



Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2018)

Febrer, 2020

Preparat per:

inèdit

Per a:



**Agència de
Residus de
Catalunya**

Crèdits del treball:

Treball desenvolupat per **inèdit**, empresa del Parc de Recerca de la Universitat Autònoma de Barcelona (PRUAB) i membre del grup de recerca en Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (Sostenipra, ICTA-IRTA-Inèdit), i per l'**Agència de Residus de Catalunya**.

inèdit



Contacte:

Telèfon: 937 532 915

info@ineditinnova.com

www.ineditinnova.com

Amb la col·laboració de:



Índex del document

Índex del document	4
Índex de taules	5
Índex de figures	7
Abreviatures	9
Resum executiu	1
1. INTRODUCCIÓ: RESIDUS I CANVI CLIMÀTIC	6
1.1. Eina de càlcul: CO ₂ ZW®	6
1.2. Objectius.....	7
2. METODOLOGIA DE CàLCUL – CO₂ZW®	8
3. FASES DEL PROJECTE	11
3.1. Fase d’adaptació de la CO ₂ ZW® a Catalunya	11
3.2. Fase de càlcul de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya	22
3.3. Fase de càlcul de la petjada de carboni per municipis	23
4. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS DEL CONJUNT DE CATALUNYA	27
4.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2018)	27
4.2. Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius.....	34
4.3. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2018).....	41
5. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS A NIVELL DE MUNICIPI I COMARCA	46
5.1. Resultats a nivell de municipi (2018)	46
5.2. Resultats per comarca (2018).....	49
6. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS	55
7. REFERÈNCIES	58
A. Annex. Emissions de GEH generades i evitades de la gestió dels residus municipals, a escala municipal (2018)	60
B. Annex. Petjada de carboni dels municipis en funció del sistema de recollida	104

Índex de taules

Taula 1. Generació de residus per habitant a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.	12
Taula 2. Composició de la bossa tipus a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.	13
Taula 3. Recollida selectiva a Catalunya (t)	14
Taula 4. Recollida selectiva (% en base al total de cada fracció) a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.	15
Taula 5. Impropris a la FORM a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.	16
Taula 6. Vies de tractament de la fracció resta a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.	17
Taula 7. Vies de tractament de la FORM a Catalunya i comparació amb Espanya.....	18
Taula 8. Característiques dels ecoparcs –tractament de resta- (TMB2) a Catalunya i comparació amb les plantes TMB2 a Espanya.	19
Taula 9. Destí del rebuig de TMB2 a Catalunya i comparació amb Espanya.....	20
Taula 10. Eficiència de les plantes de reciclatge a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.	20
Taula 11. Factors clau: mix elèctric i captació de biogàs a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.	21
Taula 12. Distància mitjana de transport de vidre, envasos lleugers i paper i cartró estimades en base a la localització de les plantes de recuperació de materials.	25
Taula 13. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals de Catalunya (2018), en t de CO ₂ eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2017	31
Taula 14. Factors d'emissió mitjans del tractament de la fracció resta i rebuig a Catalunya (2018). ..	32
Taula 15. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2018).	33
Taula 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2018)	33
Taula 17. Emissions generades, evitades i petjada de carboni en el escenari base i escenaris alternatius	36
Taula 18. Petjada de carboni en cada escenari: emissions generades i evitades, per instal·lacions de tractament.....	38
Taula 19. Evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals pel conjunt de Catalunya en el període 2012-2018	44

Taula 20. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2018).....	47
Taula 21. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (any 2018)	49
Taula 22. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2018), en kg de CO ₂ eq/hab	51

Índex de figures

Figura 1. Logo de l'eina CO ₂ ZW (marca comunitària registrada)	6
Figura 2. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya (2018).....	27
Figura 3. Petjada de carboni de Catalunya (2018): impactes directes, indirectes i evitats	28
Figura 4. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2018) per instal·lació de residus	29
Figura 5. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2018), per tipus d'impacte.....	29
Figura 6. Petjada de carboni de la recollida selectiva per fraccions	29
Figura 7. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2018)	34
Figura 8. Efecte en les emissions generades (barres superiors de color negre, taronja, blau, etc.) i evitades (en verd) de la gestió dels residus municipals a Catalunya (2018): escenari base vs escenaris alternatius	37
Figura 9. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2018).....	42
Figura 10. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2018). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecànic-Biològic.....	42
Figura 11. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2018). Les dades de rebuig, inclouen també el bioestabilitzat amb destí dipòsit controlat.	43
Figura 12. Evolució de la petjada de carboni de Catalunya (2012-2018). Dades en tones de CO ₂ eq ...	44
Figura 13. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2018	45
Figura 14. Petjada de carboni total, per habitant i per tona (2018).	45
Figura 15. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi	46
Figura 16. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2018)	48
Figura 17. Models de regressió lineal de la petjada de carboni per habitant i la resta a dipòsit controlat, generació de residus i recollida selectiva, respectivament (2018).	50
Figura 18. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2018)	52
Figura 19. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2018). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la petjada de carboni de la gestió de residus municipals (kg CO ₂ eq/hab·any).....	53

Figura 20. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2018). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la generació de residus per habitant (kg/hab·any). La llegenda de colors indica el rang en què es situa la petjada de carboni per habitant (kg CO₂eq/hab·any) 54

Abreviatures

ACV	Anàlisi de Cicle de Vida
ARC	Agència de Residus de Catalunya
CDR	Combustible Derivat de Residus
CH ₄	Metà
CO ₂	Diòxid de carboni
CO ₂ eq	Equivalent de diòxid de carboni
DC	Dipòsit Controlat
FIRM	Fracció Inorgànica dels Residus Municipals
FORM	Fracció Orgànica dels Residus Municipals
FV	Fracció Vegetal
GEH	Gasos amb Efecte d'Hivernacle
IPCC	Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic
N ₂ O	Òxid de dinitrogen
PVE	Planta de Valorització Energètica
TMB	Tractament Mecànic-Biològic
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona

Resum executiu

La gestió i tractament dels residus municipals contribueix a l'**escalfament global** degut a les emissions directes i indirectes de Gasos amb Efecte d'Hivernacle (GEH). Les emissions generades directes tenen lloc a les plantes de tractament de residus, serien per exemple les emissions de combustió de gasoil o de descomposició de la matèria orgànica. Les emissions indirectes fan referència a aquelles emissions que tenen lloc fora de les plantes de tractament, com la producció d'electricitat. Per una altra banda, la valorització material i energètica dels residus permet evitar emissions, substituint diferents fonts energètiques i matèries primeres. La diferència entre les emissions generades i les evitades es coneix com a **Petjada de Carboni** i s'expressa en CO₂ equivalents.

En aquest context, l'Agència de Residus de Catalunya (ARC) té l'objectiu de quantificar les emissions generades, evitades i la Petjada de Carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya, com a instrument útil per a la planificació i la presa de decisions encaminades a la mitigació del canvi climàtic.

Per al càlcul de la petjada de carboni dels residus es fa ús de l'eina CO₂ZW[®], desenvolupada pel grup de recerca en Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (Sostenipra, ICTA-IRTA-inèdit) i adaptada al context català de gestió de residus. Aquesta eina permet comptabilitzar les emissions associades a la gestió dels residus municipals, amb una visió d'anàlisi de cicle de vida (ACV), que inclou els impactes directes, indirectes i evitats, de totes les fases de tractament, des de la generació del residu fins a la darrera instal·lació de tractament (destí final), així com el transport interurbà (però no la recollida).

Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, els quals desagreguen les emissions segons els sectors que les generen (transport, energia, instal·lacions de combustió, residus, etc.), només consideren les emissions directes de cada instal·lació i, en el cas dels dipòsits controlats, consideren els GEH que s'emeten en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant les dècades anteriors.

El present informe presenta els resultats de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya per l'any 2018, els quals es comparen amb els obtinguts en els anteriors anys (2012, 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017). Alhora, també es presenten els resultats a nivell municipal i comarcal per l'any 2018.

Petjada de carboni del conjunt de Catalunya (2018)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2018 és de 754.331 t CO₂eq, el qual representa una emissió de 99 kg CO₂eq/habitant i de 190 kg CO₂eq/tona de residu generat.

Els resultats obtinguts l'any 2018 representen una **lleugera reducció de la petjada de carboni** total (-7%) en relació a l'any 2017 degut a diferents elements, principalment l'increment de la recollida selectiva, més recuperació de materials a TMB i menys resta portada directament a dipòsit controlat.

Com en anys anteriors, el 2018, la principal font d'emissions són els **dipòsits controlats**, els quals emeten grans quantitats de metà tot i la captació de biogàs. Els residus que entren a dipòsit controlat (ja sigui com a fracció resta o com a rebuig) representen tres quartes parts dels impactes directes del tractament de residus sòlids municipals. En segon lloc es troben les emissions directes de les PVE. Per altra banda, la recollida selectiva sobretot de paper i cartró, envasos lleugers i vidre contribueix a evitar una part important de la petjada de carboni. Tota la **valorització material i energètica** dels residus (gràcies a la recollida selectiva, però també als TMB i PVE) permet contrarestar aproximadament la meitat de les emissions generades.

Si s'analitzen els resultats per fraccions de residus i tenint en compte tant els tractaments primaris com els secundaris, la via de gestió amb menys impacte per **la resta i el rebuig** serien les PVE, seguides dels TMBs, i finalment DC. Ja que les emissions generades en DC són considerablement superiors, mentre que les emissions evitades només són significatives per TMB i PVE. Les emissions generades per **la FORM** en DC són més del doble de les que es generen en tractaments de compostatge o digestió anaeròbia. La via de gestió amb una petjada de carboni més petita per la FORM és la DA, gràcies a la valorització energètica, però també dependrà de la qualitat i sortida del compost que s'aconsegueixi en les plantes de compostatge. Finalment, per la **resta de fraccions de recollida selectiva** el reciclatge és la via de tractament amb menor impacte. Cal destacar les significants emissions generades pel paper i cartró en DC, i dels plàstics en les PVE. En tots els casos, cal tenir en compte que en aquest estudi s'avalua la petjada de carboni, és a dir l'efecte dels tractaments en canvi climàtic. **Altres categories d'impacte ambiental** (com la toxicitat, l'acidificació, l'esgotament dels recursos, etc.) podrien mostrar una altra escala de preferència de via de gestió.

Evolució de la petjada de carboni i de la gestió en el període 2012-2018

En el període 2012-2018 la generació de residus per habitant i la recollida selectiva segueixen una tendència global de creixement (Figura A). Pel que fa a la generació per habitant, l'any 2018 s'ha tornat a superar l'indicador de l'any 2012. La recollida selectiva el 2018 ha sofert un creixement significatiu i es situa com el valor més alt de la sèrie. De fet, en el període 2018 augmenta la recollida selectiva de totes les fraccions.

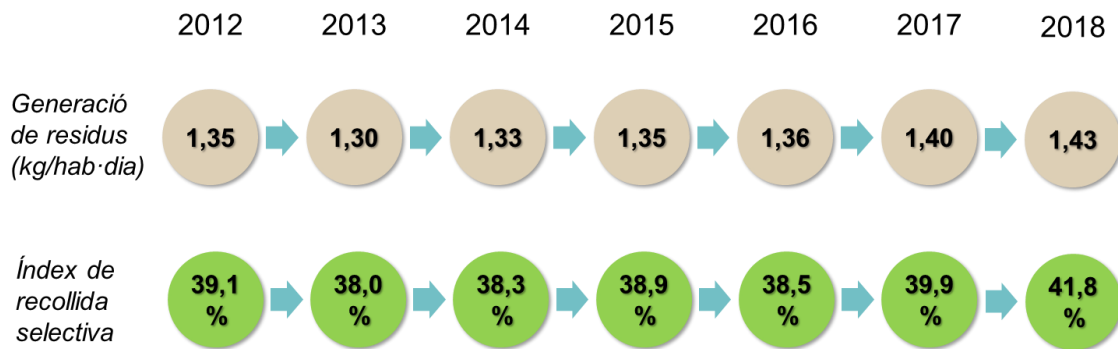


Figura A. Generació de residus per càpita i índex de recollida selectiva (2012-2018)

El percentatge de resta gestionada en dipòsit controlat es redueix considerablement respecte 2017, i aquesta passa a gestionar-se via TMBs. Per la seva banda, s'observa com la quantitat relativa de rebuig que surt dels TMBs i es destina a dipòsit controlat augmenta un 20% en el període 2012-2018, i també creix considerablement (un 7,6%) respecte de 2017. De totes maneres, pel que fa a la recuperació de materials (destí valorització material), s'incrementa en percentatge i en valor absolut en el període 2012-2018, i creix lleugerament respecte de 2017.

La petjada de carboni per tona al llarg del període 2012-2018 es manté dins d'un rang relativament estable, amb un lleuger repunt el 2016 i amb tendència a anar-se reduint des d'aleshores. El 2018 és el segon any consecutiu per sota de 2012, s'observa un decreixement del 9% respecte l'any de referència, caldrà veure si la tendència es manté els propers anys. D'aquesta manera, es situa en 190 kg CO₂eq/tona, en comparació als 222 kg CO₂eq/tona de l'any 2012. En aquest període s'observa una millora en la quantitat de materials valoritzats (especialment per la millora en l'indicador de recollida selectiva) i un menor percentatge de resta que es destina directament a dipòsit controlat. No obstant, en aquest període augmenta la quantitat de rebuig de TMB que va a dipòsit controlat.

En el cas de la **petjada de carboni per habitant**, s'observa un comportament similar a la petjada de carboni per tona, amb una variabilitat en el període estudiat més petita, fins aquest 2018 en que baixa significativament. D'aquesta manera, **en el període 2012-2018 es detecta un decreixement de l'9%**, i respecte del 2017 la reducció és del 8%. Tot i l'increment en la generació de residus per habitant, respecte 2012 i respecte 2017, la petjada de carboni es redueix lleugerament per la menor petjada per tona.

La petjada de carboni total s'ha reduït un 7,4% entre 2012 i 2018 (Figura B). L'impacte generat total ha anat augmentat any rere any en el període 2012-2018 (fins al 7,4%). L'impacte evitat total ha crescut proporcionalment més que el generat, un 25% en el mateix període. Aquí cal tenir en compte que afecten tant els canvis en la gestió, com l'increment progressiu en la quantitat total de residus generats.

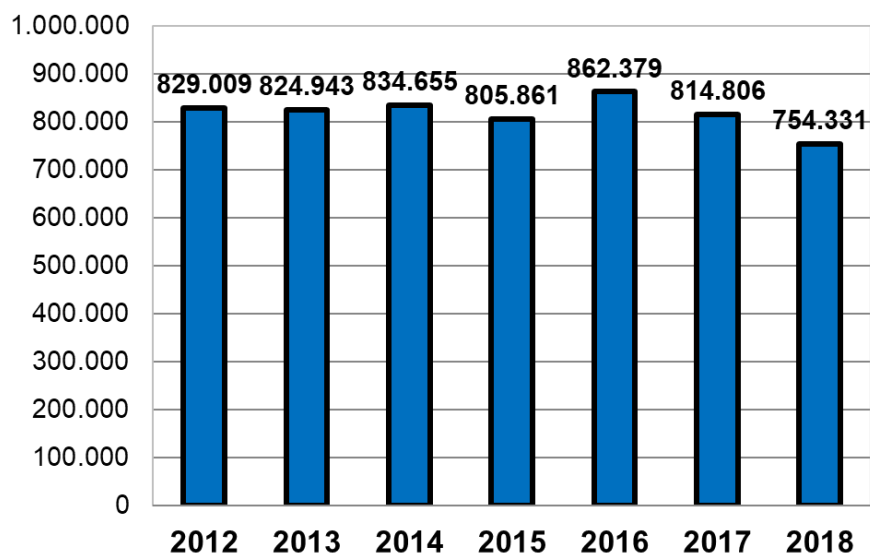


Figura B. Evolució de la petjada de carboni total en el període 2012-2018 (tones de CO₂ eq.).

Petjada de carboni per municipi i comarca (2018)

La meitat dels municipis catalans tenen una petjada de carboni entre 113 i 251 kg CO₂eq/habitant. La interpretació dels resultats permet identificar que la variable que presenta una major correlació amb la petjada de carboni per habitant és la **generació de residus per habitant**, seguida de la quantitat de **resta destinada a Dipòsit Controlat per habitant** i l'índex de **recollida selectiva (%)**.

La Figura C mostra les dades de **petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de les comarques catalanes i l'Àrea Metropolitana de Barcelona** en un diagrama de dos eixos: índex de recollida selectiva i resta directa a dipòsit controlat. Es pot observar com a la part inferior i dreta es situen les comarques amb una petjada de carboni menor: en aquesta zona hi trobem comarques que pràcticament no fan ús dels dipòsits controlats i comarques amb alts índexs de recollida selectiva. En canvi, en el marge superior i esquerra es situen aquelles comarques amb major petjada de carboni, degut a baixos índexs de recollida selectiva i/o alta dependència dels dipòsits controlats.

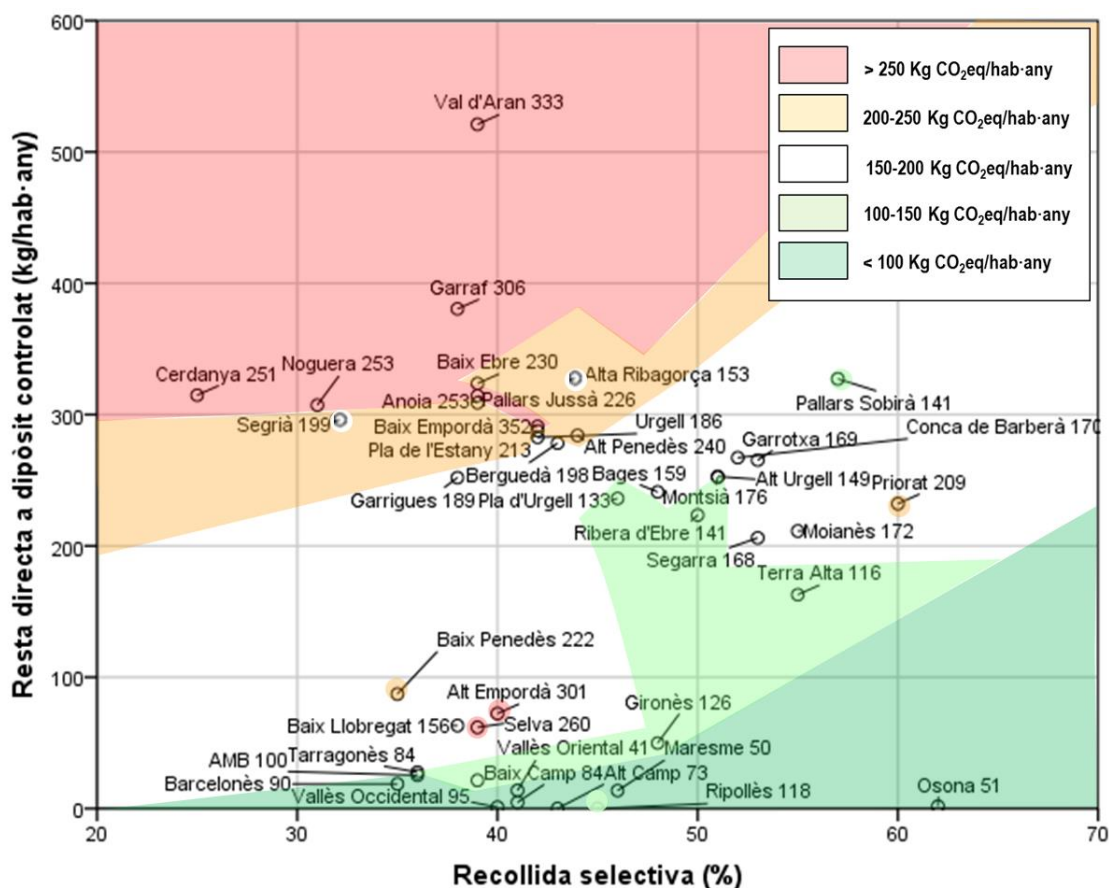


Figura C. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2018). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la petjada de carboni de la gestió de residus municipals (kg CO₂eq/hab·any).

Recomanacions

Per tal de reduir la petjada de carboni, els municipis i altres ens responsables de la gestió dels residus municipals poden implementar mesures per la prevenció en la generació de residus, augment de taxes de recollida selectiva i reducció d'impis, i reduir la quantitat de resta que va directament a dipòsit controlat.

A nivell de les plantes de Tractament Mecànic-Biològic cal incrementar l'estabilització de la MOR a la sortida, i segregar el rebuig en funció del contingut en biodegradables (aquest flux en DC genera les màximes emissions) i del contingut de plàstic (aquest flux en PVE genera les màximes emissions).

En els dipòsits controlats, és clau limitar el contingut de biodegradables d'entrada i millorar la captació de biogàs. Mentre que a les plantes de valorització energètica, s'hauria de limitar el contingut de plàstic d'entrada.

1. INTRODUCCIÓ: RESIDUS I CANVI CLIMÀTIC

La gestió dels residus municipals, que inclou processos de transport i tractament de residus, contribueix a les **emissions de Gasos amb Efecte d'Hivernacle (GEH)**, les quals depenen tant de la generació de residus per càpita com de les vies de gestió dels mateixos. El total d'emissions de GEH es coneix també com petjada de carboni, la qual és una mesura agregada dels diferents GEH expressada en unitats de CO₂ equivalent (CO₂eq).

A Catalunya les emissions de GEH derivades del tractament i l'eliminació de residus sòlids van representar el 6% de les emissions totals del país l'any 2016. L'activitat que més va contribuir a aquestes emissions va ser la deposició de residus als abocadors, responsable de més de tres quartes parts de les emissions en aquest sector. El gas majoritari en el sector dels residus va ser el metà (OCCC 2019a).

Totes les pràctiques de gestió de residus generen GEH, tant de forma directa (p. ex., les emissions del procés de degradació biològica dels residus) com indirecta (p.ex., a través del consum d'electricitat). No obstant això, l'impacte o benefici global de la gestió dels residus depèn de l'emissió neta de GEH, tenint en compte tant emissions com estalvis. En aquest sentit, el sector dels residus es troba en una posició única per passar de ser una font d'emissions globals a esdevenir una **via de reducció d'emissions de GEH**. Una visió holística de la seva gestió permet entendre les conseqüències positives del sector residus en les emissions de GEH de diferents sectors com l'energia, silvicultura, agricultura, mineria, transport i manufactura, a partir de la valorització material i energètica dels residus (UNEP 2010).

Les estimacions de les emissions de GEH de les pràctiques de gestió de residus cada vegada més tendeixen a basar-se en la **metodologia de l'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV)** (UNEP 2010), que permet obtenir útils avaluacions dels impactes potencials i els beneficis de diferents opcions de tractament. El pensament en cicle de vida i les eines quantitatives com l'ACV proporcionen un suport informat i rigorós per a una presa de decisions amb criteris ambientals en la gestió dels residus (Comissió Europea 2011).

1.1. Eina de càlcul: CO₂ZW®

La **CO₂ZW®** es una eina pública resultat del projecte europeu '*Low Cost Zero Waste Municipality*' (1G/MED08-533 ZERO WASTE) per al càlcul de les emissions de GEH derivades de la gestió i tractament dels residus sòlids municipals (**Figura 1**). La CO₂ZW® ha estat desenvolupada pel grup de recerca Sostenipra de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i està disponible a <http://co2zw.eu.sostenipra.cat>. Es tracta d'una eina de referència, validada amb altres models de càlcul de la gestió i tractament dels residus municipals en el context europeu (Sevigné-Itoiz et al. 2013).



Figura 1. Logo de l'eina CO₂ZW (marca comunitària registrada)

L'eina pot ser emprada per calcular les emissions de GEH de qualsevol sistema de gestió i tractament de residus municipals a escala local, regional o nacional. A més, l'eina conté dades de context específiques per a Catalunya, Espanya, Grècia, Eslovènia i Itàlia i mitjanes europees per una sèrie de paràmetres rellevants per al càlcul de les emissions de GEH dels residus.

Dues de les virtuts d'aquesta eina per al present projecte són:

- Està desenvolupada sota un enfocament de cicle de vida, el qual contempla –entre altres– les emissions futures dels dipòsits controlats així com les emissions evitades gràcies a la recuperació material i energètica dels residus.
- Permet integrar dades locals dels municipis i de Catalunya per tal de calcular la petjada de carboni d'acord amb els escenaris reals, reduint la incertesa del model de càlcul.

Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, els quals desagreguen les emissions segons els sectors que les generen (transport, energia, instal·lacions de combustió, residus, etc.), només consideren les emissions directes de cada instal·lació i, en el cas dels dipòsits controlats, consideren els GEH que s'emeten en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant les dècades anteriors.

1.2. Objectius

El present projecte té per objectiu general:

- Quantificar la Petjada de Carboni de la gestió (transport i tractament) dels residus municipals dels municipis de Catalunya, des del seu origen fins al destí final, d'acord amb la situació actual (any 2018) aplicant la CO₂ZW®.

Els objectius específics de la proposta de projecte, són:

- Adaptar la CO₂ZW® amb valors per defecte de la gestió actual (2018) dels residus municipals a Catalunya, facilitant el càlcul de petjada de carboni a escala municipal.
- Quantificar la Petjada de Carboni associada a la gestió dels residus municipals per al conjunt de Catalunya per l'any 2018.
- Quantificar la Petjada de Carboni associada a la gestió dels residus municipals per als municipis catalans (2018).
- Analitzar l'evolució de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya per al període 2012-2018.

2. METODOLOGIA DE CÀLCUL – CO₂ZW®

La CO₂ZW® és una eina d'anàlisi ambiental per a la identificació i quantificació de les emissions de GEH (petjada de carboni) produïdes al llarg del cicle de vida de la gestió dels residus municipals.

Principals característiques

Les principals característiques de la CO₂ZW® en relació al present projecte són:

- Visió d'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV), la qual inclou impactes directes i indirectes, i emissions presents i futures derivades dels residus generats en l'actualitat.
- Inclusió de les emissions evitades de la valorització energètica i material, d'acord amb recomanacions de la Comissió Europea (European Commission 2011) i els estàndards ISO 14040 i ISO 14069.
- Adaptació a les dades locals.
- Factors d'emissió del tractament de residus basats en IPCC.

Aspectes metodològics

A continuació es resumeixen els principals aspectes metodològics considerats a l'eina.

Caracterització dels impactes

Es consideren tots els GEH considerats pel Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) per a l'elaboració dels inventaris nacionals: diòxid de carboni (CO₂), òxid de dinitrogen (N₂O) i metà (CH₄) (IPCC 2006). A més a més, també es consideren altres gasos amb potencial efecte hivernacle quan aquests són rellevants. En el cas del CO₂ biogènic de la degradació biològica i/o combustió dels residus, es considera neutral, d'acord amb les especificacions de les directrius per als inventaris nacionals d'emissions.

Per tal de convertir tots els GEH en unitats de CO₂eq, l'eina utilitza els **factors de caracterització** del Quart Informe de l'IPCC (Solomon et al., 2007), d'acord amb les indicacions de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

Els impactes de petjada de carboni es desagreguen en impactes directes, indirectes i evitats.

- Els **impactes directes** fan referència a aquelles emissions que tenen lloc a les plantes de tractament de residus. En el cas de les emissions de la degradació biològica i de la combustió dels residus, s'utilitzen els valors de referència proposats per l'IPCC (IPCC 2006).
- Els **impactes indirectes** fan referència a aquelles emissions que tenen lloc fora de les plantes de tractament de residus però que estan associades a la seva operació (p.e. producció d'electricitat, fabricació de reactius, etc.) (emissions aigües amunt o 'upstream').
- Els **impactes evitats** fan referència a les emissions que s'eviten gràcies a la recuperació de materials i energia, la qual substitueix altres fonts energètiques o matèries primeres en

diferents sectors de l'economia. Els valors per als crèdits evitats s'obtenen de diferents fonts d'informació internacionals i públiques (Boldrin et al. 2009; Prognos et al. 2008; Jungbluth 2007; Kellenberger et al. 2007; Nemecek et al. 2007; US EPA 2012; Smith et al. 2001; US EPA 2006).

Dades sobre generació de residus i composició

La generació i composició dels residus són paràmetres rellevants per al càlcul de la petjada de carboni, ja que determinen en gran mesura les emissions de GEH de les plantes de tractament que els reben. L'eina permet introduir dades locals de generació de residus i composició de la bossa tipus. Alhora, també permet introduir els índexs de recollida selectiva, els quals permeten que l'eina ajusti automàticament la composició de la fracció 'resta', tenint en compte que el model assumeix que la fracció resta contindrà aquells residus de la bossa tipus que no hagin estat recollits selectivament. Per tant, l'eina modelitza la composició dels residus (fracció resta, fracció rebuig) a partir de la bossa tipus.

Recollida i transport

L'eina permet calcular les emissions de la recollida i transport dels residus, considerant uns factors d'emissió per defecte sota una visió de cicle de vida. Per tant, es tenen en compte les emissions relacionades amb l'operació dels vehicles (consum de combustibles i l'extracció i refinatge dels mateixos) així com les emissions implicades en la construcció i manteniment dels vehicles i carreteres (Spielmann et al. 2007).

Tractament de residus

Els mètodes de tractament de residus inclosos en la CO₂ZW[®] representen les principals tecnologies de gestió dels residus municipals a Europa. S'inclouen:

- *Plantes de triatge i afí* per a les fraccions següents: paper i cartró, envasos plàstics, envasos metàl·lics, vidre, tèxtils i fusta¹.
- *Tractament biològic* de la Fracció Orgànica dels Residus Municipals (FORM) i la Fracció Vegetal (FV). L'eina contempla els processos de compostatge (en piles i en túnel) i de digestió anaeròbica.
- *Tractament Mecànic-Biològic (TMB)* de la fracció resta (planta que combina processos mecànics i biològics per a l'estabilització de la resta i l'aprofitament de materials/energia).
- *Incineració*: es considera una Planta de Valorització Energètica (PVE) que incinera els residus i produeix calor i electricitat.
- *Dipòsit controlat (DC)*. Es considera que l'índex de captació de biogàs dels dipòsits controlats és variable i, per tant, l'usuari pot modificar el valor de referència establert

¹ No es considera la valorització d'altres fraccions de residus recollides selectivament, tals com els RAEE, els voluminosos o els especials.

per a cada país. Alhora, l'eina permet calcular les emissions dels dipòsits controlats d'acord amb dues possibilitats: (a) emissions segons la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals (IPCC 2006), la qual considera les emissions dels dipòsits controlats en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant els 50 anys anteriors-, i (b) emissions futures dels residus depositats en l'any en curs, les quals no depenen de la gestió dels residus en el passat i, per tant, tenen més interès en la planificació i definició de polítiques de gestió dels residus. En el cas dels càlculs del present treball, s'ha acordat utilitzar el segon enfocament (emissions futures).

Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, els quals desagreguen les emissions segons els sectors que les generen (transport, energia, instal·lacions de combustió, residus, etc.), només consideren les emissions directes de cada instal·lació i, en el cas dels dipòsits controlats, consideren els GEH que s'emeten en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant els 50 anys anteriors-.

3. FASES DEL PROJECTE

Aquest apartat presenta la metodologia seguida per a l'execució del projecte, la qual es divideix en tres fases.

3.1. Fase d'adaptació de la CO₂ZW® a Catalunya

La calculadora CO₂ZW® conté informació per defecte de Catalunya, Espanya, Eslovènia, Grècia i Itàlia per als següents paràmetres²:

- Residu generat per habitant (tones/any)
- Composició de la bossa tipus
- Vies de tractament de la resta i del rebuig de TMB
- Vies de tractament de la FORM
- Ràtio de recollida selectiva de les diferents fraccions
- Percentatge d'impropis a la FORM
- Captació de biogàs als dipòsits controlats
- Eficiència de les instal·lacions de tractament de residus (instal·lacions de triatge i reciclatge, plantes de compostatge, ecoparcs, valorització energètica)
- Factor d'emissió de GEH de l'electricitat

En aquesta fase del treball s'actualitza la informació de referència de Catalunya per l'any 2018 a la calculadora, de manera que es pugui disposar de l'eina adaptada al context actual de gestió dels residus municipals a Catalunya. Amb aquestes dades introduïdes a la calculadora, hom pot calcular la petjada de carboni total de Catalunya. Alhora, un municipi que no disposés de dades locals pot estimar la seva petjada de carboni coneixent només la seva població gràcies a les dades per defecte introduïdes de Catalunya.

² El projecte europeu Zero Waste, desenvolupat entre els anys 2011 i 2012, va permetre recollir les dades per defecte d'Espanya, Eslovènia, Grècia i Itàlia. L'escenari Catalunya ha estat creat específicament en el context del projecte de càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya, iniciat l'any 2013 de la mà de l'Agència de Residus de Catalunya.

Dades a nivell de Catalunya 2018

A continuació es mostren les dades per defecte considerades per a Catalunya per a l'any 2018, així com per els anys 2012-2017 amb finalitats comparatives. També es mostren les dades per defecte per la resta de països considerats a l'eina CO₂ZW®.

La font d'informació per les dades de Catalunya és l'ARC. Les fonts d'informació de les dades per la resta de països queden recollides en el manual d'usuari de la CO₂ZW® (Farreny et al. 2012).

Generació de residus per habitant

La generació de residus per habitant a Catalunya es mostra a la Taula 1, tenint en compte que la població de Catalunya el 2018 ascendeix a 7.600.065 habitants i la generació total de residus municipals és de 3.977.571 tones.

Taula 1. Generació de residus per habitant a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO₂ZW® i mitjana europea.

País	Generació de residus (kg/habitant·dia)
Catalunya (2018)	1,43
Catalunya (2017)	1,40
Catalunya (2016)	1,36
Catalunya (2015)	1,35
Catalunya (2014)	1,33
Catalunya (2013)	1,30
Catalunya (2012)	1,35
Espanya	1,69
Grècia	1,43
Itàlia	1,55
Eslovènia	1,11
Mitjana europea	1,42

Composició de la bossa tipus

La bossa tipus fa referència al conjunt de residus municipals generats, caracteritzada prèviament a qualsevol tipus de recollida selectiva. L'any 2015 es van publicar les dades més recents de la bossa tipus, a partir d'una campanya de mostreig realitzada durant l'any 2014. La Taula 2 mostra la composició de la bossa tipus actual, així com la composició de la bossa tipus considerada anteriorment (resultat d'una campanya de l'any 2006).

Taula 2. Composició de la bossa tipus a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO₂ZW® i mitjana europea.

Fracció	Catalunya (2014- 2018)	Catalunya (2012 i 2013) ¹	Espanya	Grècia	Itàlia	Eslovènia	Mitjana europea
Matèria orgànica	37,3%	36,0%	44,0%	43%	32,8%	37,0%	31,0%
Paper & cartró	11,7%	18,0%	21,2%	23%	23,9%	20,5%	18,0%
Plàstic	10,3%	10,2%	10,6%	13%	11,8%	10,0%	12,0%
Vidre	7,7%	7,0%	6,9%	3,8%	6,4%	7,0%	5,0%
Metalls	2,4%	6,4%	4,1%	4,3%	2,3%	5,6%	3,0%
Fusta	6,2%	2,5%	1,0%	1,3%	1,6%	4,2%	3,3%
Tèxtils	4,1%	4,0%	4,8%	2,3%	3,0%	6,8%	4,0%
Cautxú i cuir	0,0%	3,9%	6,2%	0,1%	0,0%	0,5%	3,3%
Altres	20,2%	12,0%	6,2%	5,7%	18,0%	8,4%	20,3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

¹ PROGEMIC 2007-2012. Estudi Composició Bossa Tipus (Generalitat de Catalunya)

Recollida selectiva

El model de recollida selectiva predominant a Catalunya considera les fraccions de vidre, paper i cartró, envasos lleugers (inclou materials plàstics, metàl·lics i brics) i matèria orgànica. A més a més, es recullen selectivament altres fraccions a través de les deixalleries i altres sistemes de recollida (p.e. recollida de tèxtils, voluminosos o de ferralla).³

L'eina CO₂ZW® assigna un impacte evitat als diferents materials recuperats, de manera que les dades de recollida selectiva de les principals fraccions (vidre, envasos lleugers, paper i cartró, matèria orgànica, tèxtil i fusta) es transformen automàticament en materials. Per aquest motiu, el contenidor d'envasos lleugers es desagrega en tres materials: un 73% correspon a envasos plàstics, un 18% a envasos metàl·lics i un 9% brics (d'acord amb les estimacions de l'ARC). Per la seva banda, els brics es descomponen en un 74% de paper i cartró, un 21% de plàstic i un 5% de metall (Tetrapak).

La Taula 3 mostra la quantitat de residus recollits selectivament a Catalunya (per materials).

Taula 3. Recollida selectiva a Catalunya (t)

Any	Total (t)	Vidre (t)	Plàstic (t)	Metall (t)	Paper i cartró (t)	Matèria org. (t)	Fusta (t)	Tèxtil (t)	Altres (t)
2018	1661.077	192.085	121.671 ¹	39.986 ²	325.028 ³	518.000 ⁴	71.063	21.675	371.569
2017	1.536.947	182.760	111.320 ¹	36.325 ²	305.775 ³	482.851 ⁴	64.913	9.674	343.328
2016	1.436.044	166.136	106.565 ¹	34.288 ²	272.922 ³	471.833 ⁴	58.877	7.849	317.573
2015	1.442.005	158.878	102.316 ¹	31.095 ²	307.059 ³	480.833 ⁴	52.232	6.148	303.446
2014	1.400.001	162.447	97.324 ¹	29.449 ²	280.082 ³	484.433 ⁴	46.986	5.976	293.302
2013	1.362.513	158.241	95.540 ¹	28.875 ²	270.924 ³	481.894 ⁴	45.679	5.877	275.482
2012	1.457.764	169.117	101.319 ¹	31.185 ²	327.031 ³	488.428 ⁴	52.594	6.658	281.433

¹Inclou els envasos plàstics del contenidor groc i la part de plàstics del brics.

²Inclou els envasos metàl·lics del contenidor groc, la ferralla de les deixalleries i la part metàl·lica dels brics.

³Inclou la recollida selectiva de paper i cartró i la part de paper i cartró dels brics.

⁴Inclou la FORM, la fracció vegetal (residus verds) i l'autocompostatge.

³ En el cas de 5 municipis catalans (Castellbisbal, Corbera, Molins de Rei, El Papiol i Torrelles de Llobregat) el model de recollida selectiva implantat és l'anomenat 'Residu Mínim'. Aquest recull separatament la FORM, vidre, paper i cartró i finalment la fracció FIRM (Fracció Inorgànica dels Residus Municipals), que inclou el que en altres municipis correspondria a envasos lleugers i fracció resta. En el cas d'aquesta fracció, es destina a una instal·lació que en recupera una sèrie de materials (principalment envasos plàstics i metàl·lics) els quals es computen com a recollida selectiva per aquests municipis, i finalment queda una fracció assimilable a la 'resta' (la qual, a efectes de càlcul de la petjada de carboni, es comptabilitza de la mateixa manera que la resta recuperada en altres municipis).

La Taula 4 mostra els índex de recollida selectiva (en proporció a la quantitat total de materials generats de cada fracció, segons la composició de la bossa tipus), comparats amb la resta de països. Els canvis en els índexs de l'any 2014 i posteriors en relació als anteriors es deuen principalment a la nova bossa tipus, ja que el percentatge que es mostra és el ràtio entre la quantitat recollida selectivament i la quantitat existent a la bossa tipus.

Taula 4. Recollida selectiva (% en base al total de cada fracció) a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO₂ZW® i mitjana europea.

