

## **Hiri-hondakinak biltzeko sistemen efizientzia teknikoa eta bizi-zikloaren analisisia.**

Iraia Oribe-Garcia, Ander Pijoan, Cruz E. Borges,  
Ana M. Macarulla-Arenaza, Ainhoa Alonso-Vicario

*Deusto Teknologia Institutua – DeustoTech Energy, Deustuko Unibertsitatea.  
Unibertsitate etorbidea 24, 48007 Bilbao*

*{iraia.oribe,ander.pijoan,cruz.borges,ana.macarulla,ainhoa.alonso}@deusto.es*

### **Laburpena**

Hiri hondakinen kudeaketan, bilketa sistemaren diseinua garrantzia handiko erabakia da. Oro har, tratamendu desberdinetara bidaltzen den hondakin kopurua tokian tokiko bilketa sistemaren araberakoa da. Herritarren partaidetza eraginkorra ezinbestekoa den heinean ahalik eta bereizketa maila altuena lortzeko, bilketa sistemek muga teknikoak dituzte egite honetan. Halaber, bilketa sistema ingurugiro zama askoren erantzule da, batez ere, hondakinak mugiarazteko fase honen behar energetikoak direla eta. Lan honetan bilketa sistema desberdinak aztertu dira ikuspuntu tekniko batetik eta beraien klima aldaketarekiko ekarpena kuantifikatu da.

Hitz gakoak: Hiri-hondakinen bilketa, Bizi-Zikloaren azterketa, Klima aldaketa

### **Abstract**

*The proper design of the waste collection system within urban waste management is of great importance. In general, the collection system limits the amount of waste to be sent to different treatments. Additionally, waste collection is behind lots of the environmental burdens, mainly due to the resources needed to move the wastes. As a result, it is necessary to have a thorough knowledge of where and why the environmental loads are produced. Therefore, this work analyses, from a technical point of view, different waste collection systems and quantifies the contribution to climate change based on life cycle assessment.*

*Keywords: Municipal waste collection, life cycle assessment, climate change*

## **1. Sarrera eta motibazioa**

Ingurumen arloan, Europako bidai orriak ekonomia lineal batetik zirkularrago batera iragaitea du helburu, alegia, erabilera bakarreko lehengaiak erauzten dituen eredu ekonomikoa alde batera utzi berrerabilpena eta birziklapena sustatzeko. Trantsizio honetan hiri-hondakinen kudeaketa estrategiek zeresan handia dute.

2008/98/EU zuzentaraua hondakinen inguruko Europaren marko juridikoaren oinarria da. Besteak beste, tratamenduen lehentasun hierarkia ezartzen du; horren arabera, lehenik eta behin hondakinen sorrera saihestu behar da eta, ondoren, berrerabilpena eta birziklapena hobetu bestelako balorizazio (adibidez, balorizazio energetikoa) eta hondakinen ezabaketaren aurretik.

Bestetik, aipatutako zuzentzarauak estatu kideen betebeharrak hondakinen gaikako bilketaren (HGB) inguruan zehazten ditu. Hala nola, 2015rako estatu kide guztiek beira, papera, metalak eta plastikoen gaikako bilketa ezarri behar dutela esan, eta 2020rako hondakin korrante hauen gutxieneko %50eko berrerabilpena edo birziklapena ziurtatzen du (EB, 2008).

Alabaina, 2011an hiri-hondakinen birziklapen-tasa %40a baino ez zela ikusirik, 2014an 2008/98/EU zuzentzarauaren aldaketa-proposamena aurkeztu zen berrerabilpen eta birziklapen helburuak indartuz (egun, zuzentzarauaren aldaketa proposamena baztertua izan da). Honek, 2030rako hiri-hondakinen %70ko eta ontzi-hondakinen %80a birziklapen-tasa proposatzen zuen eta, bestetik, hondakin birziklagarrien ezabaketa debekatzea proposatu zuen (EB, 2014). Halaber, 2016rako hondakin organikoen isurketa ere zeharo murriztu behar da (IM, 2001).

Testuinguru honetan, adostasun-maila handia dago HGB sistemak sustatzeko beharren inguruan, batez ere birziklagarriak diren hondakinentzat (papera, beira, ontziak). Desadostasunak, alabaina, iraunkortasun ikuspuntu batetik bilketa sistema egokiena zein denetz adostean datza. Euskal Herrian baita ere, HGB ereduen inguruko eztabaida piztu da duela urte batzuetatik ona.

