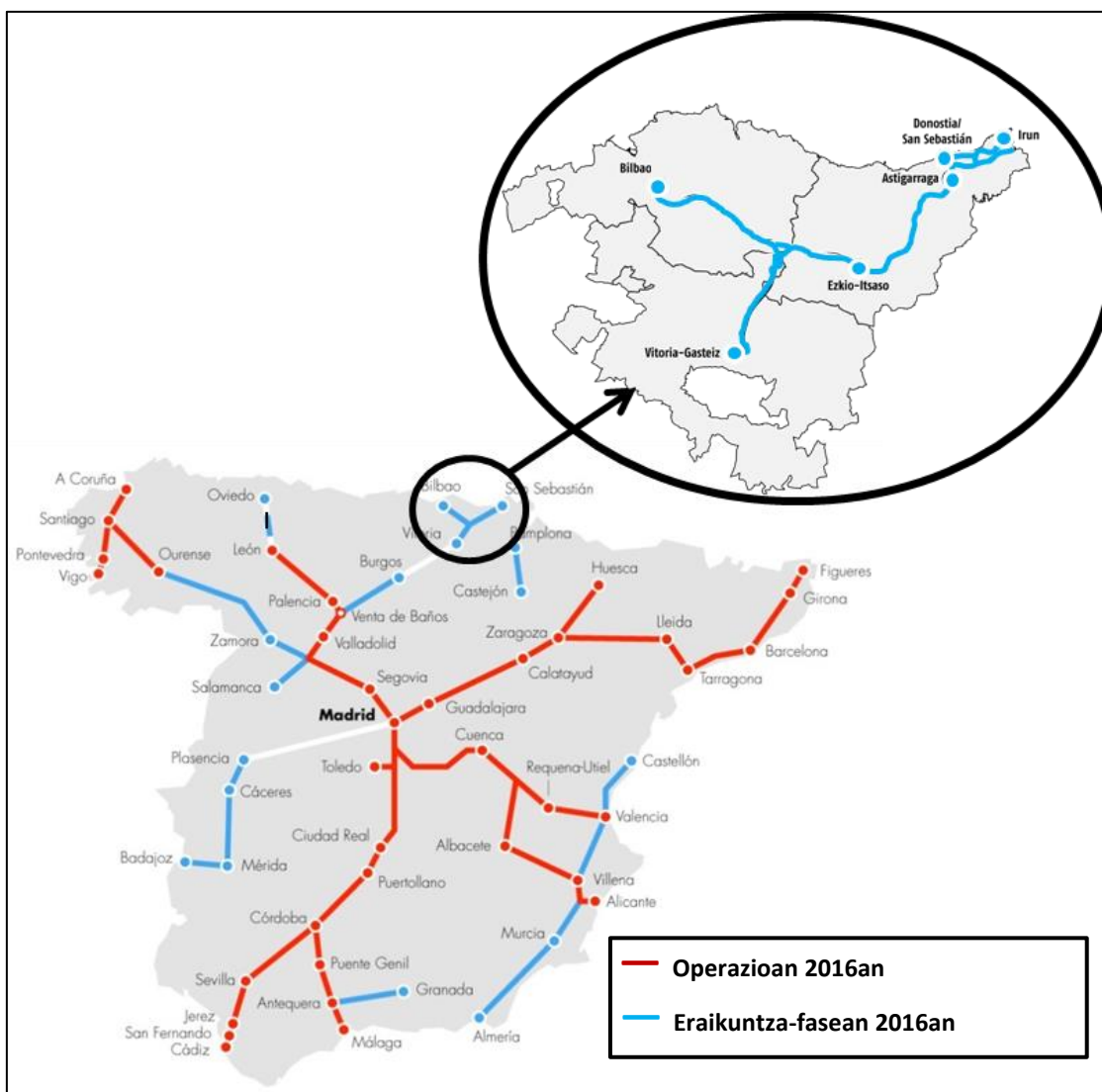
Euskal Y lineak autonomia erkidegoko hiru hiriburuak hiru puntako izar-sareko diseinu batean (horregatik "Y") eta oso orografia konplexuko 190 km inguruko luzapen lineal batean lotuko ditu (ikus **5.1 Irudia**). Eraikuntza lanak 2006an hasi ziren eta 2015ean martxan egotea espero zen, baina atzerapen etengabeek 2024ra arte atzeratu dute, gutxienez (Euskal Irrati Telebista, 2019). AHTk hiru hiriburueta izango dituen sarbide eta geltoki nagusiak zehazteko prozesua oraindik osatzeke dago, eta, beraz, lanak noiz amaituko diren eta noiz sartuko den indarrean ez daude batere argi.

Euskal Y-an, 14 m-ko zabalerako plataforma baten gainean 1435 mm-ko nazioarteko zabalerako trenbidea doa instalatuta. Saretik bidaiarien

{230-250 km/h) eta salgaien {90-110 km/h) trafikoko sare mistoa garraiatzeko beharrezko diseinua egin da. Aipatzekoa da, hala ere, Espainiako AVE sare osoa bidaiarien garraiorako bakarrik diseinatu zela, eta, beraz, ez duela salgaien garraiorik onartzen.

Beraz, azkenean Euskal Y-tik salgaiak garraiatzea ez dirudi gerta daitekeenik; batez ere Espainiako gobernuak Euskal Y-a eta AVE arteko hegoaldeko konexioa (Burgos-Vitoria/Gasteiz) bidaiarien garraioarekin bakarrik bateragarria izango dela sarritan baieztatu ondoren (INECO, 2017). Antzeko egoera aurki daiteke Frantzia eta Espainiako Akitaniako mugan, TGV sare ez baitago diseinatuta salgaien garraiorako, eta, gainera, Frantziako agintariek ez dute aurreikusi Dax eta Hendaia arteko zatian ekintzarik hastera 2037 baino lehen (European Court of Auditors, 2020).

Bien bitartean, Euskal Y-an trafikoko sare bat eraikitzeko lanak aurrera doaz. Horretarako, ezaugarri geomorfologiko konplexuak dituen ingurune batean ibilbide-parametro geometriko oso zorrotzak behar dira, bihurtune-erradio zabalarekin eta malda oso txikiekin. Parametro murriztaile horiek direla eta, trazaduraren zatirik handiena tunelen barrutik eta biaduktuen gaineratik doa, oztopo orografiko handiak gainditu ahal izateko, eta horrek kostu ekonomiko handiagoa eta ingurumen-inpaktu handiagoa dakartza.



5.1 Irudia. AVE eta Euskal Y-a mapan. Iturria: (Bez, 2016) eta Wikipedia (2020).

Eusko Jaurlaritzak proiektu hau eskualdeko trantsizio ekologikorako urrats garrantzitsuena bezala sarritan aurkeztu du (SPRI, 2020), eta, beraz, funtsezko ardatz gisa Parisko Akordioan berotegi-efektuko gasen (GHG) isuriak murrizteko ezarritako helburuak betetzeko. 2050erako Klima Aldaketaren Euskal Estrategiak (Basque Government, 2015) helburu horiek lortzeko abiadura handiko linea berri hori eraikitzea funtsezkoa izango dela argudiatzen du, bidaiariak beste garraio bide kutsagarriagoetatik AHTra desplazatuko baititu. Hala ere, adierazpen horiek proiektu honek bere bizitza osoan izan ditzakeen ingurumen-zama guztiak kontuan hartzen dituzten azterlan

integralengatik ez daude babestuak; izan ere, inbertsio horrek izan ditzakeen ingurumen-onurei dagokienez, trenaren operazioari dagozkion onurei soilik egiten diete erreferentzia, eta ez dituzte kontuan hartzen azpiegitura eraikitze eta mantentzeko faseak izan ditzaketen ingurumen-zamak.

5.2 Analisi honen helburua eta egitura

Euskal Y-aren kasu-azterlan honen helburu nagusia abiadura handiko proiektu honek klima-aldaketa arintzeko eta Euskal Autonomia Erkidegoan energia-kontsumoa murrizteko duen ahalmena aztertzea da, horrela, Parisko Akordioan ezarritako helburuak lortzen zenbateraino laguntzen duen egiaztatzeko. Ondorioz, jarraian, Euskal Y linea eraikuntzarekin, mantentzearekin eta operazioarekin lotutako ingurumen-inpaktu nagusiak Bizi Zikloaren Analiaren (LCA) metodologiaren bidez, 60 urteko bizitza baliagarrian eta eskura dauden azken datuak erabiliz kalkulatu dira. Azterketa honetan salgaien garraioa barneratzen da. Ingurumen-balantzearen emaitzak **1.1 Taula**-n deskribatutako ingurumen-inpaktuaren sei adierazle garrantzitsuenen bidez aurkezten dira. Analisi honen irismen geografikoa Euskal Y proiektatutako linea osoa da, oraindik 2021ean eraikitzen ari dena, eta gutxi gorabehera 190 km-tan zehar hedatuko dena. Bestalde, azterketa honen unitate funtzionala Euskal Y-aren abiadura handiko lineak urtebeteko operazioan zerbitzatutako bidaiari eta salgaien garraioa da, administrazioek darabiltzaten bidaiarien eta salgaien trafikoaren estimazioak urterokoak baitira. Tesi honetan Euskal Y-ari buruz egiten den azterketa Bueno *et al.* (2017) lana oinarri hartuta egin da eta bidaiarien eta salgaien garraioari buruzko datuak eguneratu, inpaktu-kategoriak gehitu eta sentzibilitate-analisan agertoki berriak ezarri dira.

Atal honetan proiektuaren aurrekarien sarrera eta deskribapen laburra aurkeztu ondoren, 5.3 atalean azterketarako behar diren datuak eta

informazioa zehazten dira. Euskal Y-aren trazadura 5.3.1 atalean deskribatzen da, eta 5.3.2 atalean garraio-eskaria estimatzeko prozesua azaltzen da. Halaber, 5.4 atalean, Oinarrizko Agertokiaren eta sentsibilitate-analisiaren agertokien ezaugarriak eta propietateak deskribatzen dira. Azkenik, 5.5 atalean lortutako emaitzak azaltzen dira, 5.5.1 atalean Oinarrizko Agertokiari dagozkionak eta 5.5.2 atalean sentsibilitate-analisiaren agertokiei dagozkienak.

5.3 Analisisian erabilitako datuen deskribapena

Abiadura handiko azpiegitura bati lotutako ingurumen-zamak kalkulatzeko, funtsezkoak diren, eta batzuetan eskuragarri ez dauden edo osatu gabe dauden datuak eta informazioa behar dira. Atal honetan, Euskal Y-aren abiadura handiko proiektuaren ingurumen-portaera aztertzen duen modelizaziorako erabilitako datuak eta informazioa deskribatzen dira.

5.3.1 Euskal Y linearen diseinua eta trazadura

Euskal Y-aren azpiegitura osoaren eraikuntzaren eta mantentze-lanen ingurumen-zamak behar bezala kalkulatzeko, lineako adar bakoitzaren diagrama xehea izatea funtsezkoa da. Horrek inplikatzeko du mapak, ibilbideak, azpiegiturak, neurketak, ezaugarriak eta abar behar direla. Gaur egun, linea hori eraikitze-prozesuan jarraitzen du eta, beraz, ez dago behin betiko ibilbide zehatua argitaraturik. Kasuren batean, hiriburuetarako sarbideak kasu, oraindik ez dago behin betiko erabakirik eta zalantzak daude azken erabakiei buruz.

Ondorioz, Euskal Y-aren trazadura osoa zehazturik eduki ahal izateko, "AHT gelditu!" Plataformak egindako lanetik abiatuta, ibilbideak satelite eta aire-irudien bidez zehatz-mehatz aztertu dira. Gizarte-mugimendu horrek linea osoaren diagrama zehatza egin zuen Google Earth tresna erabiliz, eta informazio guztia bere webgunean

eskuragarri dagoen artxibo batean bildu zuen (AHT gelditu, 2019). Lan zorrotz horri esker, azpiegitura osoa xehetasunez karakterizatu ahal izan da, eta, horrela, azterlan honetan aztertutako ingurumen-inpaktuak kalkulatu ahal izan dira¹³.

Lehen aipatu bezala, Euskal Y-a, gutxi gorabehera, 190 kilometroko hedadura izateko eta Euskal Autonomia Erkidegoko hiru hiriburuak lotzeko hiru puntako izar moduan diseinatu zen: Bilbo, Donostia-San Sebastián eta Vitoria-Gasteiz. Hiriburuetako hiru geltoki nagusiez gain, bigarren mailako bi geltoki aurreikusi dituzte: Ezkio-Itsaso eta Irun. Halaber, 750 m-ko luzera duten trenetan salgaien garraioa errazteko bi terminal multimodal eraikitzea proiektatu da. Lineak seinaleztatzeko lau postu eta aurreratzeko eta aparkatzeko bi postu ere izango ditu. Bestalde, linearen hiru adarrak gurutzatzen diren Bergarako puntuan 10 kilometroko trukagailu luze bat ere badago. Orografia oso menditsu honetan trenbide-pasaguneak saihesteko, gurutzaketa horrek konplexutasun-maila handia du. Orokorrean, paisaiaren erliebe gorabeheratsuak eta lurralde honetako orografia malkartsuak teknikoki konplexuak diren eraikuntzak eskatzen ditu, eraikuntza-materialen eta energia-baliabideen eskakizun handiarekin. Trenbidearen trazaduraren zatirik handiena tuneletatik (%55) eta biaduktuen gainetik (%13) igarotzen da, eta %31 baino ez dago aire zabalean (ikus **5.1 Taula**).

Linearen zatirik handiena nazioarteko zabalerako (1435 mm) trenbide bikoitzaren bidez, 14 metroko zabalerako plataforma baten gainean instalatua eta 25 kV eta 50 Hz-tan elektrifikatua diseinatu da. Astigarraga eta Irun arteko zatian hirugarren trenbide bat instalatuko da trenbide konbentzional (1645 mm) zaharraren gainean. Azken zati hori izan ezik (14 km), Euskal Y-aren zatirik handiena eraikuntza berria da. Gainera, linea berri hau salgaien eta bidaiarien trafiko mistorako diseinatuta dago; mantentze handiagoa eskatzeaz gain, konplexutasun

¹³ Azterlan honetan lortutako Euskal Y-aren trazaduraren deskribapen zehatza honako gordailu honetan dago eskuragarri: <https://data.mendeley.com/datasets/7w4frwk7sb/1>

tekniko handiagoa dakar diseinuan eta eraikuntzan: gutxienez 3.2 km-ko erradioa, gehienez 160 mm-ko peraltea, gehienez 15 milareneko malda eta, salbuespen gisa, 18 milarenekoa. Horrela, 90 km/h-ko abiadurak ahalbidetzen dira salgaien garraiorako eta 250 km/h-koak bidaiarien garraiorako.

5.1 Taula. Euskal Y-aren azpiegituraren xehetasunak.

	km	%
Tunelak	104.90	55.52
Biaduktuak (>250 m)	18.23	9.65
Zubiak (<250 m)	6.32	3.34
Totala tunelak eta biaduktuak	129.45	68.52
Aire zabalean	59.47	31.48
Euskal Y totala km	188.93	100.00

5.3.2 Bidaiarien eta salgaien eskariari buruzko datuak

Garraio-eskaria azpiegitura baten onurak eta kostu ekonomikoak, sozialak edo ingurumenekoak kalkulatzeko funtsezko faktorea da. Euskal Y-aren linea oraindik eraikitze-fasean denez, garraio-eskariari buruzko datu errealik ez dago. Atal honetan, administrazio publikoek proiektatutako eta emandako azken datu ofizialetan oinarrituta, bidaiarien eta salgaien garraioaren eskaria kuantifikatzen da. Hala ere, literaturan askotan aurki daiteke garraio-azpiegituren sustatzaileek gehiegizko estimazioa duten eskariak aintzat hartzeko joera dutela, beraz eskari desberdinetarako sentsibilitate-azterketa bat ere egingo da (ikusi, adibidez, Flyvbjerg, 2007).

Bidaiarien eta salgaien garraioa bi faktore nagusiren mende dago: batetik, mugitutako pertsona eta tona kopurua, eta, bestetik, horiei dagozkien bidaia-distantziak. Euskal Y-aren izarrezko topologiak linearen ustiapena zigortzen du; izan ere, edozein bidaiarik edo salgaiak ibilbide bakoitzean trazaduraren bi heren baino ez ditu erabiliko.

Alderdi hori garrantzitsua da azpiegituraren aprobetxamendua aztertzean.

Euskal Y-aren bidaiarien eskaria kalkulatzeko, ADIFek (2015a, 2015b) egindako Euskal Y-aren errentagarritasun ekonomiko, sozialari eta finantzarioari buruzko bi azterlanen trafiko-datuak erabili dira. ADIFek (2015a) Euskal Y-a jada operazioan dagoen egoera batean, 2019. urterako joan-etorrien urteko bolumenaren estimazioak ematen ditu (Taulak 25-26, 72-73 or.). Bestalde, bidaiarien eskariaren beste estimazio bat ADIFen beste azterlan batean eskura dagoena da (2015b). Horretan, aurreko dokumentuan sartu gabeko beste ibilbide batzuk barneratzen ditu Euskal Y-rako eskariaren estimazioan (VI. eranskina, Taula 90, 176. or.)¹⁴. Etorkizuneko garraio-eskaria kalkulatzeko, bidaiarien urteko fluxu horiek egindako distantziaz biderkatu behar dira. **5.2 Taula-n**, 2020ko, ustez funtzionamenduaren lehen urtekoa, Euskal Y-aren bidaiarien garraio-eskariaren kalkulua jasotzen da. Urte horretarako 587 milioi bidaiari-km espero dira, hau da, urtean 3.11 milioi bidaiari baliokideko garraio-dentsitatea izango du azpiegitura osoak. Horrek esan nahi du sareko bidaiarien batez besteko ibilbidea 87 km-koa izango litzatekeela.

Euskal Y-aren salgaien garraio-eskaria kalkulatzeko, ADIFen (2015b) 2020-2049 aldirako azterlanaren 92. taulako informazioa erabili da. Aldi horretako batez besteko balioa, ondoren, modelizazioan barneratu da. Batezbesteko balio horrek 1707 milioi tona-km (14 milioi tona inguru) gaintitzen ditu, hau da, urtean 9 milioi tona salgai azpiegitura osoan. Datu hori testuinguruan jartzea garrantzitsua da. Sustapen Ministerioaren arabera (2018), 2015ean Pirinioak zeharkatzen dituen errepide bidezko salgaien garraioa 47 milioi tonakoa izan zen. Beraz, kalkulu horien arabera, AHT azpiegitura berriak korridoreko salgaien garraio-eskariaren %30 inguru bereganatuko luke; gaur egun, berriz,

¹⁴ ADIF-ek Euskal Y-aren abiadura handiko linearen errentagarritasun ekonomiko-sozialari eta finantzarioari buruz egindako azterlanak (2015a, 2015b) esteka honetan daude eskuragarri: <https://ehubox.ehu.eus/s/nHBKjdPjCtaqEiB>

ohiko trenbideko salgaien garraioa ez da totalaren %2ra iristen (Gobierno Vasco, 2021). Rontuan hartuta salgai-bagoi batek 20-30 tona salgai mugi ditzakeela eta salgai-tren batek 16-20 bagoi izan ditzakeela (420-500 tona tren bakoitzeko), Euskal Y-ak eguneko 40 salgai-tren inguru beharko lituzke (80 km/h-ko batez besteko abiaduraz zirkulatzen) salgaien garraioaren eskari garrantzitsu horri erantzuteko. Datu hori oso zalantzazkoa dirudien arren, Oinarrizko Agertokian mantentzea erabaki dugu (informazio ofiziala baita), eta VI. Kapitulua gai honen eztabaidan sakontzen da.