País	Total (%)	Vidre (%)	Plàstic (%)	Metall (%)	Paper i cartró (%)	Matèria orgànica (%)	Fusta (%)	Tèxtil (%)	Altres (%)
Catalunya 2018	41,8	62,8	29,8	42,6	69,7	34,9	28,8	13,3	45,8
Catalunya 2017	39,9	61,7	28,2	40,0	67,7	33,6	27,2	6,1	43,8
Catalunya 2016	38,5	58,0	27,9	39,0	62,4	34,0	25,5	5,1	41,8
Catalunya 2015	38,9	55,8	27,0	35,6	70,7	34,8	22,7	4,0	40,2
Catalunya 2014	38,4	57,9	26,0	34,2	65,4	35,6	20,8	4,0	39,4
Catalunya 2013	38,0	63,0	26,2	12,5	41,9	37,3	50,9	4,1	34,2
Catalunya 2012	39,1	64,7	26,7	13,0	48,7	36,4	56,4	4,5	33,7
Espanya	13,4	43,2	11,4	18,9	22,5	7,1	-	-	4,3
Grècia	17,0	51,0	20,0	45,0	42,0	4,2	-	-	0,0
Itàlia	33,1	81,8	16,0	45,5	38,1	35,1	-	-	19,1
Eslovènia	13,4	8,0	5,0	0,0	20,0	37,0	-	-	0,0
Mitjana europea	35,1	42,5	28,3	50,5	49,0	41,5	-	-	0,0

Impropis en la FORM

La Taula 5 mostra el contingut d'impropis en la FORM recollida selectivament.

Taula 5. Impropis a la FORM a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO₂ZW® i mitjana europea.

País	Impropis a la FORM (%)
Catalunya 2018	13
Catalunya 2017	12
Catalunya 2016	14
Catalunya 2015	13
Catalunya 2014	13
Catalunya 2013	14
Catalunya 2012	15
Espanya	20
Grècia	15
Itàlia	10
Eslovènia	10
Mitjana europea	7

Vies de tractament de la fracció resta

La fracció de residus 'resta', que inclou tot allò que no és recollit selectivament, es pot destinar a tres opcions: ecoparc (TMB), dipòsit controlat i PVE (veure Taula 6).

Taula 6. Vies de tractament de la fracció resta a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO₂ZW® i mitjana europea.

País	TMB (%)	Dipòsit Controlat (%)	Valorització energètica (%)
Catalunya 2018	65,9 ¹	25,0	9,0
Catalunya 2017	61,9 ¹	29,1	9,0
Catalunya 2016	61,0	27,6	11,3
Catalunya 2015	58,0	30,6	11,4
Catalunya 2014	55,7	33,2	11,1
Catalunya 2013	52,4	36,7	10,8
Catalunya 2012	50,3	38,2	11,5
Espanya	45,8	45,2	9,1
Grècia	17,0	83,0	0,0
Itàlia	30,7	56,0	13,3
Eslovènia	0,0	98,3	1,7
Mitjana europea	8,2	55,5	36,3

¹Una part es gestiona per via de digestió anaeròbia (32%) i l'altra per compostatge (68%).

Vies de tractament de la FORM

La FORM es pot destinar a cinc opcions: planta de compostatge en piles, planta de compostatge amb túnel, TMB (via compostatge), TMB (via biometanització) i planta de biometanització. El destí de la FORM es mostra a la Taula 7.

Taula 7. Vies de tractament de la FORM a Catalunya i comparació amb Espanya.

País	Planta compostatge piles (%) ¹	Planta compostatge túnel (%)	Compostatge TMB (%)	Biometanització TMB (%)	Planta biometanització (%)
Catalunya 2018	35,5	19,2	0,0	30,1	15,1
Catalunya 2017	36,0	18,6	0,0	30,3	15,1
Catalunya 2016	42,0	14,2	0,0	29,1	14,7
Catalunya 2015	39,1	14,9	0,0	30,6	15,4
Catalunya 2014	40,8	13,3	0,8	29,9	15,2
Catalunya 2013	40,1	12,9	0,7	30,8	15,5
Catalunya 2012	39,5	12,9	0,7	31,7	15,2
Espanya	19,5	42,1	22,2	13,3	2,9

¹Inclou autocompostatge.

Eficiència de les plantes de tractament de residus i reciclatge

La CO₂ZW® diferencia dues plantes de tractament mecànic-biològic: TMB1 i TMB2. En general, les plantes de TMB1 fan referència a plantes de tractament de resta, amb processos relativament simples de triatge dels materials recuperables i estabilització aeròbica de la matèria orgànica residual; mentre que les plantes TMB2 fan referència a plantes tecnològicament més avançades, amb processos d'estabilització de la matèria orgànica per via aeròbia i/o anaeròbia, que poden tenir dues línies de tractament de residus: una per a la resta i l'altra per a la FORM.

En el cas de Catalunya, els coparcs i plantes TMB s'assimilen a l'opció TMB2 de l'eina CO₂ZW® (Taula 8). L'any 2018 s'ha actualitzat el consum energètic dels TMB per tona tractada (44,1 kWh/t). El rebuig generat en aquestes instal·lacions pot seguir tres vies: dipòsit controlat, incineració i preparació de combustibles derivats de residus (CDR), d'acord amb la Taula 9.

Taula 8. Característiques dels ecoparcs –tractament de resta- (TMB2) a Catalunya i comparació amb les plantes TMB2 a Espanya.

País	Recuperació (% en massa respecte l'entrada de resta)					Desviació matèria orgànica ¹ (%)	Recuperació matèria orgànica ² (%)	Rebuig ³ (%)
	P/C	Metall	Vidre	Plàstic	Total			
Catalunya 2018	2,1	2,2	0,8	4,1	9,3	82,4	4,3	74,6
Catalunya 2017	2,2	2,3	0,8	3,6	9,0	82,6	5,9	73,9
Catalunya 2016	2,4	2,3	0,9	3,8	9,4	82,0	2,2	76,2
Catalunya 2015	2,4	2,3	0,9	3,8	9,3	82,3	3,3	75,2
Catalunya 2014	2,2	2,3	0,4	3,2	8,1	83,4	4,3	70,4
Catalunya 2013	2,0	2,0	0,4	2,7	7,1	85,0	8,5	63,6
Catalunya 2012	1,8	2,0	0,3	3,2	7,3	84,6	0,0	69,4
Espanya					4,5	85,0	7,4	57,0

¹Percentatge de matèria orgànica de l'entrada que és desviada del rebuig. Es calcula com: (matèria orgànica entrada – matèria orgànica rebuig) / (matèria orgànica entrada). S'assumeix que el residu d'entrada i el rebuig de sortida tenen un 36% i un 8% de matèria orgànica, respectivament.

²Quantitat de bioestabilitzat en relació a les entrades totals. Es considera que aquest bioestabilitzat servirà per rebuig abocadors o talussos, no se li atribueix una qualitat suficient com per a ser considerat compost, i estalviar fertilitzants minerals. Se li atribueix un grau de maduració suficient per considerar-lo estable.

³El rebuig inclou les sortides de residu a Dipòsit Controlat, PVE i a Combustible Derivat de Residus (CDR), en relació a les entrades totals.

Taula 9. Destí del rebuig de TMB2 a Catalunya i comparació amb Espanya.

País	Dipòsit Controlat (%)	Valorització energètica - incineració (%)	Combustible Derivat de Residus (%)
Catalunya 2018	62,9	37,1	0,0 ¹
Catalunya 2017	59,0	41,0	0,0 ¹
Catalunya 2016	59,9	37,9	2,2
Catalunya 2015	59,2	38,9	2,0
Catalunya 2014	60,6	38,2	1,2
Catalunya 2013	53,9	44,3	1,9
Catalunya 2012	56,4	39,5	4,0
Espanya	96,0	4,0	0,0

¹El valor és molt petit però no 0. És de 0,05%, són 556 tones.

Finalment, l'eficiència de les plantes de reciclatge de les fraccions recollides selectivament de paper i cartró, envasos lleugers i vidre es mostren a la Taula 10. Són dades estimades.

Taula 10. Eficiència de les plantes de reciclatge a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO₂ZW® i mitjana europea.

País	Vidre (%)	Plàstic (%)	Metall (%)	Paper i cartró (%)
Catalunya	98	65	98	95
Espanya	96	54,7	54,7	92
Grècia	99	80	99	95
Itàlia	97,5	67,3	76,9	93,5
Eslovènia	97,5	67,3	76,9	93,5
Mitjana europea	97,5	67,3	76,9	93,5

Factors clau: mix elèctric i biogàs capturat en dipòsits controlats

Alguns factors o variables tenen una incidència substancial en les emissions de GEH del tractament dels residus. Entre aquests, destaca el percentatge de biogàs recuperat en els dipòsits controlats, factor cabdal ja que els dipòsits controlats són el principal generador d'emissions de GEH degut a la descomposició de la matèria orgànica en condicions anaeròbies. No obstant, hi ha molta incertesa en relació al percentatge de biogàs que es capta, degut a les dificultats en quantificar les emissions generades. La Taula 11 mostra els valors considerats tant pel biogàs capturat com pel potencial d'escalfament global del mix elèctric (el qual depèn de les fonts energètiques utilitzades per a la producció d'electricitat).

Taula 11. Factors clau: mix elèctric i captació de biogàs a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO₂ZW® i mitjana europea.

País	Potencial Escalfament Global Mix elèctric (kg CO ₂ /KWh)	Captació biogàs dipòsits controlats(%)
Catalunya 2018	0,321 ¹	30,0 ²
Catalunya 2017	0,392 ¹	30,0 ²
Catalunya 2016	0,308 ¹	30,0 ²
Catalunya 2015	0,302 ¹	30,0 ²
Catalunya 2014	0,267 ¹	30,0 ²
Catalunya 2013	0,248 ¹	30,0 ²
Catalunya 2012	0,300 ¹	30,0 ²
Espanya	0,240	17,2
Grècia	1,03	60,0
Itàlia	0,65	48,1
Eslovènia	0,50	36,8
Mitjana europea	0,50	38,7

¹ Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC 2019b)

² Estimació consensuada entre l'ARC i l'OCCC.

3.2. Fase de càlcul de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya

Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2018)

En aquesta fase es calcula i s'interpreta la petjada de carboni dels residus municipals generats a Catalunya. Per al càlcul de la petjada de carboni del tractament, s'utilitzen les dades per defecte introduïdes a la calculadora. Pel que fa a la petjada de carboni del transport de residus, s'utilitzen les dades agregades de les estimacions de transport per als diferents municipis.

Factors d'emissió de GEH segons cada fracció de residus i via de tractament

L'objectiu principal d'aquesta fase és presentar els **factores d'emissió mitjans per a cada fracció de residus i via de tractament a Catalunya l'any 2018**, generats amb l'aplicació CO₂ZW® adaptada a Catalunya per l'any 2018 i les dades de gestió i tractament del mateix any facilitades per l'ARC en el context de l'actual projecte.

L'obtenció de factors d'emissió mitjans aplicables independentment a l'eina CO₂ZW® no és un dels resultats esperats de l'aplicació de la metodologia compilada a la CO₂ZW® i desenvolupada pel grup de recerca Sostenipra. No obstant, es poden obtenir per l'administrador de l'eina de forma directa o indirecta.

S'aconsella l'actualització any a any d'aquests factors d'emissió mitjans degut a que varien depenent de la composició, eficiència de les plantes de tractament i dels fluxos de residus. La seva interpretació i aplicació es recomana que sigui realitzada per experts en la temàtica, així com també es recomana haver llegit el manual d'usuari de la CO₂ZW®, disponible a: <http://co2zw.eu.sostenipra.cat>.

Els resultats presentats consideren l'impacte directe a les instal·lacions, abast 1 (emissions degradació matèria orgànica, de la combustió, etc.), l'impacte de l'obtenció de l'electricitat (abast 2) i les potencials emissions evitades. Per simplificar, i per no ser rellevants, no inclouen les emissions del transport, ni la fabricació dels combustibles fòssils utilitzats a les plantes de tractament.

Es consideren tant el tractament del flux primari de les diferents fraccions de residus a cada una de les instal·lacions on es gestionen, com el secundari. Per flux primari s'entén el tractament a la primera instal·lació on es tracta el residu i, per tant, aquest no inclou l'impacte del rebuig, altrament considerat flux secundari. Les emissions secundàries corresponen al tractament del flux de rebuig que arriba a valorització energètica / dipòsit controlat, procedent principalment del tractament de la resta a TMB, però també d'altres plantes de valorització energètica o de reciclatge de residus.

Aquests càlculs estan alineats amb les indicacions de l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic, tot i que en el seu cas no es consideren les emissions evitades, és per aquesta raó que els resultats es presenten separats en emissions generades i evitades.

Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius

Amb ànim d'interpretar els resultats, posteriorment es compara l'escenari 2018 (any base) amb altres escenaris alternatius de gestió dels residus municipals a Catalunya per tal d'avaluar la sensibilitat d'alguns paràmetres clau.

Evolució de la petjada de carboni 2012-2018

Finalment, s'analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals catalans en el període 2012-2018, per tal d'analitzar les tendències principals.

3.3. Fase de càlcul de la petjada de carboni per municipis

Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya, per municipis (2018)

En aquesta fase es calcula i s'interpreta la petjada de carboni dels municipis de Catalunya amb dades municipals de les següents variables:

- Generació total de residus (t)
- Població (habitants empadronats)
- Vies de tractament de la resta
- Vies de tractament de la FORM
- Recollida selectiva de les diferents fraccions
- Contingut d'impropis a la FORM
- Vies de tractament del rebuig de TMB
- Dades del transport de residus del municipi a les plantes de tractament

Per tant, per a les següents variables s'utilitzaran els factors per defecte de Catalunya:

- Composició de la bossa tipus
- Captació de biogàs als dipòsits controlats
- Factor d'emissió de GEH de l'electricitat
- Eficiència de les instal·lacions de tractament de residus (instal·lacions de triatge i reciclatge, plantes de compostatge, ecoparcs, PVE)

Cal tenir en compte que una part dels residus recollits selectivament a Catalunya es consideren no territorialitzables, és a dir que no es poden assignar al municipi concret que els recull. Es

dona el cas quan els camions recullen en varis municipis, per exemple en municipis petits o mancomunats, i els residus recollits no es poden assignar a cap municipi concret. Representen un volum rellevant dels residus recollits selectivament, aproximadament una quarta part del total. Per tant, els impactes individuals d'alguns municipis, no estan ben representats.

Recollida i transport de residus

La recollida i transport de residus és una etapa que sovint s'obvia en l'avaluació ambiental de la gestió dels residus, ja que diferents estudis mostren que la influència de la recollida i transport dels residus contribueix relativament poc al consum energètic i les emissions (Comissió Europea 2011). Per altra banda, l'obtenció de dades de qualitat sobre les etapes de recollida i transport de residus municipals és difícil, ja que l'ARC no disposa d'un sistema de recollida de dades estandarditzat per les etapes de recollida i transport dels residus.

Per aquests motius, en aquest treball s'han fet les consideracions següents:

- *Recollida de residus.* Degut a la manca d'informació, no s'ha inclòs aquesta etapa en l'estudi.
- *Transport de residus.* S'han fet diferents estimacions del transport de les fraccions resta i FORM, en base a la situació analitzada per Font et al. (2012) sobre el transport de residus a Catalunya. Per altra banda, per al transport de les recollides selectives de paper i cartró, envasos lleugers i vidre, s'han fet estimacions en base a la ubicació de les plantes de tractament d'aquestes fraccions en el territori, d'acord amb la informació facilitada per l'ARC. A continuació es descriuen les hipòtesis considerades.

Transport de resta i FORM

El treball de Font et al. (2012) analitza amb detall el transport de les fraccions resta i FORM de tots els municipis catalans, tenint en compte el destí dels residus de cada municipi per a l'any 2009. Aquesta elaborada informació permet tenir dades molt ajustades de les distàncies mitjanes per cada municipi i fracció, de manera que s'utilitzen aquestes dades com a referència. En el cas dels municipis que han implementat la recollida de FORM posteriorment al treball de Font et al. (2012), se'ls ha imputat una distància de transport equivalent a la distància mitjana dels municipis catalans d'acord amb Font et al. (2012).

Transport de les recollides selectives de paper i cartró, envasos lleugers i vidre⁴

Per a les estimacions d'aquest transport, s'ha establert una distància mitjana per a cada comarca catalana (Taula 12). Per tal de determinar aquesta distància, s'ha agafat com a referència la ubicació geogràfica de les 13 plantes de triatge de vidre, 53 plantes de recuperació de paper i cartró i 33 plantes de triatge d'envasos lleugers que tracten aquestes fraccions de recollida selectiva a Catalunya (d'acord amb dades de l'any 2012).

⁴ No es té en compte el transport de les fraccions fusta i tèxtil, degut a la manca de dades relativa a les distàncies recorregudes.

Taula 12. Distància mitjana de transport de vidre, envasos lleugers i paper i cartró estimades en base a la localització de les plantes de recuperació de materials.

Comarca	Vidre (km)	Envasos lleugers (km)	Paper i cartró (km)
Alt Camp	20	30	15
Alt Empordà	140	40	60
Alt Penedès	30	20	20
Alt Urgell	110	140	120
Alta Ribagorça	140	130	120
Anoia	40	70	40
Bages	40	50	30
Baix Camp	50	40	30
Baix Ebre	100	90	100
Baix Empordà	120	20	40
Baix Llobregat	10	10	10
Baix Penedès	40	30	30
Barcelonès	20	20	10
Berguedà	90	20	40
Cerdanya	120	30	60
Conca de Barberà	10	50	30
Garraf	30	30	30
Garrigues	40	30	30
Garrotxa	100	40	50
Gironès	100	10	30
Maresme	60	30	30
Moianès	40	50	30
Montsià	120	120	120
Noguera	70	60	30
Osona	70	20	20
Pallars Jussà	100	100	80
Pallars Sobirà	140	160	140
Pla de l'Estany	110	20	30
Pla d'Urgell	40	40	30
Priorat	50	50	50
Ribera d'Ebre	70	60	60
Ripollès	110	40	50
Segarra	40	70	50
Segrià	70	20	20
Selva	80	30	40
Solsonès	80	40	80
Tarragonès	40	10	15
Terra Alta	100	70	80
Urgell	30	60	40
Val d'Aran	170	170	160
Vallès Occidental	10	10	10
Vallès Oriental	40	10	10

Alhora, s'ha tingut en compte quina és la importància relativa de cadascuna d'aquestes plantes, és a dir, quina és la quantitat de municipis que hi envien els seus residus. Amb aquesta informació, s'ha desenvolupat un model de transport que considera radis d'acció concèntrics al voltant de les plantes de tractament (començant per aquelles plantes amb major importància), per tal d'estimar la distància de transport mitjana de cada comarca. S'assumeix

que, en general, els municipis transporten els residus a alguna de les instal·lacions que es troben més a prop seu.

Observació: l'etapa de transport de residus té una contribució petita en comparació amb l'etapa de tractament dels residus, de manera que les consideracions descrites aquí per a l'etapa de transport es consideren suficients. No obstant, s'espera que en el futur l'ARC disposi de dades sobre la recollida i el transport facilitades pels municipis, per tal de ser incorporades en els càlculs de la petjada de carboni de la gestió dels residus.

Interpretació dels resultats de petjada de carboni dels municipis i comarques

Per la interpretació dels resultats, es comparen els indicadors de petjada de carboni per habitant dels diferents municipis per comarques i es comparen amb les dades mitjanes comarcals i catalanes. Alhora, el càlcul de la petjada de carboni a escala municipal permet estudiar la correlació entre paràmetres, tals com l'índex de recollida selectiva i la petjada de carboni, i elaborar models de regressió.

4. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS DEL CONJUNT DE CATALUNYA

Aquesta secció presenta les dades de petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals a Catalunya per l'any 2018, així com diferents anàlisis de sensibilitat i la comparativa amb els resultats dels anys anteriors.

4.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2018)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2018 és de 754.331 t CO₂eq, i representa una emissió de 99 kg CO₂eq/habitant i de 190 kg CO₂eq/tona de residu generat (Figura 2). Aquests valors representen una reducció respecte els valors de l'any 2017, degut principalment a l'increment de la recollida selectiva i de la recuperació de materials a TMB i a la reducció en la quantitat de resta que va directe a DC.

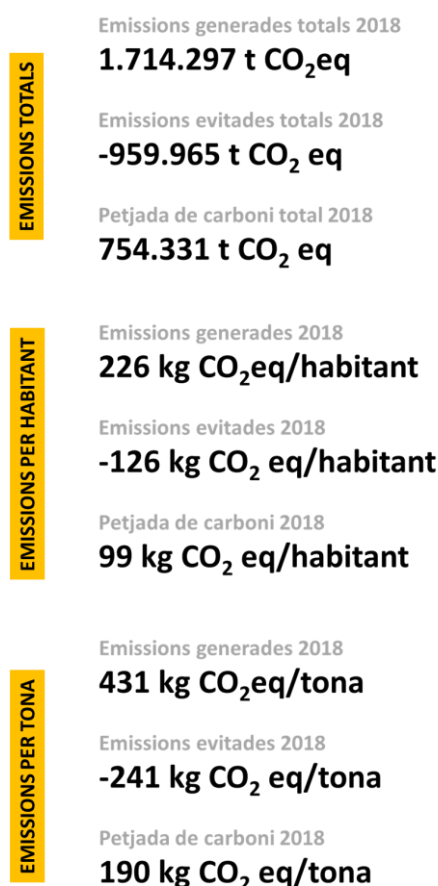


Figura 2. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya (2018)

La Figura 3 mostra la contribució dels impactes directes, indirectes i evitats. Es pot observar com la pràctica totalitat de les emissions generades són directes, i només una petita part

indirectes. Més de la meitat dels impactes generats (directes i indirectes) són contrarestats pels impactes evitats.

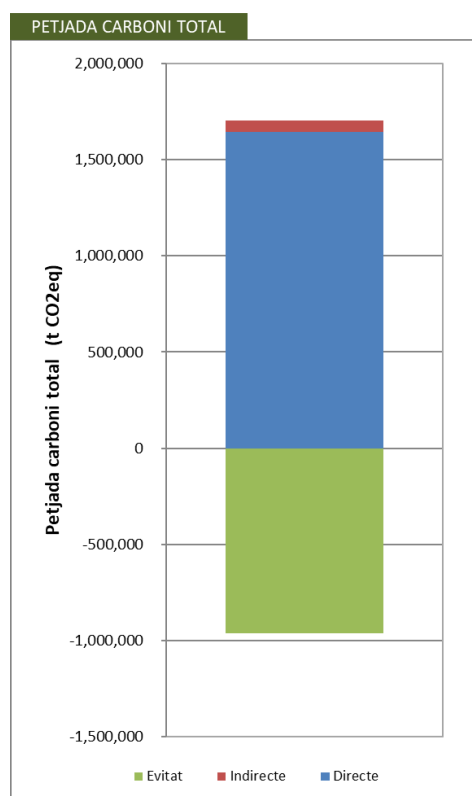


Figura 3. Petjada de carboni de Catalunya (2018): impactes directes, indirectes i evitats

Petjada de carboni per instal·lació

La Figura 4 i la Figura 5 mostren la petjada de carboni per cada instal·lació de tractament i per cada tipus d'impacte. Cal tenir en compte que les emissions associades a la Recollida selectiva (inclou reciclatges, compostatge i DA) i a Resta a TMB corresponen només al tractament primari, o inicial, del residu a les plantes de reciclatge o de tractament mecànic-biològic. Però aquestes plantes, a més de la valorització material i energètica, generen un rebuig que cal tractar en altres instal·lacions (seria el tractament secundari o finalista). El Residu a PVE i Residu a DC inclouen la resta que va directament a aquestes instal·lacions, però també els rebuigs que es generen durant el reciclatge, a les plantes de TMB i a les plantes de PVE.

Es pot observar com el principal element contribuïdor a la petjada de carboni són els residus que entren a dipòsit controlat (ja sigui com a fracció resta o com a rebuig), que representa tres quartes parts dels impactes directes del tractament de residus sòlids municipals. En segon lloc es troben les emissions de les PVE. Les emissions indirectes representen una part molt petita de les emissions generades, i són bàsicament les emissions associades a la producció de l'electricitat consumida a les plantes de residus. Per altra banda, la recollida selectiva contribueix a evitar una part important de la petjada de carboni. Els materials recuperats a les plantes de TMB i la valorització energètica dels residus a les PVE, també contribueixen a les

emissions evitades. Tota la valorització material i energètica dels residus permet contrarestar aproximadament la meitat de les emissions generades.

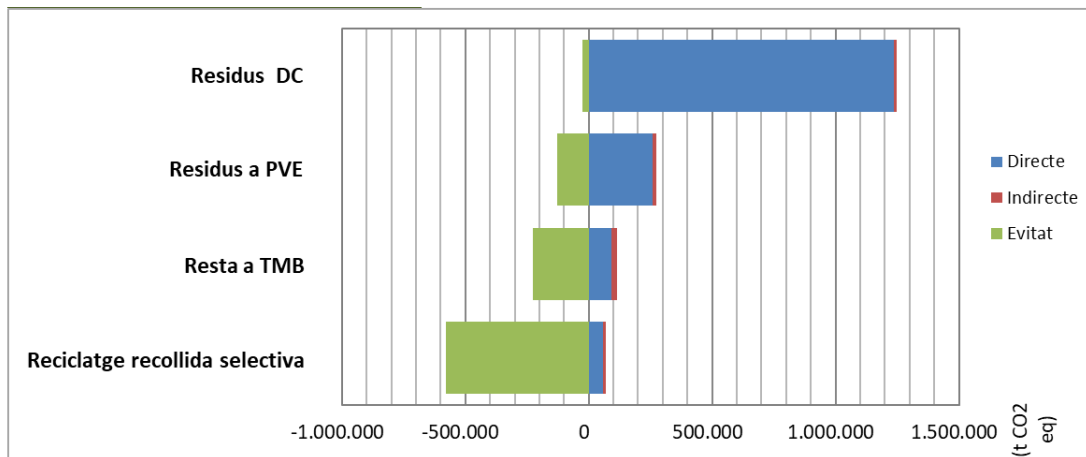


Figura 4. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2018) per instal·lació de residus

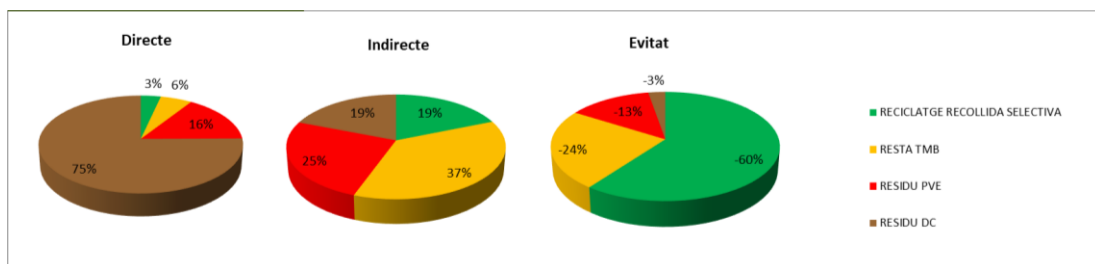


Figura 5. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2018), per tipus d'impacte

Si posem el focus en la Recollida selectiva (Figura 6), veiem que les emissions generades són principalment conseqüència dels tractaments de la FORM, ¾ en les plantes de compostatge i un 16% en les de digestió anaeròbia. Cal tenir en compte que la gestió d'aquesta fracció en DC suposaria unes emissions encara més rellevants. En tot cas, la Recollida selectiva presenta unes emissions evitades que són gairebé 10 vegades més grans que les generades. Les fraccions que contribueixen més a evitar emissions, gràcies als crèdits pels materials recuperats, són paper i cartró, envasos lleugers i metall.

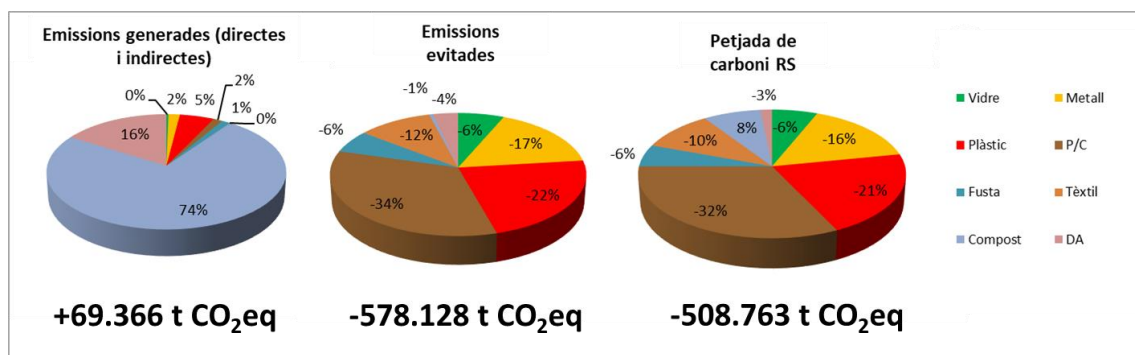


Figura 6. Petjada de carboni de la recollida selectiva per fraccions

La Taula 13 mostra el detall de la petjada de carboni del tractament dels residus l'any 2018, diferenciant la contribució de cada tipologia d'instal·lació així com els impactes directes, indirectes i evitats. I la seva evolució respecte de les emissions de 2017.

Els impactes indirectes per tots els tractaments baixen en valor absolut, tot i créixer les quantitats gestionades en el cas de la recollida selectiva i els TMBs, ja que el **factor d'emissió per a la fabricació de l'electricitat del 2018 (segons dades de OCCC 2019b) ha passat de 0,392 a 0,321 kg CO₂/kwh**. Això també afecta als impactes evitats a DC i, sobretot a PVE.

S'observa com l'impacte evitat per la **recollida selectiva** l'any 2018 incrementa en relació a l'any 2018, fet que es deu a que la quantitat total de materials recollits selectivament s'ha incrementat (+8%). De fet, augmenta la recollida selectiva de totes les fraccions en valor absolut.

Pel que fa a la **resta tractada a través de TMB**, s'observa una reducció de l'impacte ambiental total. Tot i que els impactes directes pugen, principalment com a resultat de l'increment en la quantitat de residus gestionats (en termes absoluts es gestiona un 6,8% més de resta), que suposa un increment dels impactes directes. La quantitat de resta gestionada amb digestió anaeròbia (DA) es manté pràcticament estable, el que augmenta és la quantitat que va a compostatge (CA). Els impactes directes per tona (les emissions generades per degradació biològica) són lleugerament majors per CA que per DA.

En contraposició, els impactes indirectes baixen, ja que el consum d'electricitat mitjà per tona a les plantes de TMB s'ha reduït de 48 a 44 kWh/tona, i a que el mix elèctric ha millorat (efecte extern a la gestió de l'ARC). A més, els impactes evitats a les plantes de TMB creixen: tot i que l'electricitat generada amb la DA evita un mix elèctric amb menor impacte, la valorització material s'ha vist incrementada. En termes absoluts es recupera un 11% més de materials, però la millora és més minsa en termes relatius (del 8,95% al 9,29% del material d'entrada). Ha incrementat sobretot la quantitat de plàstic (23% en termes absoluts) i també la de metall (5%), dos de les principals fraccions en massa i amb més potencial per evitar emissions.

Tot i això, l'eficiència de les plantes de TMB ha empitjorat lleugerament, incrementant el percentatge de rebuig generat respecte de les entrades de resta (del 73,9% del 2018 al 74,6% del 2018), i també incrementa el percentatge de rebuig que surt de TMB i va a DC (passa del 59,0 al 62,8%). Cal tenir en compte que la quantitat de bioestabilitzat valoritzat es redueix un 22% en valor absolut.

En el cas dels **residus enviats a PVE**, la petjada de carboni creix lleugerament, principalment degut a que el mix elèctric substituït és millor des d'un punt de vista ambiental (és a dir té menys impacte per kWh), i per tant els impactes evitats es redueixen considerablement. Tot i això, el impacte directe disminueix, ja que la quantitat total de residu tractat es redueix (en termes absoluts es gestiona un 1,6% menys de residu). Concretament es redueix la quantitat de rebuig procedent d'altres tractaments, mentre que la quantitat de resta gestionada a PVE es manté igual. A més, el factor d'emissió directa per tona de resta i de rebuig es redueixen lleugerament respecte 2018 (ja que el contingut de plàstics i altres materials amb contingut de C fòssil s'han reduït lleugerament).

Finalment, els impactes totals en **dipòsit controlat** creixen lleugerament. Això és degut a tres fets. Primer, la quantitat total de residus gestionats en DC incrementa un 1% en valor absolut, i segon, varia la relació entre les entrades de resta i rebuig. Combinats, fan incrementar l'impacte directe, que puja un 7%. Si s'analitza el segon punt en detall, la quantitat de resta enviada directament a DC es redueix significativament (de més de 90.000 tones, és a dir es redueix un 13,7% la quantitat de resta que va a DC). Però incrementa, també de forma molt rellevant, la quantitat de rebuig (de més de 105.000 tones, és a dir augmenta un 12,8% la quantitat de rebuig que va a DC). Pràcticament tota la resta que es deixa de portar a DC, es gestiona en plantes de TMB, cosa que fa incrementar la quantitat de rebuig que es genera als TMBs i que en gran part es porta a DC com a rebuig. Amb tots aquests canvis, el rebuig passa d'un 55% a un 61% del total de residu que va a DC. Com que les emissions directes per tona són més altes pel rebuig que per la resta, fan que s'incrementin les emissions directes. Tercer, l'impacte evitat es redueix degut al canvi en el mix elèctric, i contribueix a un pitjor resultat del DC respecte 2018.

Taula 13. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals de Catalunya (2018), en t de CO₂eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2017

Flux de residus	Impacte directe	Impacte indirecte	Impacte evitat	Petjada de carboni total ¹
Recollida Selectiva	58.079	11.287	-578.128	-508.763 (-65.247)
Rest a TMB	92.277	22.046	-227.339	-113.017 (-16.531)
Residu a PVE (resta + rebuig)	257.989	15.213	-128.380	144.823 (+10.667)
Residu a DC (resta + rebuig)	1.234.993	11.450	-26.118	1.220.325 (+10.365)
TOTAL¹	1.643.338 (+7.419)	59.996 (-10.843)	-959.965 (-57.323)	743.368 (-60.747)

¹Entre parèntesi es mostra la diferència entre la petjada de carboni de 2018 i 2017. El color verd indica una evolució favorable en termes de petjada de carboni, mentre que el vermell indica una evolució desfavorable.

Petjada de carboni per fraccions de residus i vies de gestió

A continuació es presenten els factors d'emissió mitjans obtinguts per l'any 2018 a Catalunya del **tractament** dels residus sòlids municipals. Les taules mostren els resultats en kg CO₂eq/tona per les diferents fraccions i tractaments. Cal tenir en compte que en aquest estudi s'avalua la petjada de carboni, és a dir l'efecte dels tractaments en canvi climàtic. Altres categories d'impacte ambiental (com la toxicitat, l'acidificació, l'esgotament dels recursos, etc.) podrien mostrar una altra escala de preferència de tractament.

Per les tres taules presentades en aquest apartat, les emissions generades inclouen els impactes directes (abast 1) així com l'impacte indirecte de l'obtenció de l'electricitat (abast 2), del tractament del flux primari i secundari dels residus (per exemple, la resta es porta a TMB, seria flux primari, i el rebuig que surt de les plantes de TMB es porta a DC o PVE, flux secundari). Les emissions evitades inclouen les potencials valoritzacions materials i/o energètiques tant en el tractament del flux primari com del secundari.

La Taula 14 mostra els factors d'emissió mitjans del tractament de la fracció resta i rebuig a Catalunya. Les emissions generades per 1 tona de resta es mouen entre els 427 kg CO₂ eq. en les PVE, i arriben fins pràcticament el doble en DC. La diferència és encara major si considerem l'efecte de les emissions evitades, ja que els impactes evitats en les plantes de TMB i PVE està al voltant dels 200 kg CO₂ eq., mentre que a DC són pràcticament insignificants. En resum, des d'un punt de vista de petjada de carboni, el tractament amb menys impacte per la resta i el rebuig serien les PVE, seguides dels TMBs, i finalment DC.

Taula 14. Factors d'emissió mitjans del tractament de la fracció resta i rebuig a Catalunya (2018).

<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	Emissions generades	Emissions evitades	Balanç
1 t resta a TMB	586	-205	382
1 t resta a TMB (DA)	539	-231	308
1 t resta a TMB (C)	608	-199	410
1 t resta a PVE	427	-190	236
1 t resta a DC	797	-17	779
1 t rebuig a PVE	431	-210	221
1 t rebuig a DC	837	-19	818

Citar com: CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2018. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2018.

La Taula 15 mostra els factors d'emissió mitjans del tractament de les fraccions de recollida selectiva excepte la FORM. En tots els casos, el reciclatge és la via de tractament amb menor impacte. Cal destacar les significants emissions generades pel paper i cartró en DC, i dels plàstics en les PVE.

La Taula 16 presenta els factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals (FORM). Les emissions generades en DC són més del doble de les que es generen en tractaments de compostatge o digestió anaeròbia. Les emissions evitades són rellevants en el cas de la digestió anaeròbia gràcies a la valorització energètica, i per aquesta raó seria la via de gestió amb una petjada de carboni més petita per aquesta fracció dels residus.

Taula 15. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2018).

	<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	1 t P/C	1 t vidre	1 t metall	1 t plàstic
DC	Emissions generades	2032	4	4	4
	Emissions evitades	-52	0	0	0
	Balanç	1980	4	4	4
PVE	Emissions generades	42			2794
	Emissions evitades	-170			-509
	Balanç	-129			2285
Reciclatge	Emissions generades	45	1	29	30
	Emissions evitades	-604	-196	-2420	-1074
	Balanç	-560	-195	-2390	-1044

Citar com: CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2018. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2018.

Taula 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2018)

<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	Emissions generades	Emissions evitades	Balanç
DC	842	-18	824
Compostatge	339	-11	328
Digestió anaeròbia	298	-88	211

Citar com: CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2018. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2018.

Petjada de carboni del transport interurbà

Del total de la petjada de carboni, el transport interurbà de residus (del municipi a la planta de tractament) ascendeix a 10.963 tones de CO₂eq, el qual representa un 0,6% del total d'impactes generats pel tractament (Figura 7). Cal tenir en compte que no s'ha pogut estimar l'impacte de la recollida municipal de residus per manca de dades fiables.

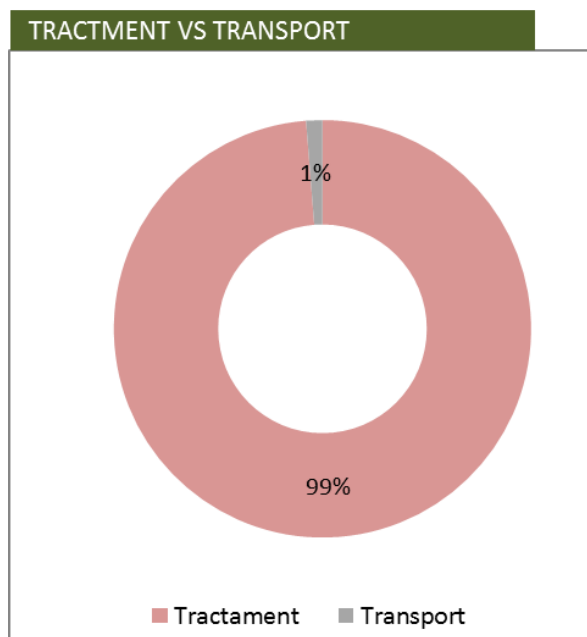


Figura 7. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2018)

4.2. Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius

Per tal d'interpretar els resultats, es compara l'escenari 2018 (any base) amb altres escenaris alternatius de gestió dels residus municipals a Catalunya per tal d'avaluar la sensibilitat d'alguns paràmetres clau. Els escenaris estudiats són els següents:

- **Escenaris A / Destí de la resta**
 - a) **/A1/** 100% de la resta a dipòsit controlat
 - b) **/A2/** 0% de la resta a dipòsit controlat (s'assumeix que tota la resta que el 2018 va a DC es passa a gestionar a través de TMB i PVE, de manera proporcional a les quantitats tractades l'any base)
 - c) **/A3/** 100% de la resta a PVE
 - d) **/A4/** 100% de resta a TMB i 100% del rebuig generat a TMB va a DC (s'assumeix la proporció entre TMB amb DA i amb compostatge de l'any 2018)
- **Escenaris B / Recollida selectiva**
 - a) **/B1/** Sense recollida selectiva
 - b) **/B2/** Recollida selectiva global del 60% respecte dels residus municipals generats (s'assumeix que l'increment és proporcional en totes les fraccions per igual i de cap fracció es pot recollir més del 100%)
- **Escenaris C / Captació de biogàs en dipòsits controlats**
 - a) **/C1/** Sense captació (0%)

- b) **/C2/** Captació del 60%
- c) **/C3/** Captació del 100%

- **Escenaris D / Plantes TMB**

- a) **/D1/** 100% rebuig TMB a PVE. És un escenari hipotètic, ja que no hi ha prou capacitat instal·lada en PVE per fer-hi front.