## 2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

HGB sistemen inguruko ikerketa ugari topatu daiteke literaturan zehar. Batzuek aferaren alde teknikoak aztertu dituzte, sistema bakoitzak zein nolako bilketa maila lor dezakeen aztertuz (Gallardo et al., 2012, 2010). Beste batzuek, gizarteak aktiboki parte hartzera zer nolako ezaugarrik bultzatzen dituen aztertu dute (Bovea et al., 2010; Ibáñez et al., 2011). Halaber, eta gaur egun ingurugiroengan eragiten den ondorioen azterketak duen lehentasuna kontuan hartuta, gero eta ikerketa lan gehiago dago aldagai honen inguruan.

Bizi-Zikloaren Azterketaren (BZA) metodologiak sistema baten ingurugiro-zamak ebaluatzeko aukera ematen du sistemaren behar materialak eta energetikoak, eta sortutako hondakin zein isurketak identifikatuz eta kuantifikatuz. Normalean, produktuen ingurumen-zamak aztertzekeo tresna gisa erabili da, izan ere, zerbitzuen ingurumen-eraginak ebaluatzeko potentzial handia erakutsi izan du. Hiri-hondakinen arloan, BZA erabili da kudeaketa aukera desberdinak konparatzeko (Larsen et al., 2010; Muñoz et al., 2004), ingurugiroaren ikuspuntutik prozesuaren zein puntutan aldaketa egin behar diren ezagutzeko (Merrild et al., 2012), edota ingurugiro-zamak zein hondakin korrontek eragiten duen ezagutzeko (Manfredi, 2009).

Inguruarengan HGB eredu desberdinek eragiten dituzten ingurugiro-zama desberdinak aztertzekeo ere BZA erabili da (Aranda Usón et al., 2013; Iriarte et al., 2009; Teerioja et al., 2012). Hondakin bilketaren definizio bateraturik ez dagoen bitartean, lanen arteko konparaketa konplexua da, eta, ondorioz, ingurumen datuak zein teknikoak estrapolatzea zeharo zaila da (Eisted et al., 2009). Are gehiago, BZAk dituen muga nagusienetarikoa bat aldagai espaziala da, non emaitzek menpekotasun handia erakutsi duten erabilitako datuen jatorriaren arabera (Laurent et al., 2014).

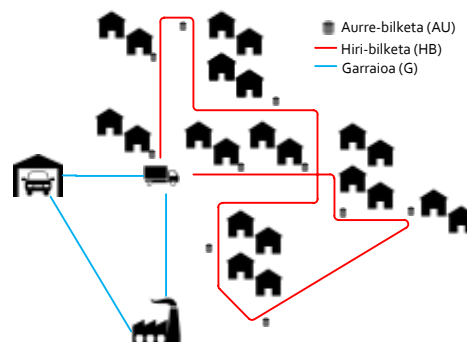
Ikerketa lan honen helburu nagusia bi HGB eredu konparatzean datza, alde batetik efizientzia teknikoa aztertuz, alegia, sistema bakoitzaren bereizketa-maila, eta, bestetik, BZA tresna gisa erabiltzea da ingurumen ikuspuntu batetik sistemak konparatzeko.

## 3. Ikerketaren muina

### 3.1 Bilketa sistemen deskribapena

Lan honetan hondakin-bilketak hiru osagai barne hartzen ditu: aurre-bilketa (AB), hiri-bilketa (HB) eta garraioa (G). ABk, edukiontzi beharrek du zerikusia, hala nola, zenbat edukiontzi behar diren herri baten beharrak asetzeko. HBk lehen edukiontzia

#### 1. irudia: Bilketak barne hartzen dituen osagai desberdinen deskribapena



hartzen denetik azkena bildu arteko lanak biltzen ditu; eta Gk tratamendu instalazioetaraino desplazamendu lanak barne hartzen ditu (1. irudia).

Bi sistemek beira, papera, ontziak eta materia organikoa gaika biltzen dute. Bestetik, errefusa biltzen da. Material beharrei dagokienez, sistemen arteko desberdintasunak aurrebilketan eta hiri bilketa datza. EDUKI sistemak edukiontziak erabiltzen ditu, aldiz, ATE sistemak edukiontziak ordezkatu ditu edukiontzia hondakina pilatzeko erabiltzen den ontzia (poltsa) bilakatuz..

- EDUKI4: sistema hau Euskal Herriko udalerrietan gehien zabaldurik dagoen sistema da. Orokorrean beira, papera eta ontziak ekarpen guneetan (<250 m) biltzen dira eta errefusa espaloï gunean (< 50 m).