5.2 Taula. ADIFen lanetatik (2015a, 2015b) abiatuta Euskal Y-aren bidaiarien garraio-eskaria.

Nondik (Nora)	Nora (nondik)	AHT bidaiariak (Mila bidaiari/urte)	Euskal Y-an distantzia (km)	AHT-ra desplazatutako garraioa (Mpkm/urte)				AHT eskari berria (Mpkm/urte)	AHT Totala (Mpkm/urte)	AHTaren ehuneko totala
				Autoa	Autobusa	Ohiko tren	Hegazkina			
Distantzia luzea										
Madril	Vitoria/Gasteiz Donostia/San Sebastián	345.30	6	0.08	0.01	1.89	0.00	0.09	2.07	0.35%
Madril	Bilbo	423.49	109.87	16.79	1.30	21.42	2.93	4.09	46.53	7.92%
Madril	Bilbo	837.70	80.06	29.59	4.03	11.43	9.85	12.16	67.07	11.42%
Bartzelona	Bilbo	565.13	80.06	12.65	1.39	23.27	3.20	4.74	45.24	7.70%
Bartzelona	Donostia/San Sebastián	185.62	109.87	5.70	0.63	10.49	1.44	2.14	20.39	3.47%
Bilbo	Galizia	30.79	80.06	0.69	0.08	1.27	0.17	0.26	2.46	0.42%
Donostia/San Sebastián	Galizia	21.86	109.87	0.67	0.07	1.24	0.17	0.25	2.40	0.41%
Bilbo	Asturias	30.79	80.06	0.69	0.08	1.27	0.17	0.26	2.46	0.42%
Donostia/San Sebastián	Asturias	21.86	109.87	0.67	0.07	1.24	0.17	0.25	2.40	0.41%
Distantzia ertaina										
Vitoria/Gasteiz	Burgos	302.59	6	0.10	0.01	1.69	0.00	0.02	1.82	0.31%
Vitoria/Gasteiz	Palentzia	7.40	6	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.01%
Vitoria/Gasteiz	Valladolid	40.26	6	0.01	0.00	0.22	0.00	0.01	0.24	0.04%
Vitoria/Gasteiz	Segovia	10.38	6	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.06	0.01%
Donostia/San Sebastián	Burgos	56.75	109.87	2.10	0.30	3.39	0.00	0.45	6.24	1.06%
Donostia/San Sebastián	Palentzia	8.64	109.87	0.22	0.02	0.43	0.00	0.28	0.95	0.16%
Donostia/San Sebastián	Valladolid	41.69	109.87	1.74	0.07	2.64	0.00	0.13	4.58	0.78%
Donostia/San Sebastián	Segovia	13.49	109.87	0.71	0.14	0.58	0.00	0.05	1.48	0.25%
Bilbo	Burgos	122.05	80.06	5.61	1.08	2.66	0.00	0.41	9.77	1.66%
Bilbo	Palentzia	14.26	80.06	0.18	0.04	0.54	0.00	0.38	1.14	0.19%
Bilbo	Valladolid	67.01	80.06	2.76	0.13	1.99	0.00	0.49	5.36	0.91%
Bilbo	Segovia	14.62	80.06	0.60	0.13	0.40	0.00	0.04	1.17	0.20%
Nazioartekoa										
Lisboa- Hendaye	Hendaye	174.62	126.17	6.16	0.68	11.33	1.56	2.31	22.03	3.75%
Madril	Paris	504.00	126.17	17.78	1.95	32.70	4.50	6.66	63.59	10.82%
Bilbo	Paris	258.00	126.33	9.11	1.00	16.76	2.30	3.41	32.59	5.55%
Barruko garraioa										
Vitoria/Gasteiz	Donostia/San Sebastián	522.98	103.87	30.84	8.44	6.96	0.00	8.09	54.32	9.25%
Vitoria/Gasteiz	Bilbo	1195.90	74.06	59.35	16.60	3.44	0.00	9.18	88.57	15.08%
Donostia/San Sebastián	Bilbo	931.39	110.03	69.67	20.43	1.04	0.00	11.35	102.48	17.44%
Totala		6748.53		274.47					587.48	100.00%
Desplazatutako garraioaren ehunekoa				%46.72	%9.98	%27.30	%4.51	%11.49		

5.4 Agertokien deskripzioa

Oinarrizko Agertokia, LCA honetarako erreferentzia gisa balio duena, honako uste hauetatik abiatzen da: Euskal Y-aren salgaien eta bidaiarien garraio mistoko operazioa 2024 urtean hasten da; Espainian ibilgailu partikularren %56 diesel turismoak eta %44 gasolina turismoak dira (DGT, 2018); ibilgailu partikularren okupazio-tasa 1.68 (p/v) bidaiariko da ibilgailu bakoitzeko, S.G. de Explotación 2014an egindako inkestari jarraikiz (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2018); beste modu batzuetatik AHT-rantz desplazatutako garraioa **5.2 Taula**-tik hartzen da; bidaiarien eta salgaien garraioei buruzko eskariak ADIFen errentagarritasun ekonomiko-sozialari eta finantzarioari buruzko azterlanetatik hartzen dira (2015a, 2015b); mix elektrikoa Espainian 2017. urtekoa da (Ecoinvent v3.7). Analisiaren kalkulu-epea 60 urtetan ezartzen da, izan ere, trenbide-sare baten osagai gehienek espero den balio-bizitza eta erreferentziazko beste azterlan batzuetan erabilitako balio-bizitzaren berdina baita (Stripple and Uppenber, 2010). AVE-aren kasu-azterketan ere epe berdina kontsideratu da (**IV. Kapitulua**).

Garraio-eskariaren ziurgabetasuna kontuan hartuta, eta horrelako proiektu batek etorkizunean izan ditzakeen egoera ezberdinen aurrean emaitzen erantzuna ikusteko sentsibilitate-azterketa bat egin da. Hasierako Oinarrizko Agertoki batetik abiatuta, zazpi agertoki alternatibo proposatzen dira (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7), eta horietan aldagaietan aldaketak egiten dira emaitzetan duten eragina aztertzeko. Egoera horietan egindako aldaketek, ordea, ez dute inolako eraginik azpiegituraren eraikuntza eta mantentze-zametan, aldiz beste modu batzuetatik desplazatutako garraioari lotutako zametan eta AVE-aren operazio-fasearen zametan eragina izan dezakete. Gainera, atal honetan aztertutako agertoki guztiek testuinguru teknologiko eta sozioekonomiko konstantea kontsideratzen dute azpiegituraren bizi-ziklo osoan. Horrek esan nahi du garraio-eskaria, desplazatutako

trafikoa, ibilgailuen okupazio-tasak, energia-intentsitateak edo mix elektrikoa aldaezintzat jotzen direla. 5.3 Taula-k agertoki horien ezaugarri nagusien laburpena jasotzen du eta 5.4 Taula-k agertoki bakoitzaren ezaugarriak xehetasunez aurkezten ditu.

5.3 Taula. Aztertutako agertoki guztien deskripzioaren laburpena.

	Auto mota eta okupazio-tasa	Garraio zerbitzua	Salgaien operazioaren hasiera urtea	Mix elektrikoa
Oinarrizko Agertokia	%56 diesela, %44 gasolina, 168 p/v	Bidaiariak eta salgaiak	2024	Espainia 2017
E1	%56 diesela, %44 gasolina, 336 p/v	Bidaiariak eta salgaiak	2024	Espainia 2017
E2	%56 diesela, %44 gasolina, 168 p/v	Bidaiariak eta salgaiak, eskaria %50 baxuagoa	2024	Espainia 2017
Agertoki dinamikoa E3	%56 diesela, %44 gasolina, 168 p/v	Bidaiariak eta salgaiak	2040	Espainia 2017
E4	%56 diesela, %44 gasolina, 168 p/v	Bidaiariak	Ez	Espainia 2017
E5	Auto elektrikoa, 168 p/v	Bidaiariak eta salgaiak	2024	%100 berriztagarria
Agertoki dinamikoa E6	Auto elektrikoa, 168 p/v	Bidaiariak eta salgaiak	2040	%100 berriztagarria
E7	Auto elektrikoa, 168 p/v	Bidaiariak	Ez	%100 berriztagarria

Adra *et al.* (2010) kontuan hartuta, lehen agertokian (E1) ibilgailu partikularren okupazio-tasak gora egiten du eta Oinarrizko Agertokiarekiko bikoizten da, hau da, 336 (p/v) bidaiari ibilgailu bakoitzeko egoera aztertzen da. Hurrengo agertokian (E2), garraio-eskaria %50 murrizten da erreferentziako agertokiarekin alderatuta. E3 agertoki dinamikoak erreferentziazko Oinarrizko Agertokiaren baldintza berberak hartzen ditu kontuan, baina salgaien garraioa 2041ean basten da, 2024an beharrean. E4 agertokiaren arabera, Euskal Y-tik bidaiarien garraioa soilik emango dela suposatzen da, adituen baieztapenekin eta AVEaren gainerako Espainiako sarea bidaiarien garraiorako soilik diseinatu izanarekin bat etorriz (Bueno *et al.*, 2017).

Azken hiru agertokiek garraioaren elektrifikazio-helburuekin bat datorren etorkizuna planteatzen dute. Berriki onartutako Espainiako Rlima Aldaketari buruzko Legeak, 2050erako garraio elektrifikatua

lortzeko eta CO₂ isuri zuzenik gabeko turismo-parke eta ibilgailu komertzial arinak lortzeko neurriak ezartzen ditu (Boletín Oficial del Estado, 2021). Hiru egoera horietan, diesel eta gasolina motordun automobilen ordez, automobil elektrikoak erabiltzen dira, %100 berriztagarria den elektrizitate-nahastearekin funtzionatzen dutenak. ES agertokiak Euskal Y-a bidaiarien eta salgaien garraio mistoarekin operatzen duela suposatzen du, E6 agertoki dinamikoak merkantzien operazioa 2040. urtean hasten dela suposatzen du, eta E7 agertokian Euskal Y-ak bidaiarien garraioarekin soilik operatzen duela suposatzen da.

5.4 Taula. Oinarrizho Agertohia eta agertohi alternatiboen (E-E7) deshribapen xehea.

	Oinarrizko Agertokia	E1	E2	E3	E4	ES	E6	E7
Agertokien deskripzioa	Baldintza orokorrak (garraio-eskaria, beste modu batzuetatik desplazatutako garraioa, mix elektrikoa, ibilgailuen okupazio-tasa) Euskadin 2024rako dokumentatutakoak dira, eta azpiegituraren balio-bizitza osean konstante mantentzen dira.	Ibilgailu partikularren okupazio-tasa, Oinarrizko Agertokiarekin alderatuta bikoitza da	Euskal Y-aren bidaiariaren eta salgaien garraio eskaria %100 baxuagoa da Oinarrizko Agertokiarekin alderatuta	Oinarrizko Agertokiko baldintza berberak, baina salgaien garraioa 2040 urtean hasten da	Oinarrizko Agertokiko baldintza berberak, baina salgaien garraiorik gabe	Ibilgailu partikular guztiak elektrifikatuta daude eta propulzio elektrikoa jatorri berriztagarriko elektrizitatearekin elikatzen da (kotxeak eta tren elektrikoak)		
Mix elektrikoa	Espainia 2017; Ecoinvent v3.7 Espainiarako 2017an zehaztutakoaren arabera: Elektrizitate merkatua, tentsio handia (ES) Elektrizitate merkatua, tentsio txikia (ES)					%100 berriztagarria erregai fosilekin eta nuklearrarekin sortutako elektrizitatea nahasketatik ezabatuta		
AHT bidaiariaren eskaria	Bidaiariaren eskaria ADIF (2015a, 2015b) txostenetan oinarritua		%50	Eskaria, Oinarrizko Agertokiaren eta %1.06ko urteko hazkundearen arabera	Oinarrizko Agertokia	Oinarrizko Agertokia	Eskaria, Oinarrizko Agertokiaren eta %1.06ko urteko hazkundearen arabera	Oinarrizko Agertokia
AHT salgaien eskaria	Salgaien eskaria ADIF (2015b) txostenetan oinarritua		%50	Eskaria, Oinarrizko Agertokiaren eta %4.36ko urteko hazkundearen arabera, hala ere, 2040. urtera arte ez da martxan jartzen.	Ez	Oinarrizko Agertokia	Eskaria, Oinarrizko Agertokiaren eta %4.36ko urteko hazkundearen arabera, hala ere, 2040. urtera arte ez da martxan jartzen.	Ez
Beste moduetatik desplazatutako garraioa	Beste modu batzuetatik AHTrantz desplazatutako garraioa ADIF 2015 oinarrituta							
Auto partikularren okupazio-tasa	1.68p/v; Espainiako batez besteko okupazio-tasa 2014an (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2018)	3.36p/v; Okupazio-tasa bikoiztu egiten da erreferentziako egoerarekin alderatuta.	1.68p/v; Espainiako batez besteko okupazio-tasa 2014an (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2018)					
Auto propulzioa	%66 kotxe diesela eta %44 gasolina, DGT (2018) estatistika Ibilgailuen ezaugarriak Ecoinvent v3.7 datozanak. Kotxe diesela: garraioa, bidaiari kotxea, tamaina ertaina, diesela, EURO 5 (RER) Kotxe gasolina: garraioa, bidaiari kotxea, tamaina ertaina, gasolina, EURO 5 (RER)					Ibilgailua: garraioa, bidaiari kotxea, elektrikoa (GLO) Ecoinvent v3.7 aplikazioan zehaztutako ezaugarri elektrikoak Elektrizitate berriztagarriko propulzio elektrikoa Erregai fosilekin eta nuklearrarekin sortutako elektrizitatea nahasketatik ezabatuta		
AHT operazioa	Ecoinvent v3.7 zehaztutakoa garraioa, bidaiariaren tren, abiadura handia (ALE); elektrizitatea: elektrizitate merkatua, tentsio handia (ES)					Besteetan bezala, abiadura handiko trenen eta ohiko trenen elektrizitatea izan ezik, horietan erregai fosilen eta nuklearren hornidura ezabatu egiten baita nahasketatik.		
Beste moduen ezaugarriak (hegazkina, autobusa, tren)	Ecoinvent v3.7 aplikazioan hurrengo garraio moduetarako zehaztutako ibilgailuen ezaugarriak: Hegazkina: garraioa, bidaiariak, aireontzia, oso distantzia laburreko hegaldia (GLO) Autobusa: garraioa, bidaiari autobusa (CH) Tren arrunta: garraioa, bidaiari tren (ALE) ; elektrizitatea: elektrizitate merkatua, tentsio handia (ES) Ferry, Kamioia, salgaien tren							

5.5 Euskal Y-aren analisiaren emaitzak

Atal honetan, erreferentziazko agertokirako modelizazioaren emaitzak, baita sentzibilitatea aztertzeke proposatutako zazpi agertoki alternatibo bakoitzeko emaitzak ere aurkezten dira. Erabilitako datu guztiak eta modelizazio osoa hurrengo artikulu akademiko batean (Kortazar *et al.*, prozesuan) eta berari lotutako Data in Brief batean eskuragarri egongo dira (Kortazar *et al.*, prozesuan).

5.5.1 Oinarrizko Agertokiaren emaitzak

Euskadiko orografia menditsuak eragin kritikoa du AHT azpiegituraren eraikuntzari buruzko ingurumen-azterketa baten emaitzetan. Trazaduraren zatirik handiena tuneletatik (%55) eta bidezubien gainetik (%13) igarotzen da, eta %31 baino ez dago aire zabalean eraikita. Eraikuntza-parametro horiek proiektu hau Europan teknikoki konplexuena den garraio-azpiegituretako bat bihurtzen dute.

5.5 Taula, aztertutako kategoria bakoitzeko, Euskal Y-aren azpiegitura eraikitzeko eta mantentzeko faseei lotutako ingurumen-inpaktuen emaitzak jasotzen ditu. Emaitza horiek abiadura handiko lineako kilometro bakoitzeko urteko tonatan neurtzen dira. CO₂ isuriak (224.8 t km⁻¹ urte⁻¹) Tuchschild *et al.*-ek (2011) herrialde batzuetako sare konbentzionaletarako eskainitako balio maximoa baino askoz altuagoak dira (38.8-71 t km⁻¹ urte⁻¹) baina Baron *et al.*-ek (2011) abiadura handiko sare batzuetarako emandako tartearen balio maximoa baino baxuagoa (79-270 t km⁻¹ urte⁻¹). Beraz, Euskal Y-a eraikitzeko eta mantentzeko faseen ingurumen-inpaktuak altuak dira eta garraio-eskaera handia beharko dute zama horiek konpentsatu ahal izateko.

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologikoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

5.5 Taula. Eushal Y lineaho eraihitzearehin eta mantentzearehin lotutaho urteho ingurumen-inahtua.

	CO ₂	CEO	PMIO	SO ₂	NO _x	NMVOC
	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	TJeq·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹	t·km ⁻¹ ·urte ⁻¹
Euskal V	224.79	2.37	0.23	0.35	0.60	0.10

Eraikuntza eta mantentze-faseen hasierako emaitzak kontuan hartuta, 5.6 Taula Oinarrizko Agertokirako ingurumen inpaktuaren urteko balantze garbiaren emaitzak erakusten dira.

5.6 Taula. Eushal Y-ah Oinarrizko Agertohian duen ingurumen-inahtuaren balantze netoa.

Oinarrizko Agertokia	Berotze Globala	CEO	PMIO	SO ₂	NO _x	NMVOC
	kt-CO ₂ eq·urte ⁻¹	TJ·urte ⁻¹	t·urte ⁻¹	t·urte ⁻¹	t·urte ⁻¹	t·urte ⁻¹
Azpiegituraren eraikuntza eta mantentzea	42.47	447.09	43.46	66.87	113.29	18.27
AHT bidaiarien operazioa	19.33	505.21	19.93	90.14	60.62	3.72
AHT salgaien operazioa	42.75	976.71	44.53	172.40	181.13	17.44
AHT-ra desplazatutako bidaiarien garraioa	-67.32	-1086.63	-41.34	-125.22	-222.39	-56.17
AHT-ra desplazatutako salgaien garraioa	-225.49	-3728.26	-159.54	-315.29	-351.50	-177.30
Inpaktu Netoa	-188.26	-2885.87	-92.97	-111.10	-218.85	-194.04
Kompentsaziorako beharrezko urteak	11.04	8.05	19.11	22.54	20.47	5.16

Ikus daitekeenez, agertoki honetan, Euskal Y-aren ingurumen-balantze garbia adierazle guztientzat negatiboa da. Horrek esan nahi du linearen eraikuntzarekin, mantentzearekin eta operazioarekin lotutako ingurumen-zamak beste garraibide batzuetatik AHTra desplazatutako garraioarengatik saihestutako zamekin kompentsatzen direla. Berotze globalaren adierazleak, CO₂eq isurketa terminoetan neurtuta, -188 kt urteko balantze garbia du, eta CED energiaren adierazleak -2886 TJ urteko balantze garbia du. Ingurumenaren ikuspegitik, emaitza horiek onuragarriak dira; baina, zenbat?

Eraitza horiek hobeto ulertzeko, eta LCA metodologia denbora-muga batean oinarritzen denez, §.7 Taula AHTaren azpiegitura eraikitzeari eta mantentzeari lotutako ingurumen-inpaktuak, aukeratutako adierazle bakoitzean konpentsatzeko beharrezko izango diren linearen operazio urteak aurkezten dira. Horrek, halaber, eraitza hauek Pariseko Akordioan eta Europar Batasunean (European Commission, 2018) ezarritako energia aurrezteari eta isuriak murrizteari lotutako ingurumen-helburu eta epeekin alderatzeko aukera ematen du. Azpiegitura eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako inpaktu gehienak linea martxan jarri aurretik gertatzen dira. Beraz, abiadura handiko edozein linea berri ingurumen-defizitarekin hasiko da eta zenbait urteko operazioaren ondoren konpentsatuko da, hori bai, operazio fasearen inpaktuak beste garraio bide batzuetan saihestutako inpaktuak baino txikiagoak badira. Bestela, konpentsazioa ez litzateke gertatuko proiektuaren bizitza baliagarrian eta ingurumen-eraitza garbia kaltegarria izango litzateke.

Oinarritzko Agertokian, berotegi-efektuko gasen isurketek 11 urteko operazioa beharko lukete hasierako ingurumen-zamak konpentsatzeko; metatutako energia-kontsumoak, CED-ek, 10 urte baino gutxiago; NMVOC isuriak, 5 urte; eta PM10, NOx eta SO2 isuriek, 19 eta 23 urte artean. Horiek eraitza onuragarritzat har litezke; hala ere, kontuan hartu behar da salgaien garraio-eskariak garrantzi kritikoa duela eraitza horietan. Adierazle bakoitzean konpentsazioa gertatzen da, batez ere, beste modu kutsagarriagoetatik (batez ere, errepide bidezko salgaien garraioa) AHTra desplazatutako eskaria oso altua delako. Adibidez, berotegi-efektuko gasen emisioak murrizteari dagokionez, ingurumen-onuren %90 salgaien garraioa desbideratzearen ondorio dira.

5.5.2 Sentsibilitate-analisiaren emaitzak

5.7 Taula-k sentsibilitate-analisi gisa planteatutako agertokiaren balantzeak erakusten dira, eraikuntza eta mantentze-faseen hasierako zamak konpentsatzeko behar diren operazio-urteen bidez kuantifikatuta.