- **Escenari E0 / Neutral en carboni**

Aquest escenari combina els següents canvis, alineats amb els objectius quantitatius de l'ARC i de les directives europees de residus:

- a) 0% de la resta va a dipòsit controlat (s'assumeix que tota la resta que el 2018 anava a DC, es passa a gestionar a través de TMB i PVE, de manera proporcional a les quantitats tractades l'any 2018). A l'escenari E0, el destí de la resta seria: 0% DC, 32% TMB-DA, 68% TMB-CA i 12% PVE.
 - b) Recuperació de materials a TMB puja un 50% respecte d'any base (s'assumeix que l'increment és proporcional en totes les fraccions per igual). A l'escenari E0, la recuperació material total a plantes de TMB seria del 13,9%.
 - c) Recollida selectiva i valorització material a TMB aconseguirien que com a mínim el 65% dels residus totals generats es valoritzin materialment. S'assumeix que l'increment és proporcional en totes les fraccions de RS per igual i de cap fracció es pot recollir més del 100%. A l'escenari E0, les plantes de TMB valoritzen el 5% de tots els residus (segons punt b), i la RS un 60%. La valorització material total seria en realitat més del 65%, ja que hi ha una petita valorització a altres plantes com PVE i CDRs.
 - d) La capacitat de les PVE s'aprofita fins al seu màxim per portar-hi rebuig, que deixa de portar-se a DC (s'assumeix que les tones tractades en l'escenari base són la màxima capacitat de tractament de les plantes de PVE). A l'escenari E0, hi hauria unes 191.000 tones de resta que es tracten en PVE i unes 441.000 tones de rebuig (principalment de TMBs). Es gestionarien unes 750.000 tones de rebuig en DC, això seria un 18,8% del total de residus generats (per sobre de l'objectiu europeu del 10% pel 2030).

La Taula 17 i Figura 8 mostren la petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2018 (escenari base), en comparació amb la petjada de carboni que correspondria als diferents escenaris considerats. Amb la Taula 18 es pot avaluar l'efecte de les diferents hipòtesis en cada instal·lació de tractament, comparant amb l'escenari base de la Figura 4.

Els escenaris A1-A4 avaluen l'efecte de canviar el destí de la resta. Cal tenir en compte, però, que actualment una part rellevant de la resta tractada en plantes de TMB, acaba finalment

convertint-se en residu a DC. L'**escenari A1** permet observar com el fet de destinar el 100% de la fracció resta a dipòsit controlat suposaria pràcticament doblar la petjada de carboni: un increment de les emissions generades del 22% i una reducció de les evitades del 35%. En l'altre extrem, a l'**escenari A2** el fet d'evitar l'entrada de fracció resta a dipòsit controlat (a costa de gestionar-ho a través d'altres alternatives: TMB i PVE), suposaria una reducció de les emissions generades del 7% i un increment de les evitades del 12%. L'escenari A2 permetria en conjunt una reducció d'aproximadament d'un 32% de la petjada de carboni. Si tota la resta generada a l'escenari base anés a PVE (**escenari A3**), les emissions generades baixarien i incrementarien les emissions evitades, s'aconseguiria una reducció de la petjada de carboni del 64%. Pel contrari, en l'**escenari A4**, tota la resta es gestiona en TMB i un 0% del rebuig generat es porta PVE, el 100% va a DC. Això implicaria incrementar les emissions generades un 9% respecte de l'escenari base, i mantenir pràcticament igual les emissions evitades, així que en total s'incrementaria la petjada de carboni un 21%.

Taula 17. Emissions generades, evitades i petjada de carboni en el escenari base i escenaris alternatius

(tones de CO2 eq)	Emissions generades	Emissions evitades	Petjada de carboni	Comparativa PC amb Base
Escenari Base	1.714.297	-959.965	754.331	0%
Escenari A / Destí de la resta				
/A1/ 100% a dipòsit controlat	2.089.987	-620.225	1.469.761	+95%
/A2/ 0% a dipòsit controlat	1.586.396	-1.073.309	513.087	-32%
/A3/ 100% a PVE	1.293.111	-1.021.352	271.759	-64%
/A4/ 100% a TMB (rebuig a DC)	1.867.912	-956.593	911.318	+21%
Escenari B / Recollida selectiva				
/B1/ Sense recollida selectiva	2.726.379	-640.600	2.085.779	+177%
/B2/ Recollida selectiva global del 60%	1.380.761	-1.101.819	278.942	-63%
Escenari C / Captació de biogàs en dipòsits controlats				
/C1/ Sense captació (0%)	2.223.386	-933.847	1.289.539	+71%
/C2/ Captació del 60%	1.205.207	-986.083	219.124	-71%
/C3/ Captació del 100%	526.590	-1.020.899	-494.308	-166%
Escenari D / Plantes TMB				
/D1/ 100% rebuig TMB a PVE	1.442.868	-1.098.164	344.704	-54%
Escenari E0 / Neutral en carboni	1.195.788	-1.284.943	-89.155	-112%

Per altra banda, els **escenaris B1 i B2** mostren el rellevant efecte de l'índex de recollida selectiva sobre les emissions generades i evitades. En l'escenari B1, en què no hi hauria recollida selectiva (i tots els residus generats serien resta, gestionada via DC, TMB i PVE), s'observa com les emissions generades s'incrementarien un 59% i les evitades es reduirien un 33%. Al contrari, si incrementa la recollida selectiva fins al 60% del residus generats (escenari

B2), hi hauria més valorització material i caldria tractar una quantitat inferior de resta, això es traduiria en una reducció del 19% en les emissions generades i un increment del 15 de les evitades. En total, B1 i B2 suposarien un increment de la petjada de carboni del 177% i una reducció del 63%, respectivament.

Els **escenaris C1, C2 i C3** mostren la importància de la captació de biogàs als dipòsits controlats. Aquest paràmetre té una elevada incertesa degut a la complexitat en l'obtenció de dades experimentals fiables i representatives. S'observa com el fet de considerar l'absència de captació de biogàs (0%) o un índex de captació del 100% faria oscil·lar les emissions generades entre +30% i -69% respecte a l'escenari base. No obstant, cal considerar que l'escenari C3 és tècnicament inviable, degut a la complexitat d'assolir taxes de captació tan elevades.

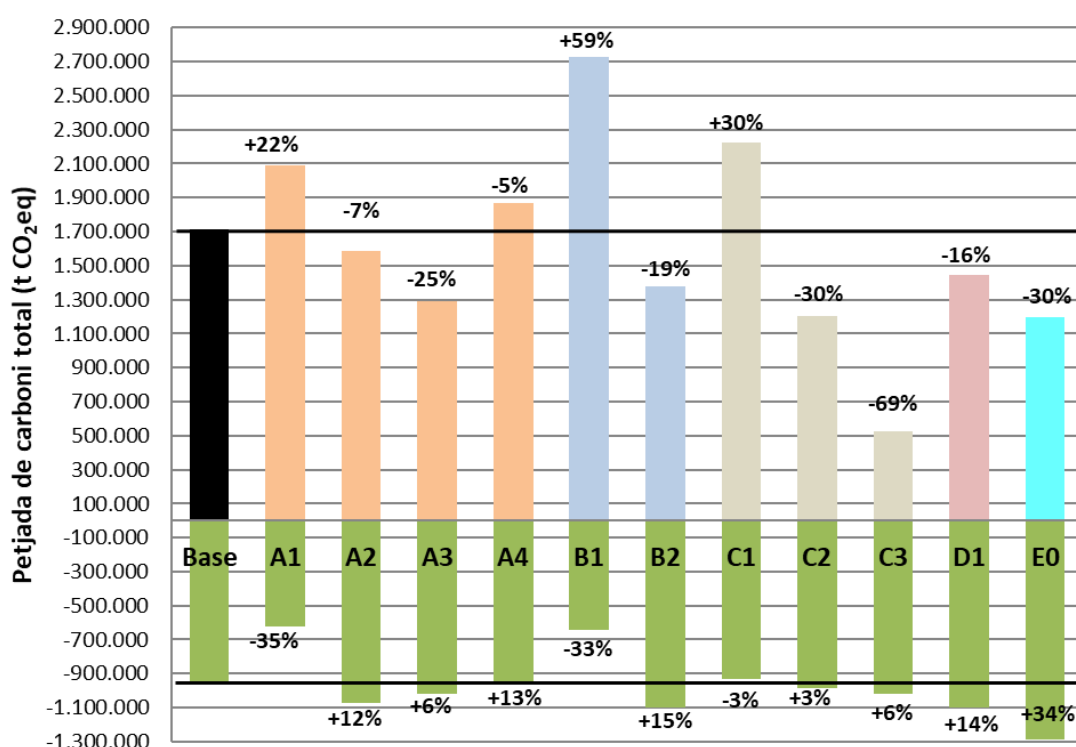


Figura 8. Efecte en les emissions generades (barres superiors de color negre, taronja, blau, etc.) i evitades (en verd) de la gestió dels residus municipals a Catalunya (2018): escenari base vs escenaris alternatius

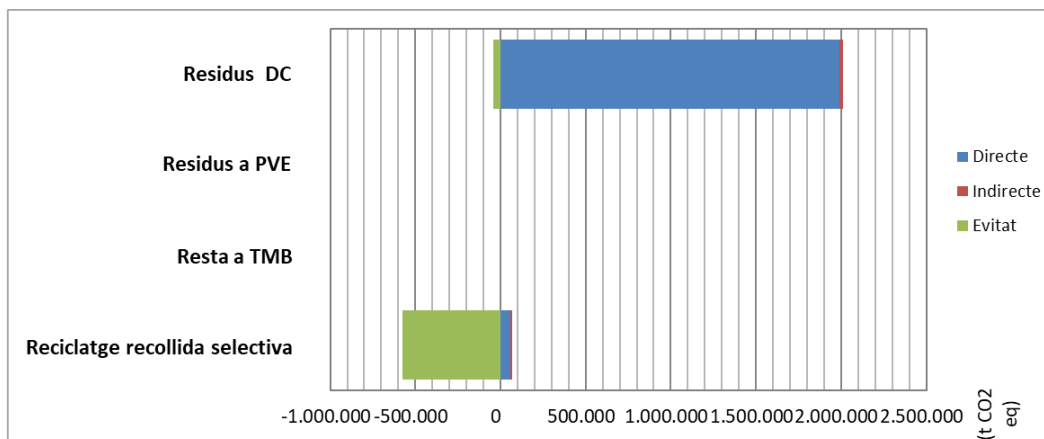
L'**escenari D1** avalua l'hipotètic enviament de tot el rebuig de les plantes de TMB a PVE (i no a DC, com es fa a l'escenari base en un percentatge elevat). S'aconseguiria una reducció de les emissions generades (16%) i un increment de les emissions evitades (del 14%).

Finalment, les hipòtesis considerades en l'**escenari E0**, aconseguirien efectivament la neutralitat. És a dir que la baixada de les emissions generades del 30% i l'increment de les emissions evitades del 34%, donaria com a resultat una petjada de carboni en que les emissions evitades han neutralitzat les generades. Cal tenir en compte que en aquest escenari no s'ha contemplat cap millora en un element clau per reduir les emissions, aconseguir millorar el nivell de estabilització dels residus orgànics en les plantes de TMB. Per tant, si es

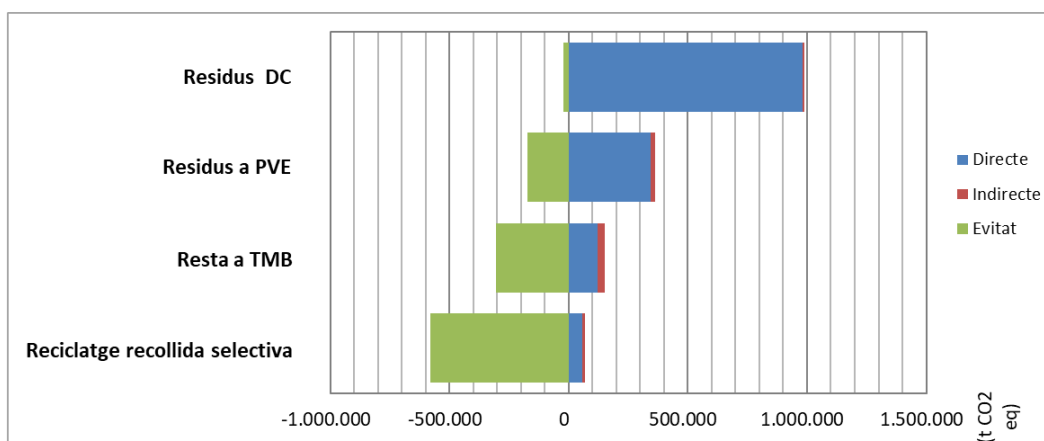
posen mesures per millorar aquest indicador, la reducció en la petjada de carboni podria ser encara més rellevant.

Taula 18. Petjada de carboni en cada escenari: emissions generades i evitades, per instal·lacions de tractament

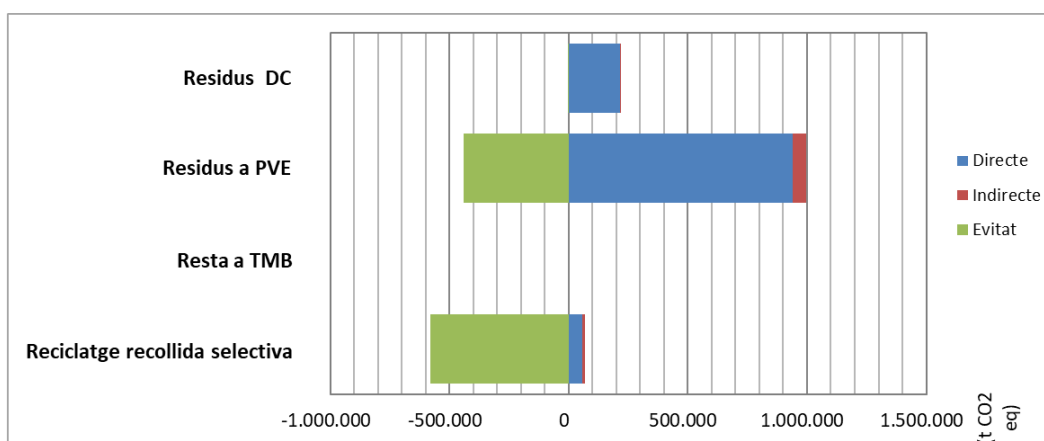
/A1/



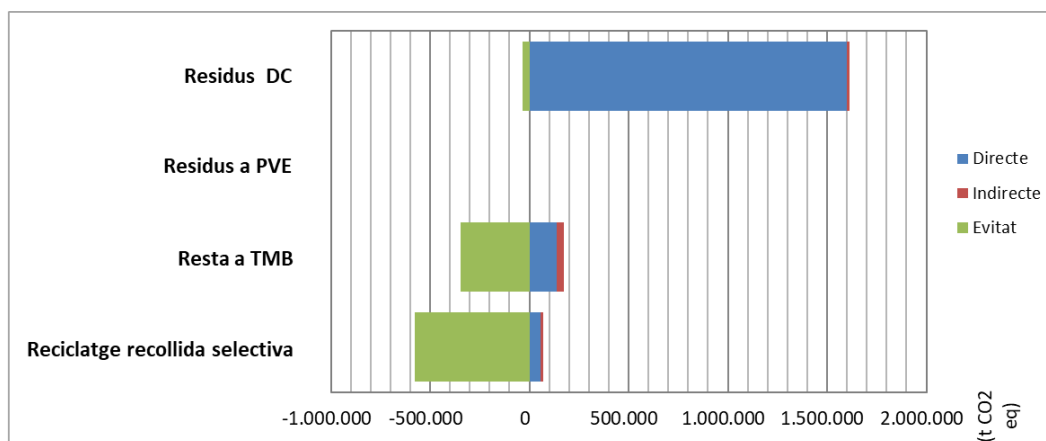
/A2/



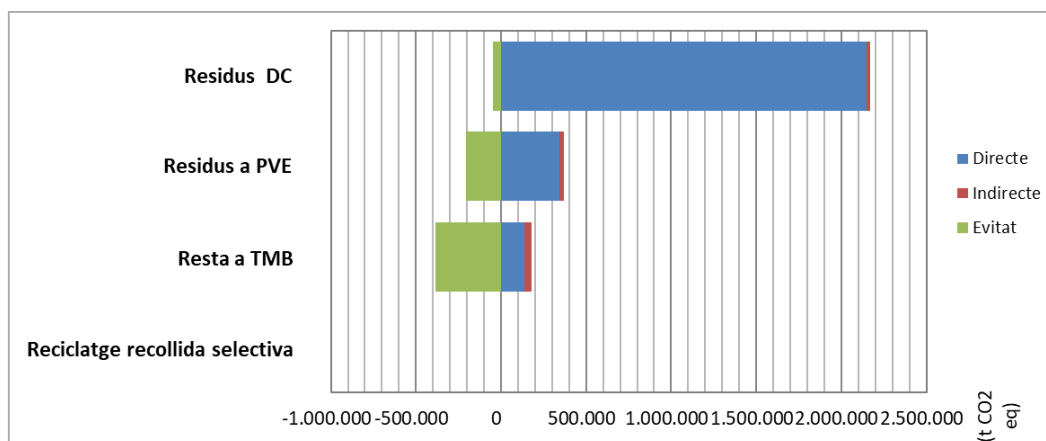
/A3/



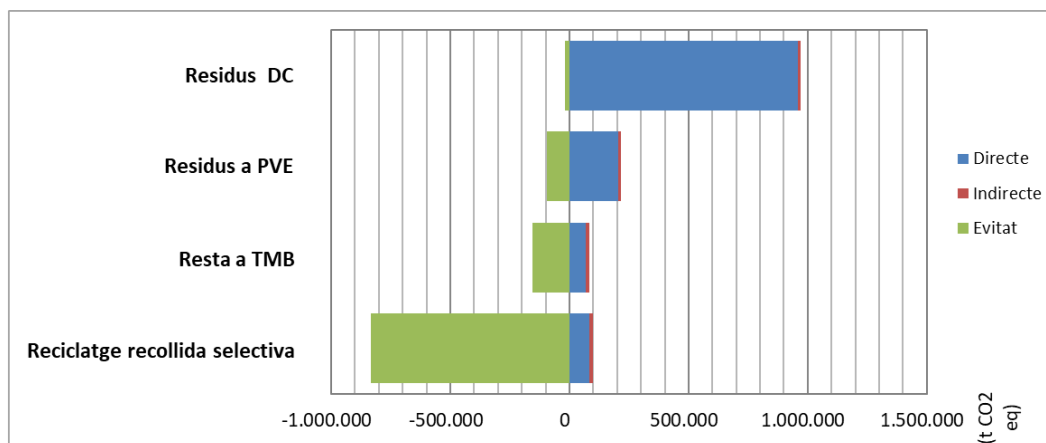
/A4/



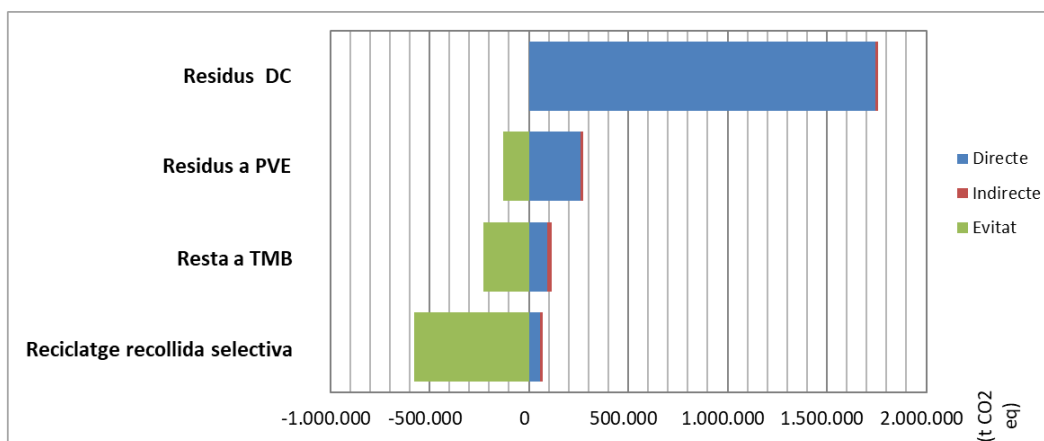
/B1/



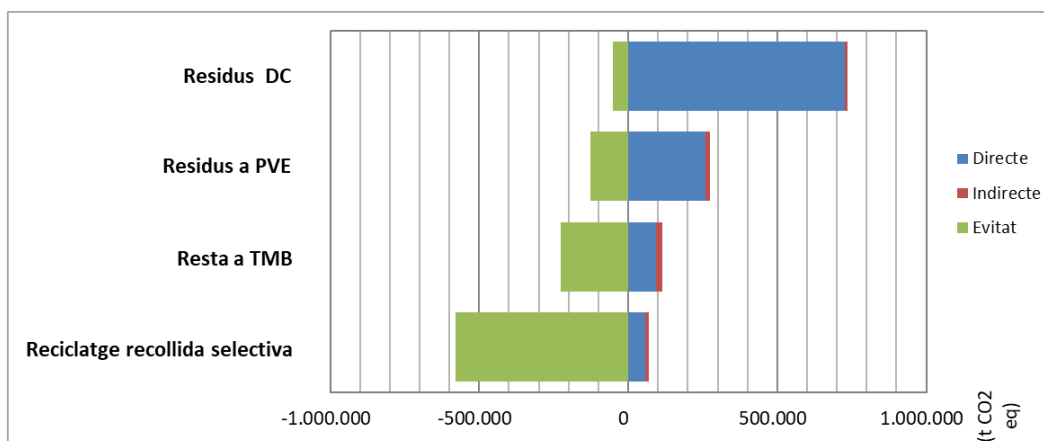
/B2/



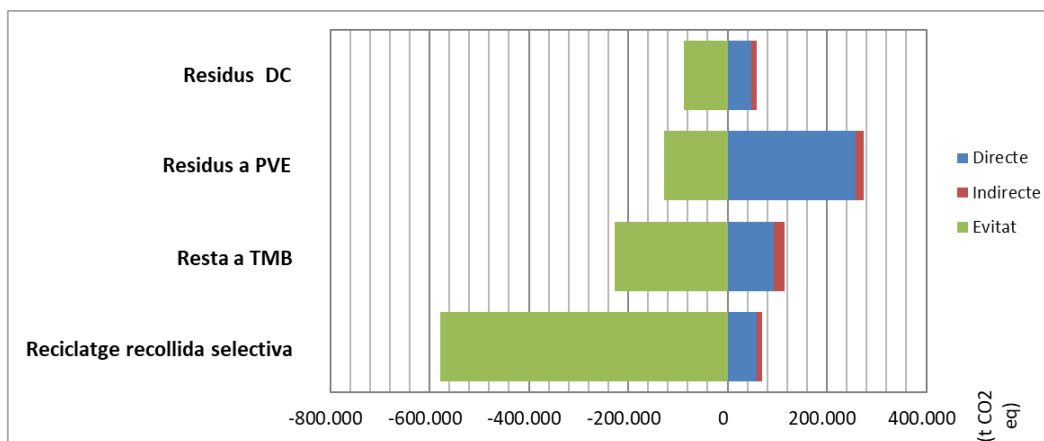
/C1/



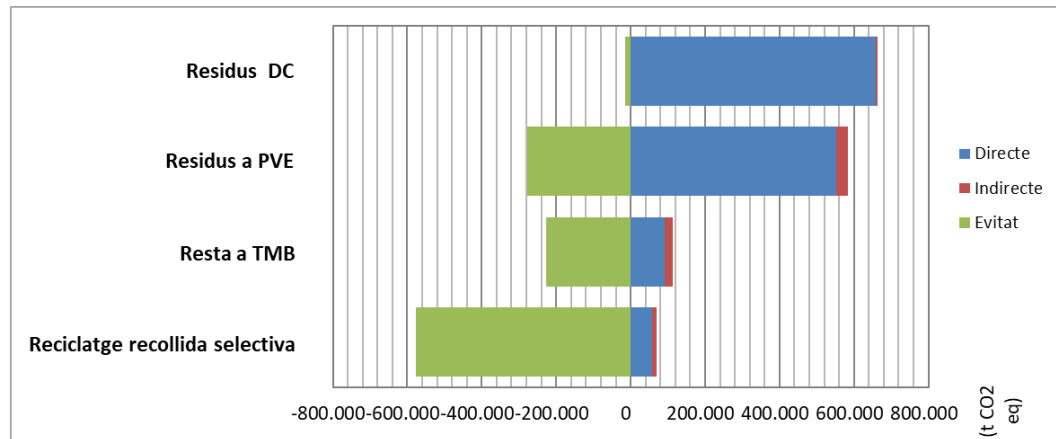
/C2/



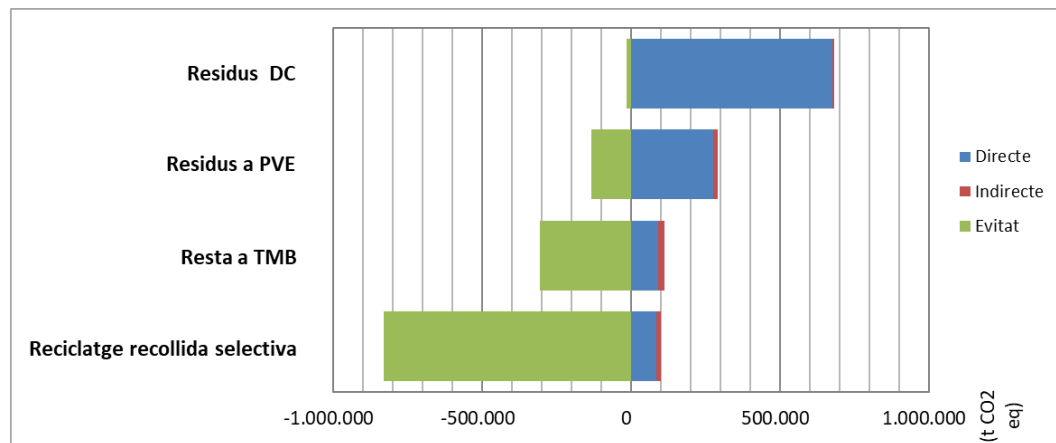
/C3/



/D1/



/E0/



* Alerta, l'escala de l'eix horitzontal no és la mateixa en totes les figures, és a dir el valor màxim i mínim poden variar.

4.3. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2018)

Aquest apartat analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya al llarg del període 2012-2018⁵.

Evolució del model de gestió

En primer lloc, es contextualitza el model de gestió dels residus a Catalunya en els anys 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 i 2018, fent èmfasi en els principals canvis a efectes de petjada de carboni.

En el període 2012-2018 la generació de residus per habitant i la recollida selectiva s'han mantingut relativament estables, amb el mínim per ambdues variables l'any 2013 (Figura 9). Pel que fa a la generació per habitant, l'any 2018 ha seguit la tendència incremental des de

⁵ Les dades relatives als anys 2012, 2013, 2014 i 2015 s'han recalculat per tal de tenir en compte la recollida selectiva de fusta i tèxtil que es va començar a considerar a partir del 2016.

2013 i s'ha superat l'indicador de l'any 2012 en 0,08 kg/hab·dia. Pel que fa a la recollida selectiva, el valor de 2018 ha patit un increment significatiu respecte de 2012, que va ser el primer any en superar el de referència (2012). La recollida selectiva el 2018 ha incrementat en gairebé un 5% respecte de 2017.

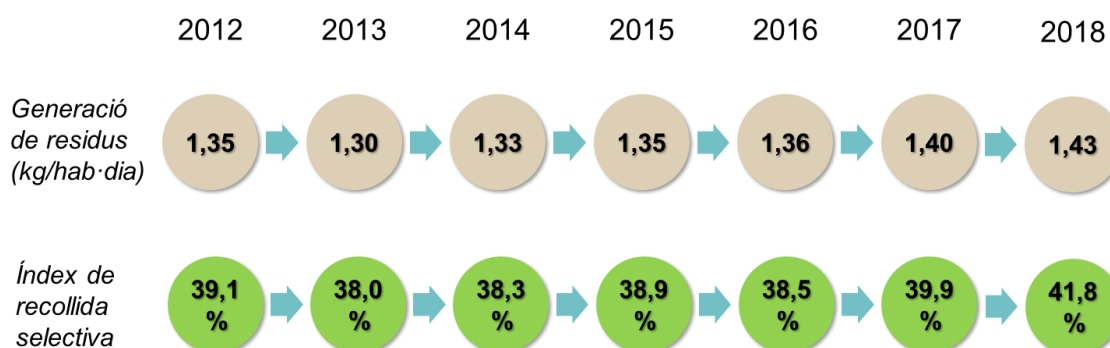


Figura 9. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2018)

Per la seva banda, la Figura 10 mostra quines són les principals vies de tractament de la fracció resta generada. Per una banda, el percentatge de resta gestionada en dipòsit controlat es redueix considerablement respecte 2017 (passa del 29% al 25% entre 2017 i 2018). I segueix estant per sota de l'any 2012, concretament 13 punts percentuals més baix. La resta gestionada a través de TMB segueix la mateixa tendència d'augment (i passa del 62 al 66% entre 2017 i 2018). En total, ha pujat 16 punts percentuals des de 2012. El percentatge de resta que va a PVE es manté molt similar a l'any 2017, en percentatge i en valor absolut, tot i que ha baixat respecte de 2012.

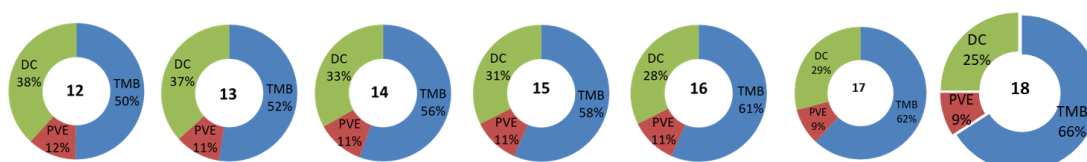


Figura 10. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2018). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecànic-Biològic

Per la seva banda, la Figura 11 mostra el detall de les principals variables relacionades amb el rendiment de les plantes de TMB. En particular, es mostra la generació de rebuig (% en relació a la resta d'entrada), destí del rebuig a DC (% del rebuig que s'envia a dipòsit controlat), quantitat relativa de rebuig enviat a dipòsit controlat (kg per tona de resta entrada a TMB) i índex de recuperació de materials (% en relació a la resta d'entrada). S'observa com la generació de rebuig a TMBs puja lleugerament respecte de 2017 (un 1%). Tot i que ha anat oscil·lant des de 2012, la tendència global ha estat a anar pujant (percentatge superior en uns 5 punts respecte de 2012). La quantitat relativa (per tona) de rebuig que surt dels TMBs i es destina a dipòsit controlat augmenta un 20% en el període 2012-2018, i també creix (un 7,6%) respecte de 2017. Per tant, s'ha aconseguit reduir la quantitat de resta que va a DC, enviant-la a plantes de TMB, però també ha incrementat la quantitat de rebuig que surt de les plantes de

TMB amb destí a dipòsit controlat. Tant és així, que de forma global, ha crescut lleugerament la quantitat de residu (resta + rebuig) que va a dipòsit controlat. De totes maneres, la valorització material s'incrementa en 2 punts en el període 2012-2018, i creix lleugerament respecte de 2017, recuperant pràcticament els nivells dels anys 2015 i 2016.

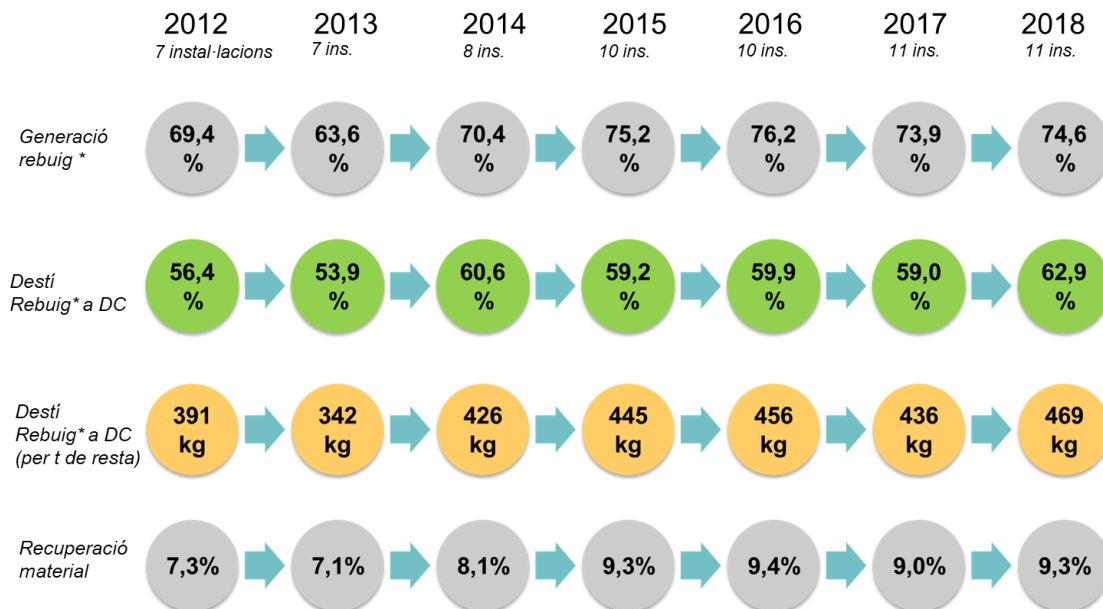


Figura 11. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2018). Les dades de rebuig, inclouen també el bioestabilitzat amb destí dipòsit controlat.

Evolució de la petjada de carboni

La Taula 19 i la Figura 12 presenten els resultats de petjada de carboni pel conjunt de Catalunya de la sèrie anual. L'impacte generat total ha anat augmentat any rere any des de 2013, en total un 7,4% en el període 2012-2018. Tot i que respecte de 2017, les emissions generades s'han reduït molt lleugerament. L'impacte evitat total ha crescut proporcionalment més que el generat, un 25% en el mateix període. Així, la petjada de carboni total s'ha reduït un 7,4%% entre 2012 i 2018. Aquí cal tenir en compte que les emissions generades i les evitades es veuen afectades pels canvis tant en la gestió com per l'increment progressiu en la quantitat total de residus generats.

La petjada de carboni per tona al llarg del període es manté dins d'un rang relativament estable entre 2012 i 2018 (Figura 13), amb un lleuger repunt el 2016 i amb tendència a anar-se reduint des d'aleshores. El 2018 és el segon any consecutiu per sota de 2012, s'observa un decreixement del 9% respecte l'any de referència. El del 2018 és el valor més baix de la sèrie temporal, caldrà veure si la tendència es manté els propers anys.

D'aquesta manera, pel que fa a la **petjada de carboni per tona**, es situa en 190 kg CO₂eq/tona, en comparació als 222 kg CO₂eq/tona de l'any 2012 (Figura 13). Com s'ha comentat, en aquest període s'observa com hi ha una millora en la quantitat de materials valoritzats (tant pel que fa a la recollida selectiva com a la valorització en plantes de TMB) i un menor percentatge de

resta que es destina directament a dipòsit controlat. No obstant, en aquest període augmenta la quantitat de rebuig de TMB que es destina a dipòsit controlat.

Taula 19. Evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals pel conjunt de Catalunya en el període 2012-2018

Escenari	Petjada de carboni (t CO ₂ eq)	Impacte generat (t CO ₂ eq)	Impacte evitats (t CO ₂ eq)
Catalunya 2018	754.331	1.714.297	-959.965
Catalunya 2017	814.806	1.717.449	-902.643
Catalunya 2016	862.378	1.692.241	-829.862
Catalunya 2015	805.861	1.605.219	-799.358
Catalunya 2014	834.655	1.562.147	-727.492
Catalunya 2013	824.942	1.502.060	-677.117
Catalunya 2012	829.008	1.595.626	-766.617

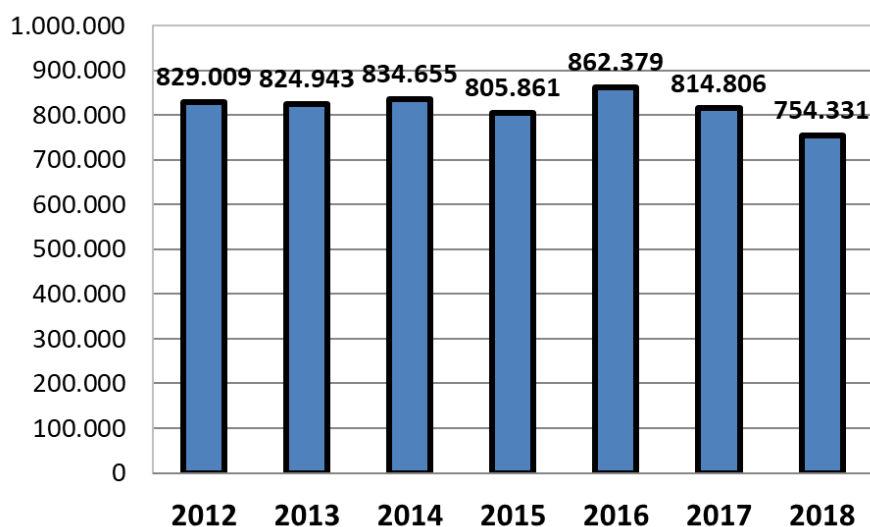


Figura 12. Evolució de la petjada de carboni de Catalunya (2012-2018). Dades en tones de CO₂eq

En el cas de la **petjada de carboni per habitant** (Figura 13), s'observa un comportament similar a la petjada de carboni per tona, amb una variabilitat en el període estudiat més petita, fins aquest 2018 en que baixa significativament. D'aquesta manera, **en el període 2012-2018 es detecta un decreixement del 9%**, i respecte del 2017 la reducció és del 8%. Tot i l'increment en la generació de residus per habitant, respecte 2012 i respecte 2017, la petjada de carboni

es redueix lleugerament gràcies a les millores en la gestió dels residus, que resulten en una menor petjada de carboni per tona.

La Figura 14 presenta, a mode recordatori, els resultats obtinguts per l'any 2018.

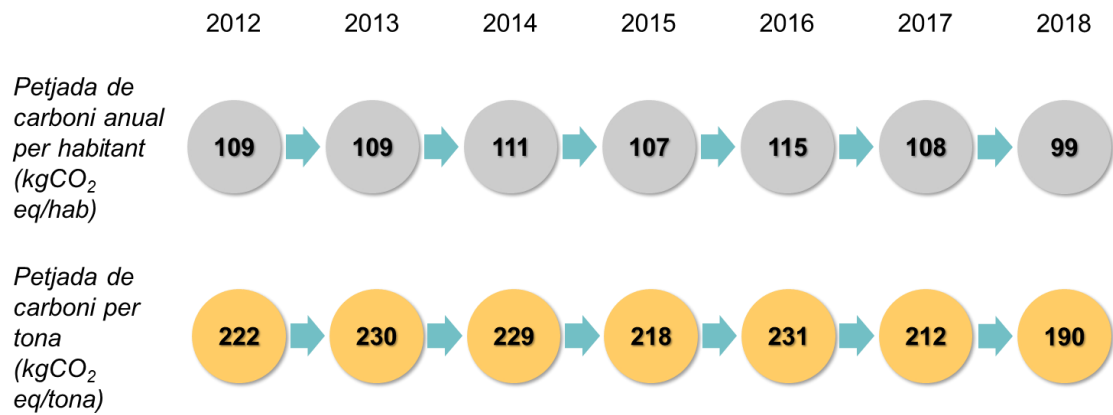


Figura 13. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2018

Petjada de carboni total 2018

754.331 t CO₂eq/any

Petjada de carboni per habitant 2018

99 kg CO₂eq/habitant

Petjada de carboni per tona 2018

190 kg CO₂eq/tona

Figura 14. Petjada de carboni total, per habitant i per tona (2018).

5. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS A NIVELL DE MUNICIPI I COMARCA

Aquesta secció presenta les dades de petjada de carboni global de la gestió i tractament dels residus municipals a Catalunya, en primer lloc a escala municipal i posteriorment de manera agregada a nivell comarcal.

5.1. Resultats a nivell de municipi (2018)

Els resultats de cadascun dels municipis es mostren en detall a l'**Annex A**, agregats comarca per comarca així com a nivell d'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB). A més a més, en format digital, es disposa d'una fitxa de resultats per cada municipi (veure exemple, Figura 15) així com de l'aplicatiu CO₂ZW® amb les dades de cada municipi.

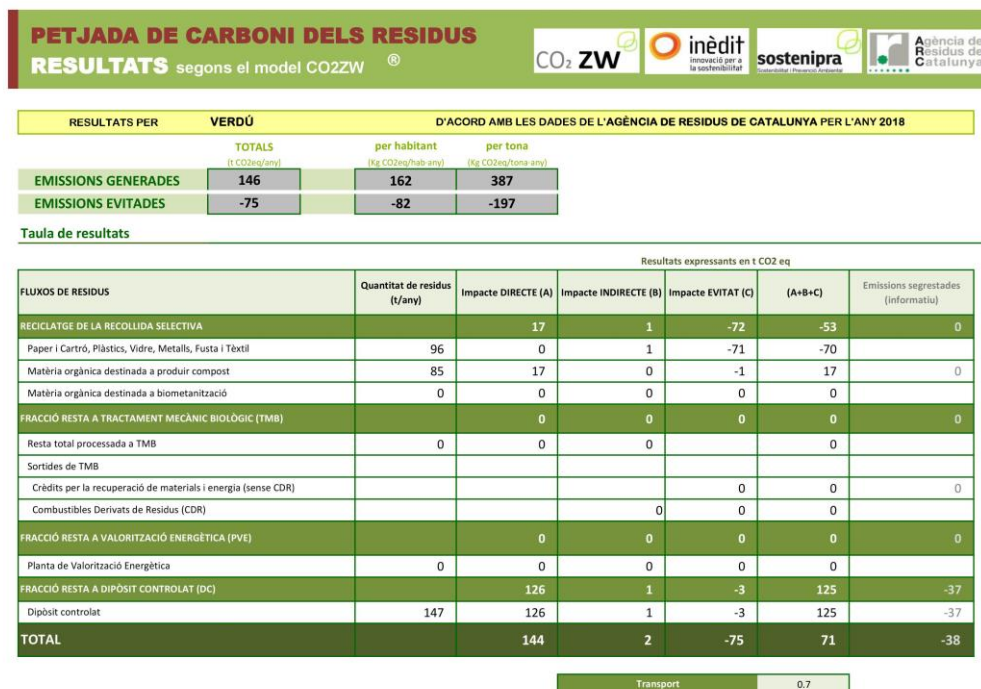


Figura 15. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi

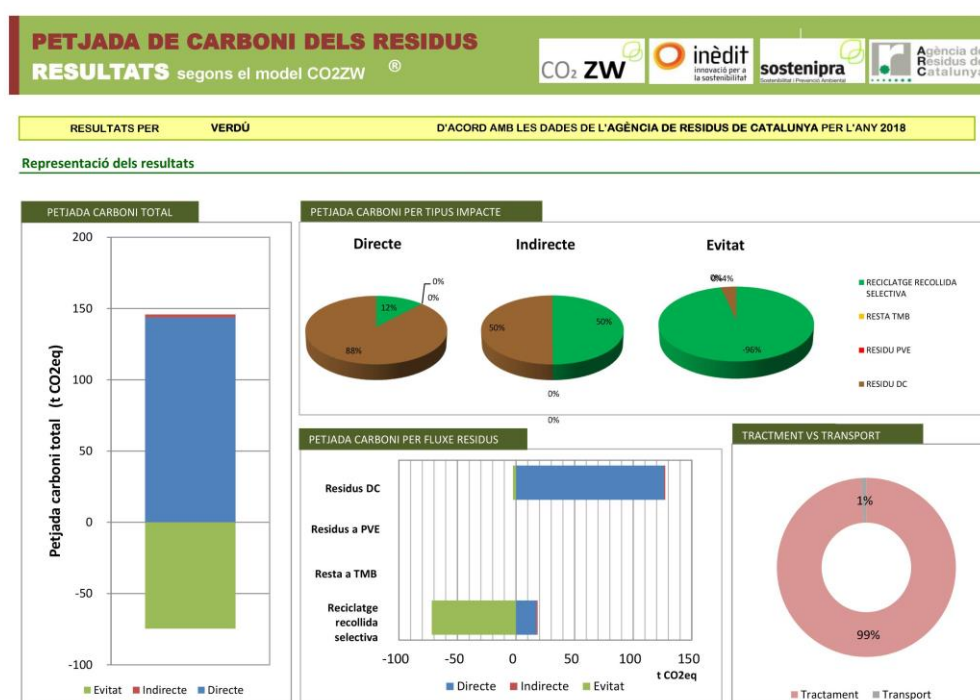


Figura 15. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi (continuació)

Dades estadístiques descriptives

La Taula 20 mostra els descriptius estadístics de la petjada de carboni dels municipis catalans per l'any 2018. D'acord amb aquests resultats, s'observa que el 50% dels municipis tenen una petjada de carboni entre 113 i 251 kg CO₂eq/habitant⁶.

Taula 20. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2018)

Descriptiu	Any 2018 (kg CO ₂ eq/hab)
Mitjana (aritmètica)	194
Mínim	-42
Percentil 25 (P25)	113
Percentil 50 (P50)	180
Percentil 75 (P75)	251
Màxim	871

⁶ Aquest càlcul no inclou les dades de recollida selectiva no territorialitzable, és a dir, que no es poden assignar a cap municipi en concret.

La Figura 16 mostra l'histograma de les dades de petjada de carboni dels 947 municipis catalans per l'any 2018, on s'aprecien el nombre d'ocurrències de cada grup (rangs de petjada de carboni) en el diagrama de barres verticals, segons una distribució normal. Així per exemple, hi ha més de 160 municipis amb petjada de carboni per sobre de 135 i màxim 180 kg CO₂eq/habitant.

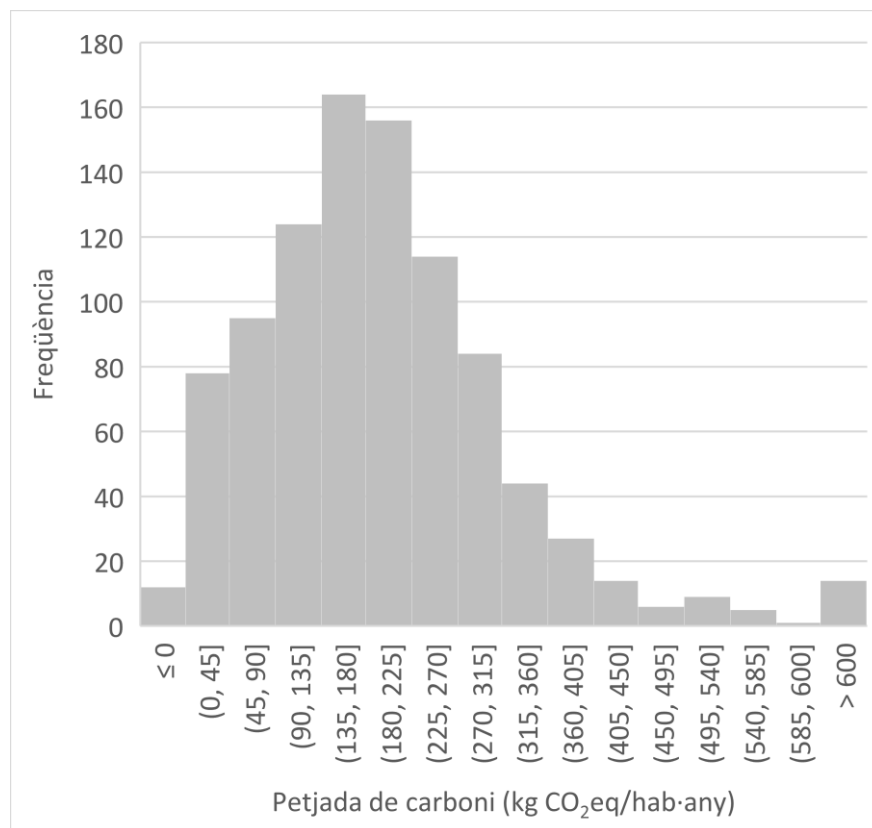


Figura 16. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2018)

Interpretació dels resultats

S'ha realitzat un anàlisi de correlacions de Pearson per tal de determinar quines variables estan més relacionades amb els resultats de petjada de carboni (Taula 21). S'observa com la variable que presenta una major correlació amb la petjada de carboni per habitant és la quantitat de **generació de residus** ($R=0,66$). Per tant, aquells municipis que generen més residus per habitant, són els que tenen una major petjada de carboni per habitant. En segon lloc, la **resta destinada a dipòsit controlat per habitant** i l'índex de **recollida selectiva (%)** presenten també una correlació significativa amb la petjada de carboni per habitant.

La variable **resta destinada a dipòsit controlat per habitant** havia estat en anys anteriors la que presentava, amb diferència, una correlació més significativa amb la petjada de carboni. No obstant, aquest any hi ha un gran nombre de municipis, com els de la comarca de l'Alt Empordà (una de les comarques amb més municipis) que han reduït molt significativament la quantitat de resta destinada a DC, mentre que la seva petjada de carboni no s'ha vist tant

significativament afectada. En el cas dels municipis de l'Alt Empordà, segueix havent una quantitat rellevant de residus (el rebuig que surt de les plantes de TMB on s'han portat els residus) que va a DC, i per tant la petjada de carboni s'ha reduït però moderadament.

Taula 21. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (any 2018)

Variable	Generació de residus (kg/hab)	Resta a Dipòsit (kg/hab)	Índex Recollida Selectiva (%)
Petjada de carboni 2018 (kg CO ₂ eq/hab)	0,660	0,536	-0,484

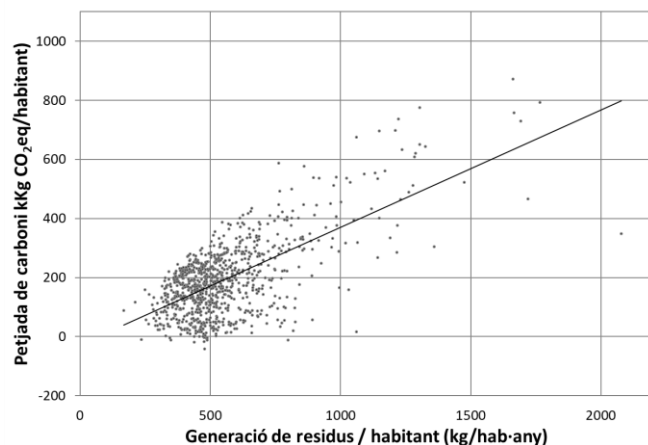
La Figura 17 mostra els **models de regressió lineals** entre la petjada de carboni per habitant dels municipis i les variables amb major correlació. S'observa, de nou, com la resta generació de residus és la variable que presenta una millor relació amb la petjada de carboni per habitant, amb un $R^2=0,44$. Això indica que un 44% dels canvis en la petjada de carboni per habitant es podrien explicar per les diferències en la quantitat de residus generats. En el cas de les variables resta destinada a dipòsit controlat per habitant i generació de residus, ambdues variables poden explicar, per si soles, aproximadament un 29% i un 23%, respectivament, de la variació en la petjada de carboni per habitant dels municipis catalans.

5.2. Resultats per comarca (2018)

La Taula 22 mostra la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana per habitant de cada comarca⁷, on es pot observar un rang variable entre 41 i 352 kg CO₂eq/habitant·any. S'han classificat les comarques segons si es troben per sota o per sobre de la petjada de carboni mitjana catalana (99 CO₂eq/habitant·any). Cal tenir en compte aquí l'efecte dels residus no territorialitzables, és a dir que no es poden assignar al municipi concret que els recull.

La Figura 18 presenta el mapa de comarques de Catalunya, en el qual aquestes s'agrupen en 5 grups en funció de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per habitant per a l'any 2018.

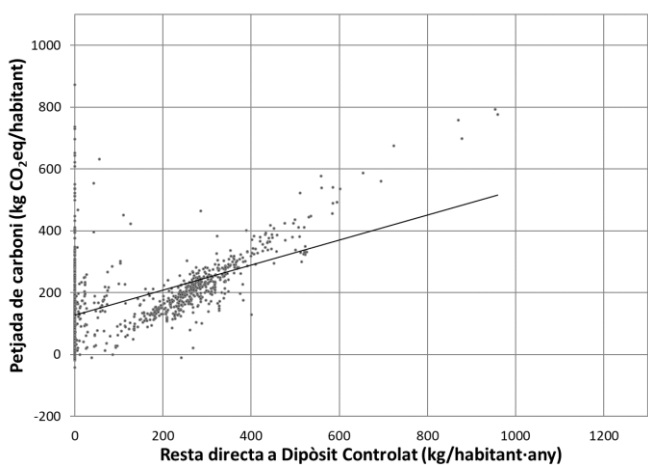
⁷ En aquest apartat es presenten, de manera adicional als resultats per comarca, els resultats corresponents a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB).



$$PC = 0,40 * \text{Generació} - 26$$

$$R^2 = 0,44; \text{Error} = 94,6$$

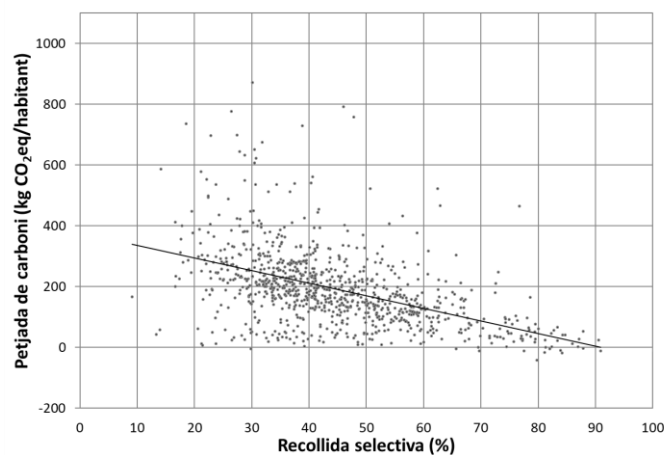
PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab·any)
Generació = Generació de residus (kg/hab·any)



$$PC = 0,40 * \text{Resta a DC} + 127$$

$$R^2 = 0,29; \text{Error} = 106$$

PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab·any)
Resta a DC = Resta directa a dipòsit controlat (kg/hab·any)



$$PC = 378 - 4,15 * RS$$

$$R^2 = 0,23; \text{Error} = 110,2$$

PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab·any)
RS = Recollida selectiva (%)

Figura 17. Models de regressió lineal de la petjada de carboni per habitant i la resta a dipòsit controlat, generació de residus i recollida selectiva, respectivament (2018).

Taula 22. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2018), en kg de CO₂eq/hab

Comarca	Petjada carboni (kg CO ₂ eq/ hab·any)	Sobre o sota mitjana	Comarca	Petjada carboni (kg CO ₂ eq/ hab·any)	Sobre o sota mitjana
Alt Camp	73	↓	Maresme	50	↓
Alt Empordà	301	↑	Montsià	176	↑
Alt Penedès	240	↑	Noguera	253	↑
Alt Urgell	149	↑	Osona	51	↓
Alta Ribagorça	153	↑	Pallars Jussà	226	↑
AMB	100	-	Pallars Sobirà	141	↑
Anoia	253	↑	Pla de l'Estany	213	↑
Bages	159	↑	Pla d'Urgell	133	↑
Baix Camp	84	↓	Priorat	209	↑
Baix Ebre	230	↑	Ribera d'Ebre	141	↑
Baix Empordà	352	↑	Ripollès	118	↑
Baix Llobregat	156	↑	Segarra	168	↑
Baix Penedès	222	↑	Segrià	199	↑
Barcelonès	90	↓	Selva	260	↑
Berguedà	198	↑	Solsonès	130	↑
Cerdanya	251	↑	Tarragonès	84	↓
Conca de Barberà	170	↑	Terra Alta	116	↑
Garraf	306	↑	Urgell	186	↑
Garrigues	189	↑	Val d'Aran	333	↑
Garrotxa	169	↑	Vallès Occid.	95	↓
Gironès	126	↑	Vallès Orien.	41	↓
Moianès	172	↑			

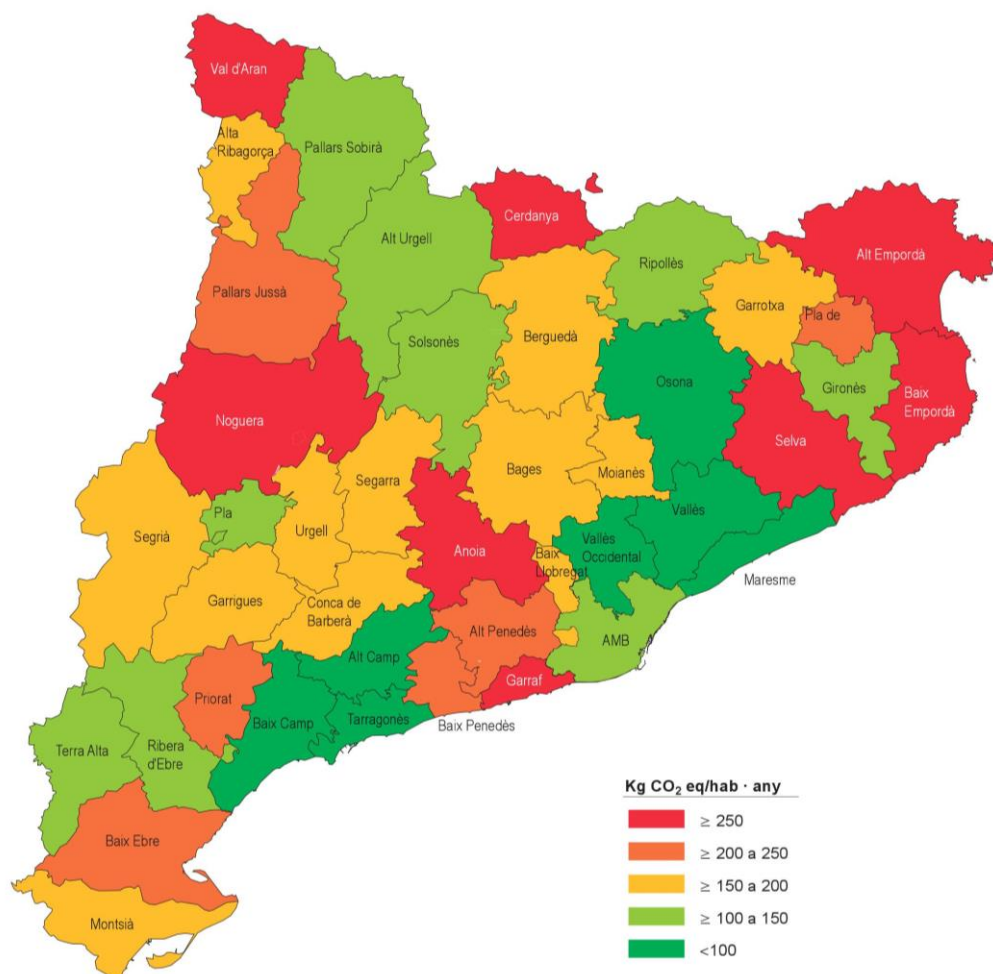


Figura 18. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2018)

Finalment, la Figura 19 representa gràficament les comarques en un diagrama de dispersió per a les variables 'resta a Dipòsit Controlat' i 'índex de recollida selectiva'. Tal i com és d'esperar, a la part inferior i dreta s'ubiquen les comarques amb menor petjada de carboni (per sota de 100 kg CO₂eq/hab·any) i a la meitat superior esquerra aquelles comarques amb una petjada de carboni major (per sobre de 250 kg CO₂eq/hab·any).

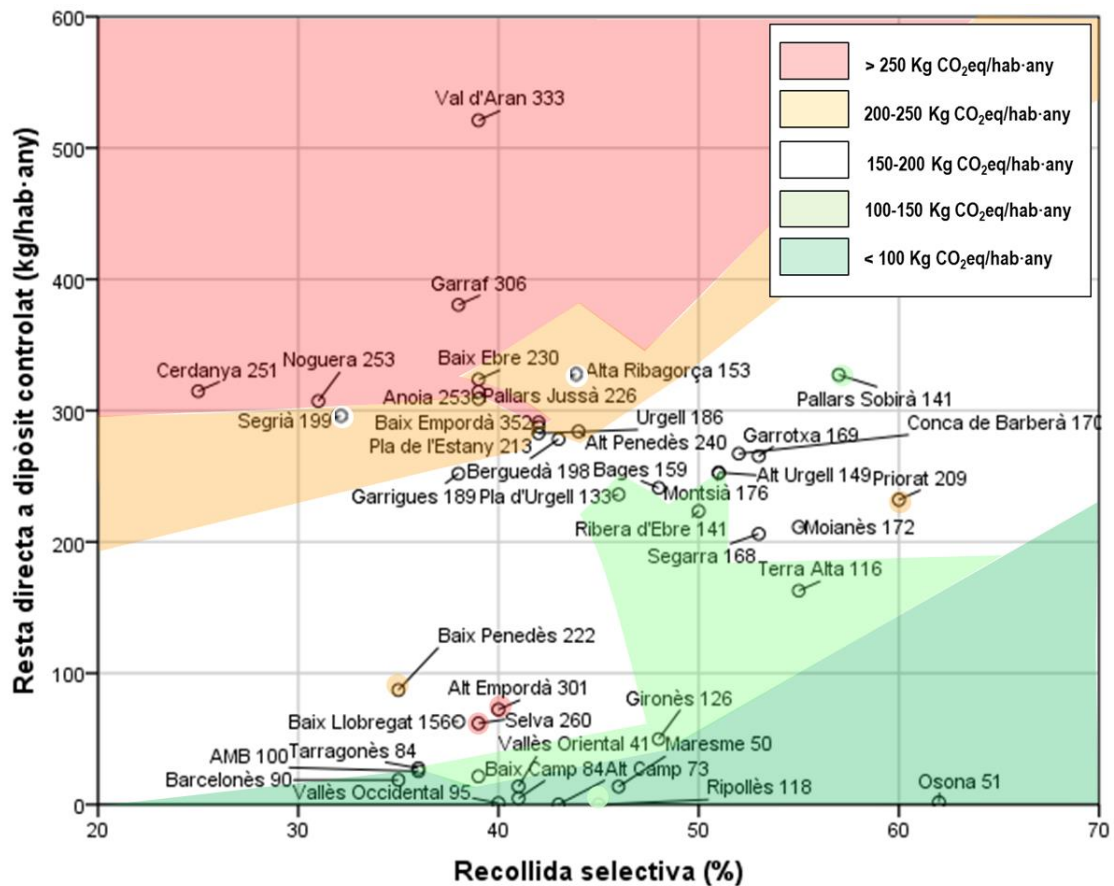


Figura 19. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2018). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la petjada de carboni de la gestió de residus municipals (kg CO₂eq/hab·any)

A la Figura 19, s'observa com algunes comarques que apareixen en posicions pròximes, indicant per tant que tenen valors semblants de resta directa a dipòsit controlat i de recollida selectiva, tenen petjades de carboni per habitant molt diferents. Aquesta situació es pot explicar en gran mesura per les diferències en la generació de residus per habitant, primera variable amb una alta correlació amb la petjada de carboni (tal i com s'ha descrit anteriorment). Un exemple d'això té lloc amb les comarques de la Selva (generació de 681 kg de residus per habitant i any) i el Baix Llobregat (generació de 464 kg de residus per habitant i any), que tenen una petjada de carboni de 260 i 156 kg CO₂eq/hab·any, respectivament. Per tal d'il·lustrar les diferències en la generació de residus per habitant de cada comarca, a continuació es mostra la Figura 20.

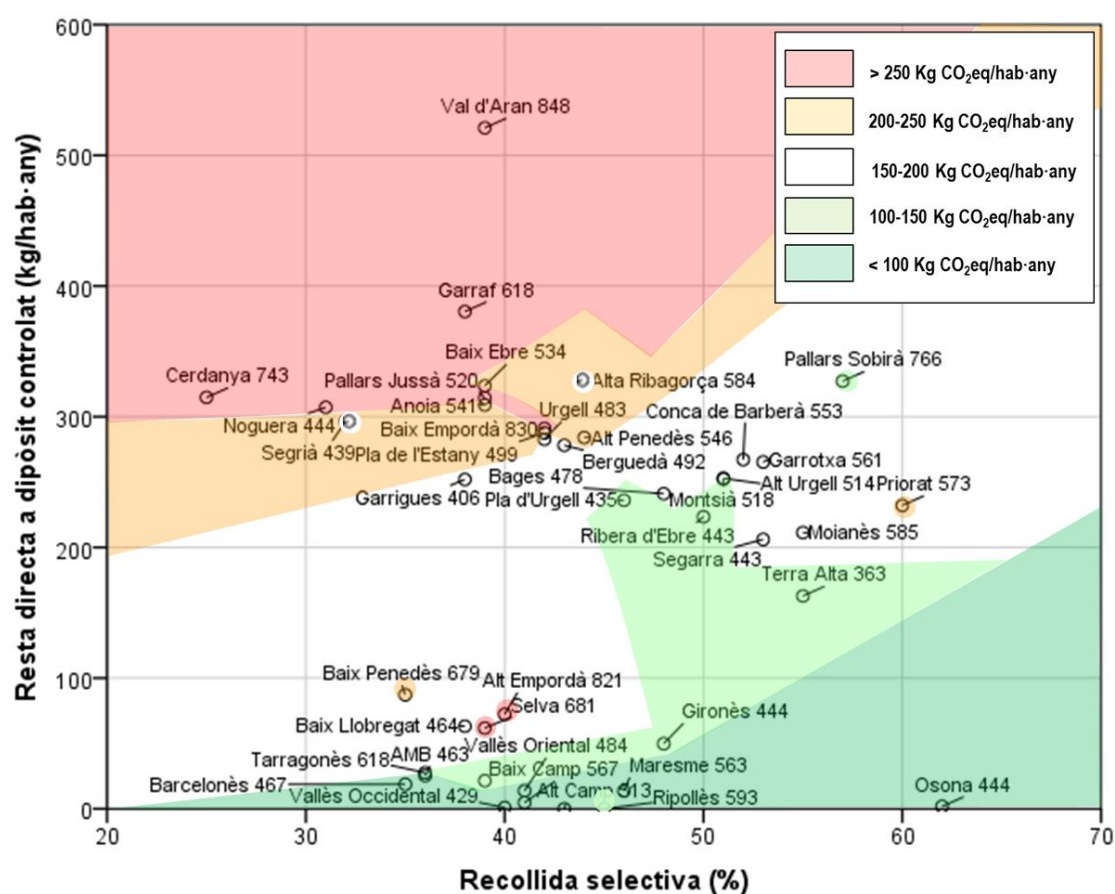


Figura 20. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2018). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la generació de residus per habitant (kg/hab·any). La llegenda de colors indica el rang en què es situa la petjada de carboni per habitant (kg CO₂eq/hab·any)

6. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

Principals resultats

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2018 és de 754.331 t CO₂eq, el qual representa una emissió de 99 kg CO₂eq/habitant i de 190 kg CO₂eq/tona de residu generat. La principal font d'emissions (tres quartes parts de les emissions generades) són els **dipòsits controlats**, els quals emeten grans quantitats de metà tot i la captació de biogàs. No obstant, **la valorització material** (sobretot de paper i cartró, envasos lleugers i metall) i **energètica** dels residus permet contrarestar aproximadament la meitat de les emissions generades.

Els resultats obtinguts l'any 2018 representen una **reducció de la petjada de carboni** total (-7%) en relació a l'any 2017 degut a diferents elements: l'increment de la recollida selectiva i de la recuperació de materials a TMB, i a que es redueix la quantitat de resta que va directe a DC.

La via de gestió amb menys petjada de carboni per la resta i el rebuig serien les PVE, seguides dels TMBs, i finalment DC, on les emissions generades són considerablement superiors, mentre que les emissions evitades són poc significatives. Les emissions generades per la FORM en DC són més del doble de les que es generen en tractaments de valorització. La via de gestió amb una petjada de carboni més petita per la FORM és la DA. El reciclatge és la via de tractament amb menor impacte per les altres fraccions de recollida selectiva. Cal destacar les significants emissions generades pel paper i cartró en DC, i dels plàstics en les PVE.

La meitat dels municipis catalans tenen una petjada de carboni entre 113 i 251 kg CO₂eq/habitant. La interpretació dels resultats permet identificar que la variable que presenta una major correlació amb la petjada de carboni per habitant és la **generació de residus per habitant**, seguida de la quantitat de **resta destinada a Dipòsit Controlat per habitant** i l'índex de **recollida selectiva** (%).

Recomanacions en la gestió dels residus

A continuació es mostra un llistat de potencials criteris a tenir en compte de cara a la presa de decisions en futurs períodes en l'àmbit de la gestió dels residus. Aquests criteris s'agrupen en funció del tipus d'instal·lació.

Actuacions dels municipis i altres entes responsables de la gestió dels residus municipals:

- Implementar mesures per la prevenció en la generació de residus.
- Reduir la quantitat de residus (sigui resta o rebuig) que va directament a dipòsit controlat.
- Augment de taxes de recollida selectiva i reducció d'impropis.

Plantes de Tractament Mecànic-Biològic:

- Augment de l'estabilització de la MOR en el tractament de la resta. D'aquesta manera es redueixen els impactes en el cas que el rebuig vagi a DC.

- Millorar la recuperació de materials, tot i que conforme la recollida selectiva incrementi, s'espera que el contingut en materials recuperables a la resta es vagi reduint.
- Segregació del rebuig en funció del contingut en biodegradables (aquest flux en DC genera les màximes emissions) i del contingut de plàstic (aquest flux en PVE genera les màximes emissions). Per exemple, es pot intentar evitar la sortida de biodegradables en el rebuig amb processos humits que degradin el P/C.

Dipòsit Controlat:

- Limitació al contingut de biodegradables d'entrada a dipòsits controlats, siguin resta o rebuig.
- Millorar la captació de biogàs.

Planta de Valorització Energètica:

- Limitació al contingut de plàstic d'entrada a valorització energètica.

Plantes de reciclatge:

- Prioritzar la valorització material per davant de qualsevol altre destí.
- Millorar la qualitat del compost aconseguit i facilitar circuits pel seu ús en agricultura i jardineria.

Deixalleries:

- Foment de la reutilització i reparació com a via preferent, per davant del reciclatge.

Recollida i transport de residus:

- Ús de vehicles més nets (menys emissions per Km) i optimització de rutes i freqüències per a la recollida municipal.

Millores de la metodologia i en la recollida de dades

Tot i que la metodologia de càlcul de la PC dels residus municipals està molt més consolidada i s'ha anat millorant durant els darrers 6 anys en que s'ha implementat, encara es poden fer alguns ajustos per millorar la metodologia i sobretot en la recollida de dades anuals sobre la gestió dels residus:

- Revisar i actualitzar les hipòtesis sobre crèdits a la valorització material i energètica. Tant pel que fa als crèdits considerats, com validar que efectivament la gestió considerada per part de les plantes de reciclatge s'adequa a la realitat.
- Revisar la modelització d'emissions de degradació de la matèria orgànica, especialment pel bioestabilitzat.
- Obtenir dades reals sobre la captació de biogàs dels DC a Catalunya.
- Aconseguir dades reals de les plantes catalanes, i/o millorar la modelització de la composició del rebuig que surt de TMBs i PVE.

- Modificar la metodologia per tal que no s'utilitzin dades de Catalunya en una planta genèrica, sinó que es tinguin en compte els paràmetres específics d'eficiència i de balanç energètic específics de cada planta, i que puguin associar-se al càlcul de la petjada de carboni individual de cada municipi.

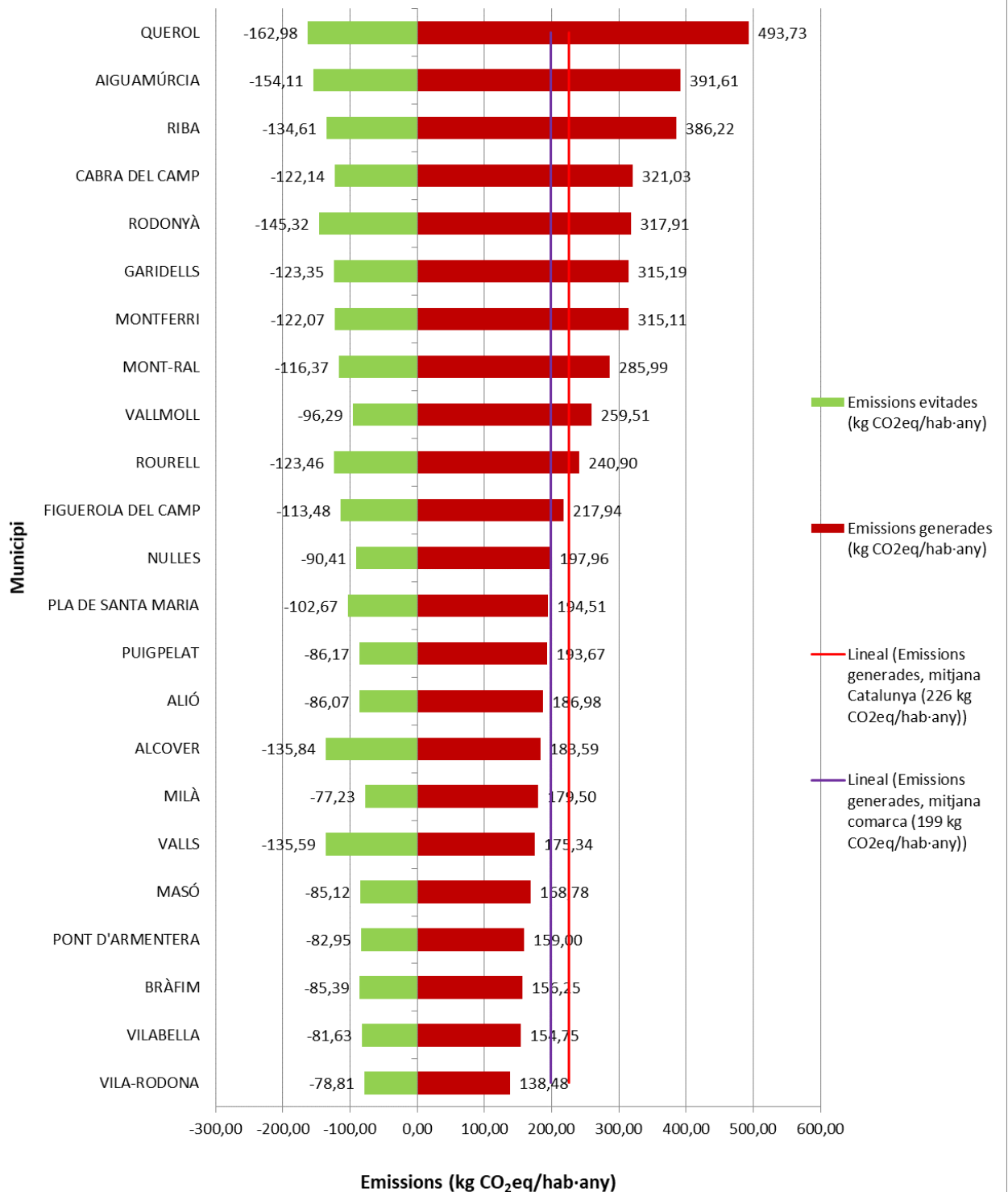
7. REFERÈNCIES

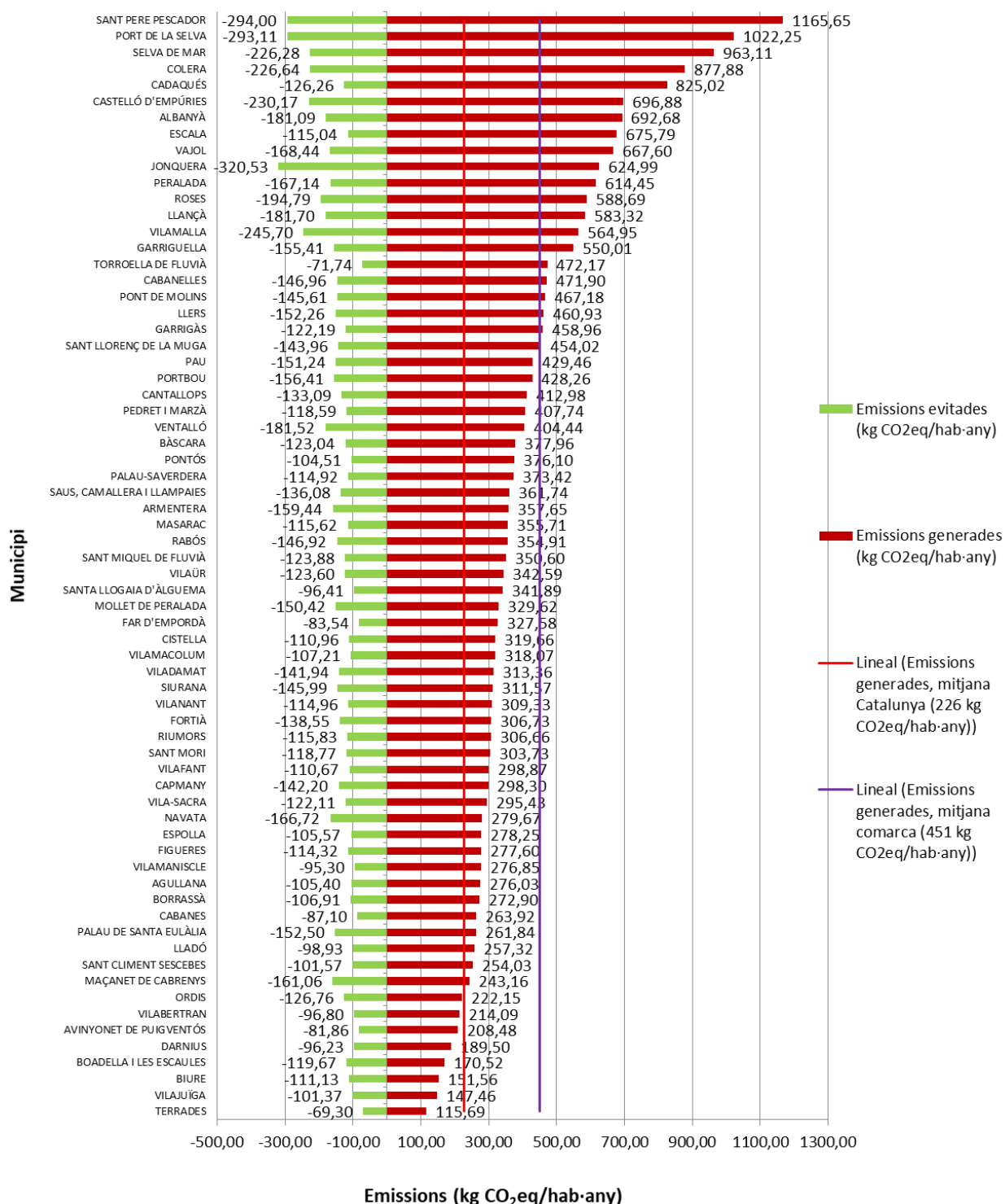
- Boldrin A, Andersen JK, Moller J, Christensen TH, Favoino E. 2009. "Composting and Compost Utilization: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contributions." *Waste Management & Research* 27: 800–812.
- Cleary, J. 2009. "Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management Systems: a Comparative Peer-reviewed Literature." *Environment International* 35 (8): 1256–1266.
- Comissió Europea. 2011. "Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A Technical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for Waste Experts and LCA Practitioners". JRC Scientific and Technical Reports. Disponible a: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/11111111/22582/1/reqno_jrc65850_lb-na-24916-en-n%20_pdf_.pdf (darrer accés: octubre 2015)
- Farreny R, Colman S, Gasol CM, Rieradevall J, Seigné-Itoiz E, Gabarrell X. 2012. "CO2ZW User Guide."
- Font D, Puig I, Gabarrell X. 2012. "Building Waste Management Core Indicators through Spatial Material Flow Analysis: Net Recovery and Transport Intensity Indexes." *Waste Management* 32: 2496–2510.
- Generalitat de Catalunya. "Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya, PROGREMIC 2007-2012." www.progremic.cat.
- Inèdit 2013, "Petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals de Catalunya (2011-2012)", ARC. http://www20.gencat.cat/docs/arc/Home/Consultes%20i%20tr%C3%A0mits%20-%20nou/Estadistiques/Estadistiques%20de%20residus%20municipals/petjada_carboni_2011_2012.pdf
- IPCC. 2006. "Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero." Disponible a: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/> (darrer accés: octubre 2015)
- Jungbluth N. 2007. "Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen Für Den Ökologischen Vergleich von Energiesystemen Und Den Einbezug von Energiesystemene in Ökobilanzen Für Die Schweiz (Ed. Dones R.) Ecoinvent Report No. 6-IV." Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Kellenberger D, Althaus HJ, Jungbluth N, Künniger T, Lehmann A, Thalmann O. 2007. "Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report Ecoinvent Data V2.0. No. 7." EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Nemecek T, Kägi T, Blaser S. 2007. "Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems." Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- OCCC. 2019a. "Inventari d'emissions Catalunya 1990-2017 (versió castellà)" Disponible a: https://canviclimatic.gencat.cat/ca/canvi/inventaris/emissions_de_geh_a_catalunya/ (darrer accés: gener 2020).
- OCCC. 2019b. "Factor d'emissió associat a l'energia elèctrica: el mix elèctric". Disponible a: https://canviclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/ (darrer accés: gener 2020).