Hondakinak osatzen duten materia organikoa gaika biltzerako orduan desberdintasunak sortu dira HGB sistemen artean. Hala, egun bi sistema nagusi bereizten dira:

- EDUKI5: sistema hau EDUKI4 sistemaren hedapena da 5. edukiontzi bat ezarriz.
- ATE: sistema honek edukiontziak ordezkatu ditu (beiraren kasuan izan ezik), bilketa puntuak etxe-atarietatik ahalik eta hurbilen ezarriz ( 0 m, atari gunea). Sistema honetan biztanleriak aste-egutegi espezifikoko bat du non zein egunetan zein korrante biltzen den zehazten da. Larrialdi guneetan edukiontziak daude hala behar duten biztanleentzako, alabaina, hauek ikerketatik kanpo geratu dira.

### 3.2 Efizientzia teknikoa: sistemen zatikapen maila

Sistemen efizientzia teknikoa zatikapen mailaren, bereizketa-mailaren eta berreskurapen-mailaren arabera zehaztu da (1,2,3 ekuazioak).

$$\text{atikapen maila (ZM)} = \frac{i \text{ korrontearen pisu gordina edukiontzia}}{\text{Hondakinen guztien pisua}} \quad (1)$$

$$\text{Bereizketa – maila (BM)} = \frac{i \text{ korrontearen pisu gordina edukiontzia}}{i \text{ korrontearen pisua guztira}} \quad (2)$$

$$\text{Berreskurapen – maila(BeM)} = \frac{i \text{ korrontea garbiaren pisua}}{i \text{ korrontearen pisua guztira}} \quad (3)$$

non, *i* hondakin korrante bakoitza den, hau da, materia organikoa (MO), papera (P), ontzi-arinak (O), beira (B), errefusa (E).

**1. taula. HGB desberdinen zatikapen-mailak (ZM).**

	EDUKI 4	EDUKI 5	ATE
Ontzi-arinak	3,78	4,90	13,90
Papera	6,82	12,39	17,53
Beira	7,69	10,56	15,44
Mat.organikoa	0	9,74	39,56
Errefusa	81,67	62,41	13,59
Mat.organikoa	44,51	35,27	1,88
Papera	8,02	5,77	0,39
Beira	4,03	3,43	0,12
Plastikoa	8,66	6,07	0,45
Metalak	2,44	1,57	0,11
Ontzi konplexuak	1,09	0,79	0,06
Bestelakoak	12,87	9,47	10,57
% gaiako bilketa	18,33	37,59	86,41
% gainerakoa	81,67	62,41	13,59

1.taulak EDUKI4, EDUKI5 eta ATE sistemen ZMak laburbiltzen ditu. Datu hauek aztertzeko Bizkaiko zein Gipuzkoako datuak aztertu dira. EDUKI4 sistema Bizkaiko 2012ko datuen laburpena da (BFA, 2012), EDUKI5 Urola Kostako (Gipuzkoa) mankomunitatetik eratorri dira (GFA, 2012). Azkenik, ATE sistema San Marko mankomunitatean sistema hau ezarrita duten herrien datuen azteketatik eratorri da.

1. taulatik eratorri daiteke ATE sistemak gaikako bilketa-maila handiena ahalbidetzen duen HGB sistema dela. Hala ere, datu hauek hiri hondakinen karakterizazioarekin eta korrante bakoitzaren purutasunarekin alderatu beharko lirarteke, korrante bakoitzaren bereizketa-mailarekin (2) eta behin-betiko berreskurapen-maila (3) ezagutzeko.

### 3.3 Bizi-zikloaren azterketa. Inbentarioa.

Atal honen helburua HGB sistema desberdinak aldaratzean datza ingurumen ikuspuntu batetik, batik bat, klima-aldaketari (kg CO<sub>2</sub>-bk) dagokionez. Unitate funtzionala, 13000 biztanleetako udalerrri baten hiri hondakinen bilketa da urtean zehar 1kg bizt<sup>-1</sup>egun<sup>-1</sup> sortzen duela jakinda.

ABri dagokionez Bizkaian 2012an pertsonako zenbat edukiontzi zeuden aztertu da udalerrien ezaugarrien arabera, EDUKI sistemaren edukiontzi beharra ezagutzeko. Halaber, ATE sisteman edukiontzi bat familiako zehaztu da familia bakoitzeko 2,6 pertsona dagoela kontuan hartuz (EUSTAT, 2006). Edukiontzien ezaugarriak Rives et al. (2010)-etik eratorri dira.