5.7 Taula. *Planteatutako agertoki guztien emaitzak, eraikuntza eta mantentze-faseen hasierako zamak konpentsatzeko behar diren operazio-urteen kopurua bezala aurkeztuta. (N.C: No Compensation in 100 years).*

Euskal V	Berotze Globala	CED	PM10	SO ₂	NO _x	NMVOC
	urteak	urteak	urteak	urteak	urteak	urteak
Oinarrizko Agertokia	11	8	19	22	20	5
Agertokia E1	12	9	21	30	25	6
Agertokia E2	22	16	38	45	41	10
Agertoki dinamikoa E3	23	21	29	31	26	17
Agertokia E4	53	46	N.C	N.C	42	21
Agertokia E5	11	7	17	13	19	6
Agertoki dinamikoa E6	24	21	27	24	27	19
Agertokia E7	N.C	74	N.C	72	58	41

Ibilgailu partikularren okupazio-tasaren igoerak (E1) apur bat okertzen ditu Oinarrizko Agertokiaren emaitzak, eta berotegi-efektuko gasen emisioei dagokienez, 12 urteko operazioa beharko lirateke onurak lortu aurretik. Energia-kontsumoari (CED), PM10, SO₂, NO_x eta NMVOC adierazleei dagokienez, 9, 21, 30, 25 eta 6 urteko operazioa beharko zen, hurrenez hurren (ikus **5.8 Taula**). Bidaiariak eta salgaiak garraiatzeko eskariaren etorkizuneko proiektzioak betetzen ez badira, eta eskariak %50 txikiagoak badira (E2), hasierako ingurumen-zamak konpentsatzeko behar diren urteak bikoiztu egiten dira adierazle guztietan (ikus **5.9 Taula**).

5.8 Taula. Eushal Ya E1 agertohian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa.

E1 agertokia	Berotze Globala kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	CED TJ-urte ⁻¹	PM10 t-urte ⁻¹	SO ₂ t-urte ⁻¹	NOx t-urte ⁻¹	NMVOC t-urte ⁻¹
Azpiegituraren eraikuntza eta mantentzea	42.47	447.09	43.46	66.87	113.29	18.27
AHT bidaiariaren operazioa	19.33	505.21	19.93	90.14	60.62	3.72
AHT salgaiaren operazioa	42.75	976.71	44.53	172.40	181.13	17.44
AHT-ra desplazatutako bidaiariaren garraioa	-41.60	-693.97	-26.42	-82.06	-158.90	-33.41
AHT-ra desplazatutako salgaiaren garraioa	-225.49	-3728.26	-159.54	-315.29	-351.50	-177.29
Inpaktu Netoa	-162.54	-2493.22	-78.04	-67.94	-155.36	-171.27
Konpentsaziorako beharrezko urteak	12.43	9.12	21.46	29.76	25.30	5.78

5.9 Taula. Eushal Ya E2 agertohian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa.

E2 agertokia	Berotze Globala kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	CED TJ-urte ⁻¹	PM10 t-urte ⁻¹	SO ₂ t-urte ⁻¹	NOx t-urte ⁻¹	NMVOC t-urte ⁻¹
Azpiegituraren eraikuntza eta mantentzea	42.47	447.09	43.46	66.87	113.29	18.27
AHT bidaiariaren operazioa	9.67	252.61	9.96	45.07	30.31	1.86
AHT salgaiaren operazioa	21.37	488.36	22.26	86.20	90.56	8.72
AHT-ra desplazatutako bidaiariaren garraioa	-33.66	-543.31	-20.67	-62.61	-111.20	-28.09
AHT-ra desplazatutako salgaiaren garraioa	-112.74	-1864.13	-79.77	-157.64	-175.75	-88.65
Inpaktu Netoa	-72.89	-1219.39	-24.75	-22.12	-52.78	-87.88
Konpentsaziorako beharrezko urteak	22.09	16.10	38.23	45.09	40.93	10.33

Proiektuari buruzko informaziorik berriena kontuan hartuz gero, 2040 baino lehen salgaiaren garraioa espero ez bada (E3) (ikus 5.2 Irudia), emaitzak aurreko agertokiaren antzekoak dira: berotegi-efektuko gasen isurketek 23 urte beharko lituzkete (2047 urtea) konpentsatzeko, eta energia-kontsumoak (CED), PM10, SO₂, NOx eta NMVOC adierazleek, berriz, 21, 29, 31, 26 eta 17 urteko operazioa beharko lukete, hurrenez hurren (ikus 5.10 Taula eta 5.3-5.5 Irudia-k). Emaitzetan ikus daitekeenez, ingurumen-onura handiena, kasu honetan, kamioitik AHTra salgaiak desplazatzeak ekarriko luke.

5.10 Taula. Ingurumen-inahtuaren urteho batez besteho balantze garbia, bizi-zihlo osoan metatutaho balantzea eta E3 agertohi dinamihoan Eushal Ya eraihitzeho ingurumen-hargah honpentsatzeho beharrezhoah diren urteah.

Agertoki Dinamikoa E3	Berotze Globala kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	CED TJ-urte ⁻¹	PMIO t-urte ⁻¹	SO ₂ t-urte ⁻¹	NO _x t-urte ⁻¹	NMVOC t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	42.5	447.1	43.5	66.9	113.3	18.3
AHT bidaiarien operazioa	26.8	701.1	27.7	125.1	84.1	5.2
AHT salgaien operazioa	45.4	1036.9	47.3	183.0	192.3	18.5
Hegazkinetik desplazatutako garraioa	5.9	88.5	1.5	8.0	26.5	3.5
Autobusetik desplazatutako garraioa	4.0	66.5	2.6	4.5	38.0	4.2
Auto partikularretik desplazatutako garraioa	71.4	1089.8	41.4	119.8	176.2	63.2
Bidaiarien trenetik desplazatutako garraioa	12.2	263.2	11.9	41.5	68.0	7.1
Salgaien itsasontzitik desplazatutako garraioa	0.8	11.6	1.0	11.0	17.3	1.2
Kamioitik desplazatutako garraioa	234.0	3842.7	163.7	305.4	336.6	185.2
Salgaien trenetik desplazatutako garraioa	4.5	103.7	4.7	18.3	19.2	1.9
Urteko batez besteko balantze netoa	-218.1	-3280.9	-108.4	-133.5	-292.1	-224.2
60 urtetan metatutako totala	-13087.5	-196852.4	43.5	66.9	113.3	18.3
Konpentsazio urtea	204.7	2045	2053	2055	2050	2041

Azkenik, Euskal Y-tik salgairik garraiatuko ez balitz eta bidaiariak garraiatuko balira soilik (E4), emaitzek adierazle guztietan nabarmen egingo lukete okerrera (ikus 5.11 Taula): 40 urte baino gehiago igaro beharko lirateke eraikuntzako eta mantentze-lanetako hasierako zamak konpentsatzeko ingurumen-adierazle guztietan, NMVOC-etan izan ezik (21 urte). Bi adierazlek, zehazki PMIO eta SO₂, ez lituzkete konpentsatuko hasierako ingurumen-zama horiek azpiegiturearen balio-bizitza osoan. Emaitza horiek oso sentikorak direla salgaien garraio-eskariarekiko garrantzitsua da adieraztea eta sarritan adierazi izan dela bidaiarien garraio-eskariaren etorkizuneko proiektzioak nabarmen gainbalioetsita egon daitezkeela (ikus, adibidez, Flyvbjerg, 2007).

5.11 Taula. Eushal Y-a E4 agertohian duen ingurumen-inpaktuaren balantze netoa.

E4 agertokia	Berotze Globala	CEO	PMIO	SO _x	NO _x	NM VOC
	kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	TJ-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	42.47	447.09	43.46	66.87	113.29	18.27
AHT bidaiarien operazioa	19.33	505.21	19.93	90.14	60.62	3.72
AHT salgaien operazioa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AHT-ra desplazatutako bidaiarien garraioa	-67.32	-1086.63	-41.34	-125.22	-222.39	-56.18
AHT-ra desplazatutako salgaien garraioa	0	0	0	0	0	0
Inpaktu Netoa	-5.52	-134.33	22.04	31.78	-48.48	-34.19
Konpentsaziorako beharrezko urteak	53.10	46.14	121.76	114.36	42.02	20.90

Azkenik, E1, E3 eta E4 hasierako agertokiak etorkizuneko baldintza posibletara egokitzen dira, hau da, mugikortasun elektrikoagoa eta testuinguru deskarbonizatuagoa aztertzen da; zehazki, ibilgailu pribatu guztiak elektrikoak izatea eta elektrizitatearen ekoizpena %100 jatorri berriztagarria izatea (E5, E6 eta E7). Baldintza horietan, ibilgailu partikularreko garraioaren elektrifikazio deskarbonizatuak nabarmen murriztuko lituzke ibilgailu horien ingurumen-zamak, eta, beraz, bidaiariak errepidetik AHTra desplazatzearen onurak ere murriztuko lituzke. Ingurumen-onura horiek are txikiagoak dira ibilgailu elektrikoek iturri berriztagarrietako elektrizitatearekin jarduten badute. Hala ere, E5 agertokiko ingurumen-inpaktuaren adierazle guztietako emaitzak (ikus 5.12 Taula) hobetu egiten dira erreferentziako agertokiarekin alderatuta; izan ere, AHT ere garraio modu elektrikoa denez, elektrizitate-ekoizpenaren jatorri berriztagarriaren onura ere jasotzen du.

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

5.12 Taula. Eushal Y-a ES agertohian duen ingurumen-inpahtuaren balantze netoa.

ES agertokia	Berotze Globala kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	CED TJ-urte ⁻¹	PMIO t-urte ⁻¹	SO ₂ t-urte ⁻¹	N _x t-urte ⁻¹	NMVOC t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	42.47	447.09	43.46	66.87	113.29	18.27
AHT bidaiarien operazioa	3.77	251.52	9.66	11.32	11.52	2.30
AHT salgaien operazioa	17.27	0.56	27.72	46.35	100.79	15.11
AHT-ra desplazatutako bidaiarien garraioa	-26.92	-613.42	-35.81	-66.82	-128.89	-29.29
AHT-ra desplazatutako salgaien garraioa	-222.94	-3686.76	-157.86	-302.68	-343.46	-177.06
Inpaktu Netoa	-186.35	-3601.01	-112.81	-244.96	-246.75	-170.66
Konpentsaziorako beharrezko urteak	11.14	6.63	16.69	12.87	18.88	5.80

Hala ere, emaitzek okerrera egiten dute berriro salgaien garraioa beranduago basten denean (E6) (ikus 5.13 Taula eta 5.3 Irudia-5.5 Irudia-k) edo existitzen ez denean (E7) (ikus 5.14 Taula). Azken kasu horretan, NO_x eta NMVOC adierazleek soilik lortuko lukete azpiegiturearen bizitza baliagarriaren barruan (58 eta 41 urte, hurrenez hurren) eraikuntzako eta mantentze-lanetako hasierako ingurumen-zamak konpentsatzea; gainerako adierazleek ez lukete lortuko.

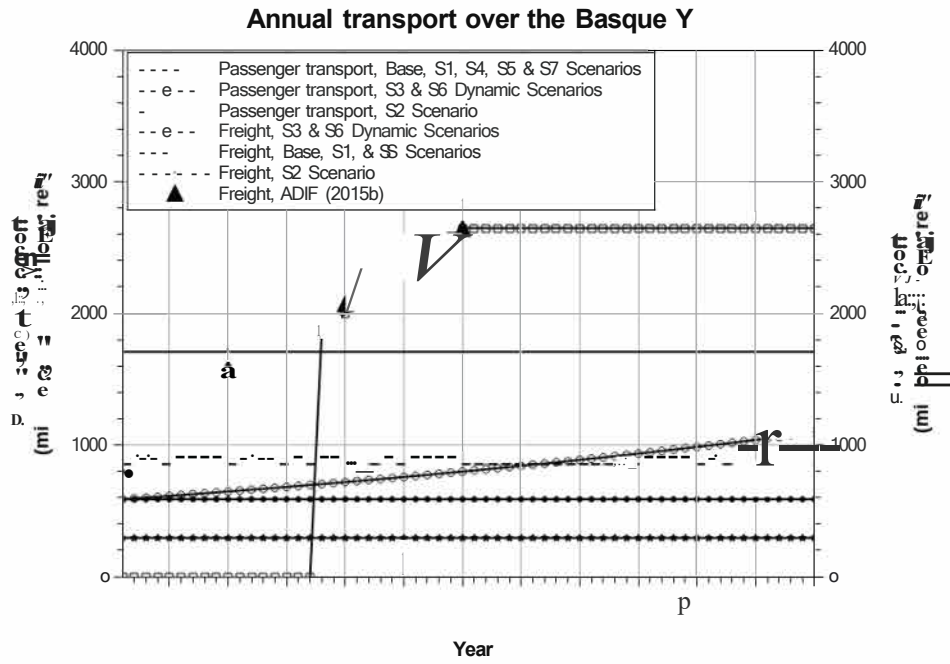
V. Rapitulua. Eushal Y-aren analisia

5.13 Taula. Ingurumen-inpahtuaren urteho batez besteko balantze garbia, bizi-zihlo osoan metatutako balantzea eta E6 agertoki dinamihoan Eushal Y-a eraihitzeho ingurumen-hargah honpentsatzeho beharrezhoah diren urteah.

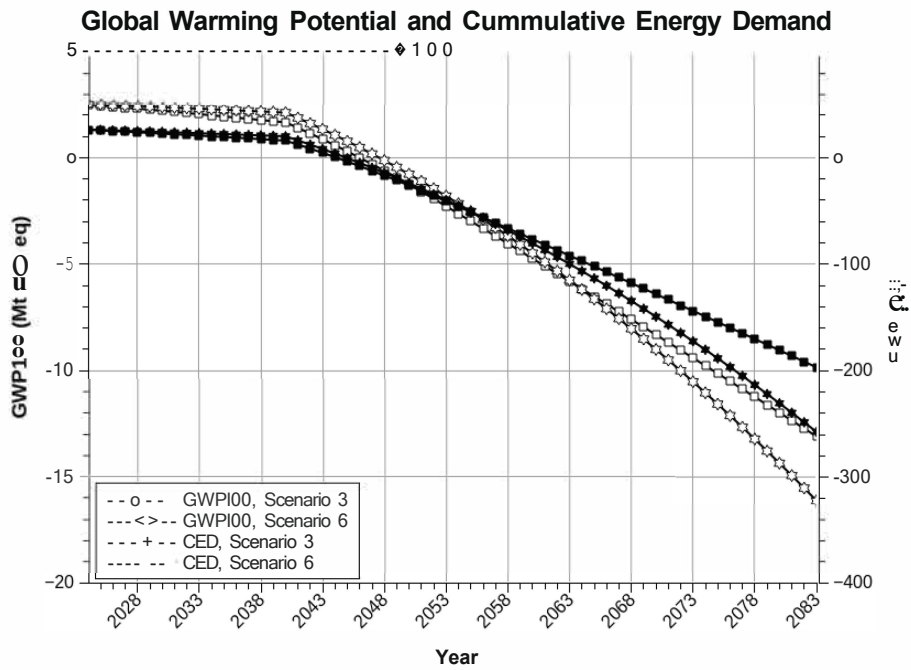
Agertoki Dinamikoia E6	Berotze Globala	CED	PM10	SO _x	NO _x	NMVOC
	kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	TJ-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	425	447.1	435	669	1133	183
AHT bidaiarien operazioa	52	349.0	134	15.7	160	32
AHT salgaien operazioa	234	761.5	37.6	62.8	136.6	20.5
Hegazkinetik desplazatutako garraioa	59	88.5	15	8.0	26.5	3.5
Autobusetik desplazatutako garraioa	4.0	66.5	2.6	4.5	38.0	4.2
Auto partikularretik desplazatutako garraioa	214	533.0	37.8	68.3	66.6	26.4
Bidaiarien trenetik desplazatutako garraioa	6.0	163.3	7.8	12.0	47.9	6.5
Salgaien itsasontzitik desplazatutako garraioa	1.1	14.8	1.3	14.1	22.1	1.5
Kamioitik desplazatutako garraioa	298.8	4907.1	209.0	390.0	429.8	236.5
Salgaien trenetik desplazatutako garraioa	2.3	76.1	3.8	6.3	13.7	2.0
Urteko batez besteko balantze netoa	-268.5	-4291.7	-169.2	-357.7	-378.6	-238.7
60 urtetan metatutako totala	-16108.8	-257502.7	-10154.4	-21459.3	-22714.4	-14324.0
Konpentsazio urtea	2048	2045	2051	2048	2051	2043

5.14: Taula. Eushal Y-a E7 agertohian duen ingurumen-inpahtuaren balantze netoa.

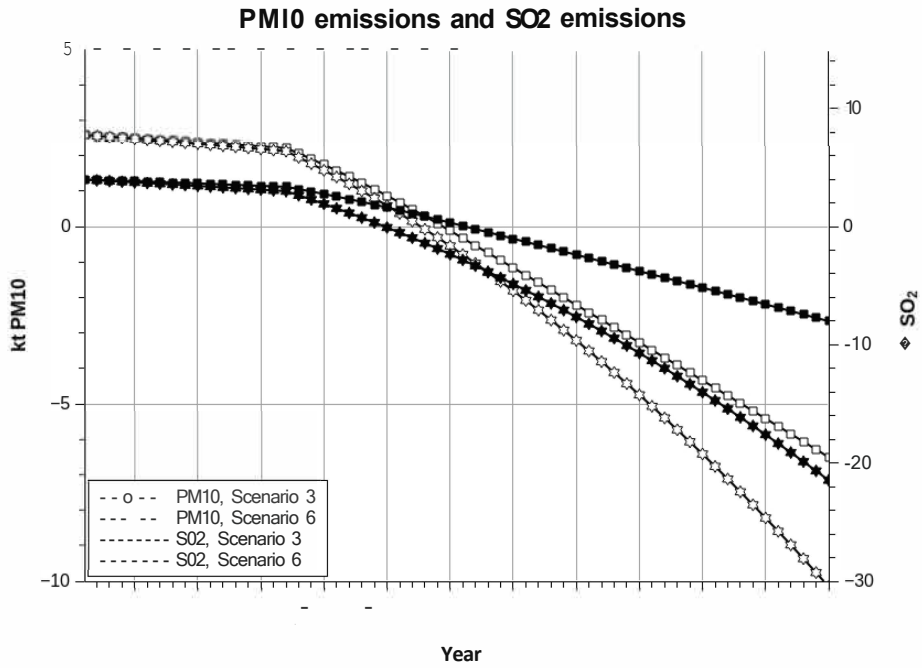
E7 agertokia	Berotze Globala	CED	PM10	SO _x	NO _x	NMVOC
	kt-CO ₂ eq-urte ⁻¹	TJ-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹
Azpiegiturearen eraikuntza eta mantentzea	42.47	447.09	43.46	66.87	113.29	18.27
AHT bidaiarien operazioa	3.77	251.52	9.66	11.32	11.52	2.30
AHT salgaien operazioa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AHT-ra desplazatutako bidaiarien garraioa	-26.92	-613.42	-35.81	-66.82	-128.89	-29.29
AHT-ra desplazatutako salgaien garraioa	0	0	0	0	0	0
Inpaktu netoa	19.32	85.18	17.31	11.36	-4.08	-8.72
Konpentsaziorako beharrezko urteak	110.06	74.12	99.72	72.28	57.91	40.61



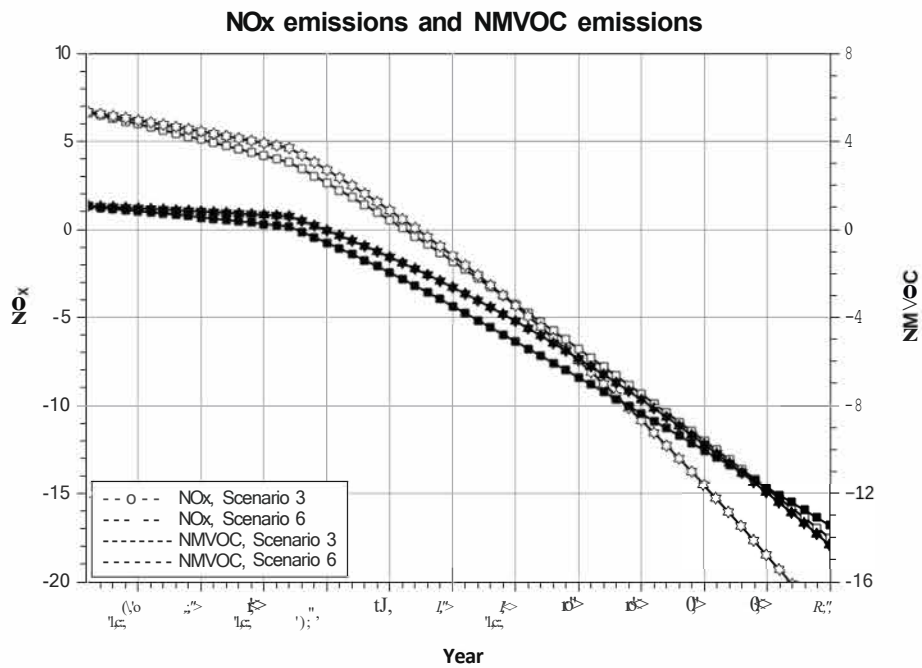
5.2 Irudia. Eushal Y-ho bidaiarien eta salgaien urteho garraioaren bilahaera agertohi bahoitzean.