- Prognos, Ifeu, INFU. 2008. "Resource Savings and CO2 Reduction Potential in Waste Management in Europe and the Possible Contribution to the CO2 Reduction Target in 2020." http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/Results_CO2_wasteproject.pdf.
- Seigné-Itoiz, E, CM Gasol, R Farreny, X Gabarrell, and J Rieradevall. 2013. "CO2ZW: Carbon Footprint Tool for Municipal Solid Waste Management. Case Study of Spain." *Energy Policy* 56: 626–632.
- Smith A, Brown K, Ogilvie S, Rushton K, Bates J. 2001. "Waste Management Options and Climate Change." AEA Technology Environment. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) . 2007. "Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007". Cambridge University Press. Disponible a: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html (darrer accés: octubre 2015)
- Spielmann M, Bauer C, Dones R, Tuchschild M. 2007. "Transport Services. Ecoinvent Report No. 14." Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Tetrapak. "Investigating the Life-cycle Environmental Profile of Liquid Food Packaging Systems." Disponible a: http://www.tetrapak.com/Document%20Bank/environment/climate/lifecycle_envprofile_liqfoodpack.pdf (darrer accés: octubre 2014).
- UNEP. 2010. Waste Management and Climate Change. Global Trends and Strategy Framework. Osaka/Shiga. Disponible a: <http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/Waste&ClimateChange.pdf> (darrer accés: octubre 2015)
- US EPA. 2006. "Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks." <http://www.epa.gov/climatechange/waste/downloads/fullreport.pdf>.
- US EPA 2012. "Solid Waste Management and Greenhouse Gases. Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM)." <http://www.epa.gov/climatechange/waste/SWMGHGreport.html>.

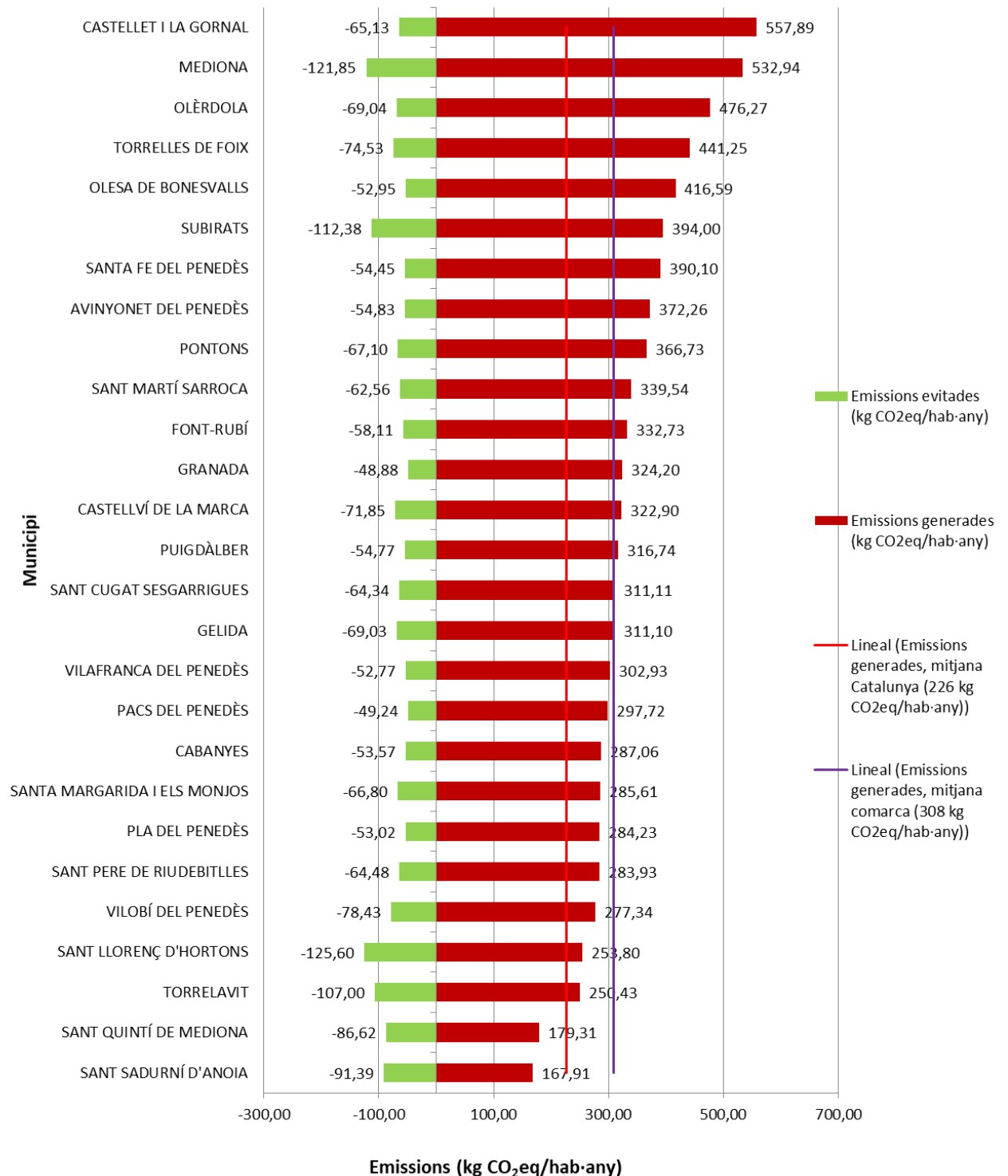
A. Annex. Emissions de GEH generades i evitades de la gestió dels residus municipals, a escala municipal (2018)

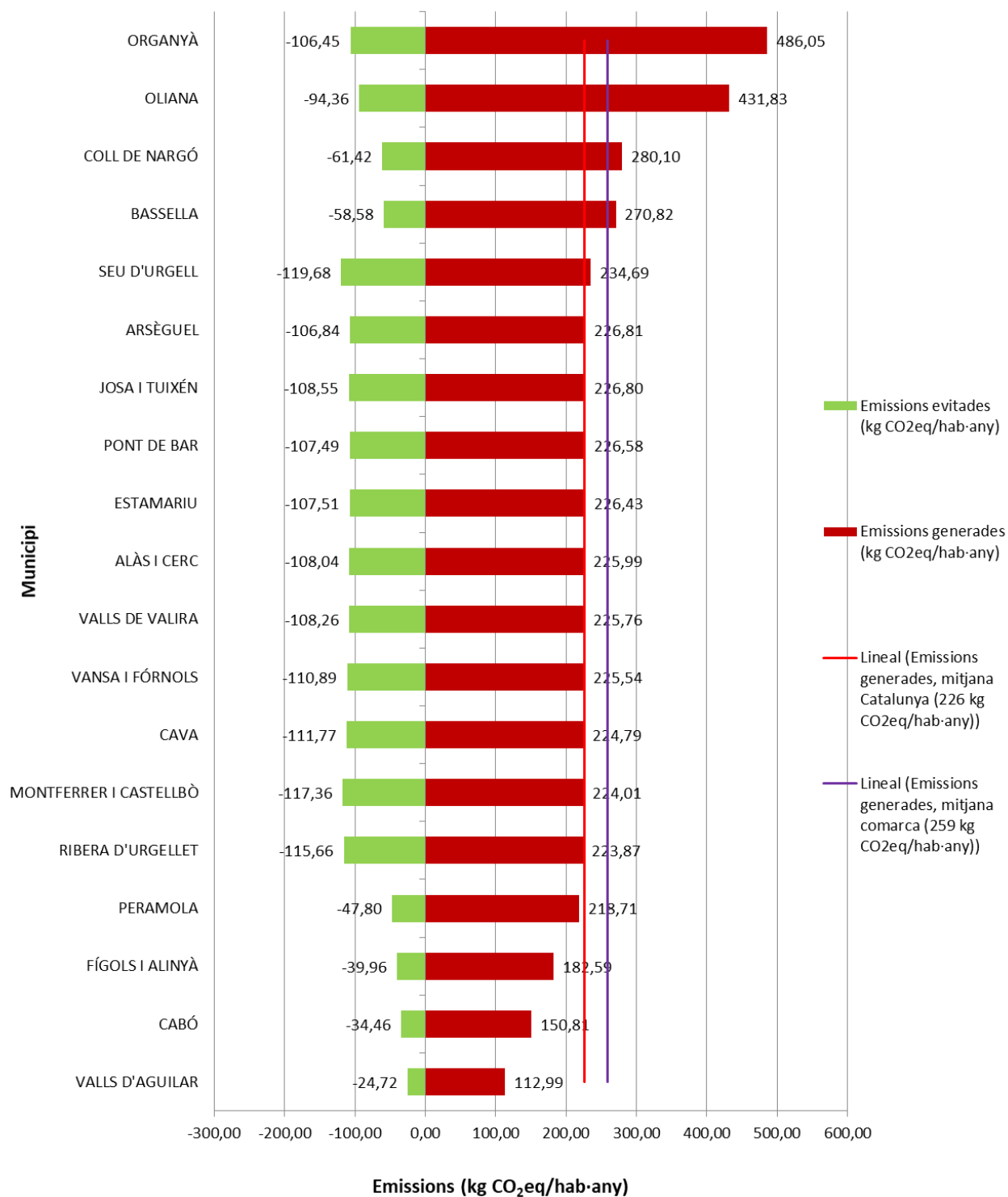
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Camp, 2018)



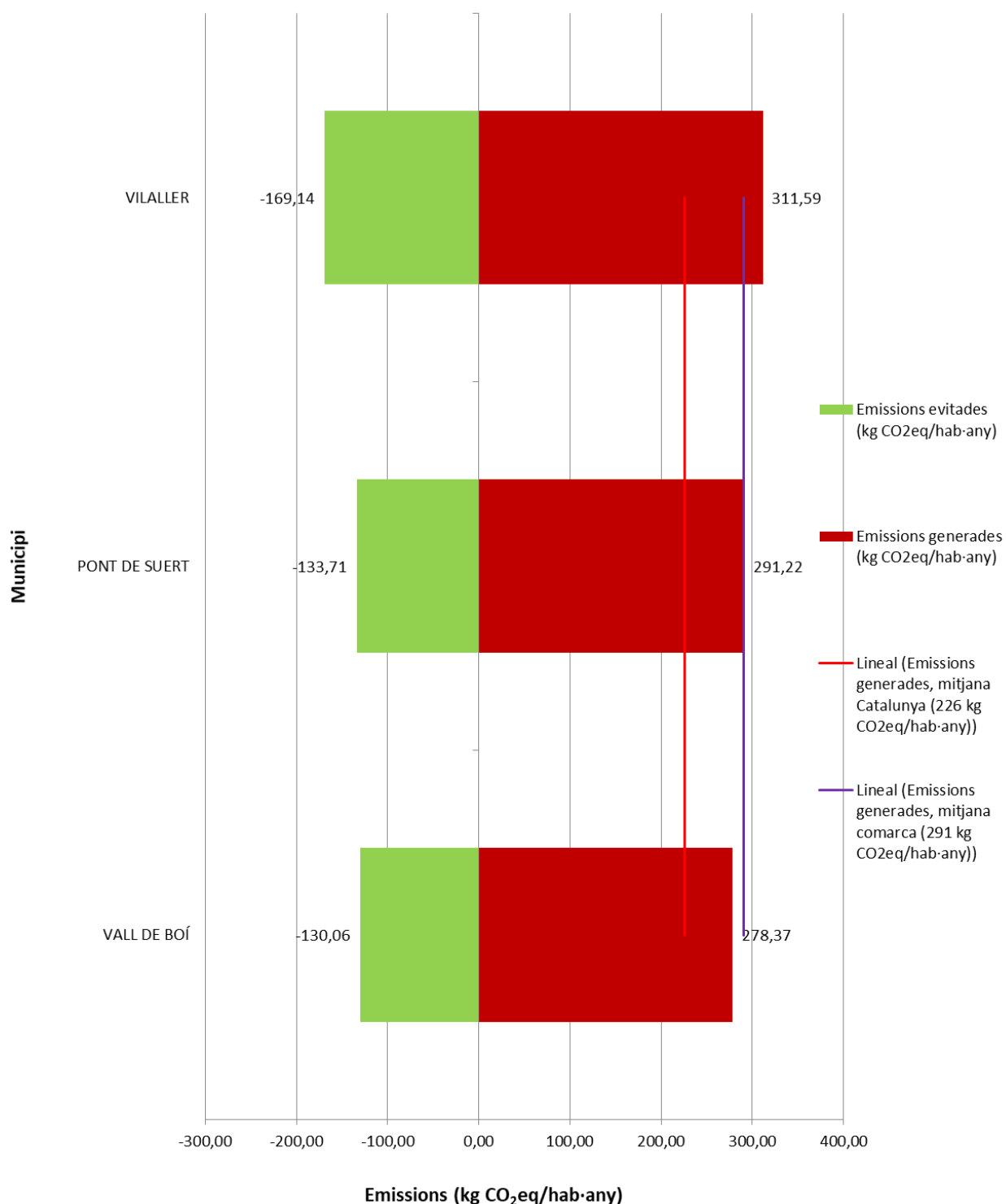
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Empordà, 2018)

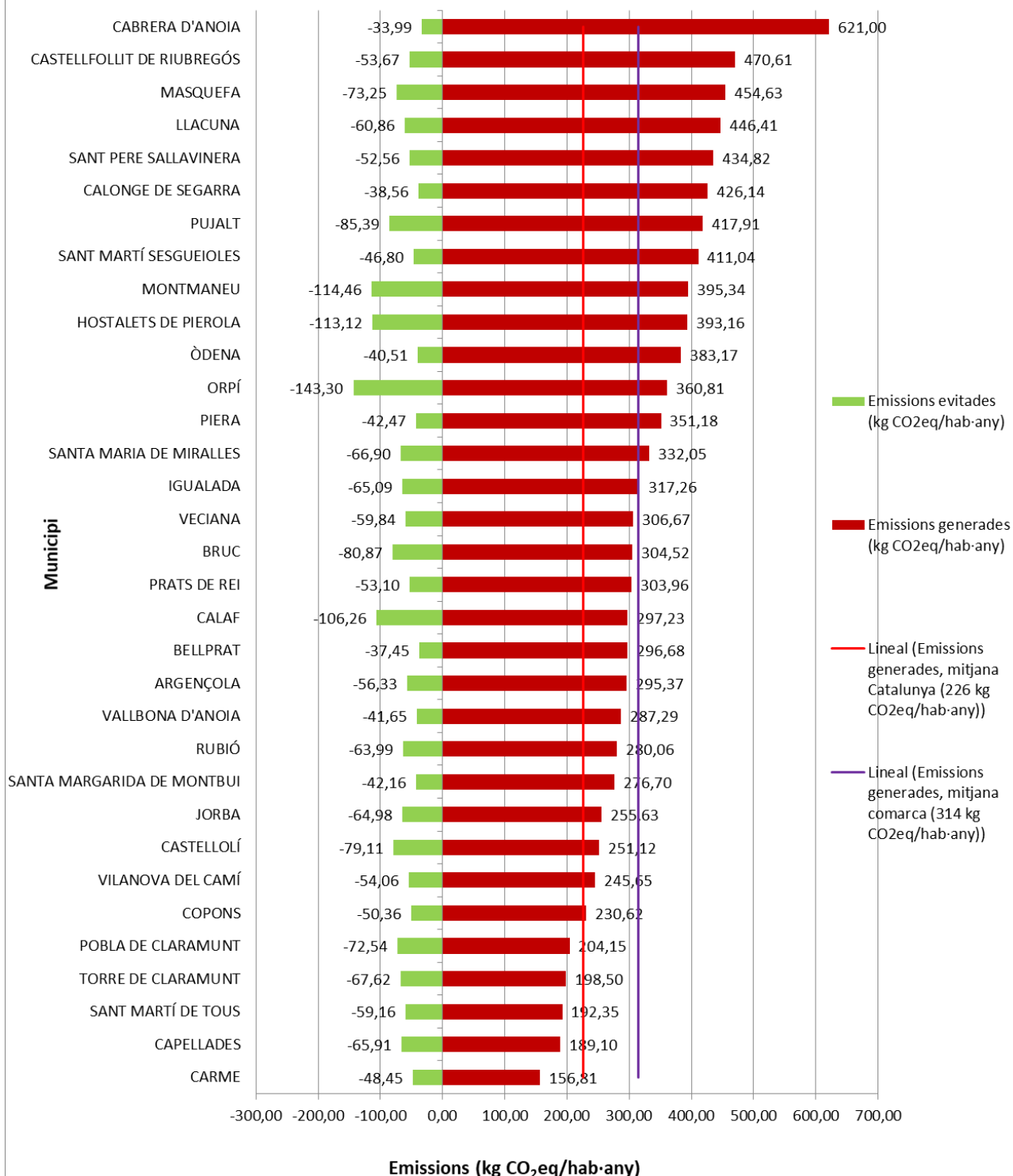
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Penedès, 2018)



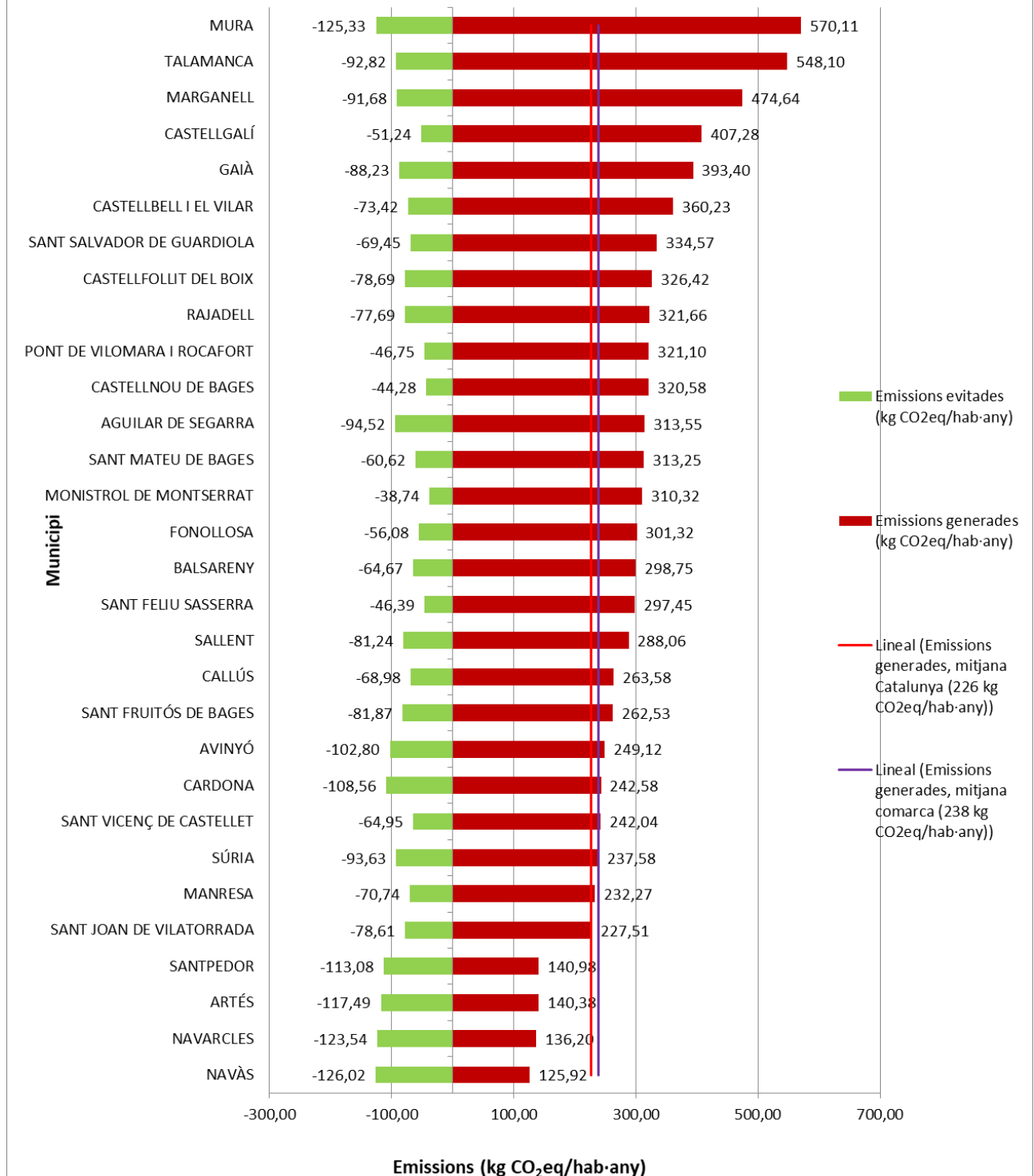
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Urgell, 2018)

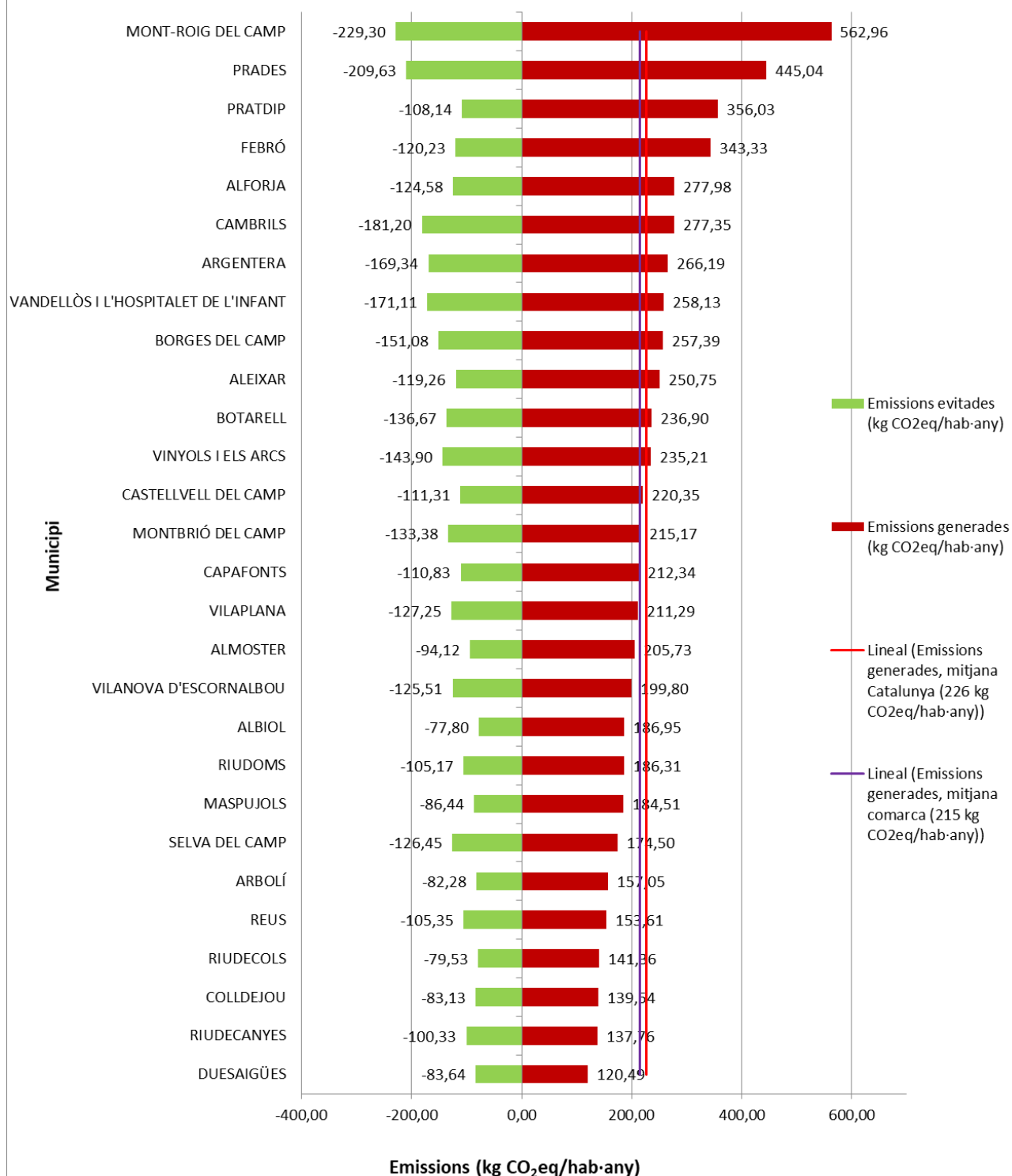
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alta Ribagorça, 2018)



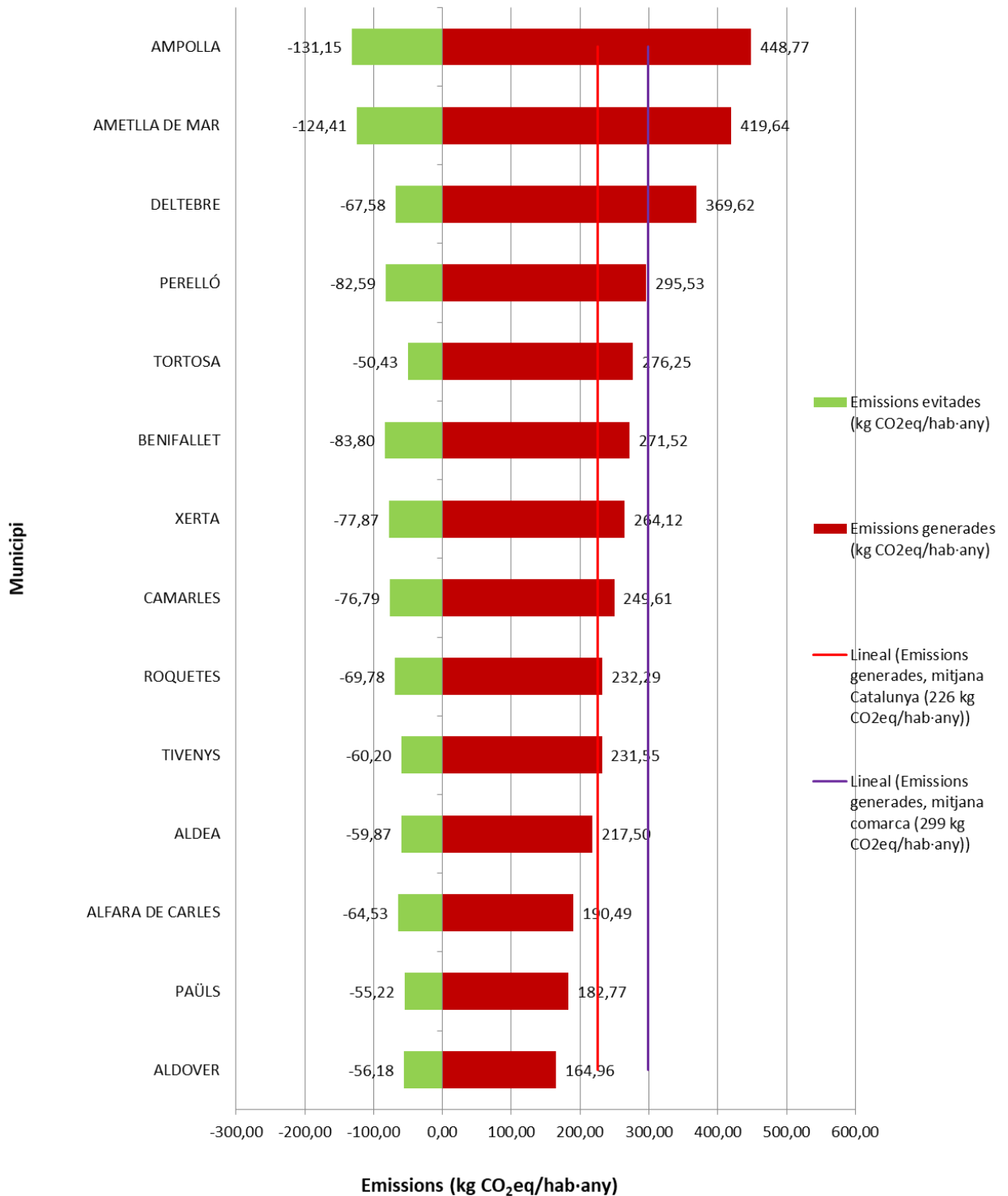
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Anoia, 2018)

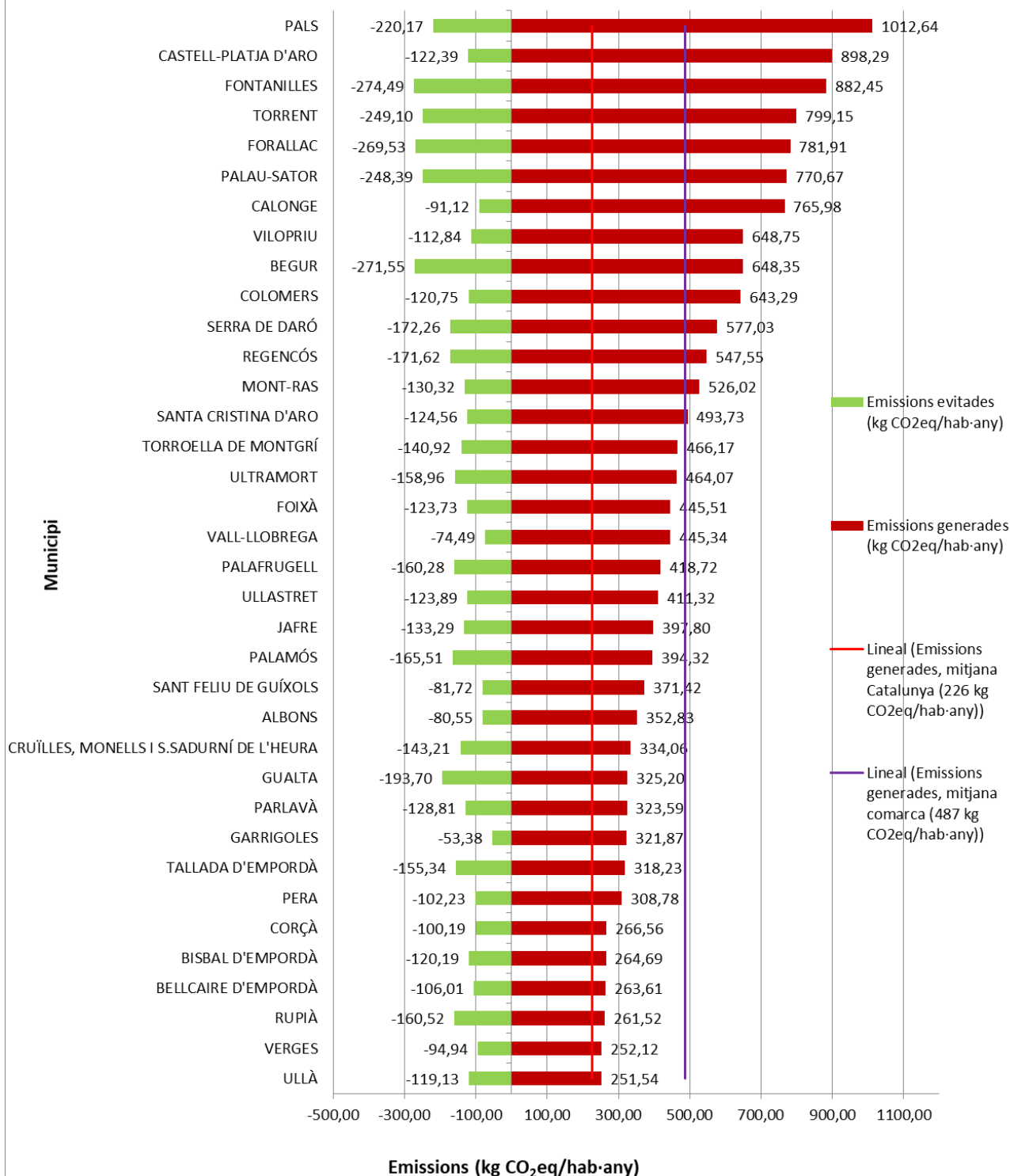
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Bages, 2018)



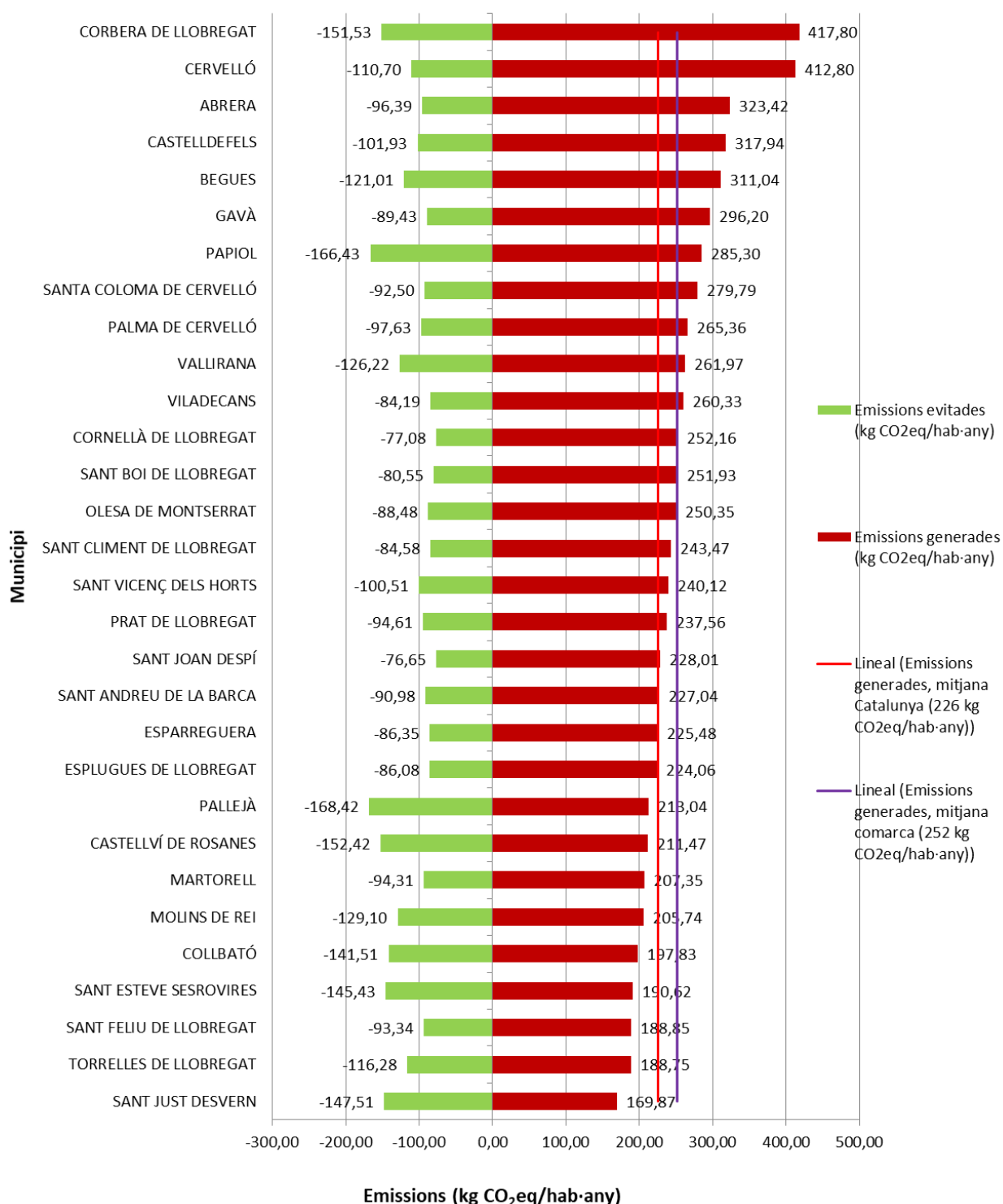
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Camp, 2018)

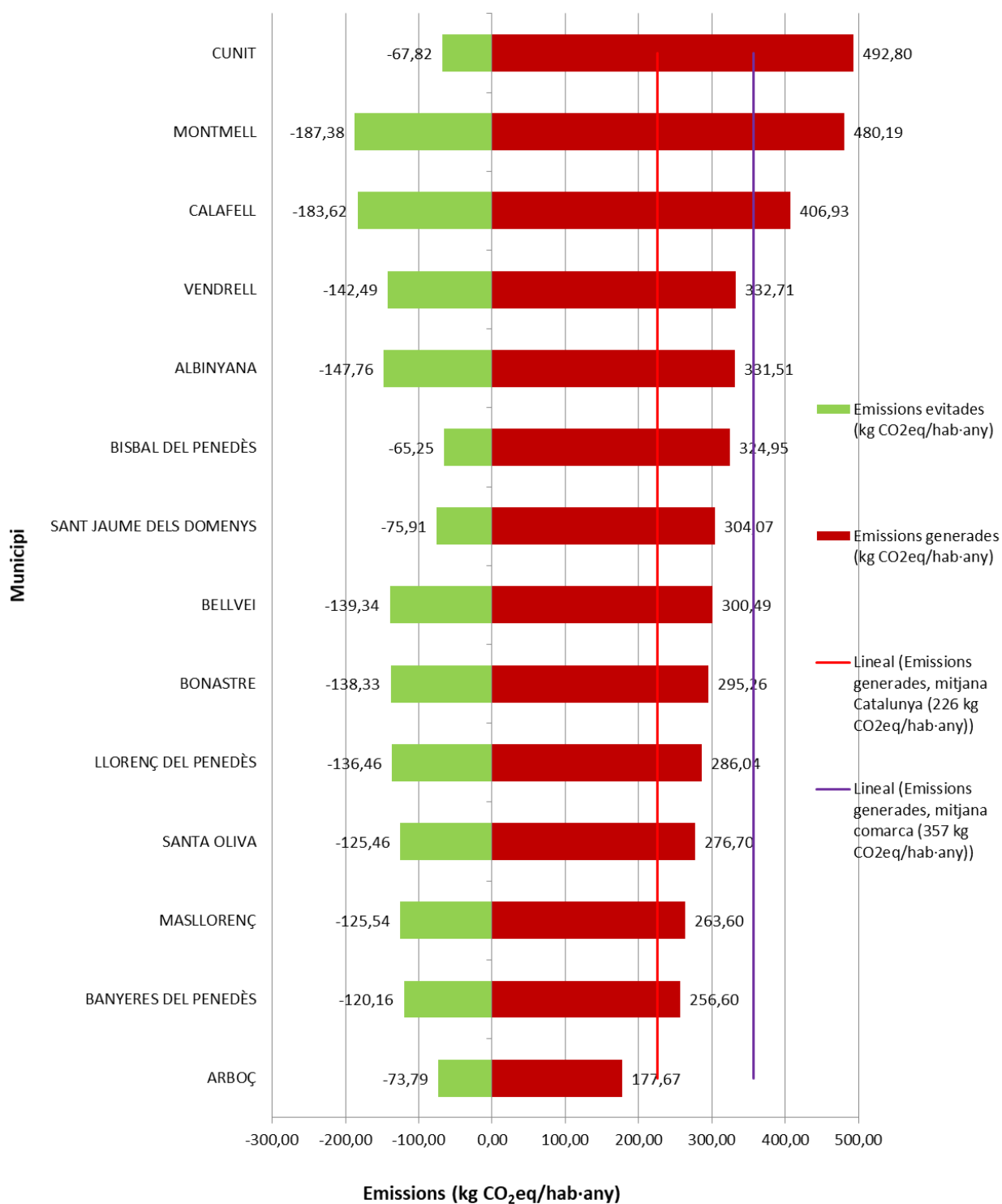
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Ebre, 2018)