HB eta Gri dagokionez, *ad hoc* eredu bat egin da informazio geografikoa eta ibilbide algoritmoak erabiliz agenteen bidezko sistema simulatu batean, hondakin korrante bakoitza biltzeko beharrezko geltokiak eta distantzia eratortzeko. Hala, gasolio kontsumorako 0,4l/tkm<sup>1</sup> datua aintzat hartu da (Doka, 2009).

2. taulan sistema bakoitzaren inbentarioa aurkezten da, hau da, beharrezko edukiontziak eta mugitu beharreko distantziak hiri-ibilbidean (HI) eta garraio-ibilbidean (GI).

2. taula. BZAren inbentarioa sistema bakoitzarako.

Bilketa sistema	Hondakin korranteak	Edukiontzi kopurua	Geltokiak	HI (km/ibil.)	GI (km/ibil.)	Bilketa maiztasuna (asteaz zehar)	HI (km/ibil.)	GI (km/ibil.)
EDUKI4 EDUKI 5	MO <sup>2</sup>	43	18	12	59	1	624	3.068
	P	73	49	20	71	2	2.080	7.488
	O	79	52	18	71	1	936	3692
	B	74	49	17	88	0.2	177	915
	E	237	86	28	57	6	8.736	17.784
ATE	MO	4.879	341	48	57	3	7.488	8.892
	P	/	341	48	71	1	2.496	3.692
	O	/	341	48	71	2	4.992	7.394
	B	74	49	17	88	0,2	177	915
	E	/	341	48	57	1	2.496	2.964

### 3.4 Ingurugiro zamen ebaluaketa. Klima aldaketari ekarpena

Bildutako hondakin tonak, edukiontzi beharrak eta desplazamendu-distantzia aintzat hartuta 2-3. irudiek aztertutako HGB ereduaren klima aldaketarekiko zama deskribatzen dute. Kontuan hartu behar da hemen hondakin kudeaketa estrategiaren behin-behineko

<sup>1</sup> Tkm: tona bat, kilometro baten zehar mugitzea

<sup>2</sup> Kasu honetan bakarrik EDUKI 5 sistamarako

emaitzak baino ez direla aurkezten, alegia, behin-betiko emaitzek tratamenduen eragina kontuan hartu beharko lukete ere.

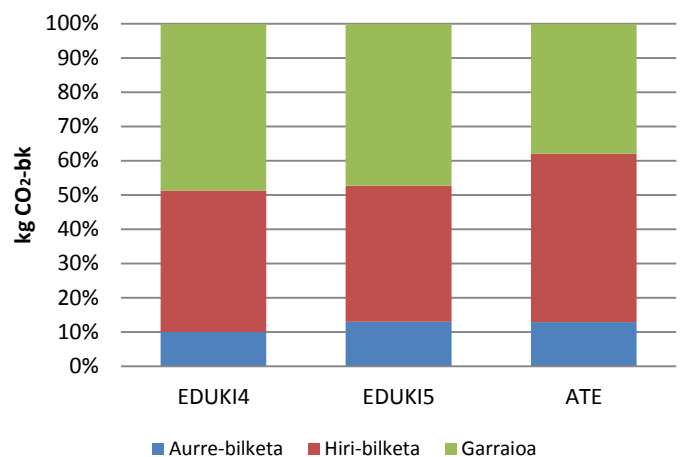
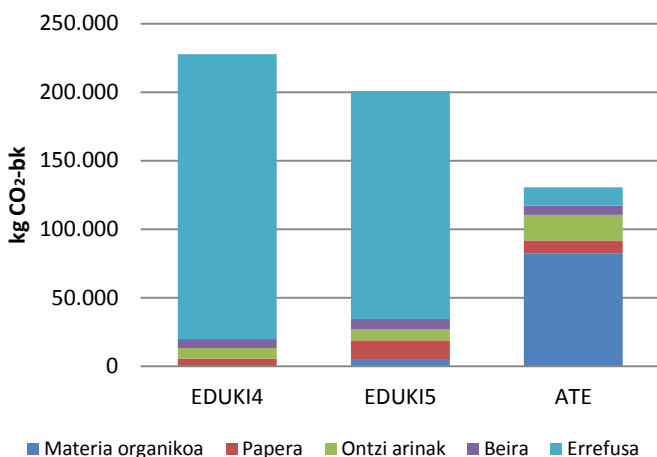
2. irudian ekarpen absolutua deskribatzen da, hots, urte baten kudeaketan zenbat kg CO<sub>2</sub> baliokide isurtzen diren HGB sistema eta hondakin korrante bakoitzeko. EDUKI4 sistemak klima aldaketari ekarpen handiena egiten dion sistema dela ikusi daiteke. Honen atzean dauden arrazoi nagusienak bildutako hondakin kantitateak eta bilketa maiztasunak dira. Hondakinen desplazamendutik erortzen diren ingurugiro zamek, menpekotasun osoa dute mugitutako hondakin tonekin zein egindako distantziarekin. EDUKI4 sisteman, korrontetik pisutsuena (1. taula) errefusa da, eta berak ere du bilketa maiztasunik handiena, beraz, errefusa da klima aldaketari hain ekarpen handia egitearen arrazoa.