5.3 Irudia. Berotze globalaren (GWPI00) eta energia metatuaren eshaeraren (CED) adierazleen urteho balantzeen bilahaera.



5.4 Irudia. PM10 eta SO₂ emisioen adierazleen urteho balantzeen bilahaera.



5.5 Irudia. NO_x eta NMVOC emisioen adierazleen urteho balantzeen bilahaera.

Eraitza horiei esker, argi eta garbi ondoriozta daiteke Euskal Y-aren martxan jartzeak ekar ditzakeen ingurumen-onurak, kritikoki, errepidetik AHTra masiboki desplazatutako salgai-garraioaren mende daudela. Proiektua, azkenean, bidaiarien garraiora soilik bideratuko balitz, AVEren sare osoarekin gertatzen den bezala, Euskal Y-aren ekarpena, ingurumenari dagokionez, kaltegarria izango litzateke; izan ere, emisioak eta energia-kontsumoa handituko lirateke, eta ez lirateke inoiz konpentsatuko eraikuntzarekin eta operazioarekin lotutako ingurumen-zamak. Gai hau sakonago aztertzen da Eztabaida kapituluan (VI. kapitulua).

VI. KAPITULUA.
EZTABAIDA

6 Eztabaida

Aurreko ataletan lortutako emaitzei esker, ondorio garrantzitsu batzuk atera daitezke. Lehenik eta behin, AVE sarearen bizi-zikloaren amaieran ingurumen-balantze garbian eragin handiena duen faktorea, argi eta garbi, garraio-dentsitatea da, eta, emaitza hori onuragarria izan dadin, eskari hori beste garraibide kutsagarriagoetatik (airekoa edo errepidekoa) AHT-ra desplazatzearen ondorio izan behar da, eta eragindako eskari berria limite batzuen azpitik egon ere. AVEaren eskaria bikoiztuko balitz (desplazatutako eta eskari berrien ehunekoak konstante mantenduz) proiektuaren ingurumen-emaitzak proportzio berean hobetuko lirateke. Autoen okupazio-tasak, errepideko garraioaren elektrifikazioak eta elektrizitatearen ekoizpenak ere eragin nabarmena dute sarearen ingurumen-balantzean.

Hala, beste azterlan batzuen ondorioekin bat etorriz (adibidez, Albalate eta Bel, 2011; Betancor eta Llobet, 2015; De Rus, 2011), AVE sarearen bidaiarien eskaera txikiak ingurumen-errendimendua nabarmen kaltetzen du. 2016an, AVE sareak 4.17 milioi bidaiari soilik garraiatu zituen azpiegitura osotik (4.75 milioi bidaiari RAILISA-ren arabera); munduan beste sare batzuek jasaten duten garraio-dentsitatea baino nabarmen txikiagoa da, **6.1 Taula**-n ikus daitekeen bezala. Gainera, garraio-eskariaren emaitza horiek AIReF-ek (2020) Espainiako garraio-azpiegiturei buruzko ebaluazioan aurkeztutakoen antzekoak dira. AVE sareari buruzko azterketa sakon horretan, garraio-dentsitatearen emaitza 5.43 milioi bidaiarikoa da azpiegitura osoaren gainean, baina, kasu horretan, 2017 urterako eta 2852 km trenbide operatiboaren gainean delako.

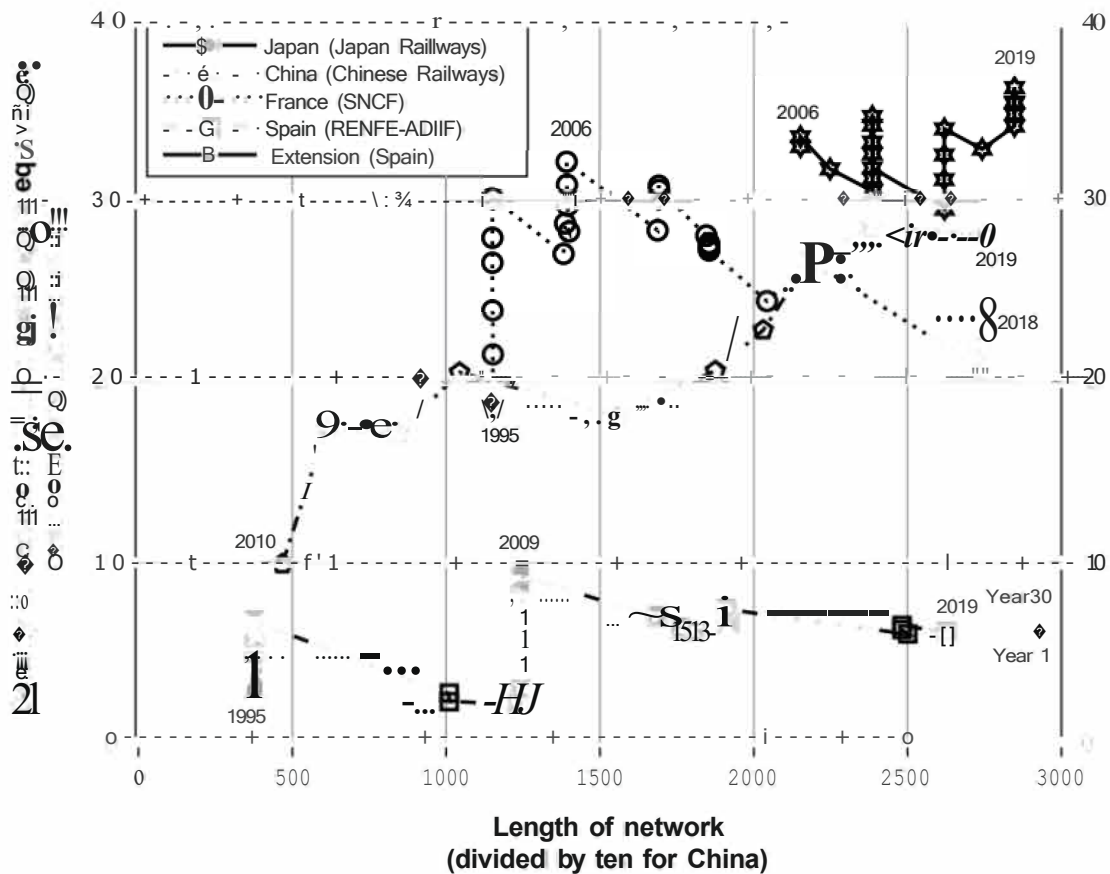
Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihoari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

6.1 Taula. 2016an AHTaren sare nazionaletan bidaiarien garraio-dentsitatea. UIC (2016) estatistihetatih abiatuta egina (RAILISA).

Sarea	Urtea	Sarearen hedadura, Abiadura maximoa 160 eta 250 km/h (km)	Sarearen hedadura, Abiadura maximoa >250 km/h (km)	Garraioa (Mpkm)	Garraioaren batez besteko dentsitatea (azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideak) (Mp)
Euskal Y	2020	188	188	587	3.1
AVE Espainia	2016	669	2503	15059	4.75
Frantzia	2015	0	2043	49980	24.46
Alemania	2016	1511	994	27213	10.86
Italia	2012	2767	653	12794	3.74
Txina	2017	12276	20305	577635	17.73
Japonia (CJRC)	2017	0	553	54756	99.02
Japonia (EJR)	2017	0	1194	23371	19.57
Japonia (WJRC)	2017	0	813	21023	25.87
Taiwan (THSRC)	2016	0	350	10488	29.97

Bigarrenik, AVE sarearen LCAREN emaitza sendoak Rataluniako eta Andaluziako abiadura handiko korridoreen operazioak CO₂eq isurien adierazlean ingurumen-onura garbia eragin dutela baieztatzen dute, bederatzi eta hamabi urteko operazioaren ondoren, hurrenez hurren. Hala ere, sarea garraio eskari txikiagoa duten korridoreetara hedatzen den heinean emaitzak okertu egiten direla ere erakusten dute {Levanteko eta Iparraldeko korridoreak). Emaitza horiek ere bat datoz garraio-ekonomiari buruzko literaturarekin (ikus, adibidez, Albalade and Bel, 2011). Abiadura handiko azpiegituretako garraio-eskariak dentsitate demografiko handiena duten lurraldeko gunek konektatu ondoren eta beraz, garraioa eskariaren gailurra igarota, errendimenduak beherako joera du. Hala, 6.1 Irudia UIC-k (2021) emandako datuetatik abiatuta Txina, Japonia, Frantzia eta Espainiako abiadura handiko sareek izan duten hedapen geografiko progresiboaren araberrako garraio-dentsitatearen bilakaera jasotzen da (azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideetan neurtuta, ikus 12 oharra). Japonian, herrialdeko linea guztiak batuta, garraio-dentsitatea 30 Mp-tik gora mantentzen da; Txinan, berriz, maila hori lortzen ari da

baina ez dirudi oraindik garraio-dentsitatearen puntu maximoa gainditu denik. Frantzian, 2006an 30 milioi bidaiari baino gehiagoko garraio-dentsitatea jasan ondoren, gaur egun 20 milioi inguru ditu. Espainian, Madril eta Bartzelonaren arteko linea 2008an inauguratu zenean, garraio dentsitate handieneko puntura iritsi zen, azpiegitura osoan ia 10 milioi bidaiari baliokide zituela. Gaur egun, eta AVE sarea dentsitate demografiko txikiagoko eremuetara hedatu ondoren, garraio-dentsitatea azpiegitura osotik 6 milioi bidaiari baliokide (Fundación de los ferrocarriles españoles eta UIC, 2020) eskasera jaitسي da, eta begi-bistakoa dirudi zati berriak inauguratu ahala garraio-dentsitateak behera egiten jarraituko duela. Beraz, Frantzian eta Espainian ez da espero beren abiadura handiko proiektuen hedapen gehiagok sareen garraio-dentsitatea handituko dutenik.



6.1 Irudia. *Abiadura handiaren garraio-dentsitatea Espainian, Frantzian, Japonian eta Txinan. Fundación de los Ferrocarriles Españoles eta UIC (2020) estatistiketatik abiatuta egina. Garraio-dentsitatea azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideetan ematen da (ikus 12 oharra).*

Hirugarrenik, AVE sarea bidaiarien garraiorako soilik diseinatuta egoteak ingurumen-errendimendua ere kaltetzen du, izan ere, horrek eragozten du errepideko salgaien garraio potentzialki kutsakorragoa AHT-ra ezin desplazatzea. Akermanek argudiatzen duenez {2011, 208. or.}, "baliteke abiadura handiko trenean egindako inbertsioak bidaiarien merkatuetarako bakarrik justifikatuta ez egotea". Hala ere, abiadura handiko trenak, kasu batzuetan, teknikoki eta ekonomikoki bateraezina izan litekeela salgaien garraioarekin kontuan hartu behar da (Asociación de Cargadores de España, 2020; Fundación Sustrai Erakuntza, 2019). Are gehiago, Parisko Akordioaren nazioarteko

ingurumen-konpromisoen testuinguruan (European Commission, 2016; UNFCCC, 2021), ingurumen-errendimendua termino absolutuetan ebaluatzeko bi galdera gehigarri egitea beharrezkoa da: lehenik eta behin, abiadura handiko sareen operazioaren ondorioz, urtero CO₂eq isuriak eta energia-kontsumoa hitzartutako helburuen mailan murrizten dituzte? Eta bigarrenik, nola alderatzen da balizko murrizketa hori bidaiarien garraioaren eskaria kudeatzeko beste estrategia alternatibo batzuekin?

Lehen galderari erantzunez, AVEaren operazioaren ondoriozko ingurumen-inpaktuaren murrizketa orokorrak oso mugatuak dira, txikiak ez badira. Espainiako garraio-sektoreak 2016an 85.9 Mt-ko CO₂eq isuri zuzenen guztizko bolumena izan zuen (European Environment Agency, 2016). AVE sareak Oinarrizko Agertokian -610.13 kt CO₂eq (4.15 Taula) urteko saldo netoa du, hau da, garraioari lotutako isurketen %1 baino gutxiago. Energia-kontsumoari dagokionez, metatutako energia-eskariaren saldo netoa -7031.03 TJ (0.17 milioi tep) da, Espainiako garraio-sektoreak 2016an kontsumitutako energia guztiaren %0.5 baino txikiagoa da (International Energy Agency, 2017). Hau da, ingurumen-krisi globalaren egungo testuinguruan eta GHG isuriak nabarmen murriztea eskatzen denean, AVE sareak, argi eta garbi, klima-aldaketa arintzeko eta energiarekiko mendekotasuna murrizteko duen gaitasuna ez da nahikoa. Errentagarritasunari dagokionez, kontuan hartu behar da azken 25 urteetan 50000 milioi euro baino gehiago inbertitu direla AVEen (Magariño, 2019).

Mugikortasun iraunkorraren ikuspegitik, azpiegitura berriak eraiki beharrik gabe garraio-sektorean ingurumen-inpaktuak are gehiago murriztu ditzaketen beste aukera batzuk daudela kontuan hartzea garrantzitsua da (Hoyos, 2009). Hori irudikatzeko, 6.2 Taula-n AVE sareko Rataluniako korridorearen ingurumen-inpaktuaren balantzea luzera bereko autobia-korridore bati (883 km) aplikatutako beste hiru agertokirekin alderatzen da. Sustapen eta Garraio Ministerioaren (Ministerio de Fomento, 2017) trafiko-estatistiken arabera, 2017an

Espainiako autobideetako (2550 km) eguneko batez besteko fluxua 16471 ibilgailukoa izan zen (ibilgailu astunak alde batera utzita), hau da, urteko 6.01 milioi ibilgailu arineko garraio-dentsitatea. Rataluniako abiadura handiko lineak urtean 303 kt-ko CO₂eq emisioak murriztea eragiten duen bitartean, luzera bereko ordainpeko autobide batean (883 km) eta Espainiako batez besteko zirkulazio-baldintzetan, ibilgailu arinen okupazioa bikoizteak 858.06 kt CO₂eq (AP 1 agertokia 6.2 Taula) urteko murrizketa ekarriko luke, Oinarrizko Agertokian baino hiru aldiz gehiago. Ibilgailu arin horiek elektrifikatuko balira, murrizketa 1218 kt CO₂eq-era (AP2) igoko litzateke, Oinarrizko Agertokian baino lau aldiz hobe; eta 1431 kt CO₂eq-era arte, Oinarrizko Agertokian baino bost aldiz hobe, ibilgailuak ere iturri berriztagarrietatik datorren elektrizitatearekin eta batez besteko okupazio bikoitzarekin badabilta (AP3).

6.2 Taula. AVE-aren Rataluniaho horridorearen Oinarrizko Agertohiho ingurumen-inpahtuaren balantzea, luzera bereho autobideho ohupazioaren bihoizheta (AP1), ibilgailuen elehtrifihazioa (AP2) eta ohupazioaren bihoizhetarehin eta elehtrizitate berriztagarriho ibilgailuen (AP3) agertohien alderaheta.

	Berotze Globala	CEO	PM10	SO _x	NO _x	NMVOC
Inpaktuaren Balantze Netoa	kt.CO ₂ eq-urte ⁻¹	TJ-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹
AVE Katalunia korridorea (Oinarrizko Agertokia)	-303	-3602	-12	-76	-1322	-320
AP1-ordainpeko autobidea, luzeera berdina, 883 km (6 milioi ibilgailu-urte ⁻¹ , okupazio bikoitza)	-858	-12924	-601	-1 586	-2132	-752
AP2- ordainpeko autobidea, luzeera berdina, 883 km (6 milioi ibilgailu-urte ⁻¹ , Auto elektrikoa, elek. berriztagarria)	-1218	-13336	-177	-426	-2709	-871
AP3- ordainpeko autobidea, luzeera berdina, 883 km (6 milioi ibilgailu-urte ⁻¹ , kotxe elektrikoa, elek. berriztagarria, okupazio bikoitza)	-1431	-19350	-684	-1718	-4287	-1114

Euskal Y-aren ingurumen-errendimenduari dagokionez, linea honen ingurumen-balantze netoaren emaitza onuragarria azalduko lukeen faktore nagusia kamioien salgai-trafikoaren zati handi bat AHTra desplazatzeko gaitasuna izango litzateke. Arazoa da, Euskal Y-ak salgaien eta bidaiarien garraio mistoa eskaintzeko eta, aldi berean,

errepideko garraioarekin lehiakorra izateko duen gaitasunari buruz zalantza handiak daudela: alde batetik, salgaien zein bidaiarien garraioa eskaintzen duten abiadura handiko azpiegiturei lotutako muga tekniko garrantzitsuak daude, eta, bestetik, AVE sare osoa eta Frantziarekiko lotura bidaiariak garraiatzeko bakarrik diseinatuta daude.

Lehen zailtasunei dagokienez, oso abiadura desberdinen trenen trafikoa koordinatzea teknikoki oso zaila da. Bidaiari-tren arin eta azkarrenek eta salgai-tren astun eta motelenek trenbide bera partekatuko lukete, eta horrek ordutegi eta kapazitate-gatazka eragin dezake (Troche, 2005). Salgaien AHTa gauzez operatuko balu, Alemanian bezala, azpiegitura horrek beharko lukeen mantentze lan handiak salgaien trafikorako eskuragarri <lauden ordutegiak murriztuko lituzke eta kostuak nabarmen handituko lituzke. Aldiz, salgaien zirkulazioa egunez programatuko balitz, baztergune asko instalatu beharko lirateke trenak bata besteari aurreratzeko. Bi aukerak bideragarriak dira, baina muga jakin bateraino bakarrik. Lan honetan erabilitako salgaien eskariari buruzko datuak, ADIF (2015b) azpiegitura-administratzaileak emandakoak eta erreferentziazko agertoki gisa balio dutenak, lehen operazio urtean 767 Mtkm-koak dira (30 urte ondoren 2646 Mtkm-koak izango lirateke) eta lau urte lehenago Eusko Jaurlaritzak (2012) aurkeztutako 361 Mtkm-ko eskariarekin alderatuta oso desberdinak dira. Garraio-eskaria proiektuaren edozein ebaluaziotarako (ingurumenekoa edo ekonomikoa) faktore kritikoa da, beraz, administrazio publiko baten datua bestearen bikoitza izatea egiaztatzea harrigarria da. Gainera, ikuspegi operatibotik begiratuta, ADIF-ek 2016an emandako datuek ez dirudite oso zentzuzkoak etorkizuneko egoerak planteatzean: guztira 767 Mtkm dira, eta horrek esan nahi du Euskal Y-ak lehenengo urtean 6.4 Mt salgai garraiatuko lituzkeela, hau da, Euskal Autonomia Erkidegoaren eta Frantziaren arteko mugatik igarotzen diren urteko merkantzia garraioaren ia %14 (47 Mt) (Secretaría General de Transporte, 2018). Kopuru horrek Euskal

Y-aren azpiegituratik egunean 40 merkantzia-tren inguru ibiliko liratekeela inplikatu luke (16-20 bagoiko merkantzia-trenak; bagoi bakoitzak 20-30 tona salgai garraiatzen ditu; tren bakoitzak 420-550 tona salgai garraiatzen ditu), hau da; batez beste merkantzia-tren bat 72 minutuero norabide bakoitzean (operazioko lehen urtean, 30 urte ondoren trafiko hori hirukoiztu egingo litzatekeelako). Ikuspegi operatibo batetik, horrek esan nahiko luke, norabide bakoitzeko 20 merkantzia-tren ingururen eguneroko zirkulazioa, gehi bidaiari-trenak, batez besteko abiadura desberdinetan eta mantentze-lan guztiekin batera harmonizatu behar dela. Merkantzia-tren bat ia orduro norabide bakoitzean, abiadura askoz motelagoan, bazterbideak erregularri erabiltzea eta mantentze-lanak mugatzea ekarriko luke, besteak beste.