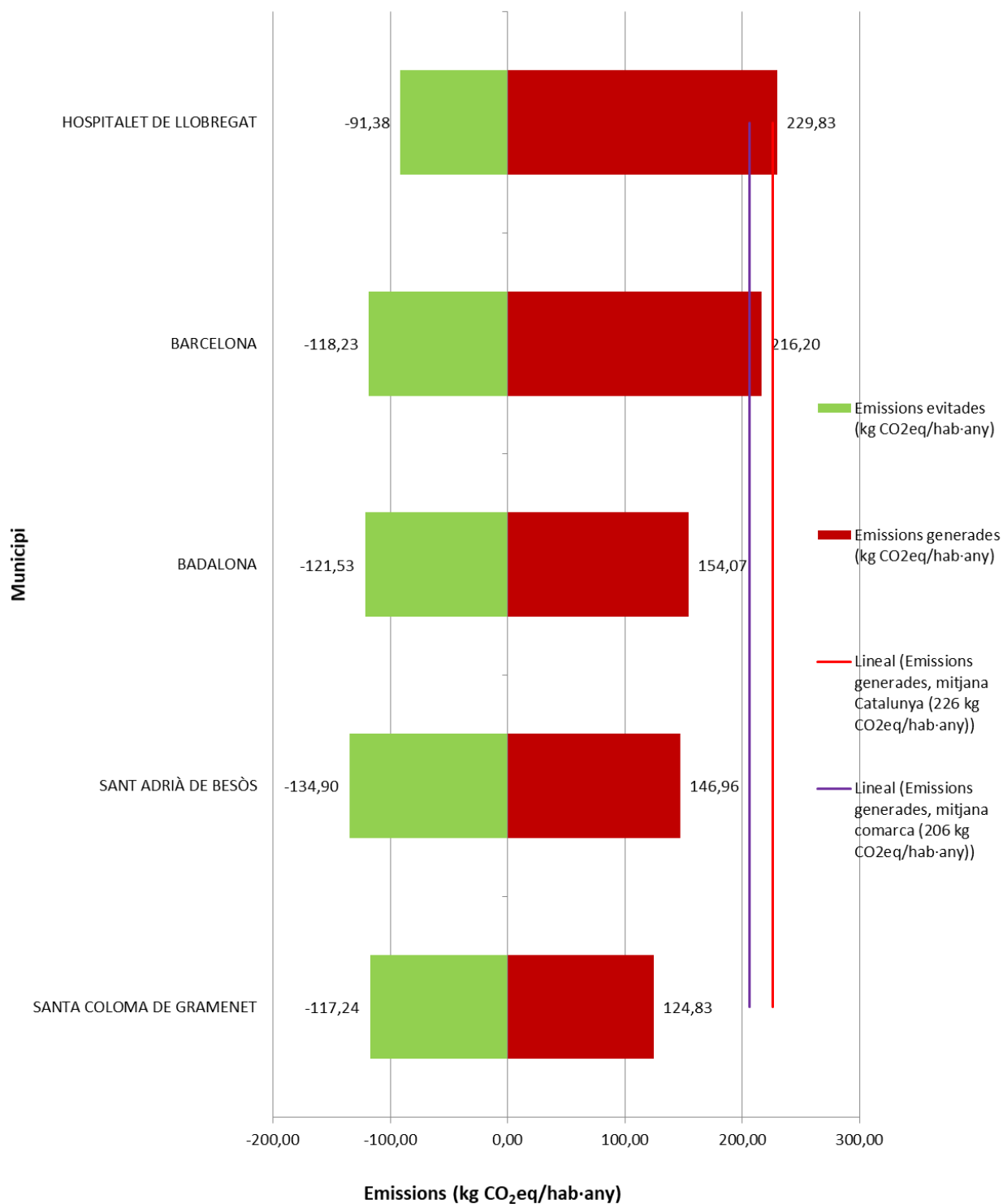
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Empordà, 2018)

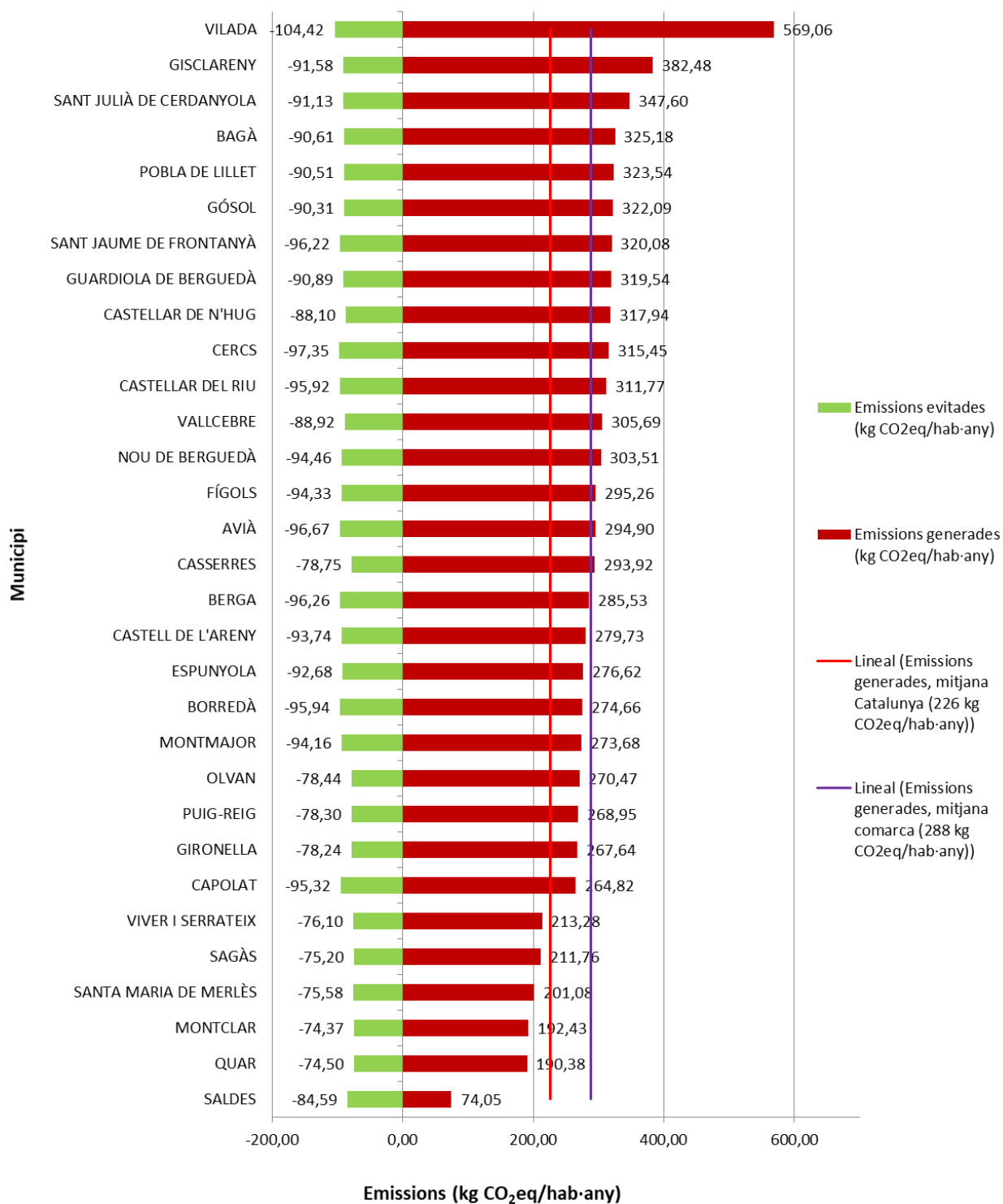
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Llobregat, 2018)



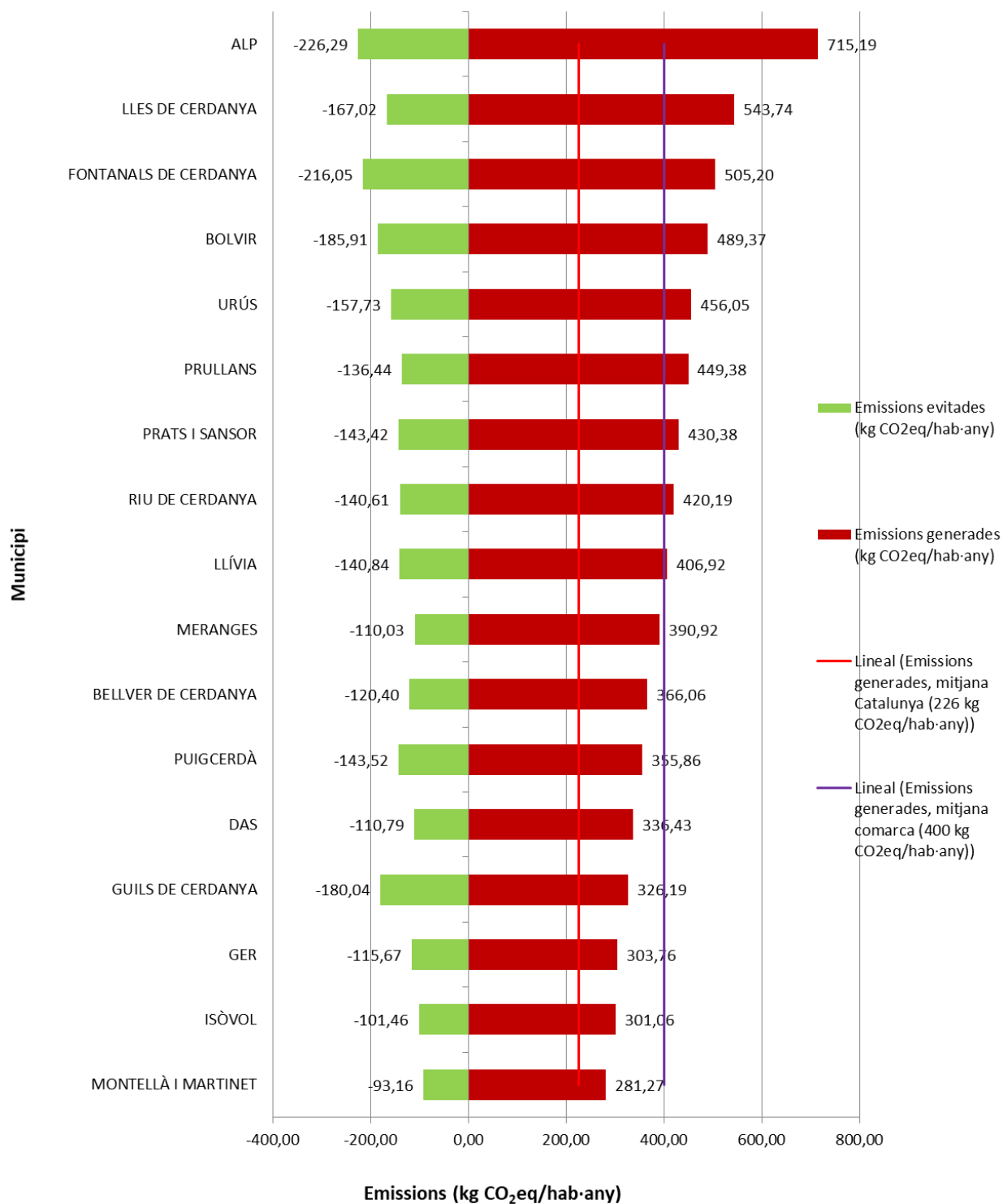
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Penedès, 2018)

Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Barcelonès, 2018)

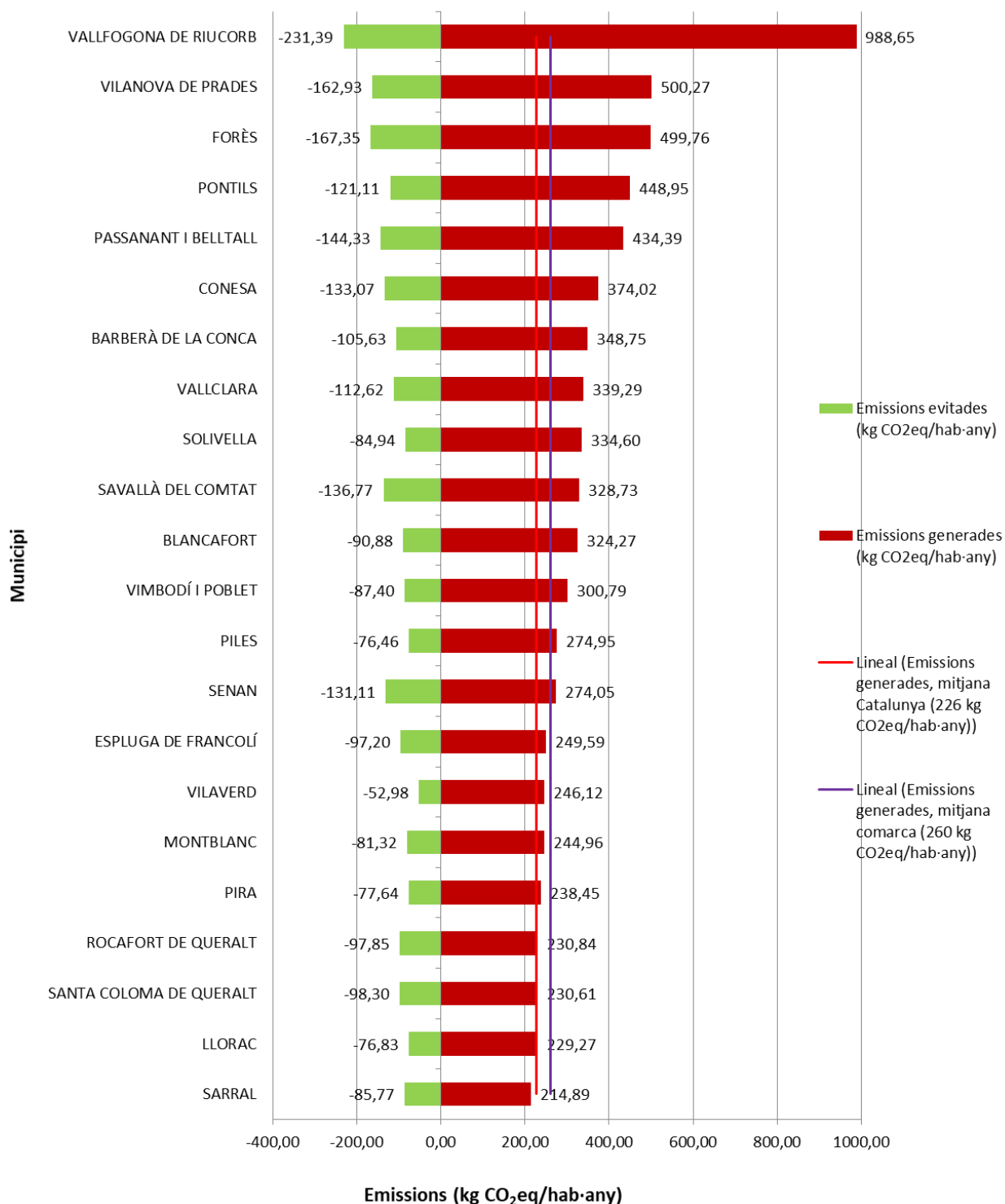


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Berguedà, 2018)

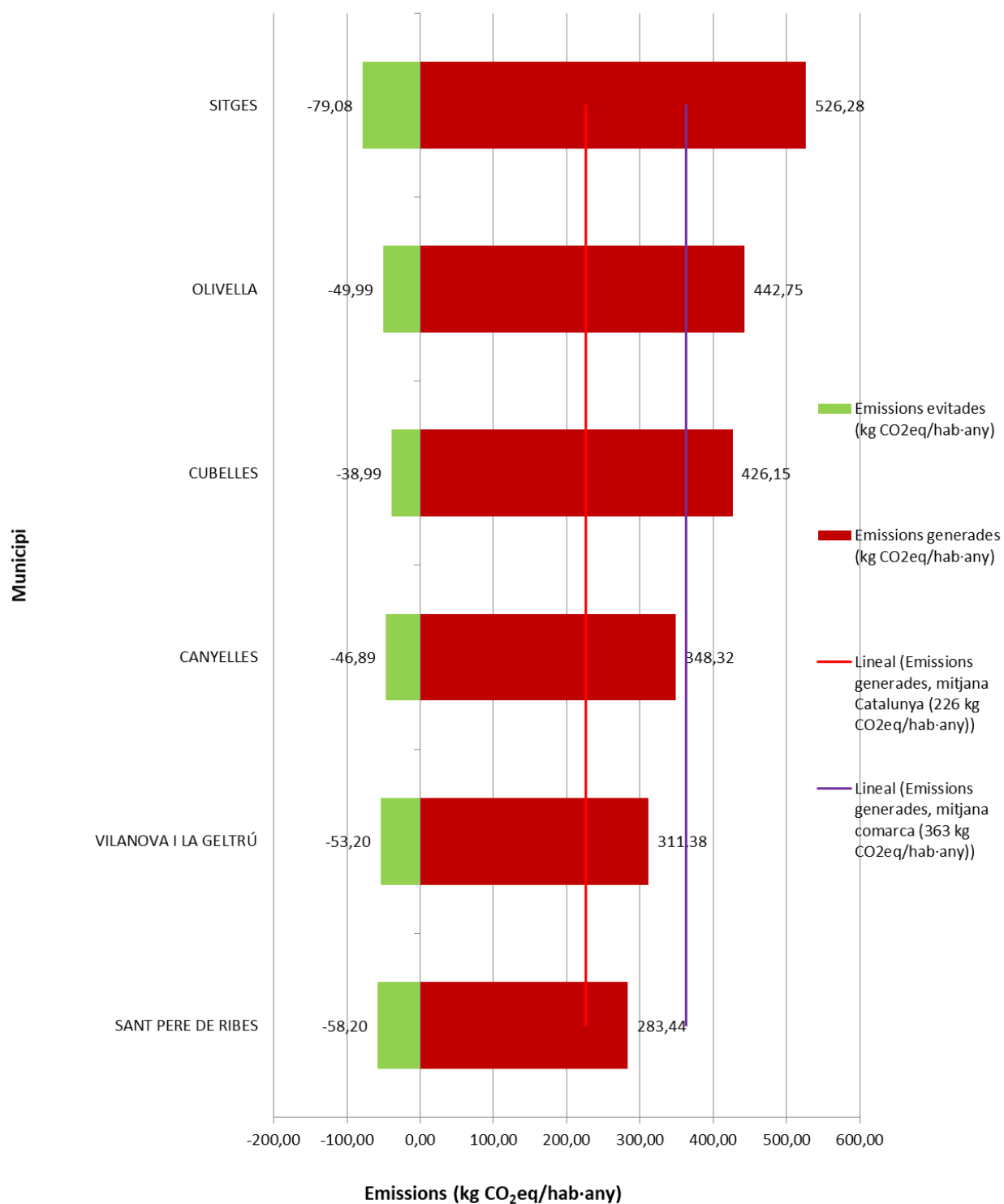
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Cerdanya, 2018)

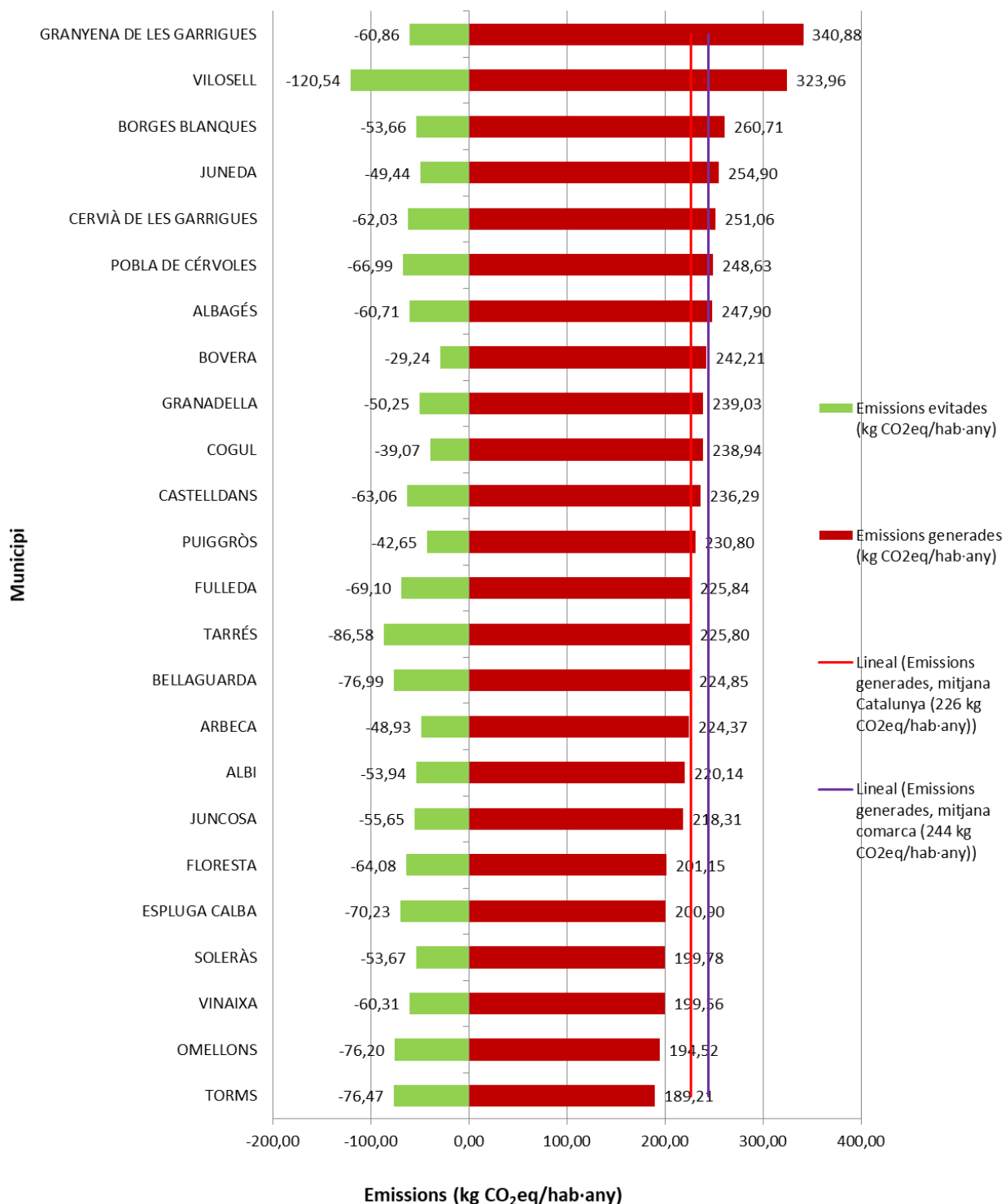


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Conca de Barberà, 2018)

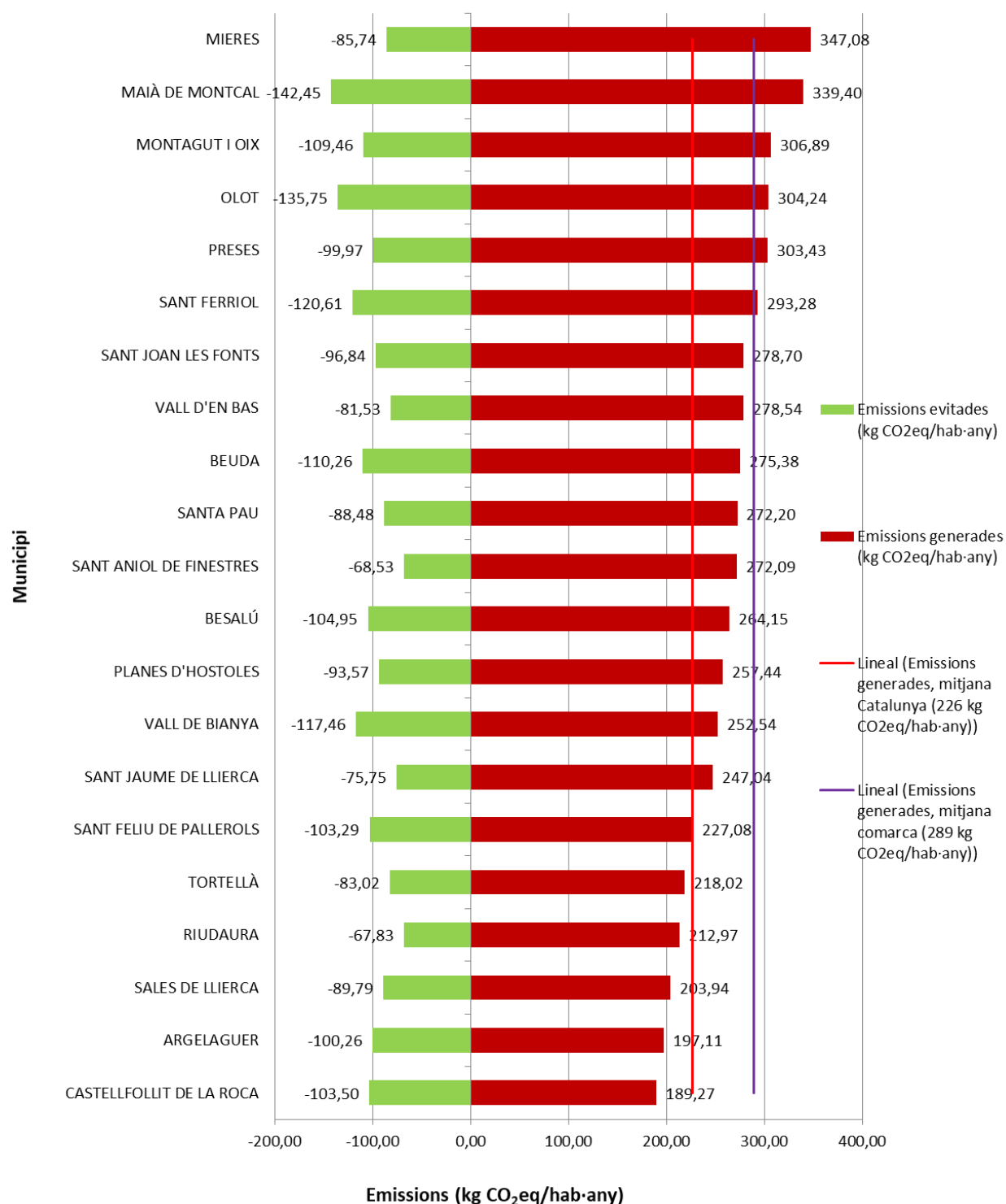


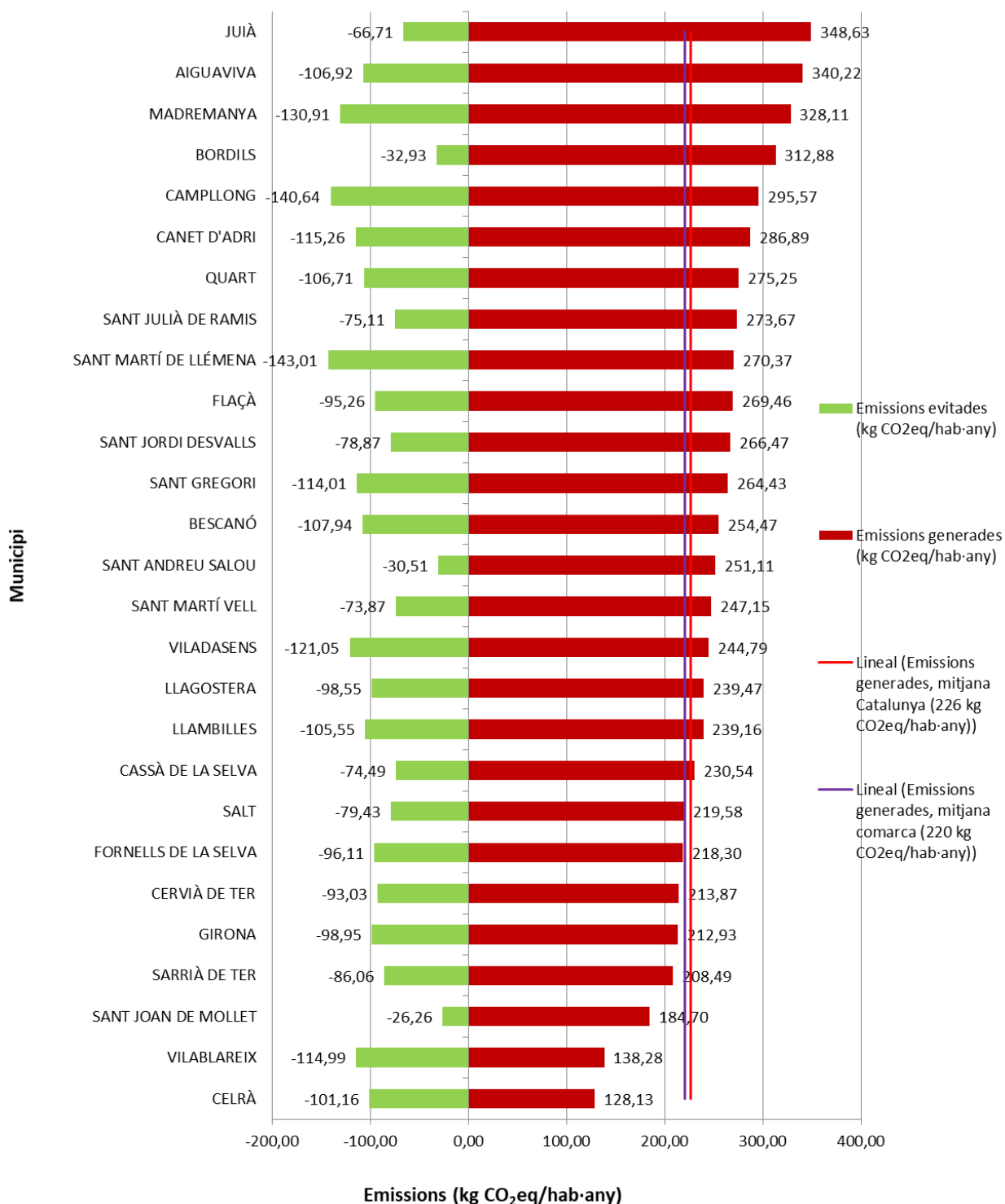
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garraf, 2018)



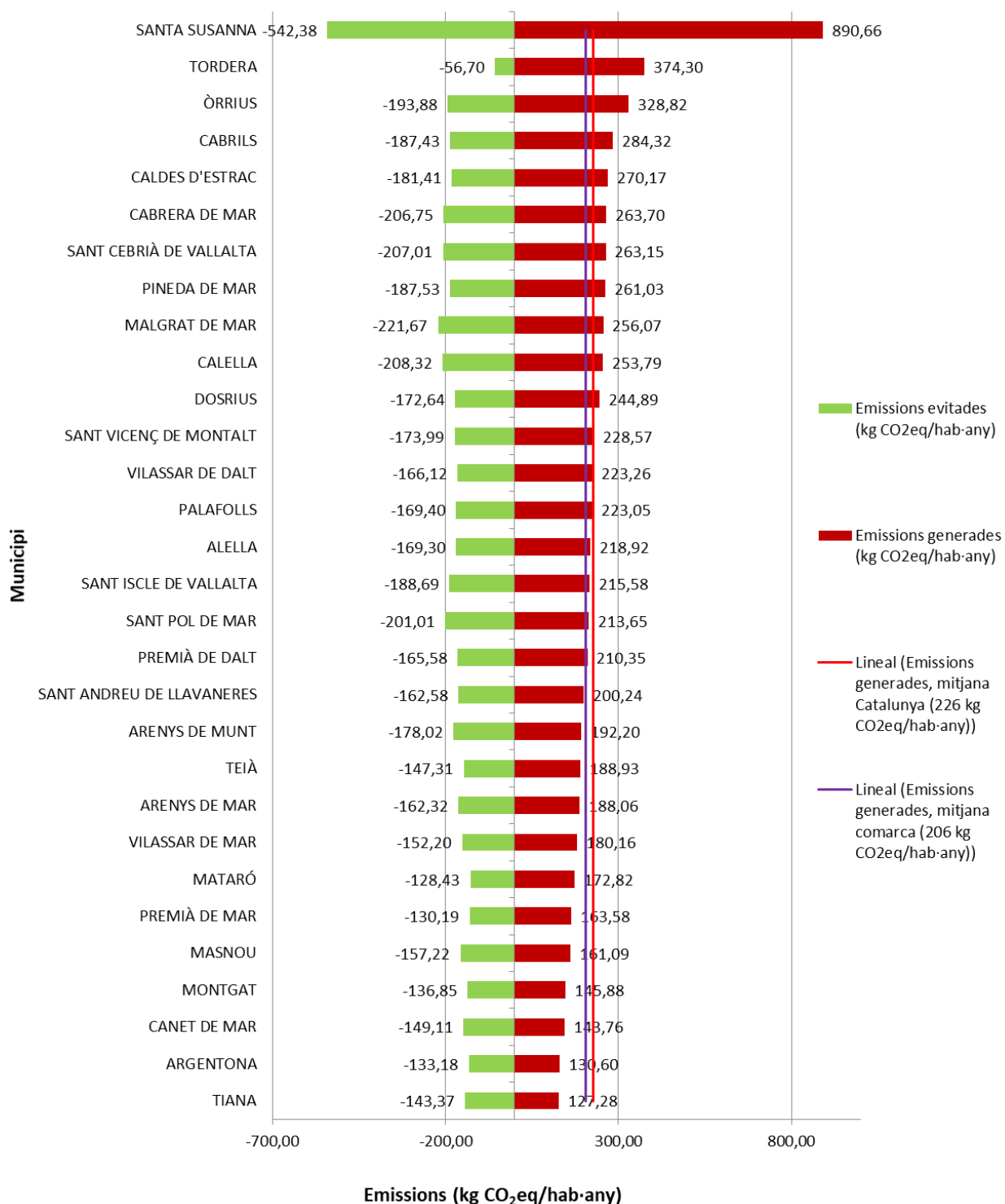
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garrigues, 2018)

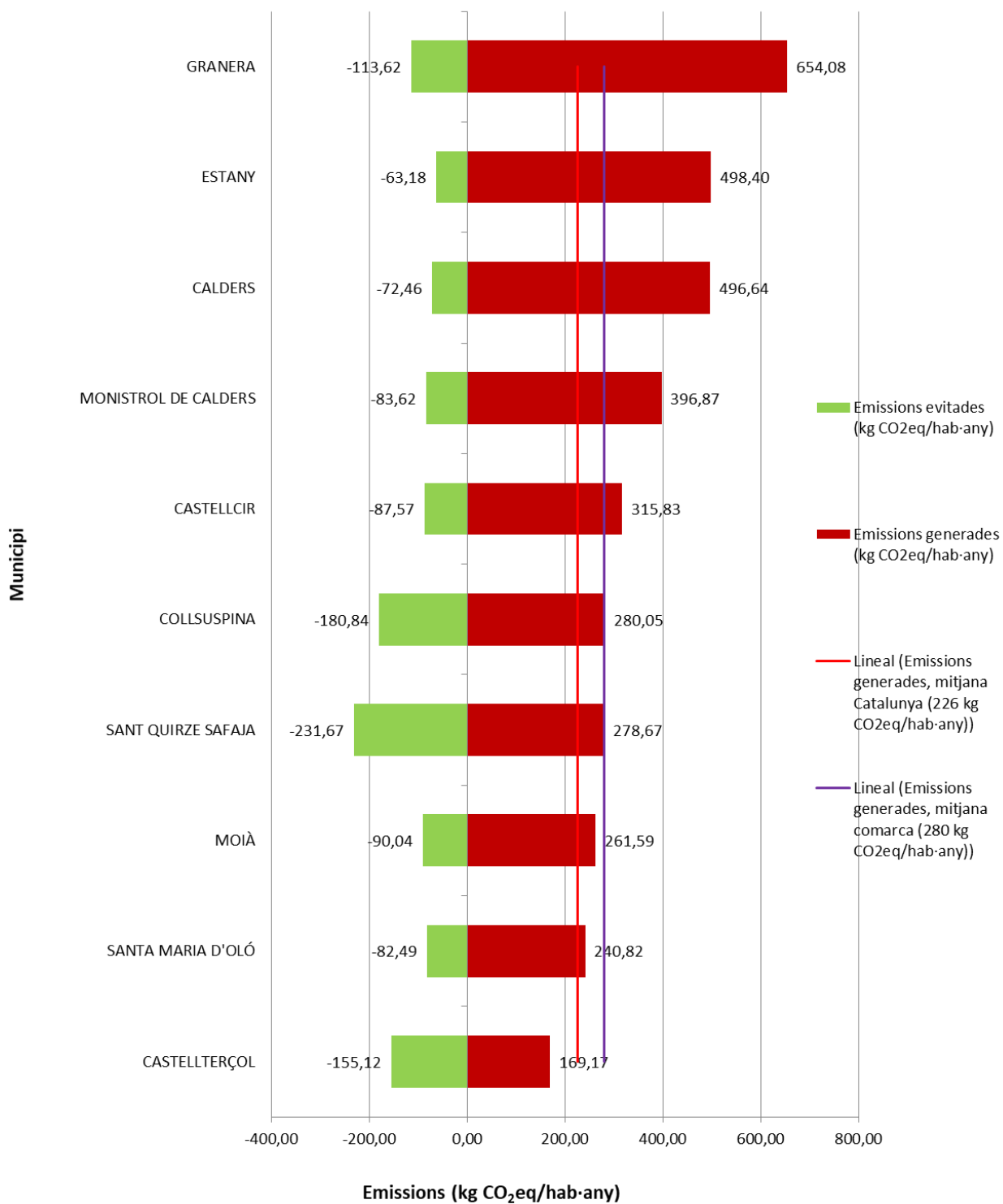
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garrotxa, 2018)