EDUKI5 sisteman klima aldaketari ekarpena murriztu egiten da errefusa gutxitzen delako. Alabaina, bilketa maiztasunak mantentzen dira eta oraindik ere materia organiko asko gainerakoarekin biltzen da.

Azkenik, ATE sisteman klima aldaketari ekarpena kasik %50 murriztu egiten da, batez ere maiztasunak zeharo aldatzen direlako E eta MOrri dagokienez, hau da, hondakin korrante pisutsuenak.

**2. irudia: Klima-aldaketari ekarpen absolutu sistema eta korrante bakoitzeko**

**3. irudia: Klima-aldaketari ekarpen erlatiboa osagai bakoitzeko**



3. irudian, bilketa osatzen duten osagai bakoitzaren ekarpen erlatiboa aurkezten da. EDUKI5 eta ATE sistemek ekarpen handiena aurkezten dute AUn. Emaitza hau zeharo desberdina da beste ikerleek aurkeztutakoekin, non ATE sistemaren antzekoek klima aldaketan oso ekarpen txikia erakusten dute (Iriarte et al., 2009), alabaina sistemaren funtsa berdina den arren, bilketa puntuak biztanleriari hurbiltzea, bilketa eredua desberdinak dira.

Bestetik ere, hiri-ibilbideak luzeagoak diren heinean, orotara ATE sisteman hiri-bilketa osagaiak %50ko ekarpena eragiten du. EDUKI sistemetan ordea, osagai honek %40 inguruko ekarpena baino ez du egiten.

Azkenik, garraioa osagaiak EDUKI sistemetan %50ko ekarpena eragiten du, aldiz, ATE sistemak % 40. Garraioan, instalazio bakoitzeraingo dagoen distantziak eragin handia du ingurugiro zamak aztertzerako orduan.

#### 4. Ondorioak

Emaitzen azterketa egin eta gero ondoko ondorioak eratorri dira:

- Zatikapen mailari dagokionez, ATE sistemak gaikako bilketa-maila handienak aurkezten dituen HGB sistema da.

- Sistemen behin-betiko emaitzak ezagutzeko, hondakinen karakterizazioa eta ondoren aurre-tratamenduetan hondakin ezegokien ehunekoak ezagutu behar dira.
- ATE sistemak klima aldaketari ekarpen gutxien egiten dion HGB sistema da. Halaber, emaitza hau arretaz aztertu behar da erabilitako gasolio kontsumoarekiko menpekotasun handia duelako.
- Lan honetan landu den ibilbide eredua hedatu behar da kontsumo dinamiko gehituz, hau da, kontsumoa hondakinen korrante bakoitzarekiko eratorriz.
- Bilketa maiztasunak eragin handia duen aldagai bat da, hala, sistemen ingurugiro zama leuntzeko berrikusi beharreko aldagaia da.

## 5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Hemendik aurrera eta emaitzak hobetzeko, ibilbide eredua lantzea lehenesten da. Dagoen sistema dagoela, benetako kontsumoak ezagutzeak, GHB sistemak optimizatzeko aukera anitz aurkezten ditu. Edukiontzien kokapena, maiztasunak berrantolatzea, bilketa beharrak identifikatzea udalerrien klima-aldaketarekiko zama gutxitzen lagundu baitezake.