Bigarren zalantza nagusiari dagokionez, AVE sare osoa (Figueres-Frantzia tartea izan ezik) bidaiarien garraiorako soilik diseinatuta dago. Figueres-etik abiatzen den tarte hori, AVEk Frantziarekin salgaien eta bidaiarien garraio mistorako diseinatu zen lehen konexioa da baina porrot komertziala izan da operazioaren hasieratik (El País, 2019). Euskal Y-a Espainiak Frantziako herrialdearekin izango duen beste abiadura handiko lotura izango da, baina kontuan izan behar da Frantzian salgaiak ez doazela abiadura handiko lineatik (hala aitortzen du INECO (2017) Sustapen Ministerioarentzat egindako Burgos-Gasteiz Abiadura Handiko Linearen Proiektuaren Informazio Azterlanak¹⁵), eta,

¹⁵ INECO aholkularitza-enpresak 2017an Sustapen Ministerioarentzat egindako Burgos-Gasteiz Abiadura Handiko linearen azterlanean (hemen eskuragarri: <https://www.mitma.gob.es/ferrocarriles/estudios-en-tramite/av-burgos-vitoria>), honako hau adierazten da:

Apéndice 1, Análisis Tráfico Mixto, Apartado 3. Análisis Funcional de la Línea, 17. orrialdea:

“La explotación de líneas con tráfico de mercancías y de viajeros en España, es decir con explotación mixta, es habitual en líneas de ancho 1.668 mm (por ejemplo, en el Corredor Mediterráneo). Sin embargo, en estas líneas, la experiencia española queda limitada a situaciones de cruce con velocidad máxima para el material de viajeros de 200/220 km/h y hasta 120 km/h para el material de mercancías.

La introducción de trenes de mercancías en la línea de alta velocidad tendría una serie de consecuencias a nivel funcional, motivada por la coexistencia de tráfico de prestaciones diferentes.

El cruce de trenes rápidos y lentos en sentidos opuestos puede provocar, por efectos aerodinámicos, el desplazamiento de cargas (e incluso vuelco de contenedores) en los trenes de mercancías, con los riesgos sobre la seguridad que ello supone. Es por ello que la velocidad máxima en las líneas de tráfico mixto está limitada para los trenes de viajeros. Dicha limitación varía en función del administrador

ferroviario; diferentes estudios realizados llegan a la conclusión de que las velocidades máximas deben situarse entre los 200 y los 250 km/h para el tráfico de viajeros, y en 120 km/h para el tráfico de mercancías.

En la actualidad no existen procedimientos técnicos ni funcionales que permitan regular el cruce de trenes de Alta Velocidad y mercancías. Por el momento se han establecido ciertas soluciones muy conservadoras como la prohibición del cruce de trenes de viajeros y mercancías, y en la reducción de la velocidad de los trenes de viajeros, lo que da como resultado una disminución de la capacidad y por tanto una en las ventajas derivadas de este tipo de explotación.

En la práctica, algunas administraciones ferroviarias han llegado a la conclusión de que bajo la disponibilidad de una línea convencional con un trazado paralelo al de la línea de alta velocidad, la capacidad óptima se consigue especializando cada una a un cierto tipo de tráfico; ese el caso por ejemplo de la SNCF. Otras administraciones han optado por la introducción de trenes de mercancías en periodo nocturno, de forma que no tengan que coexistir con los servicios de viajeros o que la interacción con éstos sea mínima.

Por otra parte, la circulación de vehículos con una carga por eje superior a la de los trenes de viajeros produce una degradación de la vía tal que genera unos costes de conservación que pueden llegar a ser prohibitivos. Además, la necesidad de adoptar un peralte intermedio por la presencia de tráfico mixto obligaría a adoptar un peralte intermedio motiva una pérdida de confort en los servicios de viajeros de altas prestaciones; una posible solución es el aumento del radio de las curvas, si bien se traduce en un importante incremento del coste de construcción de la línea.

En el caso español, la única línea de alta velocidad que es explotada actualmente en régimen de tráfico mixto, es la LAV Barcelona - Frontera francesa, la cual tiene limitada la velocidad de los servicios de viajeros a 200 km/h.”

Y en el apartado 5. Conclusiones, página 24, se recoge lo siguiente:

“Debido a la actual configuración de la línea férrea entre Valladolid y Burgos, que fue diseñada para tráfico exclusivo de viajeros y su trazado en alzado (con pendientes del 25 ‰) hace inviable la circulación de trenes de mercancías, diseñar la Línea de Alta Velocidad Burgos-Vitoria para tráfico mixto con el sobrecoste y problemas de explotación que ello conlleva, no se considera una opción a desarrollar.

Con la línea convencional Madrid-Hendaya de ancho ibérico con un trazado paralelo a la Línea de Alta Velocidad, lo más conveniente es la especialización de tráficos por líneas, lo cual redundará favorablemente, tanto en términos de prestación de los servicios de alta velocidad (tiempos de viaje) como de capacidad disponible. Por tanto, atendiendo a criterios operacionales, no se recomienda la introducción de tráficos de mercancías en la línea de alta velocidad.

Como solución a la futura circulación de trenes de mercancías de ancho estándar, se deberán analizar alternativas posibles como pueden ser, la implantación de tercer hilo en la actual línea Madrid-Irún/Hendaya, o bien la conversión de una de sus dos vías al ancho estándar. En el caso del tramo Burgos-Vitoria, dicha línea está constituida por 120 km de plataforma de vía doble en ancho ibérico y electrificada a 3 kV CC. La implantación de tercer hilo en ambas vías y la adaptación de la catenaria de todo el tramo se estima en 165 M€ (PBL sin IVA), frente a los 491 M€ de la adaptación de la nueva LAV.

En este sentido cabe la consideración de que la nueva LAV asumirá la mayor parte de los servicios de viajeros de Larga Distancia, mientras que la línea Madrid-Irún/Hendaya dispondrá de un mayor número de surcos libres a disposición de los trenes de mercancías de ambos anchos, además de la posibilidad mantener los servicios de viajeros en ancho ibérico de Media Distancia, situación que favorece la especialización de las líneas por tipologías de tráficos.

Centrando el análisis en los tráficos de mercancías desde Miranda de Ebro hacia Vitoria, hay que mencionar que los trenes con origen/destino Arasur no podrían incorporarse a la LAV Burgos- Vitoria, debido a que la pendiente del ramal de acceso desde la línea de Castejón es de 30 milésimas.

beraz, salgaiak Irun-Astigarraga (Donostiatik igaroz), hirugarren erreiarekin egokitutako linea konbentzionaletik sartuko lirateke eta ondoren abiadura handiko trenbidetik jarraituko lukete Gasteizeraino. Beste aukera Frantziak salgaien zirkulazioa abiadura handiko linean zehar egin arte itxarotea da. Hori linearen diseinu-baldintzen aurka joango litzateke, eta, gainera, Bordeletik Espainiara doan abiadura handiko konexioa amaitzea eskatuko luke. Herrialde horrek, ordea, gai honen inguruko edozein erabaki gutxienez 2037ra arte atzeratzea erabaki du (European Court of Auditors, 2020). Sare frantseseko garraio-dentsitateak sarea hedatu ahala azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideen kopuruak erakusten duen joera ikusita (ikus **6.1 Irudia**), sare hori handitze berrien errendimendu beherakorren fasean egongo litzateke, eta, beraz, ez litzateke pizgarri ekonomikorik izango hedatze horietarako. Linearen beste muturrean, Burgos-Vitoria/Gasteiz lotura bidaiarien garraio eskusiborako ere diseinatu da (Ministerio de Transportes, 2017). Baldintza horiekin, Frantzia eta Espainia arteko salgaien abiadura handiko garraio osoa Astigarraga eta Jundiz arteko Euskal Y-aren tartean baino ez litzateke mugituko. Nahiz eta aukera hori ezin den baztertu, askoz logikoagoa dirudi Frantziako mugatik Jundizerako igarobide osoa hirugarren erreiarekin egokitutako zabalera estandarreko linea konbentzionaletik egitea eta ez mugatik Astigarragara bakarrik -Sustapen Ministerioaren dokumentuak (2017) aukera hori aipatzen du jada (ikus 15. oharra)-. Beraz, Euskal Y-aren agertokirik arazoizkoenak E4 agertokia (Oinarrizko Agertokiko baldintza berberak, baina salgaien garraiorik gabe) eta E7 agertokia (ibilgailu partikular elektrikoa, elektrizitate %100 berriztagarria eta

En cualquier caso, la mejor alternativa para estos tráficos sería llegar hasta Vitoria por la línea Madrid-Irún/Hendaya, con la que ARASUR sí tendrá conexión directa. Algo similar ocurriría en la zona logística de Jundiz, con la cual la línea Madrid-Irún/Hendaya sí tiene conexión directa.

Si los trenes de mercancías circularan por la LAV Burgos-Vitoria, tendrían que cizallar con todos los tráficos, con el consiguiente perjuicio a la capacidad tanto de la línea Madrid-Irún/Hendaya como de la misma LAV.

Por último, cabe mencionar tanto la corta distancia entre Miranda de Ebro y Vitoria (apenas 20 km) y las buenas prestaciones que ofrece la actual línea Madrid-Irún/Hendaya, factores ambos que redundan en la idoneidad de encaminar todos los tráficos de mercancías a futuro por dicha línea (INECO, 2017).”

salgaien garraiorik gabea) lirateke. Euskal Y-tik bidaiariak bakarrik garraiatuz gero, proiektu honek ez luke lagunduko inguruko ingurumen-baldintzak hobetzen; aitzitik, nabarmen okertuko lituzke isuri atmosferikoei eta energia-kontsumoari buruzko datuak (6.3 Taula).

6.3 Taula. E4 eta E7 agertohien emaitzah (Eushal Y-a bidaiarien garraioarehin baharrih), eraihuntza eta mantentze-faseen hasieraho zamah honpentsatzeho beharrezhoah diren operazio-urteen hopuru gisa aurheztuuh.

Euskal Y-a	Berotze Globala urteak	CED urteak	PMIO urteak	SO2 urteak	N _u x urteak	NMVOG urteak
E4 agertokia	53	46	122	114	42	21
E7 agertokia	110	74	100	72	58	41

Gainera, beste analisi askoren aurkikuntzekin (adibidez, Albalate and Bel, 2011; Betancor and Llobet, 2015; De Rus, 2011) eta lan honetan aurkeztutako agertokiekin bat etorriz, Euskal Y linearako aurreikusitako bidaiarien eskari txikiak proiektuaren ingurumen-erantzuna nabarmen kaltetzen du. Funtzionamenduaren lehen urtean, eta eskaera baikorrenaren agertokian, Euskal Y-ak 3.1 milioi bidaiari baino ez lituzke garraiatuko azpiegitura osotik; munduan beste sare batzuek jasaten duten garraio-dentsitatea baino nabarmen txikiagoa da, 6.1 Taula-n ikus daitekeen bezala. Analisi ekonomikoak (De Rus, 2011) eta ingurumen-azterketak (Westin and Rageson, 2012) ohiko abiadura handiko linea bat sozialki eta ingurumenaren aldetik bideragarria izan dadin operazioaren lehen urtean 10 milioi bidaiariko gutxieneko garraio eskaria behar dela ondorioztatu dute. Gainera, Euskal Y linearen zailtasun teknikoak kontuan hartuta (adibidez, Westin eta Rageson-ek (2012) trazaduraren %10 tunelak direla suposatzen dute, eta Euskal Y-an trazaduraren %60 tunelak dira), aurreko eskariak are altuagoa izan beharko luke.

Lan honetan garatu den Euskal Y-aren LCA, bidaiariak garraiatzeko operazioarekin bakarrik martxan jartzeak, proiektuaren bizitza baliagarrian konpentsatzen oso zaila den ingurumen-defizit garbia ekarriko lukeela baieztatzeko, nahiko sendoa da. Emaitzak nabarmen hobetuko liriateke lineak azkenean trafiko mistoarekin jardungo balu, baina horrek salgaiak garraiatzeko eskaera oso handia eskatuko luke. Gainera operazio mistoa Espainiako (ADIF) eta Frantziako (SNCF) garraio-azpiegituren kudeatzaileek orain arte egin duten plangintzaren aurka joango litzateke; horregatik guztiagatik, egoera hori ez dirudi zentzuzkoa denik praktikan.

Salgaien garraio-eskari handi eta ez oso errealista den hori oinarri hartuta, Euskal Y-aren ingurumen-balantze garbia kalkulatu da Oinarrizko Agertokian. Rasu honetan ere, LCA-aren emaitzek erakusten dute Euskal Y-aren operaziotik eratorritako ingurumen-inpaktuaren murrizketa orokorrak oso mugatuak direla, hutsalak ez badira. Euskadik, 2017an, 20 Mt CO₂eq isuri zituen atmosferara; horietatik 6,4 Mt (32%) garraio-sektoretik zetozen, eta emisio horien %96 errepide bidezko garraiotik; %60 automobiletik eta %40 salgaien garraiotik (IHOBE, 2019). Oinarrizko Agertokiko Berotze Globalaren adierazleak (ikus 5.6 Taula), CO₂eq emisioetan neurtuta, urtean -188 kt-ko balantze garbia du, hau da, garraioari lotutako emisioen %3 baino gutxiago eta Euskadiko GHG emisio guztien %1 baino gutxiago. Energia-kontsumoari dagokionez, metatutako energia-eskariaren adierazlean (CED) -69 ktep-eko balantze garbia, EAEn 2017an kontsumitutako energia guztiaren %3 baino txikiagoa da (Eustat, 2019). Hau da, Euskal Y lineak, egoera baikorrenean, klima-aldaketa arintzeko eta petrolioarekiko mendekotasuna murrizteko duen gaitasuna ez da nahikoa gaur egungo ingurumen-krisi globalaren testuinguruan, non, GHG isuriak eta erregai fosilen kontsumoa nabarmen murriztea eskatzen den. Gogoratu behar da Eusko Jaurlaritzaren helburua berotegi-efektuko gasen isuriak 2050erako eta 2005 urtea oinarri

hartuta %80 murriztea dela eta Euskadin, berriz, garraioaren GHG isuriak %130 igo dira 1990 eta 2017 artean (Gobierno Vasco, 2019).

Euskal Y-a bezalako azpiegitura berri bat eraikitzeke beharrik gabe eta Euskadiko garraio-sektorean ingurumen-inpaktuak are gehiago murriztu ditzaketen aukerei dagokienez, 6.4 Taula-n Bilbo eta Donostiako hirien arteko Euskal Y-aren ingurumen-inpaktuaren balantzea (100 km) eta hiri berberen artean eta antzeko luzerarekin (110 km) AP-8 autobidearen korridoreari aplikatutako beste hiru agertoki alderatzen dira. Interbiak-en 2018ko trafikoari buruzko estatistiken arabera (2019), autobide horretako eguneko batez besteko fluxua 30523 ibilgailu arinekoa izan zen (ibilgailu astunak kenduta), hau da, urteko 11.14 milioi ibilgailu arineko garraio-dentsitatea. Euskal Y-ak Oinarrizko Agertokian -salgaien garraioa ez errealista suposatuta urtean 110 kt CO₂ isurketen murrizketa lortuko lukeen bitartean (110 km inguru), AP-8 autobidean ibilgailu arinen okupazioa bikoizteak 180 kt CO₂ murrizketa lortuko luke urtean (PE 1 6.4 Taula-n). Ibilgailu arin horiek elektrifikatuak balira, murrizketa urtean 256 kt CO₂ (PE2) handituko litzateke; eta 308 kt CO₂ arteko murrizketa ibilgailu elektriko horien elektrizitatea %100 berriztagarria eta ibilgailuaren batez besteko okupazioa bikoiztuko balira (PE3). Hau da, azpiegitura handiak eraiki eta 10000 milioi euro baino gehiago inbertitu barik, Euskadin mugikortasun iraunkorragoa ahalbidetuko luketen aukerak daude.

Abiadura handiho trenah Espainiaho garraio sektorearen trantsizio ehologihari egiten dion eharpena: bizi-zihloaren analisiaren ihuspegia

6.4 Taula. Eushal Y-aren Bilbo eta Donostia-San Sebastián (110 hm) honexioaren Oinarrizho Agertohiho ingurumen-inpahtuaren balantzea, honexio bereho AP-8 (100 hm) autobideho ohupazioaren bihoizheta (PE1), ibilgailuen elehtrifihazioa (PE2) eta ohupazioaren bihoizhetarehin eta elehtrizitate berriztagarriho ibilgailuen (PE3) agertohien alderaheta.

	Berotze Globala	CED	PM10	SO ₂	NO _x	NMVOC
Inpaktu Balantze Netoa Bilbao-Donostia/San Sebastián	CO ₂ eq kt-urte ⁻¹	TJ-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹	t-urte ⁻¹
Euskal Y (110 km, Oinarrizko Agertokia)	-109.57	-1679.61	-54.11	-64.66	-127.37	-112.93
PE1-AP-8 ordainpeko autobidea, luzera berekoa, 100 km (11.14 M ibilgailu-urte ⁻¹ , okup. bikoitza)	-180.14	-2713.13	-126.09	-332.96	-447.64	-157.93
PE2 -AP-8 ordainpeko autobidea, luzera berekoa, 100 km (11.14 M ibilgailu-urte ⁻¹ , ibilgailu elektrikoak, elek. berriztagarria)	-255.71	-2799.71	-37.21	-89.48	-568.77	-182.82
PE3 -AP-8 ordainpeko autobidea, luzera berekoa, 100 km (11.14 M ibilgailu-urte ⁻¹ , okup. bikoitza, ibilgailu elektrikoak, elek. berriztagarria)	-307.99	-4112.98	-144.70	-377.70	-732.03	-249.34

Beraz, lan honen bi kasuak aztertuta, badirudi ingurumenaren aldetik eraginkorragoa dela eskaria murrizteko faktore erabakigarrien gainean eta azpiegituren eskaintzaren eta erabileraren eraginkortasunaren gainean jardungo duten garraio-politikei lehentasuna ematea, Mugikortasun Iraunkorrari buruzko literaturak eusten duen bezala.

Aurreko ondorioek, hala ere, arreta berezia eskatzen duten zenbait limitazio jasotzen dituzte. Lehenik eta behin, azpimarratu behar da AHTaren eskariari buruzko benetako daturik ez izatea eragozpen bat izan dela, eta, horren ondorioz, doikuntzak eta estimazioak egin behar izan dira informazio fidelagoarekin lan egiteko. AVEaren kasuan, abiadura handiko datu osatugabe edo ez puruetatik abiatuta algoritmo bat programatu behar izan da bidaiari-kilometroetan neurtuta bidaiarien eskaria zenbatesteko. Euskal Y-aren kasuan, etorkizuneko linearako hainbat administraziok aurreikusitako eta argitaratutako eskariaren datuak, baikorregiak ziurrenik, aplikatu dira. Modelizazioak hain baikorrak ez diren eskaera-datuen aurrean duen erantzuna

ikusteko, bidaiari eta salgai eskari desberdin duen sentsibilitate-analisi bat aurkeztu da. Benetako datuekin (Espainiako AVE sarea) eta aurreikuspen errealistekin (Euskal Y) lan egiteak modelizazioaren diseinua eta kasuen azterketa erraztuko zukeen. Etorkizuneko azterlanetarako, oso komenigarria izango litzateke administrazioek garraioari buruzko informazioa ahalik eta modu garden eta zorrotzenez argitaratzea.

Azterlan honen beste muga azpimarragarri bat, AHT-aren ingurumen-azterketan garraio bide horrek eragin ditzakeen ingurumen-inpaktu guzti-guztiak analisisian barneratzea ezinezkoa dela, da. Lan honetan garraioaren sektoreak sor ditzakeen ingurumen-inpaktu handienak erreparatu dira (23 atala), baina AHT-aren ingurumen azterketa egiterakoan erreferentziazko diren adierazle batzuk soilik erabili dira, azterketaren helburua behar bezala betetzen dutela uste dugun arren. Lan honen helburu nagusia AHTk zenbait ingurumen-inpaktu murrizteko duen potentziala ebaluatzea denez, atmosferara egindako isurpenen eta energia-kontsumoaren sei adierazle hautatu dira: GHG, CED, PM10, SO₂, NO_x eta NMVOC. Hala ere, AHTk sor ditzakeen, eta era berean, garrantzitsuak diren beste ingurumen-inpaktu asko ez dira barneratu. Beste ingurumen-inpaktu horien artean bioaniztasunaren galera, lurraldearen zatiketa, lurrazaleko eta lurpeko baliabide hidrokologikoen kalteak, paisaian inpaktua, faunaren eta landarediari kalteak, etab. daude.