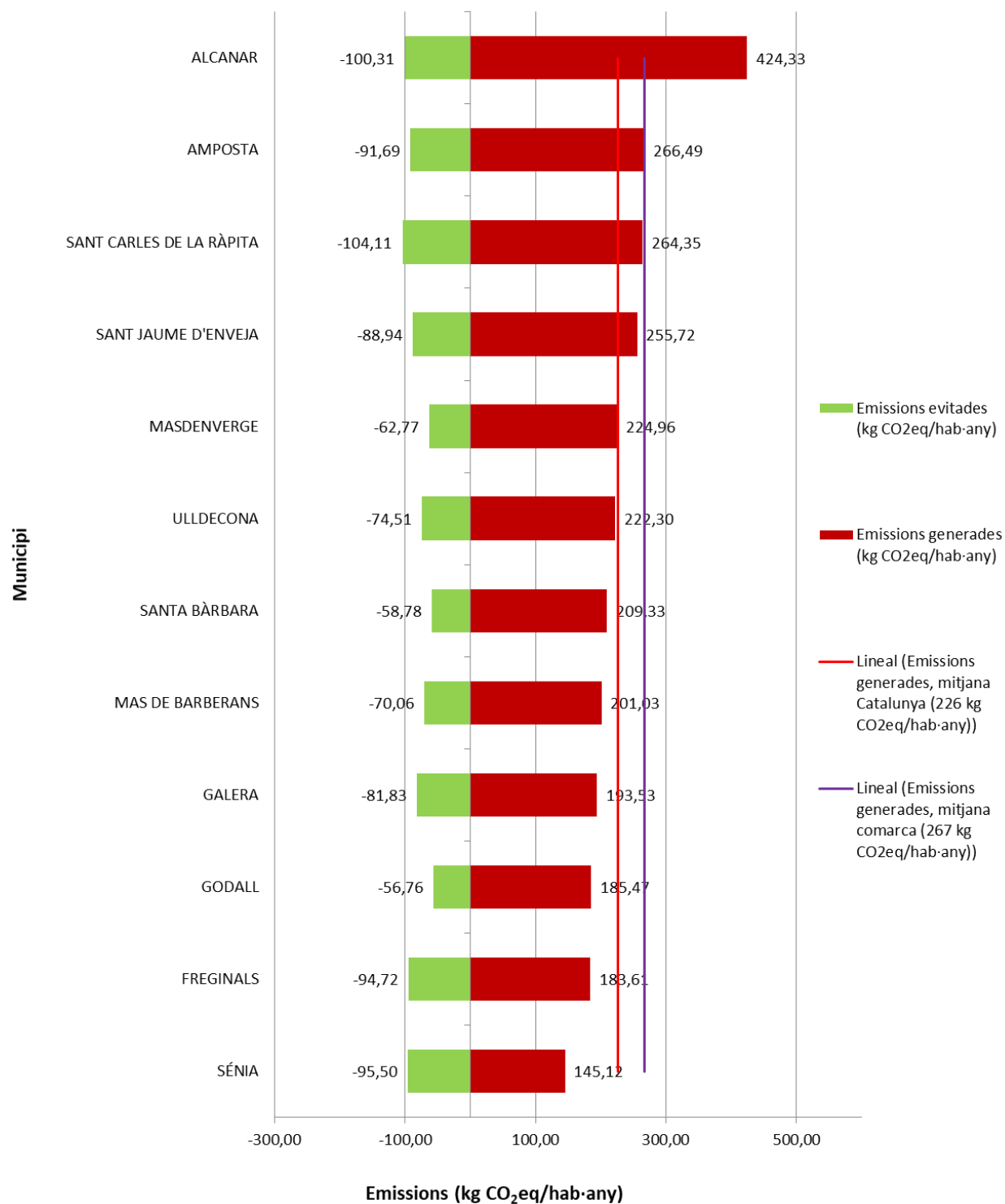
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Gironès, 2018)

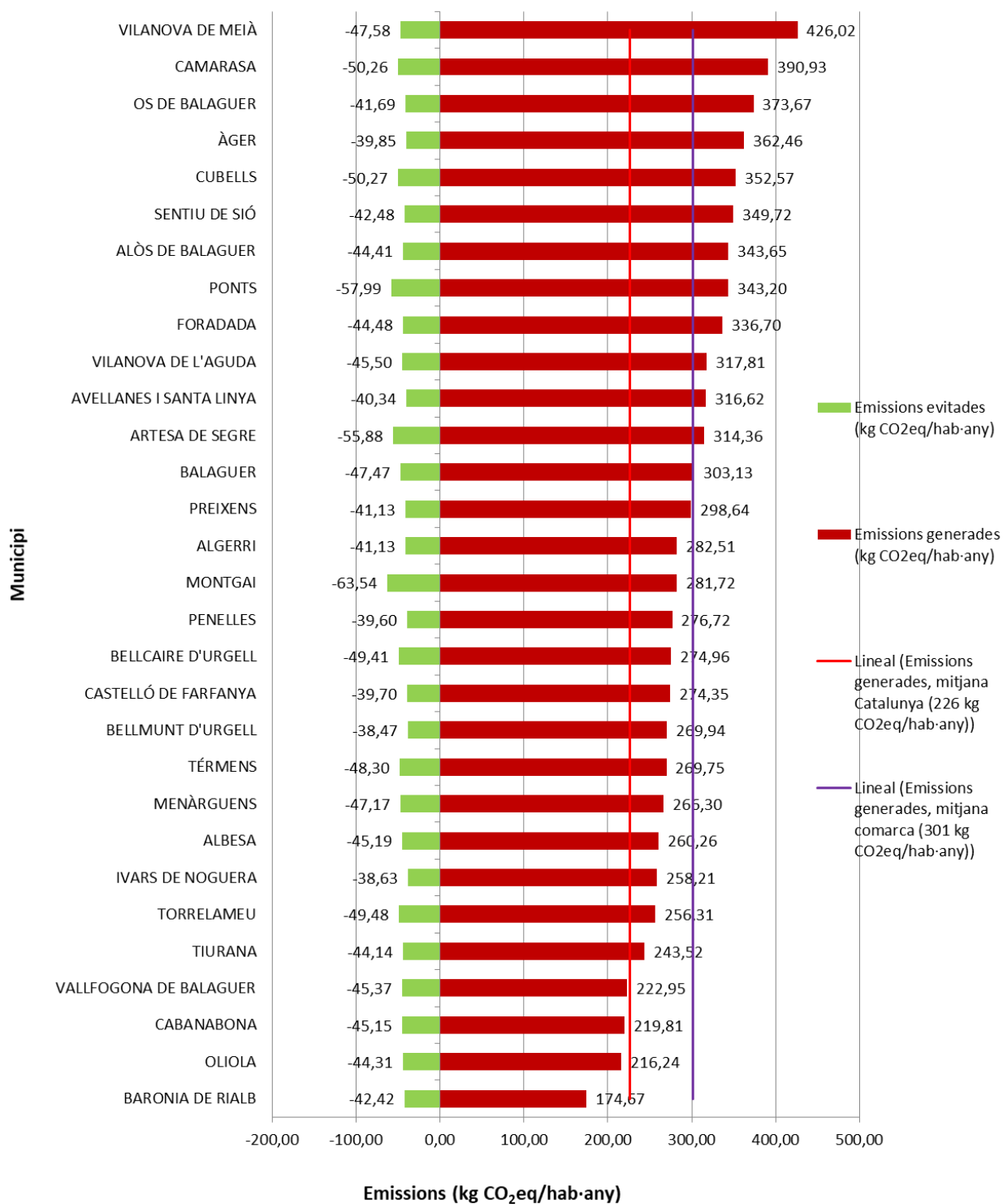
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Maresme, 2018)



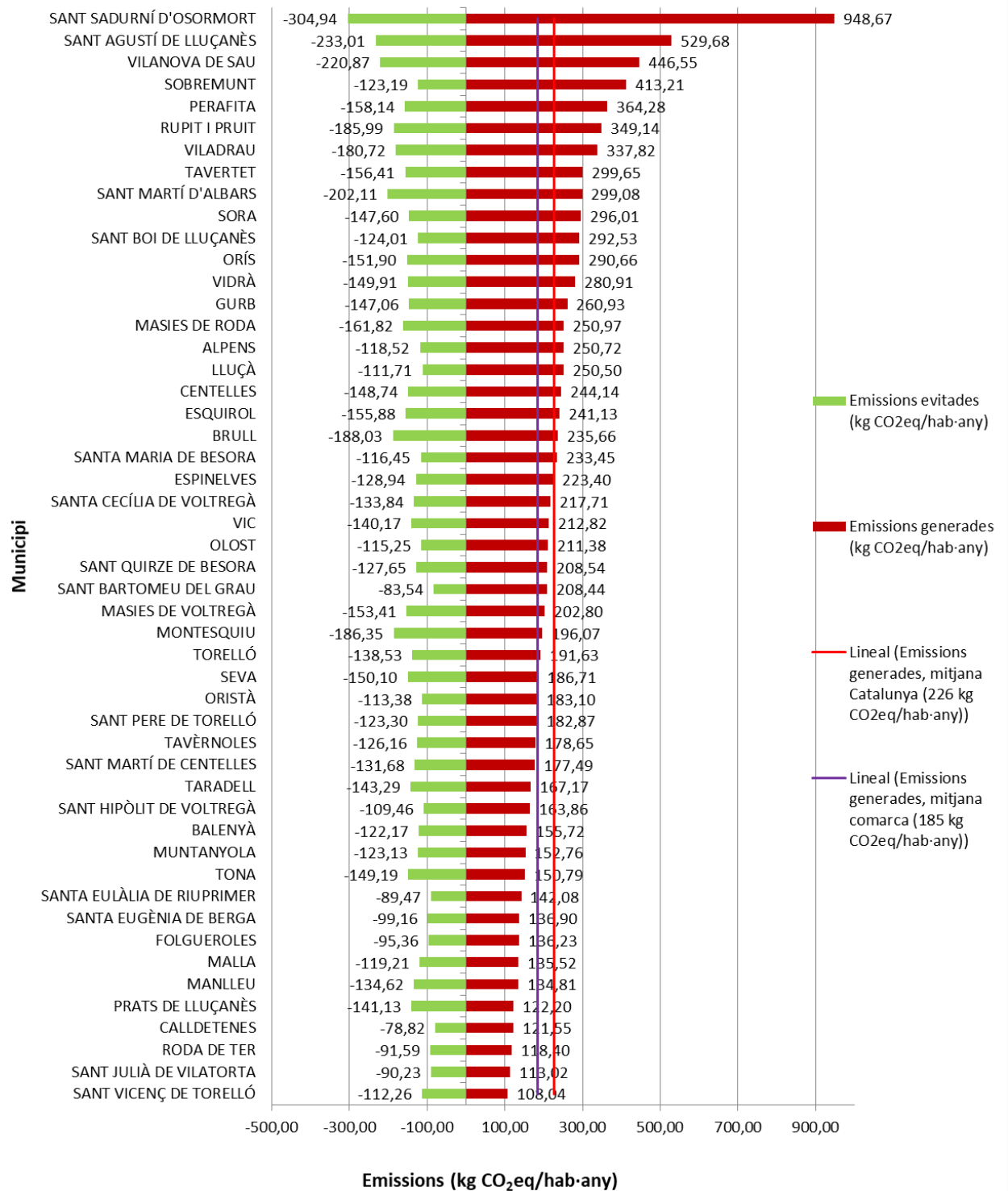
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Moianès, 2018)

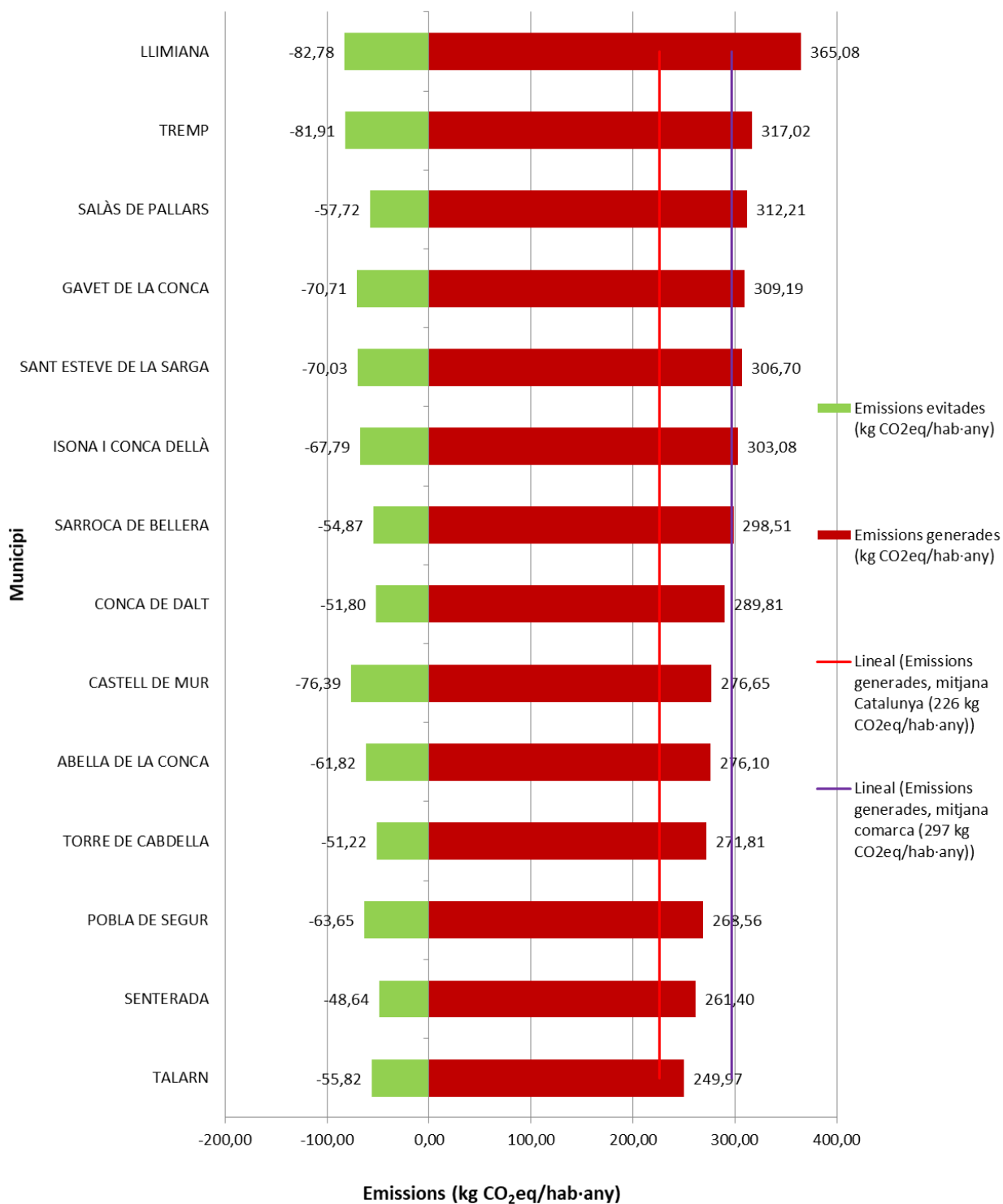
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Montsià, 2018)



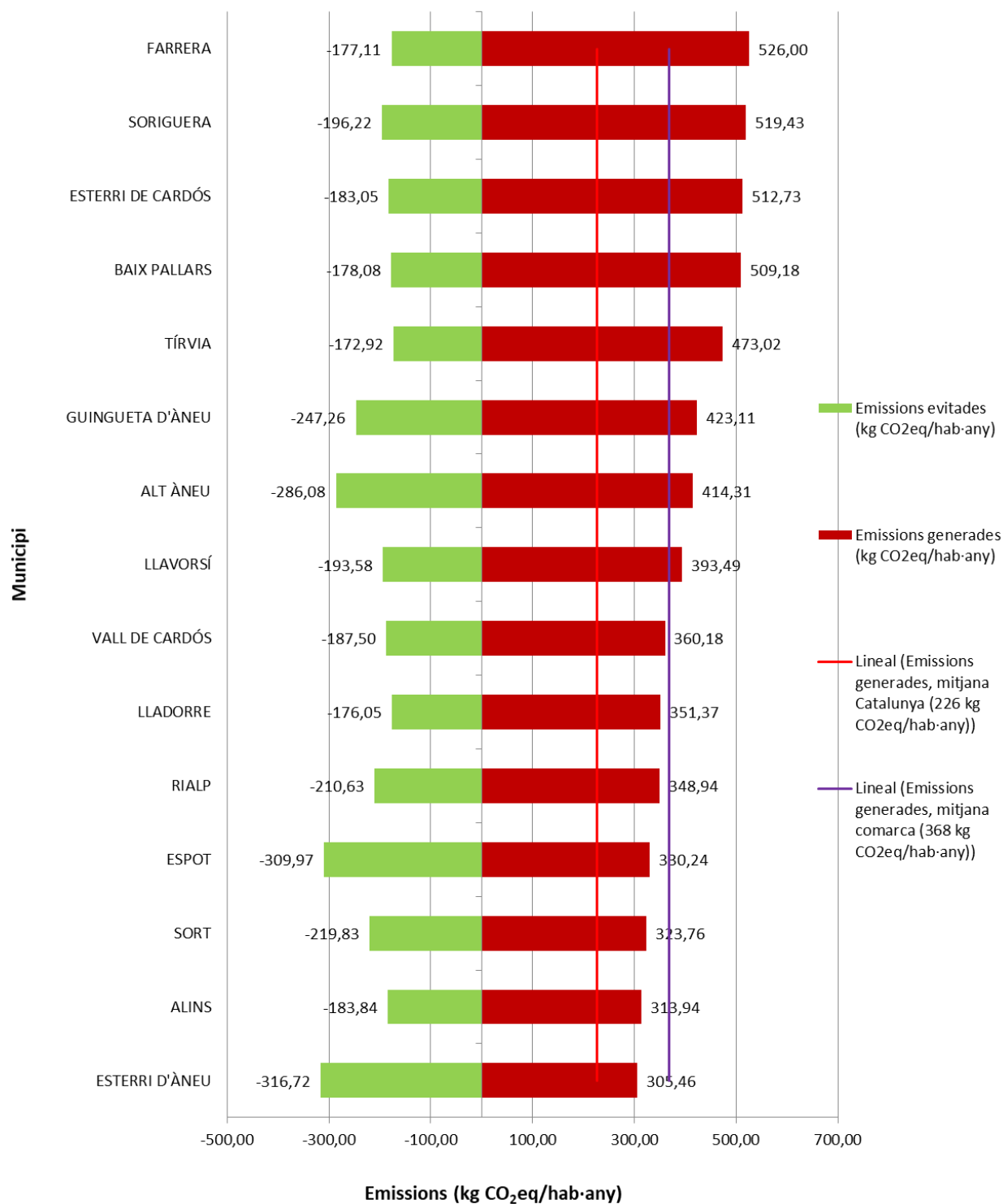
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Noguera, 2018)

Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Osona, 2018)

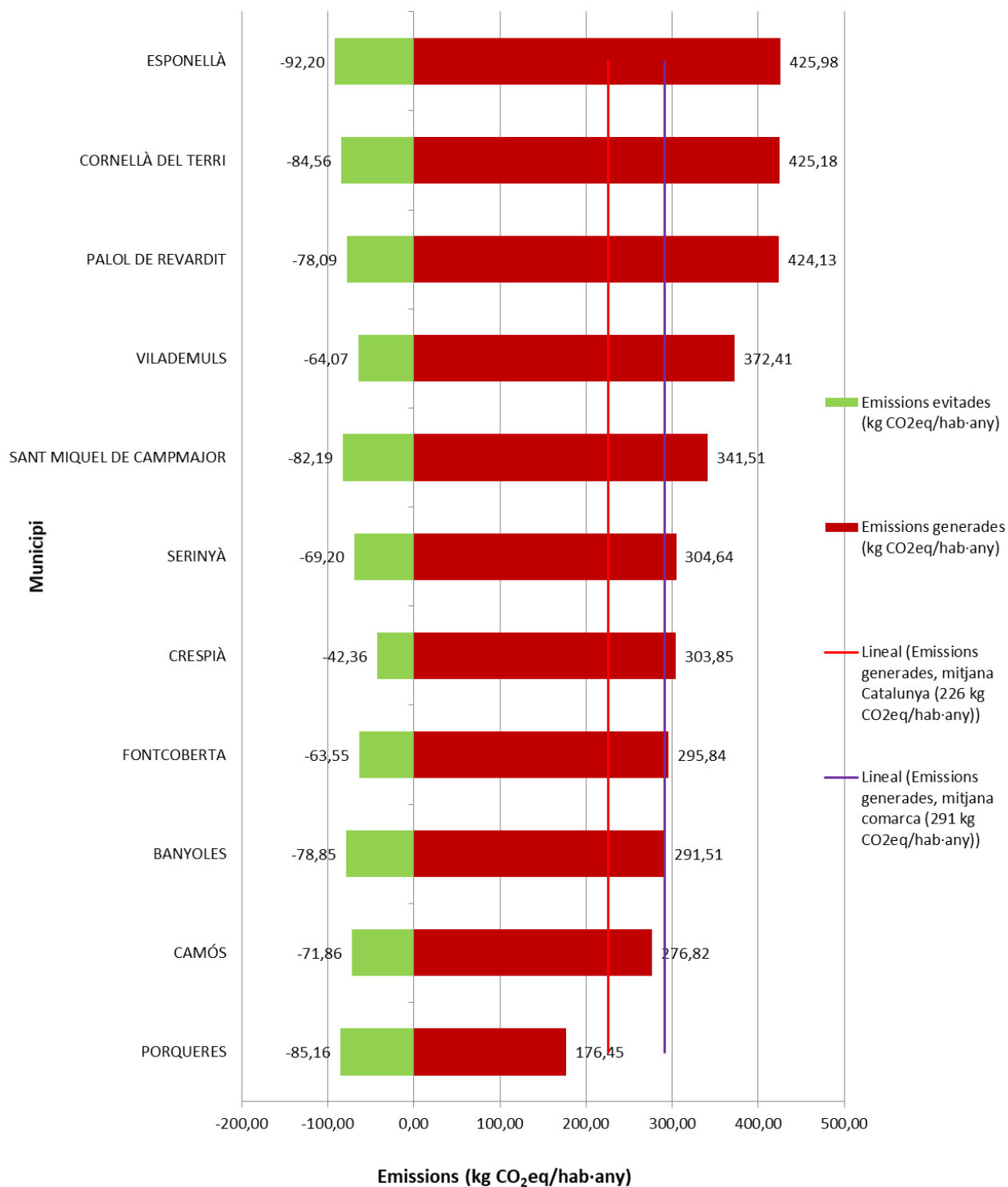


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Jussà, 2018)

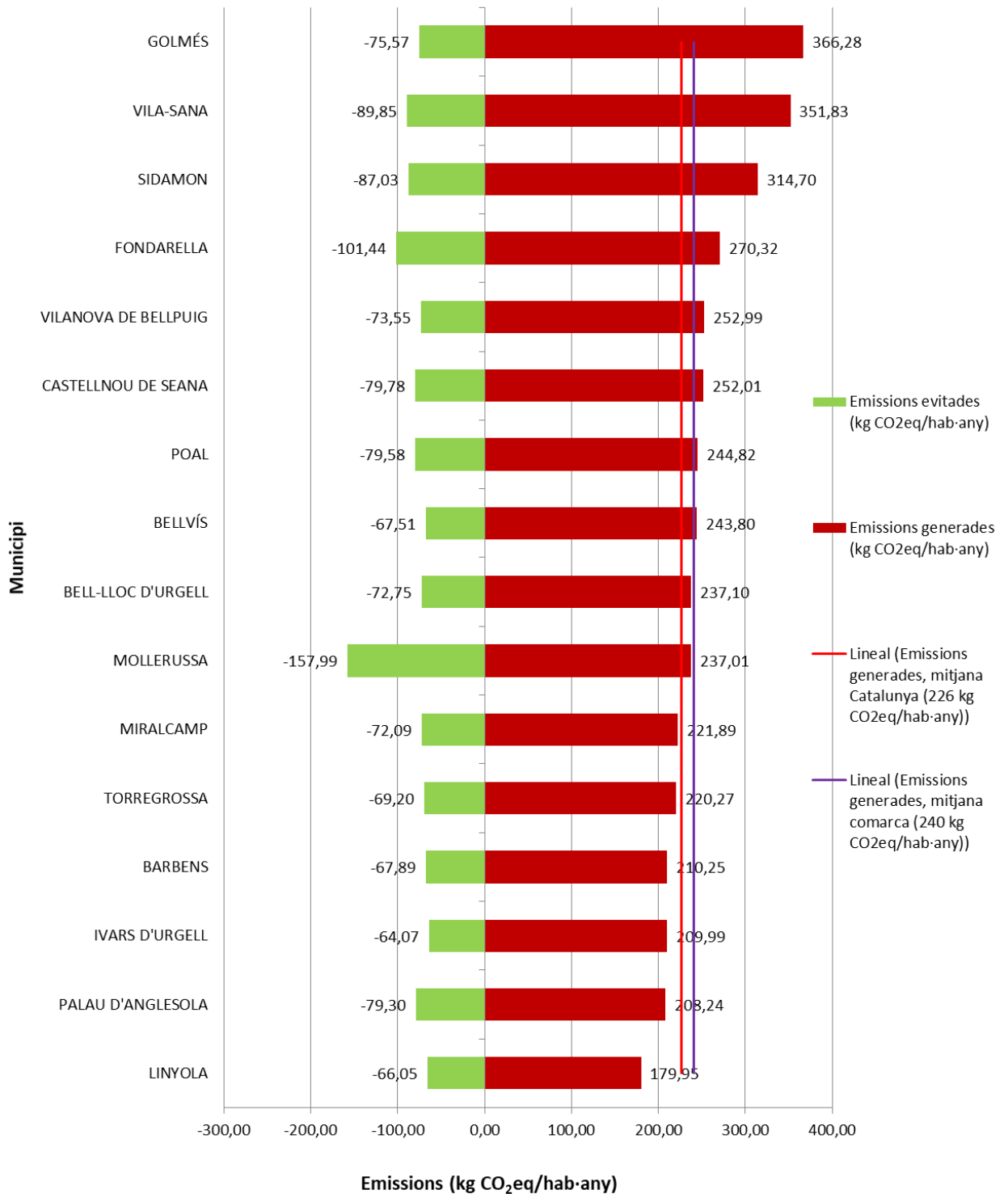
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Sobirà, 2018)

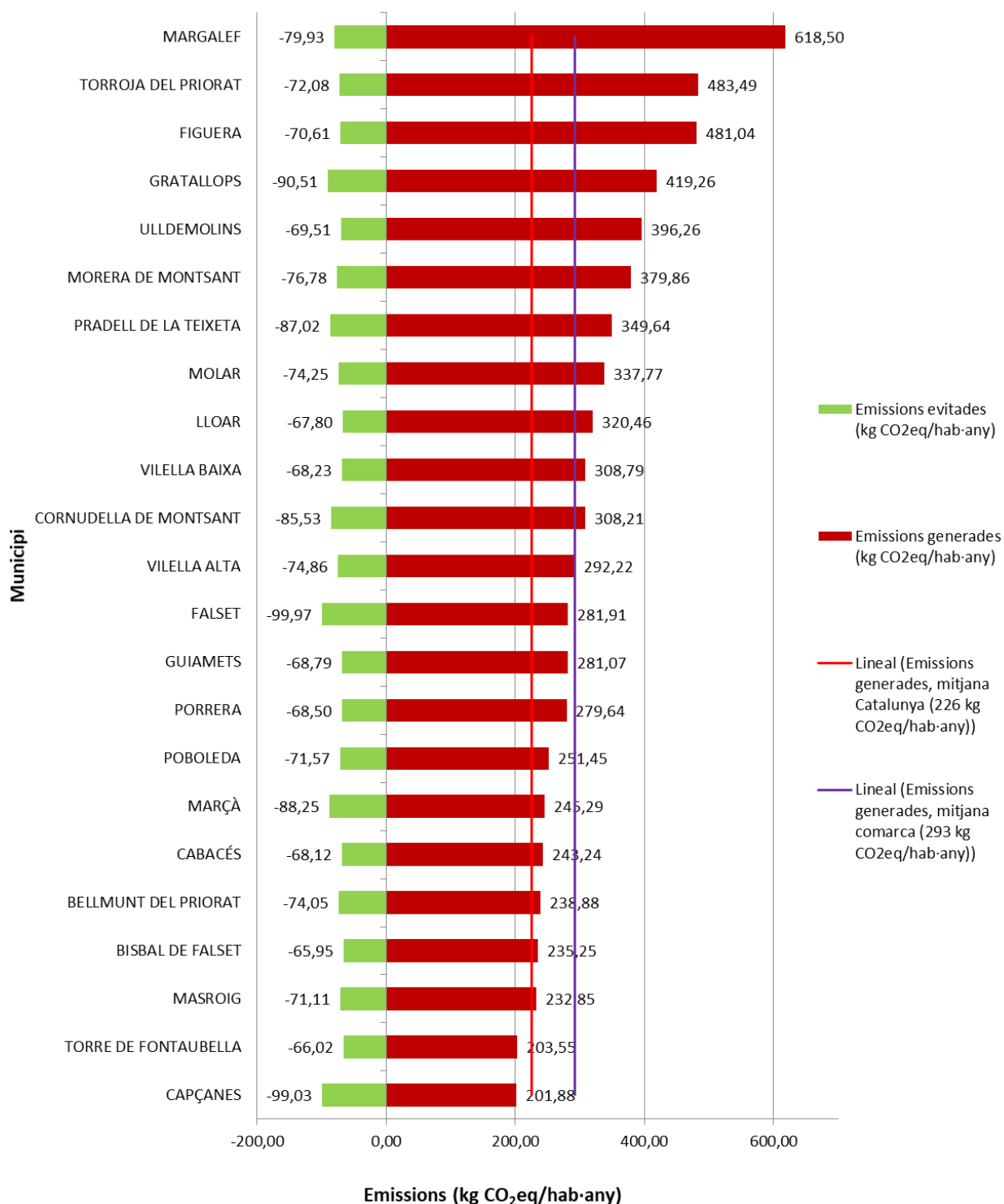


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla de l'Estany, 2018)

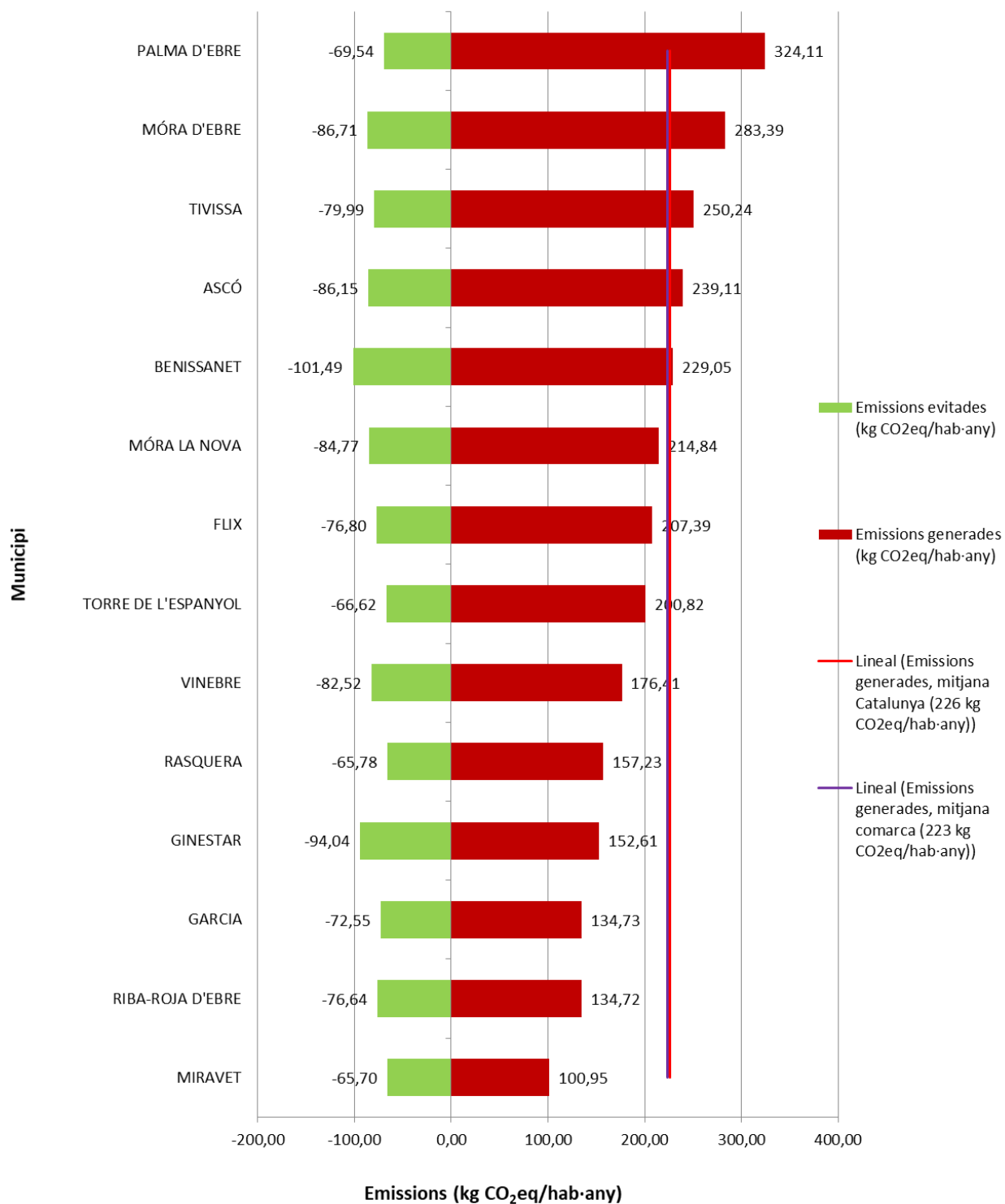


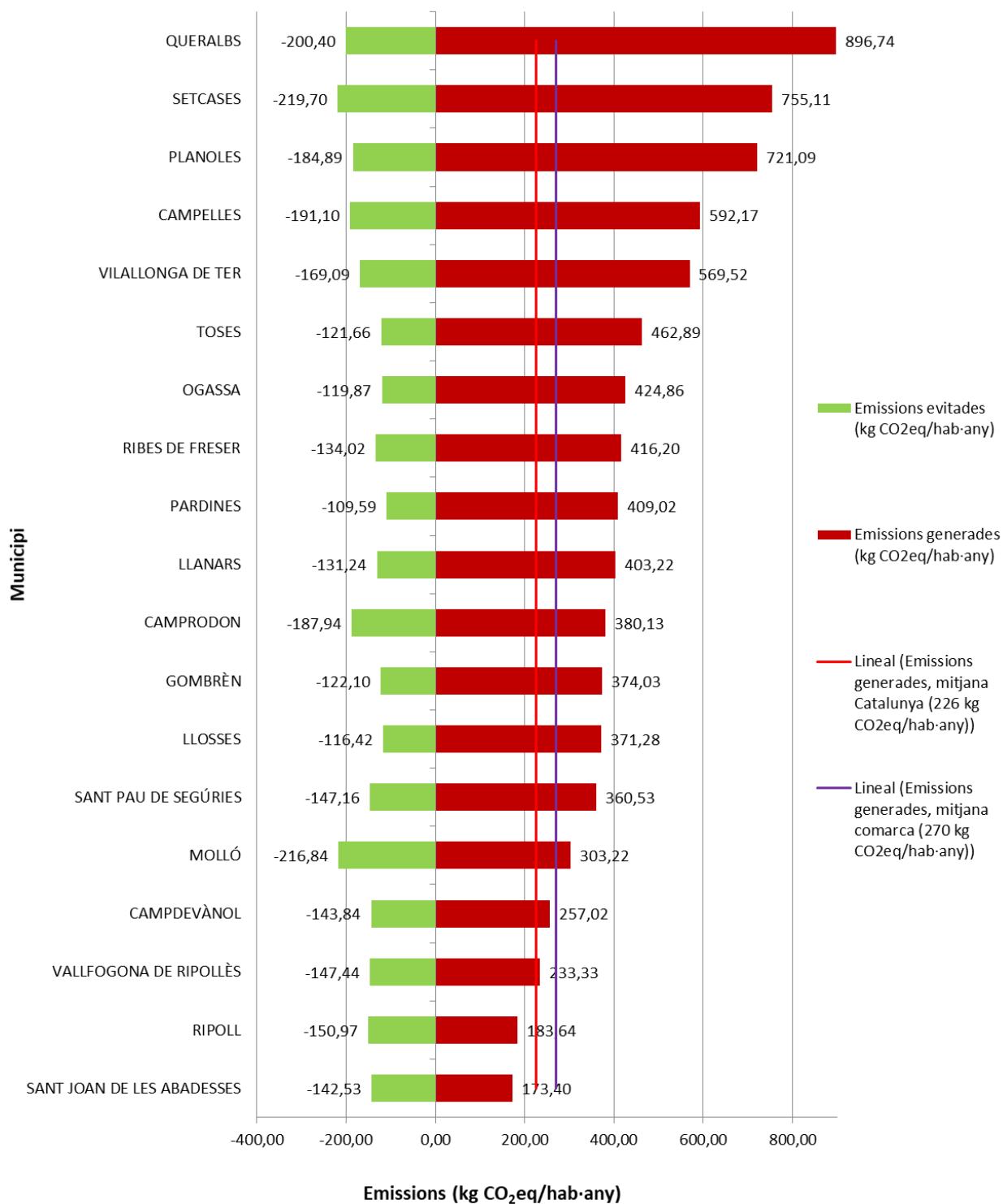
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla d'Urgell, 2018)



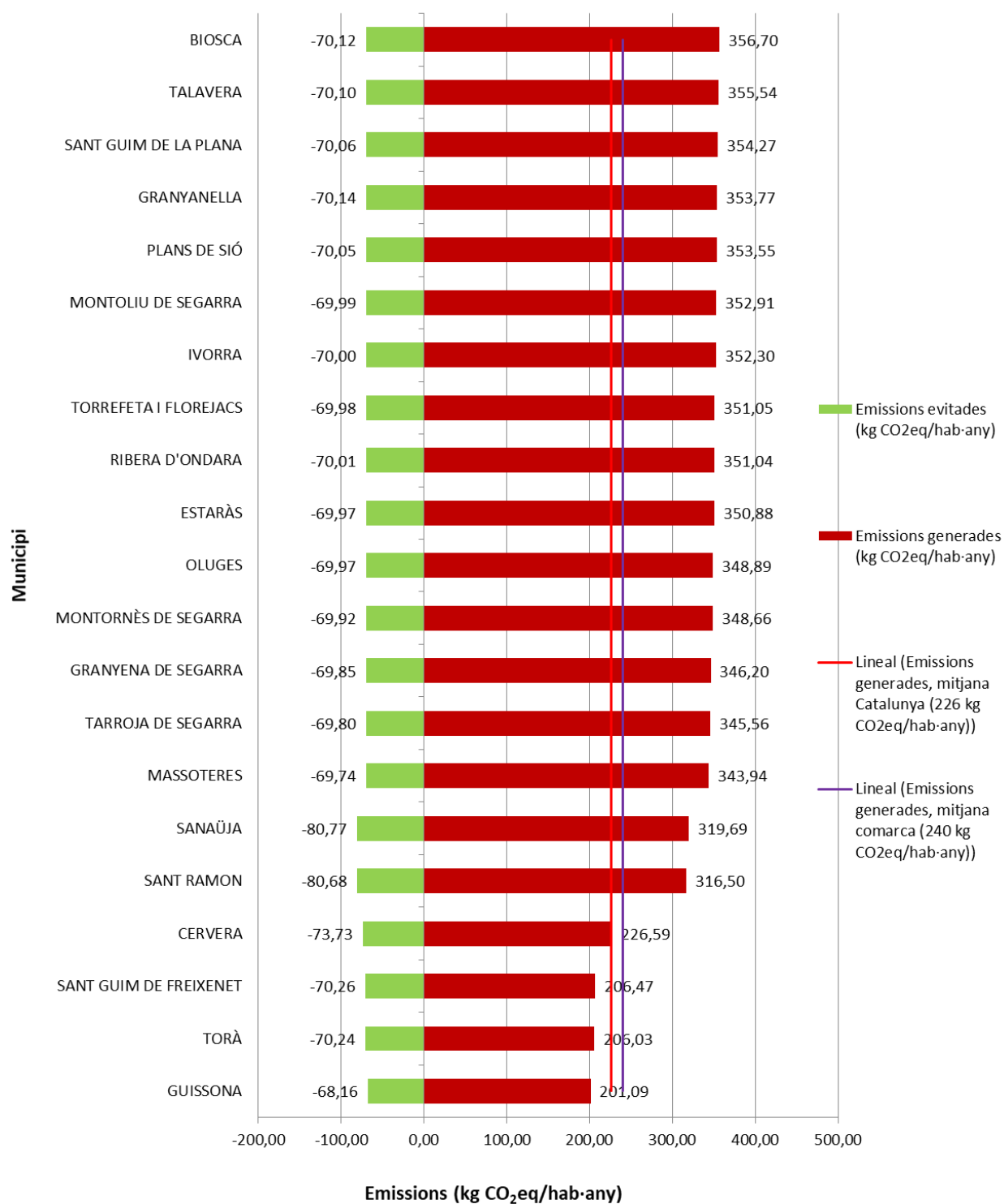
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Priorat, 2018)