## 6. Erreferentziak

- Aranda Usón, A., Ferreira, G., Zambrana Vásquez, D., Zabalza Bribián, I., Llera Sastresa, E., 2013. Environmental-benefit analysis of two urban waste collection systems. *Sci. Total Environ.* 463-464, 72-77. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.05.053
- BFA, Bizkaiako Foru Aldundia., 2012. Hiri hondakinen behatoki iraunkorra
- Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, a, Colomer-Mendoza, F.J., 2010. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *Waste Manag.* 30, 2383-95. doi:10.1016/j.wasman.2010.03.001
- Doka, G., 2009. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St Gallen.
- Eisted, R., Larsen, A.W., Christensen, T.H., 2009. Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contribution. *Waste Manag. Res.* 27, 738-45. doi:10.1177/0734242X09347796
- EB, Europako Batzordea, 2008. Directiva 2008/98/CE, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos.
- EB, Europako Batzordea, 2014. COM (2014) 397 final. Propuesta de directiva del parlamento europep y del consejo por la que se modifican las Directivas 2008/98/CE sobre residuos, 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases, 1999/31/CE relativa al vertido de residuos, 2000/53/.
- EUSTAT, 2006. Familias por tipo y tamaño medio (en miles). 2006 [WWW Document]. URL [http://www.eustat.es/elementos/ele0004400/ti\\_Familias\\_por\\_tipo\\_y\\_tamao\\_medio\\_en\\_miles\\_2006/tbl0004447\\_c.html#axzz3E8GpC8Bq](http://www.eustat.es/elementos/ele0004400/ti_Familias_por_tipo_y_tamao_medio_en_miles_2006/tbl0004447_c.html#axzz3E8GpC8Bq) (accessed 9.23.14).
- Gallardo, A., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Prades, M., 2012. Analysis of collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Manag.* 32, 1623-33. doi:10.1016/j.wasman.2012.04.006
- Gallardo, A., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Prades, M., Carlos, M., 2010. Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Manag.* 30, 2430-9. doi:10.1016/j.wasman.2010.05.026

- GFA, Gipuzkoako Foru Aldundia., 2012. 2012ko Gipuzkoako etxe hondakinen gainerako frakzioaren karakterizazioa.
- Ibáñez, M.V., Prades, M., Simó, A., 2011. Modelling municipal waste separation rates using generalized linear models and beta regression. *Resour. Conserv. Recycl.* 55, 1129–1138. doi:10.1016/j.resconrec.2011.07.002
- IM, Ingurugiro Ministerioa, 2001. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuo mediante depósito en vertedero.
- Iriarte, A., Gabarrell, X., Rieradevall, J., 2009. LCA of selective waste collection systems in dense urban areas. *Waste Manag.* 29, 903–14. doi:10.1016/j.wasman.2008.06.002
- Larsen, A.W., Merrild, H., Møller, J., Christensen, T.H., 2010. Waste collection systems for recyclables: an environmental and economic assessment for the municipality of Aarhus (Denmark). *Waste Manag.* 30, 744–54. doi:10.1016/j.wasman.2009.10.021
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., Hauschild, M.Z., Christensen, T.H., 2014. Review of LCA studies of solid waste management systems--part I: lessons learned and perspectives. *Waste Manag.* 34, 573–88. doi:10.1016/j.wasman.2013.10.045
- Manfredi, S., 2009. Environmental Assessment of Solid Waste Landfilling in a Life Cycle Perspective (LCA model EASEWASTE). Technical University of Denmark.
- Merrild, H., Larsen, A.W., Christensen, T.H., 2012. Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances. *Waste Manag.* 32, 1009–18. doi:10.1016/j.wasman.2011.12.025
- Muñoz, I., Rieradevall, J., Doménech, X., Milà, L., 2004. LCA Application to Integrated Waste Management Planning in Gipuzkoa ( Spain ). *Int. J. LCA* 9, 272–280.
- Rives, J., Rieradevall, J., Gabarrell, X., 2010. LCA comparison of container systems in municipal solid waste management. *Waste Manag.* 30, 949–57. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.027
- Teerioja, N., Moliis, K., Kuvaja, E., Ollikainen, M., Punkkinen, H., Merta, E., 2012. Pneumatic vs. door-to-door waste collection systems in existing urban areas: a comparison of economic performance. *Waste Manag.* 32, 1782–91. doi:10.1016/j.wasman.2012.05.027

## 7. Eskerrak eta oharrak

Hemen aurkezten den lana, aurkeztar dauden Iraia Oribe-Garciaren eta Ander Pijoan tesien barruan burututako lanen atal bat da.

Ikerketa hau SEPARA proiektuaren barruan egin da Bizkaiko Foru Aldundiak finantzaturik.