LCA-aren muga metodologikoei dagokienez, aipatzea merezi duten batzuk aurkitu dira. AHTko garraioarekin zeharka lotutako ingurumen-inpaktu batzuen kalkulari buruzko zehaztugabetasunak daude oraindik. Adibide argia eta ondorio esanguratsukoa, hegazkinek klima-aldaketan duten inpaktuaren karakterizazio egokia da. Berotze globalaren ingurumen-inpaktua karbono dioxido unitate baliokidetan neurtzen da (CO₂eq). Bidaiarien hegazkinen isuriak kontabilizatzean, arazo bat sortzen da; izan ere, hegazkinek, iraupen luzeko berotegi-efektuko gasen (CO₂ nagusiki) igorpenetik harago, bizi-zikloaren

inventarioetan (LCI) sartzen ez diren klimaren gaineko beste inpaktu asko eragiten dituzte. *Radiative Forcing* (RF) azterketak jatorri antropogenikoa duten perturbazio klimatikoak aztertzea ahalbidetzen du, eta honela definitzen da: giza jarduerak eragiten duten sistema klimatikoaren urteko batez besteko erradiazio globalaren desoreka (IPCC, 1999). Lee *et al.*-en (2009) kalkuluen arabera, abiazioaren COT arekin lotuta ez zeuden efektuak *Radiative Forcing* (RF) terminoetan neurtuta, COTaren RFaren berdinak ziren gutxi gorabehera 2005ean, eta horrek aire-garraiorako 2 ingurukoa den RFI bat ematen du (*Radiative Forcing Index*), eta 3 ingurukoa AIC-aren (*Aviation-induced cloudiness*) efektuak barne hartzen direnean. Horregatik, ikerketa honetan, Ecoinvent datu-basean inbentariatutako hegazkinentzako CO₂ isuri zuzenen totalari 2 RFI faktore aplikatzeko aukera baloratu zen, Jungbluthek eta Meilik (2018) proposatzen duten bezala. Hala ere, nabarmendu behar da RFI faktore horren aplikazioa hurbilketa gisa hartu behar dela COTkoak ez diren bizitza laburreko espezieen hegazkingintzako isurien eragina kontabilizatzeko, eta etorkizunean fintze handiagoa behar duela. Faktore hori Ecoinventen datuei aplikatzearen ondorioz, hegazkineko bidaiariak AHT-rantz desplazatzearen onurak apur bat handitu daitezke ingurumenaren balantzean. Bestalde, RFI izeneko faktore horren aplikazioa hegazkingintzaren etorkizuneko agertokietan CO₂ emisio baliokideen guztizko emisioak lortzeko CO₂ emisioei aplikatu beharreko biderkatzaile gisa ez da interpretatu behar. RFI, batez ere, atzera begirako metrika bat da, iraganeko eta egungo emisioetan oinarritua; aldiz, berotze globalaren potentzialak etorkizunera begirako perspektiba inplikutzen du, eta hegazkinen kasuan bizitza luzeko espezieek ere baldintzatzen dute (Azar and Johansson, 2012; Lee *et al.*, 2010, 2009). Hegazkingintzaren RF-an esku hartzen duten fenomeno konplexuen ondorioz (Forster and Rogers, 2008), metrika eta adierazle berriak proposatzea erakarri du (Azar and Johansson, 2012; Forster *et al.*, 2007, 2006; Lee *et al.*, 2010).

Lan honetako garraio modu ezberdinen inpaktu-faktoreak Ecoinventeko azken 3.7 bertsiotik hartu dira, eta hegazkingintzatik eratorritako inpaktuek oraindik RFI faktorerik kontuan hartzen ez dutela egiaztatu da. Horregatik guztiagatik, azkenean, ez da kontuan hartu ez Jungbluthek eta Meilik (2018) proposatutako faktorea, ez aireko garraiorako beste RFI faktorerik. Argi dirudi hegazkingintzaren isurketa baliokideen kalkuluan RFI faktorea aplikatzea, Jungbluthek eta Meilik (2018) proposatzen duten bezala, inplikaturako fenomeno errealetarako hurbilketa gisa hartu behar dela, eta metrika berriak behar direla hegazkingintzak klima-aldaketan izango duen inpaktuaren estimazioan zehatzagoak izateko. Beraz, aire garraioko LCI-ren hurrengoko eguneraketetan metrika berri horiek laster sartuko direla espero da.

Hala ere, argitu behar da hegazkingintzako RFI faktorearen alderdi metodologiko horrek gutxieneko eragina duela lan honen emaitza globaletan eta ondorioetan. Emaitzek, 2-ko RFI faktore bat kontuan hartuta eta Ecoinvent v3.7 erabiliz, RFI faktore hori gabeko emaitzekin ia ez dute alderik. Lan honetan planteatutako adierazleen eraikuntza eta mantentze-faseetako ingurumen-zamen amortizazioa emateko beharrezko operazio urteak ez dira aldatzen. Etorkizuneko lanek adi egon beharko lukete arlo horretako ezagutza zientifikoan egin daitezkeen hobekuntzei buruz. Antzeko egoerak gerta daitezke beste eremu eta adierazle batzuetan ere (adibidez, metano-isurpenen baliokidetasun-faktorea, etab.).

Beste alderdi garrantzitsu bat, metodologiaren ikuspegitik lan honen emaitzetan eragin nabarmena duena, abiadura handiko linea bakoitzaren trazadura zehatza da. Abiadura handiko azpiegituraren eraikuntzaren eta mantentze-lanen ingurumen-zamak bere ibilbidearen deskribapen zehatzaren mende daude zuzenean. AVE-aren trazaduren plano osoak lortzea ezinezkoa izan denez, korridore bakoitzaren ibilbidea zehatz-mehatz berrikusi behar izan da Google Earth eta antzeko tresnen bidez (Kortazar *et al.*, 2021b). Hala,

eztabaidaezina da inbentario horietan korridore bakoitzaren trazadurak osatzen dituzten objektu guztiak ez daudela, aireko edo satelitezko ikuspegiak askotan ez baitu objektua identifikatzeko aukerarik ematen, eta are gutxiago haren titulartasuna. Hori dela eta, azterlanean ez dira sartu, adibidez, biltegiak, trenak mantentzeko eraikinak etab. Beraz, lan honetan kontabilizatu ez diren eta hasierako zamak handituko lituzketen azpiegitura eraikitzearekin eta mantentzearekin lotutako beste ingurumen-inpaktuak daude.

Euskal Y-aren trazadurarekin antzeko gauza gertatzen da. Euskal Y-an eraikuntza-fasearen obrak oraindik bukatu ez direnez, ez dago trazadura osoa batzen duen plano erabatekorik. Trazaduraren errepaso zehatza egin ahal izateko, AHT Gelditu plataformak egindako lanetik abiatuta eta Google Earth tresna erabilia ibilbidearen deskripzio zehatza egin ahal izan da (Rortazar *et al.*, 2021c). Plataforma horretako lanean, hiriburu bakoitzerako sarbidea zehazten da, eta, beraz, bistakoa da hiriburu bakoitzerako aukeratu dutela haiek uste duten proiektu edo alternatiba gertagarriena. Hala ere, hiriburuetarako sarbideen proiektuak atzeratzen ari den prozesua da, eta oraindik ez dago erabaki irmorik sarbide bakoitzerako. Teknikoki anbizio handikoak eta konplexuak diren obrak direnez, azken erabakiak, azterlan honetan kontuan hartutakoaz bestelakoa bada, analisiaren emaitzak alda ditzake. Nolanahi ere, lan honetan orain arte eskuragarri zegoen informazioa erabili da.

Bestalde, azterlan honetan aplikatutako metodologiaren beste alderdi garrantzitsu bat kontuan hartutako azpiegituraren bizitza baliagarriaren aldia da. LCAREN azterlan honetan, 60 urteko bizitza baliagarriko aldia hartu da, trenbide-azpiegitura baten osagai gehienetatik espero den bizitza baliagarria baita (Stripple and Uppenberg, 2010). Epe luzeagoa, 100 urte adibidez, ere baliozkoa izan daiteke, eta interesgarria izan liteke aldi horrekin beste agertoki bat planteatzea etorkizuneko ikasketetan. Planteatzen den denbora-muga faktore garrantzitsua da, batez ere berotegi-efektuko gasen isuriak

murrizteari eta energia aurrezteari buruzko nazioarteko akordioak ere epe jakin batzuetan bete behar direlako.

Sentikortasunaren azterketaren barruan agertoki asko planteatzea bideraezina denez, soilik agertoki adierazgarrienak eta Oinarrizko Agertokiaren emaitzak osatzen dituztenak hautatu dira. Ezinezkoa da aukera eta konbinazio posible guztiak aztertzea, beraz, interesgarria izan liteke etorkizuneko lanetarako sentzibilitate-analisan beste agertoki batzuk sartzea, aldagai batzuek beste balio edo ezaugarri batzuk hartzen dituztenean, sistemaren erantzuna aztertu ahal izateko. Adibidez, interesgarria izan liteke azterketan ibilgailuen beste propulzio-teknologia batzuk sartzea, azken urteotan hidrogenozko ibilgailua ibilgailu elektrikoaren alternatiba gisa aztertzen ari direnak. Inbestigazio lan honetan landutako bi kasu praktikoetan, bai AVEren kasuan, bai Euskal Y-aren kasuan, etorkizuneko errepide bidezko garraioa nagusiki elektrikoa eta bateriak dituen egoera bat suposatuta, automobilgintzaren industriak eta nazioarteko erakundeek apustu egiten duten bezala. Hala ere, ez dago argi aukera hori bideragarria izan daitekeenik maila globalean eta epe ertainean. Salgaien garraioa, errepidez eta ibilgailu astunetan, edo airez edo urez, elektrifikatzea oso zaila dirudi, eta aldi berean, ibilgailu pribatu konbentzionala batera daraman ibilgailu elektrikoekin masiboki ordezkatzeko, litioa, kobrea, magnesioa eta antzeko mineralen eskasia-arazoak sor ditzake (de Blas *et al.*, 2020). Interesgarria dirudi, beraz, analisan batera bidezko elektrifikazioaz gain beste aukera teknologiko batzuk sartzea, eta ez bakarrik ibilgailu partikularrean, baita beste garraiobide batzuetan ere, hala nola autobusean eta kamioian, edo garraioaren sektoreak hidrogenoaren alde egin berri duen apustua. Ez da epe laburreko erroka, baina, ingurumenari dagokionez, automobilgintzaren sektorea deskarbonizatzen lagunduko duen beste energia-aukera jasangarri bat izan liteke (Candelaresi *et al.*, 2021). Hala ere, ez dira gutxi aukera horrek konpondu beharko dituen zailtasunak; izan ere, gaur

egun hidrogeno guztiz berriztagarria ekoiztea, garraiatzea eta biltegitratzea eskala handian ez da oraindik bideragarria (Alcalde, 2019).

Azkenik, lan honek AHTa ingurumenaren ikuspegitik aztertzen du, berotegi-efektuko gasen isurketak murrizteko eta energia aurrezteko duen ahalmena aztertzeo, baina horren emaitzak horrelako proiektuen errentagarritasun sozioekonomikoari buruzko azterlan zabalago batean txertatu beharko liriateke. Horrelako azpiegiturretan inbertitzeko erabakia ebaluazio sozioekonomikoen emaitzetan oinarritu beharko litzateke errentagarritasun sozial eta ekonomikoa berresteko. Kostu-Mozkin Analisia (ACB, Análisis de Coste Beneficio gazteleraz) egitea ezinbestekoa da; izan ere, inbertsio publikoen ebaluazio sozioekonomikorako funtsezko metodologiatzat jotzen da, eta oso baliagarria da aukera-kostua ekonomikoki erakusteko. Hori ez da ohikoa izan Espainian, eta errentagarritasun sozioekonomikoari buruzko azterlan osoenak komunitate akademikoak egin ditu, erakundeen eta sektorearen laguntza txikiarekin (Albalade and Jiménez, 2019). Horrela, lan honetan egiten den ingurumen-azterketa ACB batean sartzeak eta, horrela, komunitate akademikoak alde aurretik landutakoak eguneratzeak, zeinak, gainera, ez baitituzte ingurumen-kostuak azterketan barneratzen, etorkizuneko ikerketa-ildo interesgarriak ekar ditzake.

VII. KAPITULUA. ONDORIOAK

7 Ondorioak

Munduak aurrekaririk gabeko ingurumen-krisi bati egin behar dio aurre, eta gaur egungo gizartearen bizimoduaren ondorioz etorkizunean ondorio zalantzarriak eta kezkarriak izango ditu. Ondorio horiek, dagoeneko, ez dira etorkizunekoak. IPCCren seigarren ebaluazio-txostenaren lehen zatia argitaratu berri da eta ondorioak gaur egungoak, aurrekaririk gabekoak eta, kasu askotan, itzulezinak direla garbi adierazi du (Masson-Delmotte *et al.*, 2021). Gaur egungo belaunaldiak bere esku dauka planetaren etorkizuna. Egoera kritikoa da.

Beroketa globala arazoaren zati bat da, egungo bizimoduaren eta kontsumo azkar eta etengabe hazten ari den sistema ekonomiko baten ondorio zuzena. Garraioa, gehienbat petroliotik eratorritako erregai fosilez elikatua, sistema hori bizkortzen eta elikatzen duen bitartekoa da, eta, ondorioz, GHG isuriak eta energia-kontsumoa direla-eta arazo honetan eragin handiena duen sektoreetako bat da. Hori dela eta, mende honetan, eta industriaurreko aroarekin erkatuta, planetaren batez besteko tenperaturaren igoerari eusteko konpromisoarekin, 2 °C-tik behera eta, ahal dela, 1.5 °C-tik behera (Parisko Akordioa), EBk eta bere herrialde kideek, akordio horren sinatzaile gisa, GHG isurketak 2030erako, eta, 1990. urtearekin alderatuta, gutxienez %55 murriztea eta GHG isurketen neutraltasuna lortu ahal izatea 2050. urterako, ezartzen dute. Testuinguru horretan aurkeztu ohi da sarritan AHTa, berotegi-efektuko gasen isuriak murrizteko eta garraioaren energia aurrezteko ezaugarri egokiak dituen eta beraz, ingurumen-helburu horiek lortzen lagunduko duen garraiobide jasangarri gisa. Ondorioz, ikerketa-proiektu honen helburu nagusia AHTak klima-aldaketa arintzeko duen ahalmena aztertzea eta nazioarteko akordioek ezarritako ingurumen-helburuak lortzen lagunduko ote duen egiaztatzea da. Horretarako, Espainiako abiadura handiko trenen sarearen (AVE) eta Euskal Y-aren

etorkizuneko linearen ingurumen-portaera aztertzen dira, azpiegituren balio-bizitzaren fase guztiak barne hartzen dituen LCA metodologiaren bidez.

Emaitzek erakusten dute AVE sarearen eraikuntza-zamak ez direla neurritz kanpokoak, beste abiadura handiko linea batzuetan aurkitutako eraikuntza-zamen tartearen beheko limitearen barruan mantentzen baitira. Eraikuntza-zama horiek gehiegizkoak ez diren arren, Oinarrizko Agertokian AVE sare osoaren ingurumen-balantze netoa, kaltegarria izan gabe, apala da: urteko 610 kt CO₂eq, 7031 TJ CED, 2879 t NO_x eta 627 t NMVOC murrizketa, eta urteko 88 t PM₁₀ eta 17 t SO₂ handipena. Balantze apal horrek azpiegiturak eraikuntza-faseari lotutako hasierako zamak konpentsatzeko gutxieneko funtzionamendu-urte kopuru bat behar duela esan nahi du: 9 eta 16 urte bitartean, aztertutako ingurumen-kategoria guztietan, SO₂ren (62 urte) eta PM₁₀en (87 urte) kasuetan izan ezik. Termino erlatiboetan, CO₂eq isurketen murrizketa horrek Espainian 2016. urtean garraio sektorearen urteko isurketen %1 baino gutxiagokoa da, eta energia primarioaren eskariaren murrizketa horrek Espainiako garraio-sektorearen urteko energia-kontsumoaren %0.5 baino gutxiago suposatzen du. Hau da, Oinarrizko Agertoki honetan, AVE sareko GHG isurketak murrizteari eta energia aurrezteari buruzko emaitzek EB-ak ezarritako ingurumen-helburuak lortzen ez dute ia laguntzen.

Ingurumen-balantze hori sareko korridorearen eta bere garraio-eskariaren arabera aldatu egiten da. Kataluniako (5.76 Mp) eta Andaluziako (5.36 Mp) lineen balantzea batezbesteko osoa baino pixka bat hobea da, eta eraikuntzaren hasierako zamak 7 eta 12 urte bitartean konpentsatzea lortu dute aztertutako kategoria guztietan, PM₁₀ eta SO₂ kategorietan izan ezik. Iparraldeko korridoreak (1.31 Mp) ezingo lituzke bizitza baliagarrian eraikuntzaren hasierako zamak konpentsatu kategoria guztietan, eta Levanteko korridoreak (2.71 Mp) 14 eta 21 urte bitartean beharko lituzke kategoria ia guztietan (SO₂ eta PM₁₀ isuriak ez lirateke inoiz konpentsatuko). Emaitza horien arabera, Iparraldeko

eta Levanteko korridoreen eraikuntza energia aurrezteari eta GHG isuriak murrizteari dagokienez ez litzateke justifikatuko, batez ere garraio-dentsitate oso txikia dutelako.

Beraz, emaitzek garraio-dentsitatea nahikoa ez izateak AVEren ingurumen-portaeran eragin negatiboa duela erakusten dute. Epe ertainean oso litekeena ez den AVEren bidaiarien eskaria bikoizteak, emaitzak hobetu egingo liratekeela korridore guztietan, baita iparraldeko korridorean ere, eta zenbait adierazleren amortizazioa azpiegituraren bizitza baliagarriaren horizontean gertatuko litzatekeela, erakusten du. Hala ere, garraio-eskariaren handitze horren izaera emaitzak modu erabakigarrian baldintzatzen dituen alderdi garrantzitsu bat da. Funtsezkoa da AVE-aren eskari osoaren igoera hori bere osotasunean eragindako eskaera berri bat ez izatea; bestela, ingurumenarentzako ondorio negatiboak areagotuko lirateke. Bestela esanda, AVE-aren ingurumen-errendimendua hobetu egiten da trafikoa gehien kutsatzen duten garraibideetatik erakartzen bada eta eragindako garraio berria baxu mantentzen bada. Emaitzen arabera, eragindako eskari berriak ez luke eskari osoaren %40-70 gainditu behar CO₂e_q isurietan ondorio positiboak lortu nahi badira. Antzeko emaitzak ematen dira beste isurien adierazleekin eta energia-kontsumoarekin lotuta. Sentsibilitate-analisiak erakusten du, halaber, sarearen ingurumen-balantzea ez dela ia hobetzen ibilgailu pribatuaren elektrifikazioa jatorri berriztagarriko elektrizitatearekin sartuz gero. Jasangarritasunaren ikuspegitik, lortutako emaitzek, erakunde publikoek AVEren sareko bidaiarien egungo eskari-maila handitzean jarri beharko luketela arreta, baina aire-garraitik eta ibilgailu partikularretatik dagoen eskaria desbideratzeari eta eragindako eskari berria kontrolatzeari lehentasuna emanez, iradokitzen dute.

Euskal Autonomia Erkidegoko abiadura handiko linea berria, oro har Euskal Y-a izenez ezagutzen dena, Euskadiko garraio-sektoreko proiektu estrategikoa da eta sektore honek, gutxi gorabehera, 2017an eskualdeko GHG isurketa guztien heren bat sortu zuen, %130 handiagoa

2017an 1990ean baino {Gobierno Vasco, 2019). Garraio-politikak funtsezko zeregina du Euskadiko klima-aldaketaren aurkako borrokan, eta, horregatik, arduradun politiko askok AHT-a Europak ezarritako ingurumen-helburuak lortzen nabarmen laguntzeko gai den garraio modu jasangarri gisa aurkeztu dute. Eusko Jaurlaritzak, batzuetan, Euskal Y-aren proiektua herrialdearen trantsizio ekologikorako urrats garrantzitsuena bezala defendatu du {SPRI, 2020). 2050erako Rlima Aldaketaren Euskal Estrategiaren arabera, Euskal Y-a eraikitzea funtsezkoa izango litzateke helburu horiek lortzeko, bidaiariak beste garraiobide kutsagarriagoetatik AHT-ra desplazatuko bailituzke (Basque Government, 2015). Hala ere, ikerketa honetan lortutako emaitzek argudio politiko hori ezeztatzen dute erabat.