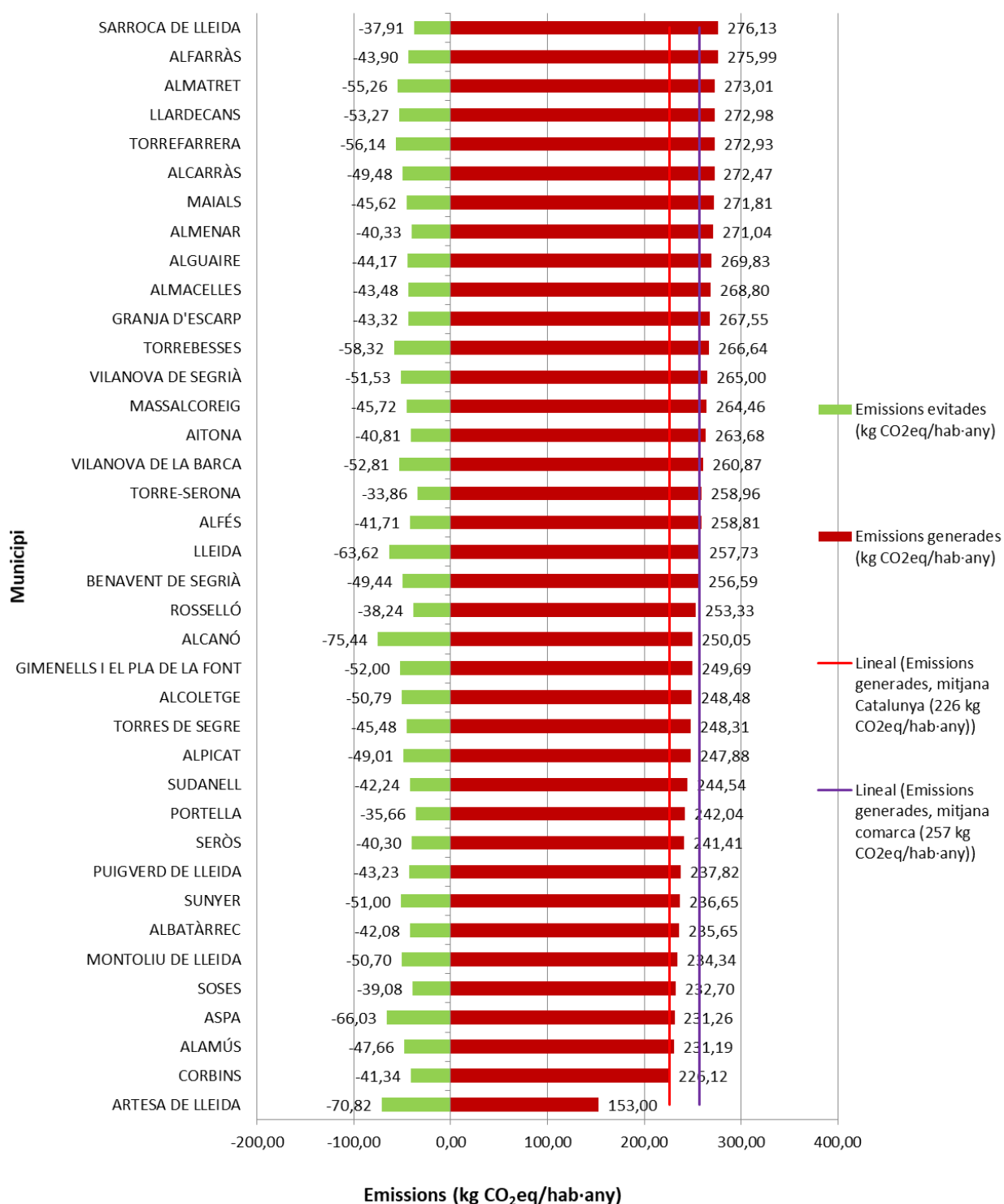
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ribera d'Ebre, 2018)



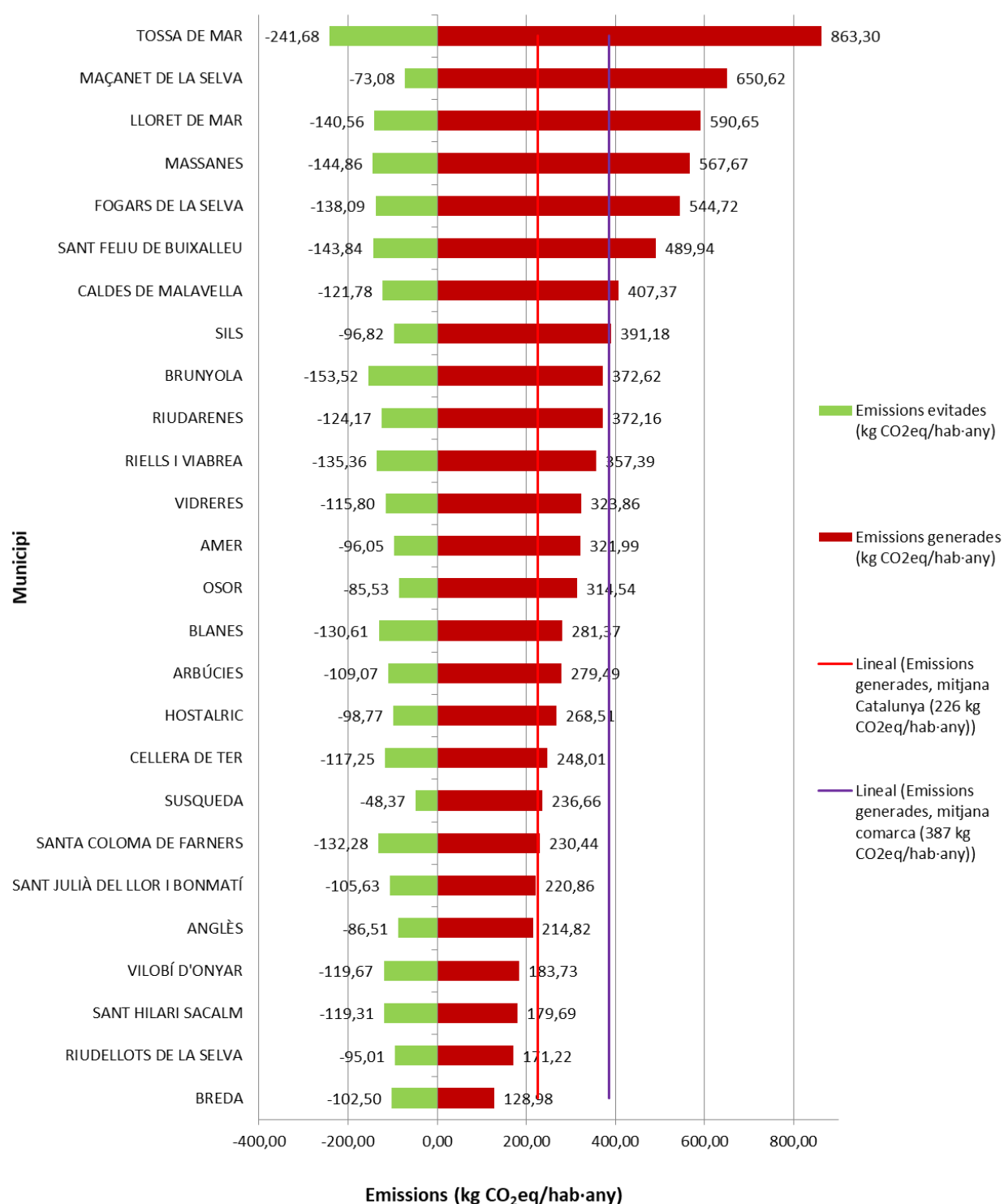
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ripollès, 2018)

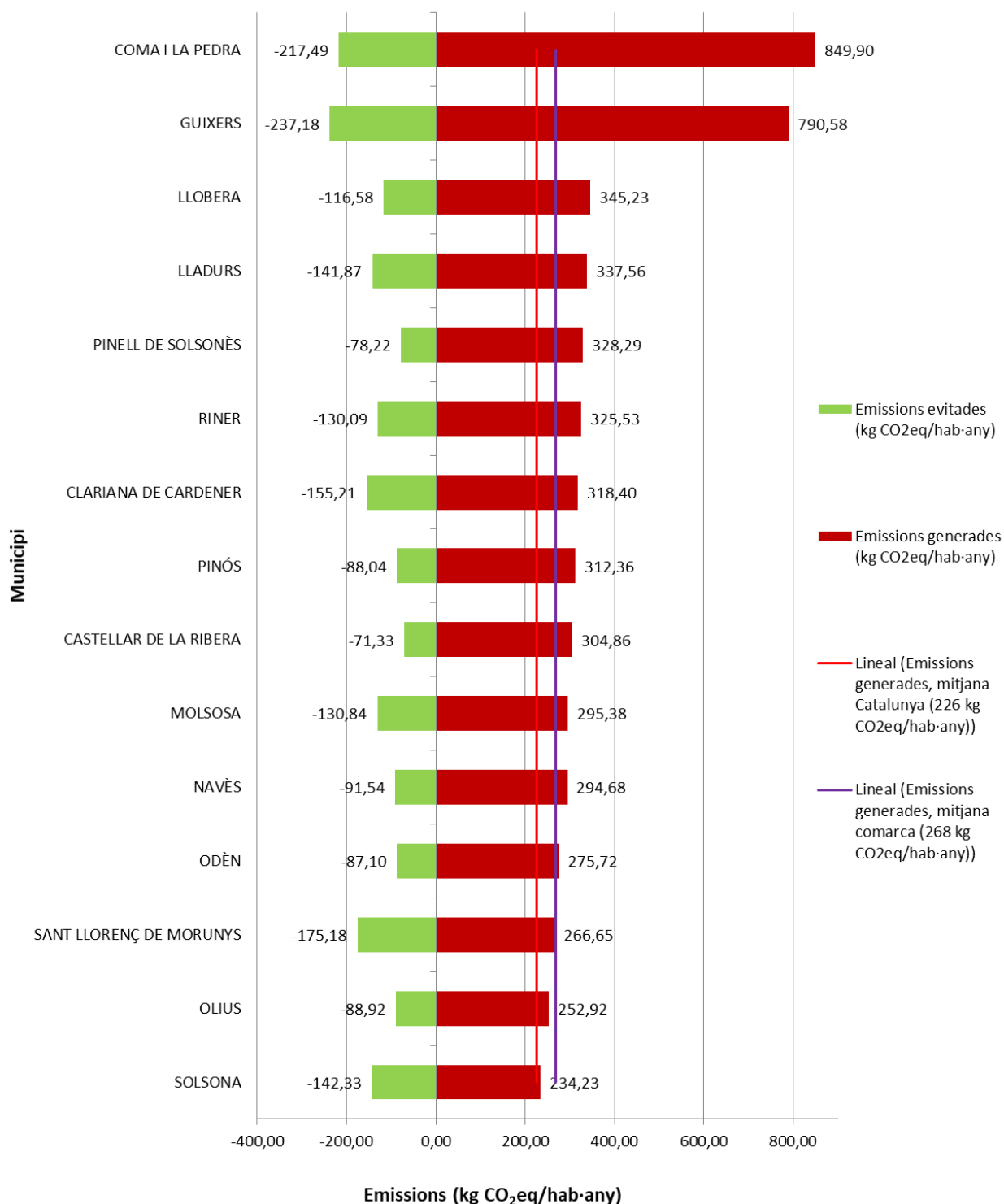
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Segarra, 2018)



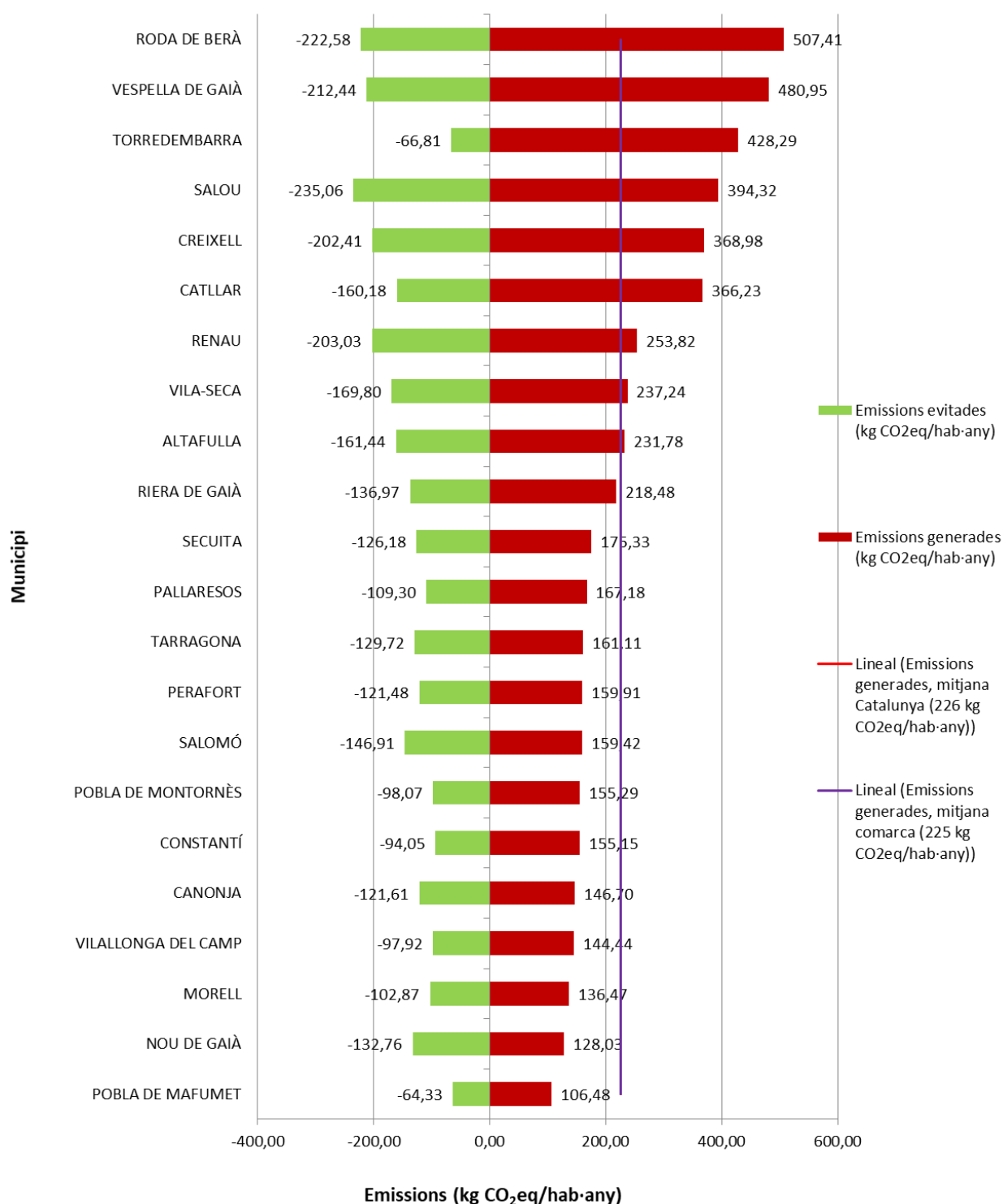
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Segrià, 2018)

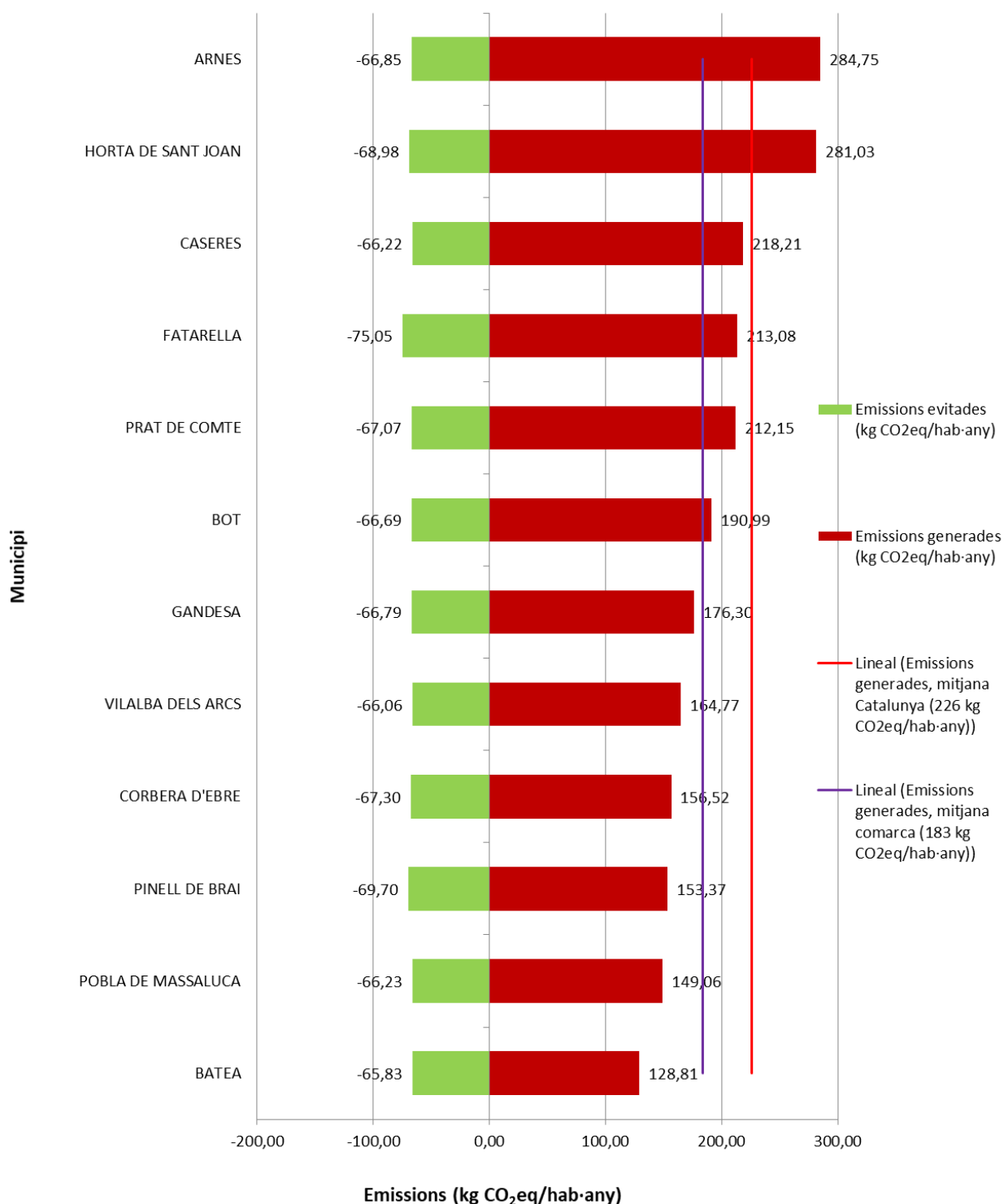
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Selva, 2018)



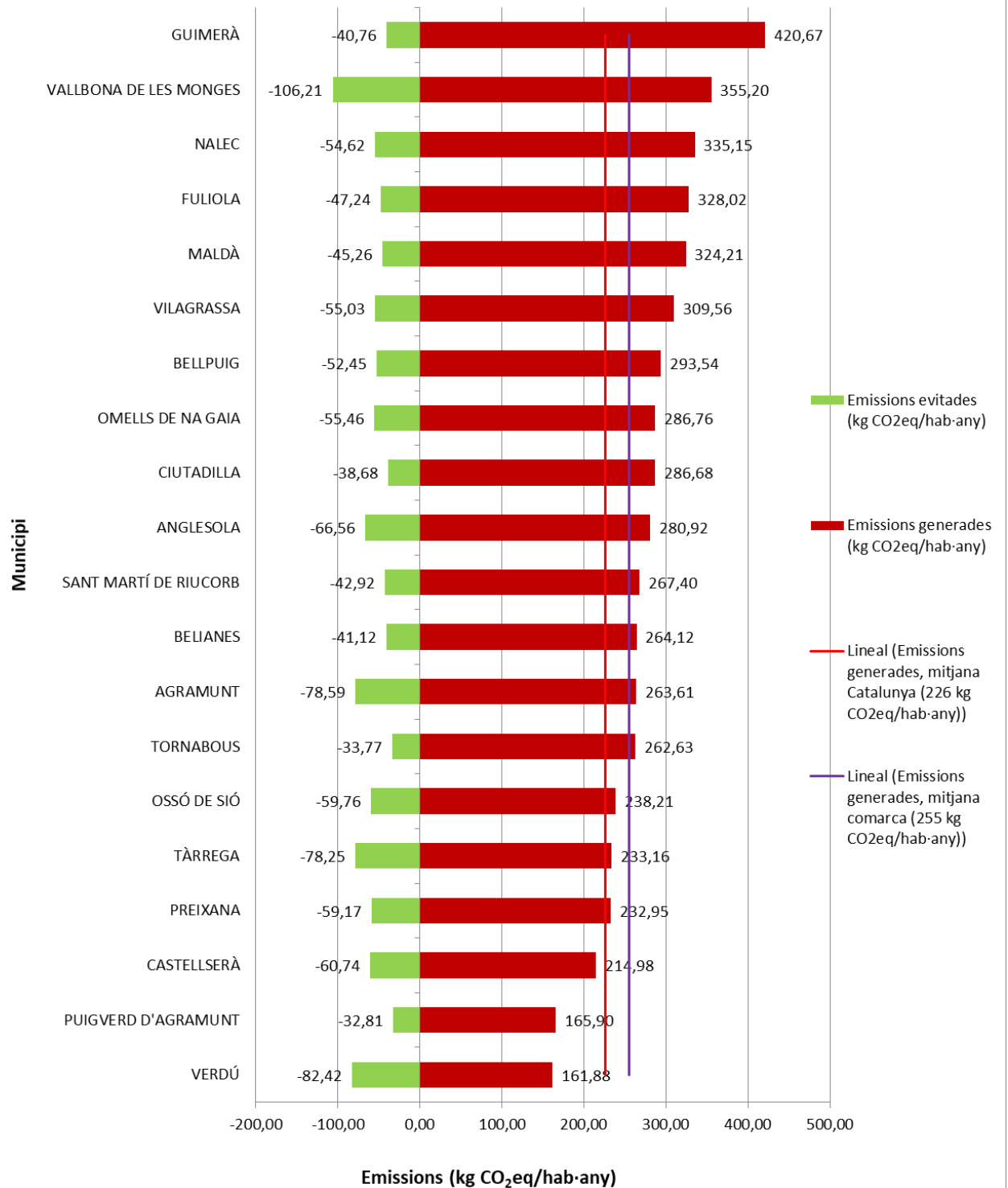
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Solsonès, 2018)

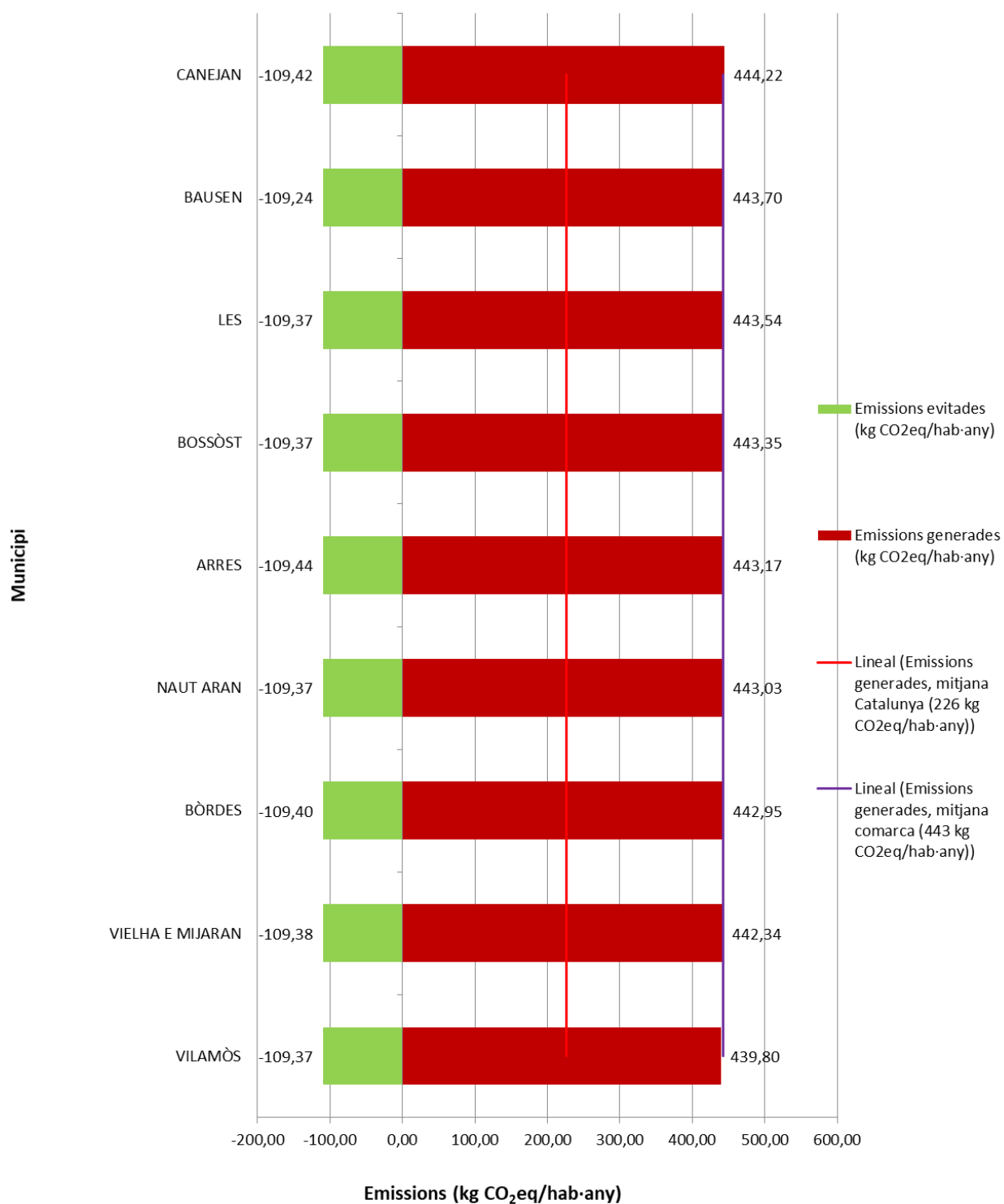
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Tarragonès, 2018)



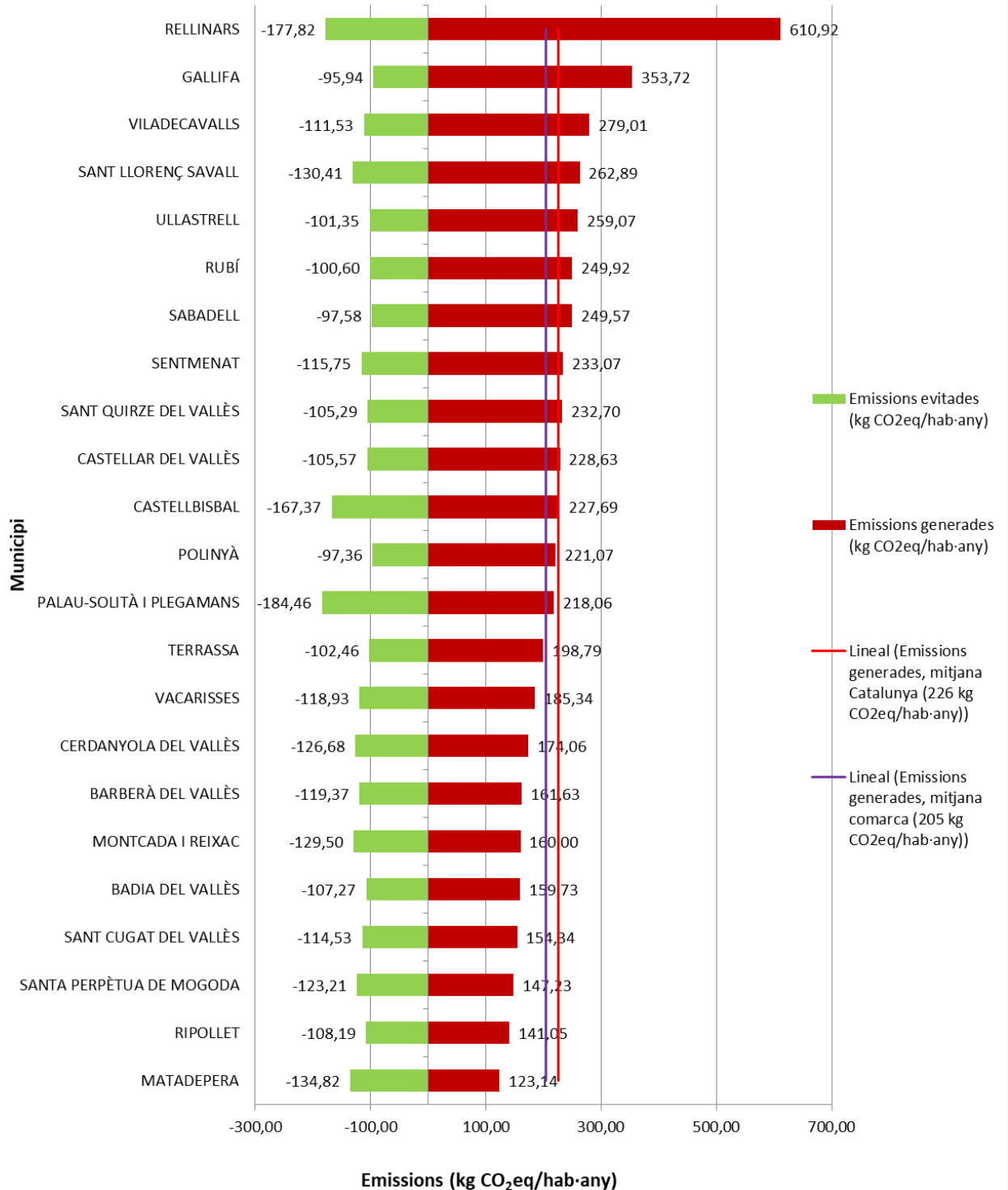
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Terra Alta, 2018)

Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Urgell, 2018)

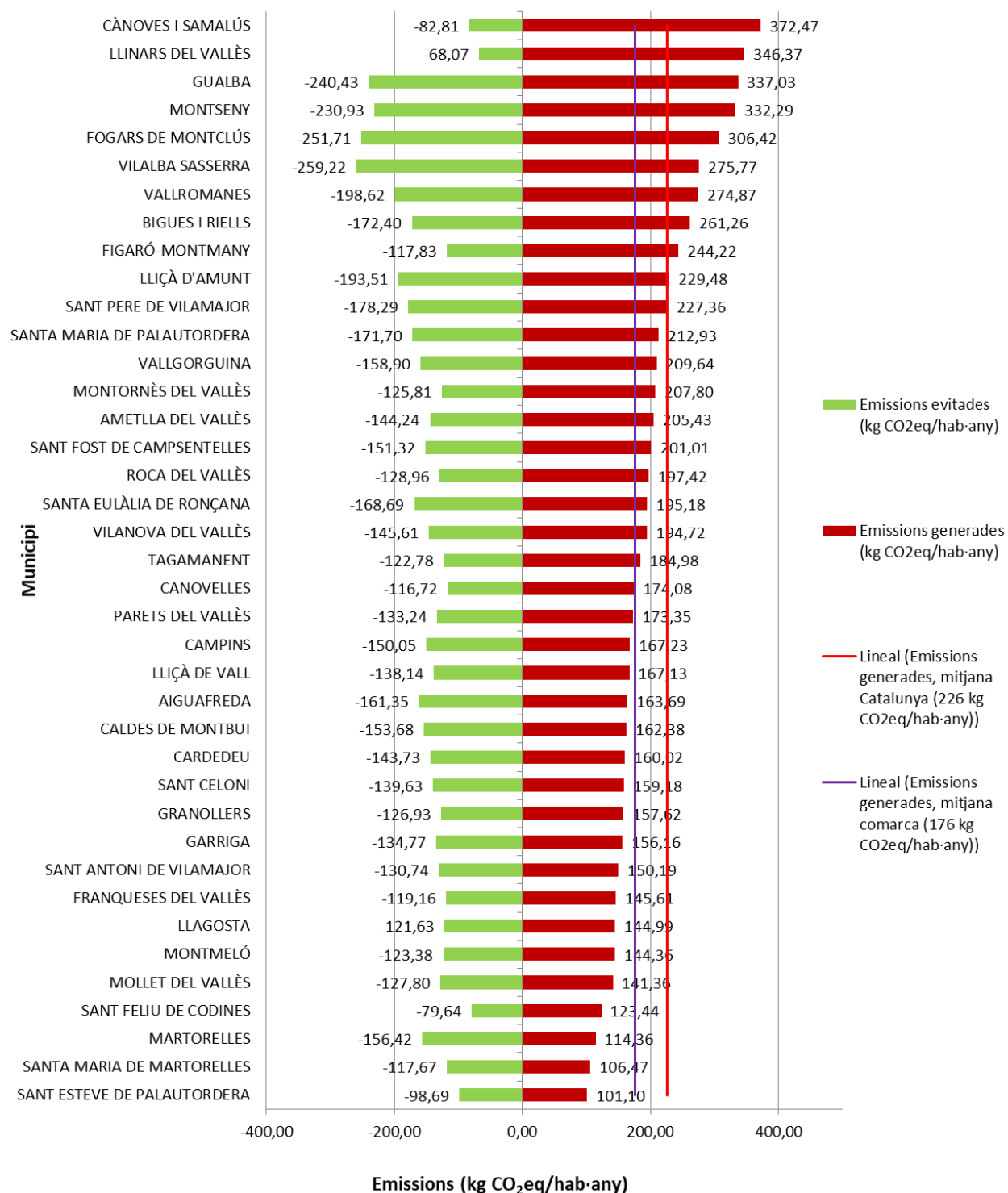


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Val d'Aran, 2018)

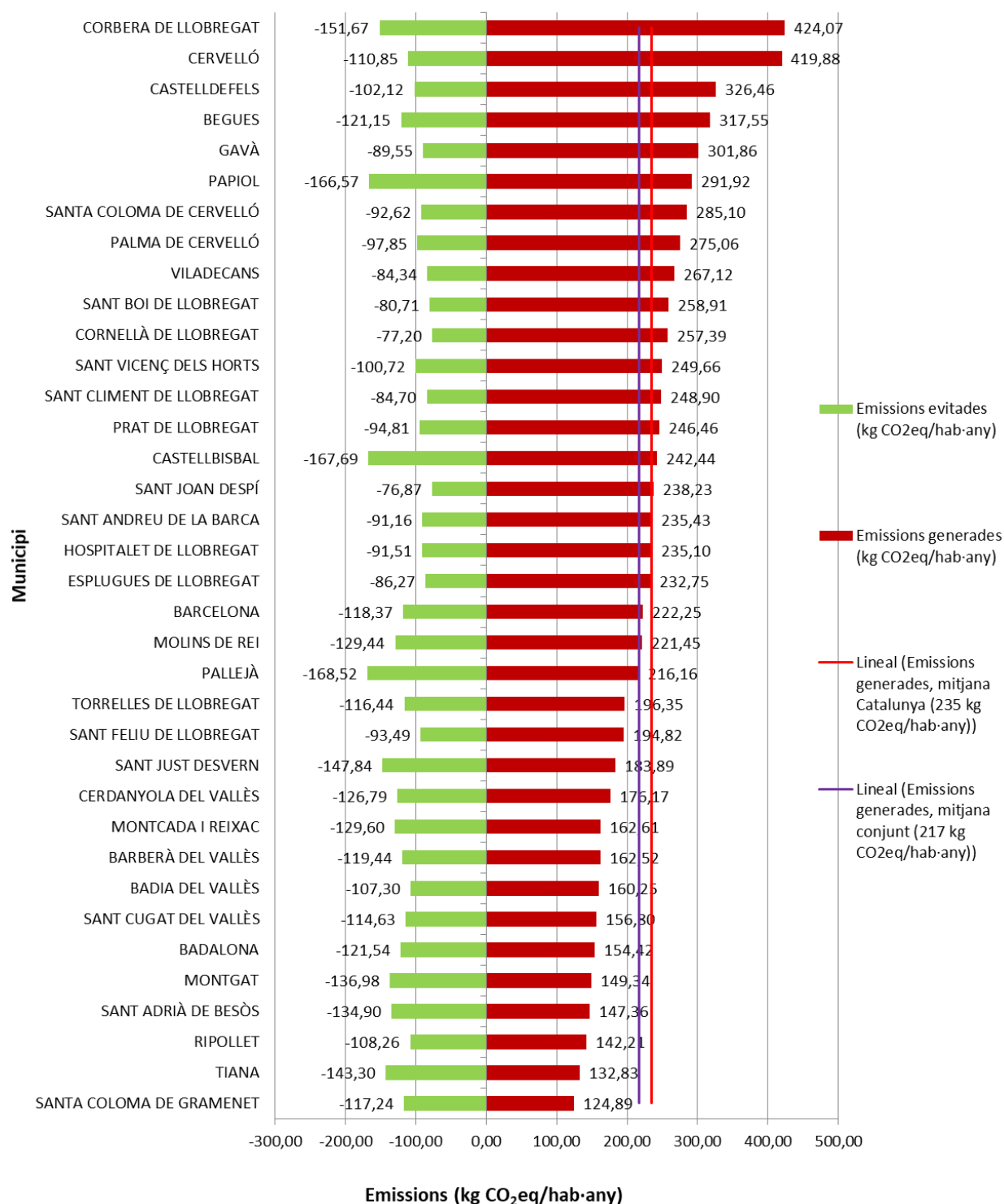
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Vallès Occidental, 2018)



Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Vallès Oriental, 2018)



Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (AMB, 2018)



B. Annex. Petjada de carboni dels municipis en funció del sistema de recollida

L'objectiu d'aquest **Annex B** és comparar la petjada de carboni dels municipis que tenen implantat el Porta a Porta (PaP) amb la resta de municipis. S'ha tingut en compte la relació de municipis que havien implantat la recollida Porta a Porta abans de juliol de 2018 (s'han considerat un mínim de 6 mesos d'implantació) amb una cobertura mínima del 50% de la població".

Els municipis PaP es caracteritzen, en general, per:

- Una menor generació de residus municipals.
- Un major índex de recollida selectiva.
- Una major qualitat de les recollides selectives (especialment la FORM i envasos lleugers).
- Una menor generació de fracció resta.

La Taula C1 mostra els resultats de l'anàlisi comparatiu entre els dos grups de municipis.

Taula C1. Comparativa entre els municipis amb recollida PaP i la resta de municipis catalans (2018)

Variable	Municipis PaP	Municipis sense PaP
Població acumulada (habitants)	385.267	7.214.798
Mostra (nombre de municipis)	152	795
Generació /habitant (kg/hab·dia) (Sense 'no territorialitzables')	1,30	1,39
Recollida selectiva (%)	69	38
Emissió generada de GEH (kg CO ₂ eq/hab·any)	186	243
Emissió evitada de GEH (kg CO ₂ eq/hab·any)	-122	-111
Petjada de carboni (kg CO ₂ eq/hab·any)	65	131

Els municipis amb recollida Porta a Porta tenen una petjada de carboni de la gestió dels residus municipals inferior a la mitjana catalana i que representa aproximadament la meitat de la que tenen el municipis sense aquest sistema. La Figura C1 presenta les emissions generades i evitades dels municipis catalans amb recollida PaP.

Figura C1. Emissions generades i evitades dels municipis catalans amb recollida PaP (2018)