V. Kapituluhan, Euskal Y-aren ingurumen analisia LCA metodologia jarraituz egin da, teknologia horrek Euskal Autonomia Erkidegoan klima-aldaketa arintzeko eta energia-kontsumoa murrizteko duen ahalmena aztertzeko, eta Parisko Akordioan eta EB-an ezarritako helburuak betetzeko izan dezakeen ekarpena egiaztatzeko. Emaitzek erakusten dute, Euskal Y-aren linea eraikitze eta mantentze-faseetako zamak bibliografian jasotako abiadura handiko beste trenbide batzuetarako tartearen goiko limitean daudela. Hau, nagusiki, eskualdeko orografia menditsuagatik gertatzen da, baliabide material eta energetikoen kontsumo handiagoo ematen da egitura handi eta konplexuagoak eraikitzea eskatzen duelako. Oinarrizko Agertokiaren azterketak (aztertutako kasurik baikorrena), Euskal Y-aren lineak eraikuntzako eta mantentze-lanetako GHG isuriak 11 urtetan konpentsatuko lituzkeela, eta gainerako ingurumen-adierazleek 5 {NMVOC) eta 23 {SO2) urte bitartean beharko lituzketela, ondorioztatzen du. Emaitza hori ingurumenerako anura potentzialtzat har daitekeen arren, hutsaren hurrengoo da klima-aldaketa arintzeko politiken testuinguru zabalago batean mugatuz gero; izan ere, Euskadiko garraio-sektoreko berotegi-efektuko gasen urteko emisioak %3 baino gutxiago murrizten lagunduko luke, edo eskualdeko berotegi-efektuko

gasen urteko emisioen %1 baino gutxiago murrizten lagunduko luke. Eta hori dena helburu ofizialek 2050. urtea baino lehen, 30 urte eskasean, neutraltasun klimatikoa lortzea eskatzen dutela.

Are gehiago, Euskal Y-aren ingurumen-balantzea okerrera egiten du salgaien garraioaren eskaria proiektuaren errentagarritasun ekonomiko-sozialeko eta finantzarioko azterlanetan aurreikusitakoak baino maila errealistagoetan kokatzen denean (2015a, 2015b). Izan ere, oso litekeena da Euskal Y-tik, azkenean, bidaiari-trenak bakarrik ibiltzea. Euskal Y-a martxan jartzen denean, salgaiak ezin izango dira abiadura handian iritsi Europatik, batetik, Frantziak abiadura handiko konexio honi buruzko erabakiak 2037 arte atzeratu baititu (European Court of Auditors, 2018), eta bestetik, Frantziako salgaiak sare konbentzionaletik garraiatzen direlako. Eta ez dira Estatutik ere iritsiko, Espainiako AVE sarea bidaiarien garraiorako baino ez baitago diseinatuta. Hala berresten da "Estudio informativo del proyecto de la Línea de Alta Velocidad Burgos-Vitoria" txostenean, INECO-k (2017) Sustapen Ministerioarentzat eginia (ikus 15. oharra). Txosten horrek, alegia, Euskal Y-tik salgaien zirkulazioa saihestuko lukeen egungo Madril-Irun/Hendaia linean hirugarren errail bat ezartzea iradokitzen du. Beraz, agertoki errealistena Euskal Y-an salgairik garraiatuko ez dena da. Aipatu behar da ADIF-entzat (2015a, 2015b) egindako "Estudios de rentabilidad económico-social y financiera de la línea de alta velocidad Vitoria-Bilbao-San Sebastián" bi txostenetan Euskal Y-tik salgai-trafiko handia aurreikusten dela. Beraz, ondoriozta daiteke lan horietan defendatutako Euskal Y-aren ustezko errentagarritasun sozioekonomikoa ez dagoela behar bezala justifikatuta.

Euskal Y lineatik salgaien garraiorik gabeko agertokian (E4), emaitzek erakusten dute azpiegiturak 50 urte baino gehiagoko funtzionamendua beharko lukeela eraikuntza eta mantentze-fasean emandako GHG isuriak konpentsatzeko, 40 urte baino gehiago bere energia-kontsumoa eta NO_x isuriak konpentsatzeko, 21 urte NMVOC-erako, eta PM10 eta SO₂ isuriak ez liriteke inoiz konpentsatuko. Hau da, Euskal Y-ak

bidaiariak soilik garraiatzen baditu, abiadura handiko linea berri horrek, Euskadiko isuri atmosferiko eta energia-kontsumoari dagokienez baldintzak hobetu beharrea, adierazle horiek eta, azken batean, eskualdeko ingurumen-baldintzak okertzea ekarriko luke. Ondorioz, Euskal Y-aren LCA-ak erakusten du proiektuaren ingurumen-errendimendua eta klima-aldaketa arintzeko egiten duen ekarpena hutsaren hurrengoa izango litzatekeela kasurik onenean, aurreikuspen ofizialak {baikorrak eta ziurrenik irrealak salgaien garraioari dagokionez} beteko balira, eta kaltegarria garraio-baldintza errealistagoetan. Beraz, Euskal Y-ak klima-aldaketa arintzeko, petrolioarekiko mendekotasuna murrizteko eta beste ingurumen- inpaktu batzuk murrizteko duen ahalmena ez da nahikoa, argi eta garbi, egungo ingurumen-krisi globalaren eta ingurumen-konpromisoen testuinguruan, non GHG isuriak eta energia-kontsumoa nabarmen eta azkar murriztea eskatzen diren. Sentsibilitate-analisiak, halaber, ingurumen-balantzeak okerrera egiten duela berresten du, baldin eta errepideko garraioaren elektrifikazio masiboa eta trenbidean zein ibilgailu partikularrean jatorri berriztagarriko elektrizitate-kontsumoa eragiten bada {E7}.

Laburbilduz, bi kasu praktikoak aztertu ondoren, emaitzek berresten dute, azterketa ekonomikoekin gertatzen den bezala, abiadura handiko azpiegitura baten ingurumen-balantze netoa baldintzatzen duen faktore nagusia garraioaren dentsitatea dela. AVE sareak eta Euskal Y-ak urtean 4.17 milioi bidaiari eta 3.1 milioi bidaiari dituzte, hurrenez hurren, azpiegitura osoaren gaineko bidaiari baliokideen arabera neurtuta. Trafiko hau Frantziako sareak {24 Mp}, Japoniako sareak {20 eta 99 Mp artean}, Txinakoak {18 Mp} eta Taiwangoak {30 Mp} dutena baino askoz ere txikiagoa da {ikus 6.1 Taula}. Hasiera batean, AHTaren proiektu oro ingurumen-defizitarekin hasten da funtzionatzen, eta hori konpentsatu ahal izateko ezinbestekoa da garraio-eskaera behar bezain handia izatea eta, batez ere, kutsagarriagoak diren beste garraiobide batzuetatik kentzea edo erakartzea, eragindako eskaera

berria minimizatuz. Hori ez da Euskal Y linearen eta AVE sareko Iparraldeko eta Levanteko korridoreen kasua. Hala, kostu-mozkin analisietan ateratako ondorioekin bat etorriz, AHTaren zati berriak eraikitzeke erabakia eskaeraren azterketa sakonean oinarritu behar da, eskari handia bermatzen duten loturak bakarrik eraikitzeke, hau da, dentsitate demografiko handiko zentroak lotzen dituzten lineak bakarrik eraikitzeke (De Rus, 2011). Laburbilduz, ingurumen-balantze negatiboa duten abiadura handiko azpiegiturak eraikitzeak isuri atmosferikoei eta energia-kontsumoari buruzko datuak okertu besterik ez du egiten. Izan ere, Europar eraikitako abiadura handiko sarea ez da sare kohesionatu bat, "estatu kideek modu isolatuan koordinazio egokirik gabe planifikatu eta eraikitako lerro nazionalen mosaiko bat" baita (European Court of Auditors, 2018). Garraio-politika ez da eraginkorra izaten ari, eta Ingurumenaren Europako Agentziak (2020) argi utzi du "Europako garraio sektorearen ingurumen eta klima-inpaktuak mugatzeko gaur egun egiten ari diren ahaleginak ez direla nahikoak EB-aren epe luzerako klima eta ingurumen-politikaren helburuak betetzeko". Hala, tesi honen emaitzak mugikortasun iraunkorraren bidean abiadura handiko trenbide-azpiegitura garestiak eraikitzen pentsatzen hasten ari diren herrialdeentzat ohartarazpen-mezu bezala izan daiteke, azkenean kontrako efektu kaltegarria lortu daitekeelako.

Era berean, klima-aldaketaren ondorioei buruzko azken ebidentzia zientifikoaren ondorioz, Nazio Batuek klima-larrialdia azaldu dute berriki, eta 2050ean karbono-neutraltasuna lortzea eta 2030a baino lehen isurketak %45 murriztea beharrezkoa dela, mendearen amaieran tenperaturaren igoera 15 gradu zentigradutik behera mantentzeko (UNFCCC, 2019). Testuinguru horretan, arduradun politikoek garraioarekin lotutako beste neurri batzuk ere hartu beharko lituzkete kontuan, garraioaren hierarkia (Hoyos *et al.*, 2016) aplikatuz ingurumen-inpaktuak nabarmen eta azkar murriztuko lituzketenak, azpiegitura berriak eraikitzeak dakarren zama horiek aurreztuta:

adibidez, garraio-eskaria murriztea, ibilgailu partikularren okupazioa handitzea, trakzio elektrikoa sustatzea eta iturri berriztagarrietatik sortutako elektrizitatea erabiltzea.

Azkenik, tesi honetan lortutako emaitzak egungo larrialdi klimatikoaren egoeraren testuinguruan kokatzen baditugu, honako neurriak hartu beharko lirateke: lehenik eta behin, garraio-eskaria murrizteko neurriak, eta, bigarrenik, kasuz-kasuko azterketa egin ondoren, garraio eskaria beste modu kutsagarriagoetatik AHT-ra desplazatuko duten eta aprobezkatu sozioekonomikoa bermatzen duten abiadura handiko garraio-azpiegiturak bakarrik egitea. Gero eta handiagoa den garraio-eskariaren arazoari irtenbidea emateko, sektore eta politika guztiek garraio sektorearen benetako erabilgarritasuna birplanteatu behar dute; hau da, garraioa bitarteko bat izan behar da, eta ez helburu bat berez. Egungo eta etorkizuneko gizartearen irisgarritasun-beharrak (eta ez desioak) asetzea da helburua, eta horrek ez du nahitaez garraio eskaintza handitzea ekarri behar. Egoera kritikoa da; beraz, erantzuna premiazkoa, zintzoa eta zorrotza izan behar da.

VIII. KAPITULUA BIBLIOGRAFIA

8 Bibliografia

- ADIF, 2015a. Estudio de rentabilidad económico-social y financiera de la Línea de Alta Velocidad Vitoria-Bilbao-San Sebastián y tramo en 3 carriles Astigarraga-Irún.
- ADIF, 2015b. Estudio de rentabilidad económico-social y financiera de la Línea de Alta Velocidad Vitoria-Bilbao-San Sebastián e implantación del ancho estándar UIC en los tramos Burgos-Vitoria y Astigarraga-Irún.
- Adra, N., Michaux, J., Andre, M., 2004. Analysis of the load factor and the empty running rate for road transport. Artemis - assessment and reliability of transport emission models and inventory systems.
- Adra, N., Michaux, J.-L., André, M., 2010. Analysis of the load factor and the empty running rate for road transport. Artemis - assessment and reliability of transport emission models and inventory systems [WWW Document]. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/publication/277183200_Analysis_of_the_load_factor_and_the_empty_running_rate_for_road_transport_Artemis_-_assessment_and_reliability_of_transport_emission_models_and_inventory_systems (accessed 2.10.20).
- AHT gelditu, 2019. AHT Gelditu-Paremos el TAV: TAV en Euskal Herria. AHT Gelditu-Paremos el TAV. URL <http://noaltavahtgelditu.blogspot.com/p/aht-en-euskal-herria.html> (accessed 4.13.20).
- AIReF, 2020. Evaluación del gasto público 2019. Infraestructuras de transporte.
- Akerman, J., 2011. The role of high-speed rail in mitigating climate change – The Swedish case Europabanan from a life cycle perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.12.004>
- Albalate, D., Bel, G., 2016. *Evaluating High-Speed Rail: Interdisciplinary Perspectives*. Taylor & Francis.
- Albalate, D., Bel, G., 2011. Cuando la economía no importa: auge y esplendor de la alta velocidad en España. *Revista de Economía Aplicada* 19.
- Albalate, D., Jiménez, J.L., 2019. ¿Qué han evaluado los economistas sobre el Tren de Alta Velocidad en España? Nada es Gratis. URL <https://nadaesgratis.es/admin/que-han-evaluado-los->

- economistas-sobre-el-tren-de-alta-velocidad-en-espana (accessed 4.23.21).
- Alcalde, S., 2019. Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo [WWW Document]. National Geographic. URL https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_l4897 (accessed 6.14.21).
- Ali, S., Anwar, S., Nasreen, S., 2018. Renewable and Non-Renewable Energy and its Impact on Environmental Quality in South Asian Countries. Forman Journal of Economic Studies 00. <https://doi.org/10.32368/FJES.20170009>
- Antigüedad, I., Bermejo, R., Hoyos, D., Bel, G., Bueno, G., Capellán-Pérez, I., Gorostidi, I., Barcena, I., Larrinaga, J., 2016. Análisis transdisciplinar del modelo ferroviario de alta velocidad: El proyecto de nueva Red Ferroviaria para el País Vasco.
- ASALE, R.-, RAE, n.d. transporte | Diccionario de la lengua española [WWW Document]. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. URL <https://dle.rae.es/transporte> (accessed 1.30.21).
- Asociación de Cargadores de España, 2020. Pasajeros y mercancías: INCOMPATIBLES en la alta velocidad - ACE [WWW Document]. URL <https://www.aeutransmer.com/2020/12/21/pasajeros-y-mercancias-incompatibles-en-la-alta-velocidad/> (accessed 4.11.21).
- Azar, C.A., Johansson, D., 2012. Valuing the non-CO₂ climate impacts of aviation. Climatic Change 111, 559-579. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0168-8>
- Banar, M., Özdemir, A., 2015. An evaluation of railway passenger transport in Turkey using life cycle assessment and life cycle cost methods. Transportation Research Part D: Transport and Environment 41, 88-105. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.017>
- Banister, D., Anderton, R., Bonilla, D., Givoni, M., Schwanen, T., 2011. Transportation and the Environment. Annual Review of Environment and Resources 36, 247-270. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-032310-112100>
- Barnes, E., 2014. California High Speed Resilience to Climate Change, in: Center for Earth Systems Engineering and Management, Course Project Report Series.

- Baron, T., Martinetti, G., Pepion, D., 2011. Carbon footprint of high speed rail. International Union of Railways (UIC), Paris.
- Basque Government, 2015. Climate Change Strategy of the Basque Country to 2050.
- Bel, G., 2010. España, capital Paris. Destino.
- Bellet Sanfeliu, C., Santos Ganges, L., 2016. The high-speed rail project as an urban redevelopment tool. The cases of Zaragoza and Valladolid. *Belgeo. Revue belge de géographie*. <https://doi.org/10.4000/belgeo.18153>
- Bermejo, R., 2014. Del Desarrollo Sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis.
- Betancor, O., Llobet, G., 2015. Contabilidad financiera y social de la alta velocidad en España. FEDEA: rea de infraestructuras y Transportes.
- Bez, 2016. El AVE, congelado por el desgobierno, la corrupción y los viejos hábitos de las constructoras [WWW Document]. Bez.es. URL <https://www.bez.es/279809361/AVE-corrupcion-y-desgobierno.html> (accessed 5.22.21).
- Bjrn, A., Owsianiak, M., Molin, C., Hauschild, M.Z., 2018. LCA History, in: Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.R., Olsen, S.I. (Eds.), *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Springer International Publishing, Cham, pp. 17-30. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_3
- Boletín Oficial del Estado, 2021. Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. [WWW Document]. URL <https://www.boe.es/eli/es/1/2021/05/20/7> (accessed 5.22.21).
- Bueno, G., Hoyos, D., Capellán-Pérez, I., 2017. Evaluating the environmental performance of the high speed rail project in the Basque Country, Spain. *Research in Transportation Economics* 62, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.02.004>
- California High-Speed Rail Authority, 2016. California High-Speed Rail Sustainability Report 54.
- Candelaresi, D., Valente, A., Iribarren, D., Dufour, J., Spazzafumo, G., 2021. Comparative life cycle assessment of hydrogen-fuelled passenger cars. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.034>

- Catalán, H., 2014. Curva ambiental de Ruznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía Informa* 2014, 19-37. [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(14\)72172-3](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)72172-3)
- Chang, B., Rendall, A., 2011. Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16, 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.04.004>
- Chester, M., Horvath, A., 2010. Life-cycle assessment of high-speed rail: the case of California. *Environ. Res. Lett.* 5, 014003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014003>
- Ciroth, A., 2007. ICT for environment in life cycle applications openLCA - A new open source software for life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 12, 209. <https://doi.org/10.1065/lca2007.06.337>
- CML-IA Characterisation Factors [WWW Document], n.d.. Leiden University. URL <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors> (accessed 2.16.21).
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987. *Nuestro futuro común*. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Cornet, Y., Dudley, G., Banister, D., 2017. High Speed Rail: Implications for carbon emissions and biodiversity. *Case Studies on Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.08.007>
- Cour des Comptes, 2014. *La grande vitesse ferroviaire: un modele porte au-dela de sa pertinence*. Paris.
- Cuenot, F., 2016. Carbon Footprint of Railway Infrastructure: comparing existing methodologies on typical corridors. *UIC-ETF* 51.
- D'Alfonso, T., Jiang, C., Bracaglia, V., 2016. Air transport and high-speed rail competition: Environmental implications and mitigation strategies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 92, 261-276. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.009>
- D'Alfonso, T., Jiang, C., Bracaglia, V., 2015. Would competition between air transport and high-speed rail benefit environment and social welfare? *Transportation Research Part B: Methodological* 74. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.01.007>
- de Blas, I., Mediavilla, M., Capellán-Pérez, I., Duce, C., 2020. The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm.

- Energy Strategy Reviews 32, 100543.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100543>
- De Rus, G., 2011. The BCA of HSR: Should the government invest in high speed rail infrastructure? *Journal of Benefit-Cost Analysis* 2, 1-28.
- De Rus, G., Campos, J., Nombela, G., 2003. *Economía del transporte*. Antoni Bosch, Barcelona.
- DGT, 2018. DGT- Parque de vehículos en España [WWW Document]. DGT- Tablas estadísticas. URL <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/> (accessed 2.14.20).
- Diputación Foral de Bizkaia, 2019. La AP 8 en cifras 2018. Evolución de los datos de gestión de la autopista AP-8.
- Dorsey, B., Olsson, M., Rew, L.J., 2015. Ecological Effects of Railways on Wildlife, in: Ree, R. van der. Smith, D.J., Grilo, C. (Eds.), *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 219-227.
- Eckerman, I., 2019. Bhopal Gas Catastrophe 1984: Causes and Consequences , in: Nriagu, J. (Ed.), *Encyclopedia of Environmental Health* (Second Edition). Elsevier, Oxford, pp. 272-287.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.01903-5>
- El País, 2020. Edward Rubin: "Crecimiento económico y cuidado del medioambiente son compatibles" [WWW Document]. EL PAÍS. URL <https://elpais.com/economia/2020-10-13/edward-rubin-crecimiento-economico-y-cuidado-del-medioambiente-son-compatibles.html> (accessed 12.16.20).
- El País, 2019. El Pertús: Catorce trenes diarios para un túnel de 1.100 millones | Economía | EL PAÍS [WWW Document]. URL https://elpais.com/economia/2019/12/15/actualidad/1575979157_716598.html (accessed 7.5.20).
- Ente Vasco de la Energía, 2017. *Estrategia energética de Euskadi 2030*. Ente Vasco de la Energía- Gobierno Vasco.
- European Commission, 2021. *European Platform on Life Cycle Assessment* [WWW Document]. URL <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/> (accessed 7.27.21).
- European Commission, 2020. *2019 road safety statistics: what is behind the figures?* [WWW Document]. European Commission - European Commission. URL https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_1004 (accessed 12.18.20).

- European Commission, 2019. EU transport in figures 2019. Statistical pocketbook. European Commission.
- European Commission, 2018. Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The European Economic and Social Committee, The Committee of the regions and the European Investment Bank.
- European Commission, 2016. Acuerdo de París [WWW Document]. Acción por el Clima - European Commission. URL https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es (accessed 6.5.21).
- European Commission, 2013a. EU energy, transport and GHG emissions - trends to 2050: reference scenario 2013. European Commission, Luxembourg.
- European Commission, 2013b. 2013/179/EU: Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations Text with EEA relevance (No. 32013H0179), OJ L.
- European Commission, 2011a. White paper on transport. A roadmap to a single European transport area.
- European Commission, 2011b. Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050.
- European Commission, 2001. Integrated policy aspects of sustainable mobility. Working Paper. Extra Project. Transport RTD Programme. Fourth Framework Programme. European Commission, Brussels.
- European Commission, 1992. Green Paper on the Impact of Transport on the Environment. A Community Strategy for "Sustainable Mobility".
- European Court of Auditors, 2020. EU transport infrastructures: more speed needed in megaproject implementation to deliver network effects on time.
- European Court of Auditors, 2018. A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork [WWW Document]. URL https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SRI8_I9/SR_HI_GH_SPEED_RAIL_EN.pdf {accessed 11.15.18}.
- European Environment Agency, 2021. Emissions of air pollutants from transport - European Environment Agency [WWW Document].

- URL <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8> (accessed 6.28.21).
- European Environment Agency, 2019a. Greenhouse gas emissions from transport in Europe [WWW Document]. European Environment Agency. URL <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12> (accessed 5.7.20).
- European Environment Agency, 2019b. Emissions of air pollutants from transport European Environment Agency [WWW Document]. URL <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-6> (accessed 11.30.20).
- European Environment Agency, 2018a. Transport: increasing oil consumption and greenhouse gas emissions hamper EU progress towards environment and climate objectives. European Environment Agency.
- European Environment Agency, 2018b. Environmental noise — European Environment Agency [WWW Document]. URL <https://www.eea.europa.eu/airs/2018/environment-and-health/environmental-noise> (accessed 12.2.20).
- European Environment Agency, 2016. GHG Proxy Inventory-SPAIN 2016 [WWW Document]. European Environment Agency. URL http://cdr.eionet.europa.eu/es/eu/mmr/arto8_proxy/envwwefiw (accessed 4.24.19).
- Euskal Irrati Telebista, 2019. El Gobierno Vasco dice que el TAV entrará en funcionamiento en 2024 [WWW Document]. URL <https://www.eitb.eus/es/noticias/economia/detalle/6332096/cuando-estara-funcionamiento-tav-euskadi/> (accessed 7.3.20).
- Euskal Irrati Telebista, 2018. Las mercancías por tren, con ancho internacional entre Vitoria y Burgos [WWW Document]. Euskal Irrati Telebista. URL <https://www.eitb.eus/es/radio/radio-vitoria/programas/radio-vitoria-gaur-actualidad/detalle/5326204/las-mercancias-tren-ancho-internacional-vitoria-burgos/> (accessed 7.5.20).
- Euskal Trenbide Sarea, n.d. La Y Vasca - Euskal Trenbide Sarea [WWW Document]. URL <https://www.ets-rfv.euskadi.eus/la-y-vasca/> (accessed 3.16.21).
- Eustat, 2019. Consumo final de energía de la C.A. de Euskadi por sectores. [WWW Document]. Eustat. URL

https://www.eustat.eus/elementos/ele0000300/ti_Consumo_final_de_energia_de_la_CA_de_Euskadi_por_sectores/tbl0000396_c.html (accessed 4.11.20).

Ferropedia, 2016. Líneas de Alta Velocidad (LAV) en España - Ferropedia [WWW Document]. URL http://www.ferropedia.es/mediawiki/index.php/L%C3%ADneas_de_Alta_Velocidad_en_Espa%C3%B1a (accessed 4.25.19).

Flyvbjerg, B., 2007. Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other Infrastructure [WWW Document]. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/publication/241059880_Cost_Overruns_and_Demand_Shortfalls_in_Urban_Rail_and_Other_Infrastructure (accessed 7.3.20).

Fontes, T., Fernandes, P., Rodrigues, H., Bandeira, J.M., Pereira, S.R., Rhattak, A.J., Coelho, M.C., 2014. Are HOV/eco-lanes a sustainable option to reducing emissions in a medium-sized European city? *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 63, 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.03.002>

Forster, P.M., Rogers, H., 2008. Metrics for comparison of climate impacts from well mixed greenhouse gases and inhomogeneous forcing such as those from UT/LS ozone, contrails and contrail cirrus 57.

Forster, P.M., Shine, R.P., Stuber, N., 2007. Corrigendum to 'It is premature to include non-CO2 effects of aviation in emission trading schemes. *Atmospheric Environment* 41.

Forster, P.M., Shine, R.P., Stuber, N., 2006. It is premature to include non-CO2 effects of aviation in emission trading schemes. *Atmospheric Environment* 40, 1117-1121.

Freimann, A., Ham, M., Mijo, J., 2014. Measuring Objective Well-Being and Sustainable Development Management. *Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology* 2, 1-29.

Fundación de los ferrocarriles españoles, 2017. Atlas of High Speed Rail in Spain.

Fundación de los ferrocarriles españoles, UIC, 2020. Atlas: High-Speed Rail 2021.

Fundación Sustrai Erakuntza, 2019. Informe: la alta velocidad ferroviaria y el transporte de mercancías.

Galán, J., Alameda, D., Abad, J.M., 2017. AVE: Estas son las estaciones de alta velocidad más y menos utilizadas de España | Economía | EL

- PAÍS [WWW Document]. URL https://elpais.com/economia/2017/03/01/actualidad/1488362770_011434.html (accessed 3.20.18).
- García Álvarez, A., 2010. Energy Consumption and Emissions of High-Speed Trains. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2159, 27-35. <https://doi.org/10.3141/2159-04>
- García, P., 2017. Las ocho estaciones del AVE en España con menos de 150 pasajeros al día [WWW Document]. *El Independiente*. URL <https://www.elindependiente.com/economia/2017/11/12/estaciones-ave-espana-menos-viajeros/> (accessed 6.9.18).
- Global Railway Review, n.d. High-speed rail development in Turkey: Vision 2023 [WWW Document]. *Global Railway Review*. URL <https://www.globalrailwayreview.com/article/112860/high-speed-rail-turkey/> (accessed 3.22.21).
- Gobierno Vasco, 2021. Panorámica del Transporte en Euskadi en 2019.
- Gobierno Vasco, 2012. La Y Vasca: Un proyecto de país, una conexión internacional. Gobierno Vasco.
- Gobierno Vasco, D. de D.E., Sostenibilidad y Medio Ambiente, 2019. Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la C.A. del País Vasco. 2018 [WWW Document]. URL https://www.euskadi.eus/web01-a2ingair/es/contenidos/estadistica/amb_cc_gei/es_def/index.shtml (accessed 12.2.20).
- Greenpeace, 2019. Reactivo: La ONU alerta de que un millón de especies están al borde de la extinción [WWW Document]. *Greenpeace España*. URL <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/greenpeace-exige-medidas-urgentes-para-frenar-la-extincion-masiva-de-especies-y-el-colapso-de-la-humanidad/> (accessed 12.15.20).
- Gudmundsson, H., 2005. Mobility as a Policy concept, in: *A Social Perspectives on Mobility*. Ashgate, pp. 107-126.
- Gudmundsson, H., Hall, R.P., Marsden, G., Zietsman, J., 2015. *Sustainable Transportation: Indicators, Frameworks, and Performance Management*. Springer.
- Guillamón, D., Hoyos, D., 2005. Movilidad sostenible. De la teoría a la práctica. Fundación Manu Robles Arangiz institutua, Bilbao.
- Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Rleijn, R., Roning, A. de, Oers, L. van, Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A.,

- Bruijn, H. de, Duin, R. van, Huijbregts, M.A.J., 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. 1: LCA in perspective. Ila: Guide. IIb: Operational annex. 111: Scientific background. Rluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- High Speed Rail Alliance, 2020. The World's Fastest Trains [WWW Document]. High Speed Rail Alliance. URL <https://www.hsrail.org/worlds-fastest-trains> (accessed 3.17.21).
- Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Frischknecht, R., Hellweg, S., Humbert, S., Jungbluth, N., Rollner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T., 2010. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods 176.
- Hoyos, D., 2009. Towards an operational concept of sustainable mobility. International Journal of Sustainable Development and Planning 4, 158-173. <https://doi.org/10.2495/SDP-V4-N2-158-173>
- Hoyos, D., Bueno, G., Capellán-Pérez, I., 2016. Environmental assessment of high-speed rail. Evaluating High-Speed Rail: Interdisciplinary Perspectives 7,119.
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R., 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment 22, 138-147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-Y>
- Humphreys, M., 2010. Sustainability in European Transport Policy. Routledge.
- Iberdrola, 2020. La estrategia de desarrollo sostenible forma parte del alma virtual del Grupo [WWW Document]. Iberdrola. URL <https://www.iberdrola.com/gobierno-corporativo/sistema-gobierno-corporativo/politicas-corporativas/politica-desarrollo-sostenible> (accessed 12.15.20).
- IHOBE, 2019. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto INvernadero del País Vasco 2017.
- INECO, 2017. Estudio informativo del proyecto de la Línea de Alta Velocidad Burgos - Vitoria. Anejo 3: configuración funcional VF. Ministerio de Fomento.
- International Energy Agency, 2017. Statistics | Spain - Total Primary Energy Supply (TPES) by source (chart) [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/statistics/?country=SPAIN&year=2016&category=Rey%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES> (accessed 4.23.19).

- IPCC, 2015. Climate change 2014. Synthesis report. IPCC, The Intergovernmental Panel for Climate Change.
- IPCC, 1999. Aviation and the Global Atmosphere [WWW Document]. URL <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=0> (accessed 5.2.21).
- ISO, 2006. ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia [WWW Document]. URL <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:vl:es> (accessed 5.21.21).
- Japan Station, n.d. Shinkansen high-speed train network in Japan - Japan Station [WWW Document]. URL <https://www.japanstation.com/shinkansen-high-speed-train-network-in-japan/> (accessed 3.17.21).
- Jehanno, A., Palmer, D., James, C., 2011. High Speed Rail and Sustainability.
- Jones, H., Moura, F., Domingos, T., 2016. Life cycle assessment of high-speed rail: a case study in Portugal. The International Journal of Life Cycle Assessment 22. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1177-7>
- Jungbluth, N., Meili, C., 2018. Aviation and Climate Change: Best practice for calculation of the global warming potential [WWW Document]. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/publication/327551417_Aviation_and_Climate_Change_Best_practice_for_calculation_of_the_global_warming_potential (accessed 2.13.20).
- Rortazar, A., Bueno, G., Hoyos, D., 2021a. Environmental balance of the high speed rail network in Spain: A Life Cycle Assessment approach. Research in Transportation Economics 101035. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101035>
- Rortazar, A., Bueno, G., Hoyos, D., 2021b. Dataset for the life cycle assessment of the high speed rail network in Spain. Data in Brief 36, 107006. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107006>
- Rortazar, A., Bueno, G., Hoyos, D., 2021c. Detailed description of the layout of the Basque Y HSR project in Spain I. <https://doi.org/10.17632/7w4frwk7sb.1>
- Rortazar, A., Bueno, G., Hoyos, D., 2020. Balance ambiental del corredor norte del tren de alta velocidad de España: un enfoque de análisis de ciclo de vida. Revista de Economía Crítica 30, 21.

- Rortazar, A., Bueno, G., Hoyos, D., Pending. Is High Speed Rail always a sustainable mobility option? A Life Cycle Assessment of the Basque Y project in Spain.
- Rortazar, A., Bueno, G., Hoyos, D., Pending. Dataset for the Life Cycle Assessment of the Basque Y High Speed Rail project in Spain. Data in Brief.
- Lecomte-Pradines, C., Adam-Guillermin, C., Gashchak, S., Bradshaw, C., Copplestone, D., Beresford, N.A., 2020. More than thirty years after the Chernobyl accident: What do we know about the effects of radiation on the environment? *Journal of Environmental Radioactivity* 211, 106108. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106108>
- Lee, D.S., Fahey, D.W., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N., Lim, L.L., Owen, B., Sausen, R., 2009. Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment* 43, 3520-3537.
- Lee, D.S., Pitari, G., Grewe, V., Gierens, R., Penner, J.E., Petzold, A., Prather, M.J., Schumann, U., Bais, A., Bernsten, T., Iachetti, D., Lim, L.L., Sausen, R., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmospheric Environment, Transport Impacts on Atmosphere and Climate: The ATTICA Assessment Report* 44, 4678-4734. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.005>
- Lujala, P., 2003. Classification of natural resources.
- Magariño, J.F., 2019. La red de AVE suma 50.000 millones entre líneas en explotación y obras en marcha | Compañías | Cinco Días [WWW Document]. *Cinco Días*. URL https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/01/11/companias/1547230727_822260.html (accessed 5.19.21).
- Mazzi, A., 2020. Chapter 1 - Introduction. Life cycle thinking, in: Ren, J., Toniolo, S. (Eds.), *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*. Elsevier, pp. 1-19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818355-7.00001-4>
- McDonald, T., 2021. Is high-speed rail travel on a track to nowhere? BBC News.
- Mekel, O., Huppel, G., Huele, R., Guinée, J., 1990. Environmental Effects of Different Package Systems for Fresh Milk. (1990).
- Ministerio de Fomento, 2017. Boletín estadístico online - Información estadística - Ministerio de Fomento [WWW Document]. URL <https://apps.fomento.gob.es/BoletinOnline/?nivel=2&orden=0600000> (accessed 4.23.19).

- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2018. Anuario estadístico 2018. Capítulo & Tráfico.
- Miri, A., 2019. The future of road transport - what we will drive, if we still drive at all [WWW Document]. EU Science Hub - European Commission. URL <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/future-road-transport-what-we-will-drive-if-we-still-drive-all> (accessed 3.16.21).
- Moriarty, P., Honnery, D., 2016. Global Transport Energy Consumption. <https://doi.org/10.1002/9781119066354.ch61>
- Naciones Unidas, n.d. Agua | Naciones Unidas [WWW Document]. URL <https://www.un.org/es/global-issues/water> (accessed 6.28.21).
- NASA, 2021. NASA Ozone Watch: Latest status of ozone [WWW Document]. URL <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/> (accessed 6.28.21).
- OECD, n.d. Green growth and sustainable development - OECD [WWW Document]. URL <http://www.oecd.org/greengrowth/> (accessed 12.16.20a).
- OECD, n.d. Growth, Investment and the Low-Carbon Transition - OECD [WWW Document]. OECD: better policies for better lives. URL <http://www.oecd.org/environment/ce/g20-climate/> (accessed 12.16.20b).
- OMS, 2017. OMS | 10 datos sobre la seguridad vial en el mundo [WWW Document]. WHO. URL <http://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/> (accessed 12.23.20).
- Ormazabal, M, Jaca, C., Puga-Leal, R., 2014. Analysis and Comparison of Life Cycle Assessment and Carbon Footprint Software, in: Advances in Intelligent Systems and Computing. pp. 1521-1530. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55122-2_131
- PSOE, 2017. El PSOE pone en marcha el Consejo Asesor para la Transición Ecológica de la Economía [WWW Document]. PSOE.es. URL <https://www.psoe.es/actualidad/noticias-actualidad/el-psoe-pone-en-marcha-el-consejo-asesor-para-la-transicion-ecologica-de-la-economia/> (accessed 12.15.20).
- Railway Technology, n.d. Germany InterCity Express High Speed Rail Network operated by Deutsche Bahn - Railway Technology [WWW Document]. Railway Technology. URL <https://www.railway-technology.com/projects/ice-high-speed-rail/> (accessed 3.17.21).

- Ritchie, H., Roser, M., 2017. Air Pollution. Our World in Data.
- Rodrigue, J.-P., 2020. The Geography of Transport Systems, 5th ed. Routledge, New York.
- Sachs, J., 2016. Columna | Invertir en crecimiento sostenible. El País.
- Secretaría General de Transporte, 2018. Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos. Ministerio de Fomento.
- Seijas, P., 2019. Vídeo: Los trenes bala japoneses que volarán a 400 km/h y volverán a reinar en la alta velocidad mundial [WWW Document]. El Confidencial. URL https://www.elconfidencial.com/multimedia/video/tecnologia/2019-12-07/tren-alta-velocidad-ave-tgv-alfax-maglev_2367503/ (accessed 3.16.21).
- SETAC, 1994. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice' from the workshop held at Sesimbra, Portugal, 31 March - 3 April 1993. Environmental Science and Pollution Research 1, 55-55. <https://doi.org/10.1007/BF02986927>
- SPRI, 2020. Tapia: "La Y vasca es el salto cualitativo más importante en la transición ecológica de nuestro país" [WWW Document]. SPRI. URL <https://www.spri.eus/es/infraestructuras-comunicacion/tapia-la-y-vasca-es-el-salto-cualitativo-mas-importante-en-la-transicion-ecologica-de-nuestro-pais/> (accessed 3.31.20).
- Steubing, B., Wernet, G., Reinhard, J., Bauer, C., Moreno-Ruiz, E., 2016. Theecoinvent database version 3 (part II): analyzing LCA results and comparison to version 2. The International Journal of Life Cycle Assessment 13. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1109-6>
- Strippel, H., Uppenberg, S., 2010. Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line. Swedish Environmental Research Institute, Sweden.
- Sustainable Development Commission, 2011. Fairness in a Car-dependent Society. Sustainable Development Commission, London.
- The World Bank, 2020. Annual report 2020: Providing Sustainable Development Solutions [WWW Document]. World Bank. URL <https://www.worldbank.org/en/about/annual-report/supporting-clients> (accessed 12.16.20).
- Toniolo, S., Mazzi, A., Mazzarotto, G., Scipioni, A., 2019. International standards with a life cycle perspective: which dimension of

- sustainability is addressed? The International Journal of Life Cycle Assessment 24, 1765-1777. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01606-w>
- Trenvista, 2015. Algunas características de las líneas de alta velocidad. Trenvista: el ferrocarril en tus manos. URL <https://www.trenvista.net/descubre/mundo-ferroviario/caracteristicas-de-una-lineas-de-alta-velocidad/> (accessed 3.16.21).
- Troche, G., 2005. High-speed rail freight Sub-report in Efficient train systems for freight transport.
- Tuchschnid, M, Rnorr, W., Schacht, A., Mottschall, M, Schmied, M, 2011. Carbon Footprint and environmental impact of Railway Infrastructure.
- Turiel, A., 2020. Petrocalipsis. Crisis energética global y como (no) la solucionaremos. Alfabeto, Barcelona.
- UGT, 2020. La Agenda 2030, imprescindible para revertir el capitalismo salvaje e impulsar la justicia social [WWW Document]. UGT. URL <https://www.ugt.es/ods> (accessed 12.15.20).
- UIC, 2020. High Speed Rail lines in the world [WWW Document]. URL https://uic.org/IMG/pdf/2020022_7_high_speed_lines_in_the_world.pdf (accessed 3.16.21).
- UIC, 2018. High Speed Rail: fast track to sustainable mobility. Union Internationale des Chemins de fer.
- UIC, 2016. RAILISA STAT UIC [WWW Document]. URL <https://uic-stats.uic.org/> (accessed 2.1.20).
- UN, 2011. Not Too Late to Change Unsustainable Economic Growth Model, Improve Relationship with Mother Earth, but 'Time Is Running Short,' General Assembly Told | Meetings Coverage and Press Releases [WWW Document]. URL https://www.un.org/press/en/2011/ga_1107_5.doc.htm (accessed 12.18.20).
- UNDP, 2015. Sustainable Development Goals [WWW Document]. UNDP. URL <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html> (accessed 12.17.20).
- UNFCCC, 2019. UN Chief Calls on G7 Leaders to Tackle Climate Emergency | UNFCCC [WWW Document]. <https://unfccc.int/news>. URL <https://unfccc.int/news/un-chief-calls-on-g7-leaders-to-tackle-climate-emergency> (accessed 8.28.19).

- UNFCCC, n.d. The Paris Agreement | UNFCCC [WWW Document]. URL <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (accessed 5.19.21).
- United Nations, 2015. United Nations Treaty Collection [WWW Document]. URL https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtmsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en (accessed 10.11.21).
- United Nations, n.d. Economic Growth [WWW Document]. United Nations Sustainable Development. URL <https://www.un.org/sustainabledevelopment/economic-growth/> (accessed 12.16.20).
- Urry, J., 2013. Societies beyond oil: oil dregs and social futures, Zed Books. ed. Zed Books Ltd, London/New York.
- Westin, J., Rageson, P., 2012. Can high speed rail offset its embedded emissions? Transportation Research Part D: Transport and Environment 17, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.09.006>
- Wikipedia, 2021a. High-speed rail in China. Wikipedia.
- Wikipedia, 2021b. Al-Boraq. Wikipedia.
- Wikipedia, 2020. Y vasca. Wikipedia, la enciclopedia libre.
- World Health Organization (Ed.), 2011. Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Yue, Y., Wang, T., Liang, S., Yang, J., Hou, P., Qu, S., Zhou, J., Jia, X., Wang, H., Xu, M., 2015. Life cycle assessment of High Speed Rail in China. Transportation Research Part D: Transport and Environment 41, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.005>
- Zembri, P., Libourel, E., 2017. Towards oversized high-speed rail systems? Some lessons from France and Spain. Transportation Research Procedia, World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Shanghai. 10-15 July 2016 25, 368-385. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.414>

