



Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2019)

Febrer, 2021

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: 93.268.3476

info@ineditinnova.com

www.ineditinnova.com

Amb la col·laboració de:



Índex del document

Índex del document	1
Índex de taules.....	2
Índex de figures	4
Abreviatures	6
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 – L'EINA CO ₂ ZW® I L'ABAST DE L'ESTUDI.....	8
3. METODOLOGIA DE CàLCUL – FASES DEL PROJECTE	13
3.1. Fase d'adaptació de la CO ₂ ZW® a Catalunya	13
3.2. Fase de càlcul de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya.....	24
3.3. Fase de càlcul de la petjada de carboni per municipis.....	25
4. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS DEL CONJUNT DE CATALUNYA.....	29
4.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2019) 29	
4.2. Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius.....	39
4.3. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2019)	47
5. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS A NIVELL DE MUNICIPI I COMARCA	51
5.1. Resultats a nivell de municipi (2019)	51
5.2. Resultats per comarca (2019).....	56
6. RECOMANACIONS	59
7. REFERÈNCIES	61
A. Annex. Emissions de GEH generades i evitades de la gestió dels residus municipals, a escala municipal (2019)	63
B. Annex. Petjada de carboni dels municipis en funció del sistema de recollida .	107
C. Annex. Petjada de carboni del tractament de la resta a les plantes de tractament mecanicobiològic (TMB).....	110

Índex de taules

Taula 1. Generació de residus per habitant a Catalunya i mitjana europea.....	14
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.	15
Taula 3. Recollida selectiva a Catalunya (t)	16
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.	17
Taula 5. Impropis a la FORM a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.....	18
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.	19
Taula 7. Vies de tractament de la FORM a Catalunya i comparació amb Espanya.....	20
Taula 8. Característiques dels ecoparcs –tractament de resta- (TMB) a Catalunya i comparació amb les plantes TMB a Espanya.	21
Taula 9. Destí del rebuig de TMB a Catalunya i comparació amb Espanya.....	22
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.	22
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.	23
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.....	27
Taula 13. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals de Catalunya (2019), en t de CO ₂ eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2018	33
Taula 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta i rebuig a Catalunya (2019). I comparativa amb factors calculats per 2018.....	35
Taula 15. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2019).....	36
Taula 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2019)	37
Taula 17. Emissions generades, evitades i petjada de carboni en el escenari base (2019) i escenaris alternatius	41
Taula 18. Petjada de carboni en cada escenari: emissions generades i evitades, per instal·lacions de tractament	43

Taula 19. Evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals pel conjunt de Catalunya en el període 2012-2019	49
Taula 20. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2019)	52
Taula 21. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (any 2019)	54
Taula 22. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2019), en kg de CO ₂ eq/hab, i evolució de la petjada respecte 2018.....	57

Índex de figures

Figura 1. Logo de l'eina CO ₂ ZW (marca comunitària registrada)	7
Figura 2. Abast de l'estudi de petjada de carboni a nivell global.....	10
Figura 3. Abast de l'estudi de petjada de carboni per cada tipus de planta.....	11
Figura 4. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2019).....	29
Figura 5. Petjada de carboni de Catalunya (2019): impactes directes, indirectes i evitats	30
Figura 6. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2019) per instal·lació de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades.	31
Figura 7. Petjada de carboni de les plantes de reciclatge per fraccions	33
Figura 8. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta a Catalunya (2019). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu.....	35
Figura 9. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2019). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu.....	36
Figura 10. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2019). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu	37
Figura 11. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2019). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu.....	38
Figura 12. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2019)	38
Figura 13. 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 (2019): escenari base vs escenaris alternatius (les etiquetes amb percentatges són respecte de l'escenari base per emissions generades i evitades).....	42
Figura 14. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2019).....	47
Figura 15. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2019). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecanicobiològic	48
Figura 16. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2019). Les dades de rebuig, inclouen també el bioestabilitzat amb destí dipòsit controlat.	48
Figura 17. Evolució de la petjada de carboni de Catalunya (2012-2019). En termes relatius, 2012 correspon al punt de referència=1.....	50
Figura 18. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2019	50

Figura 19. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi.....	51
Figura 20. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2019)	53
Figura 21. Models de regressió lineal de la petjada de carboni per habitant i la generació de residus, la resta a dipòsit controlat, el residu (resta + rebuig TMB) a dipòsit controlat, i recollida selectiva, respectivament (2019).....	55
Figura 22. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2019).	58

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
DA	Digestió anaeròbia
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
MOR	Matèria orgànica recuperada
N ₂ O	Òxid de dinitrogen
PVE	Planta de Valorització Energètica
TMB	Tractament mecanicobiològic
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 seria el balanç de la **Petjada de Carboni** i s'expressa en quilograms o tones de diòxid de carboni (CO₂) equivalents.

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 la 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. És a dir, tant la primera planta que rep el residu (tractament primari) com les plantes que gestionen el rebuig de la primera (tractament secundari), així com el transport interurbà fins a la planta de tractament primari (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 2019, els quals es comparen amb els obtinguts en els anys anteriors (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 i 2018). Alhora, també es presenten els resultats a nivell municipal i comarcal per l'any 2019.

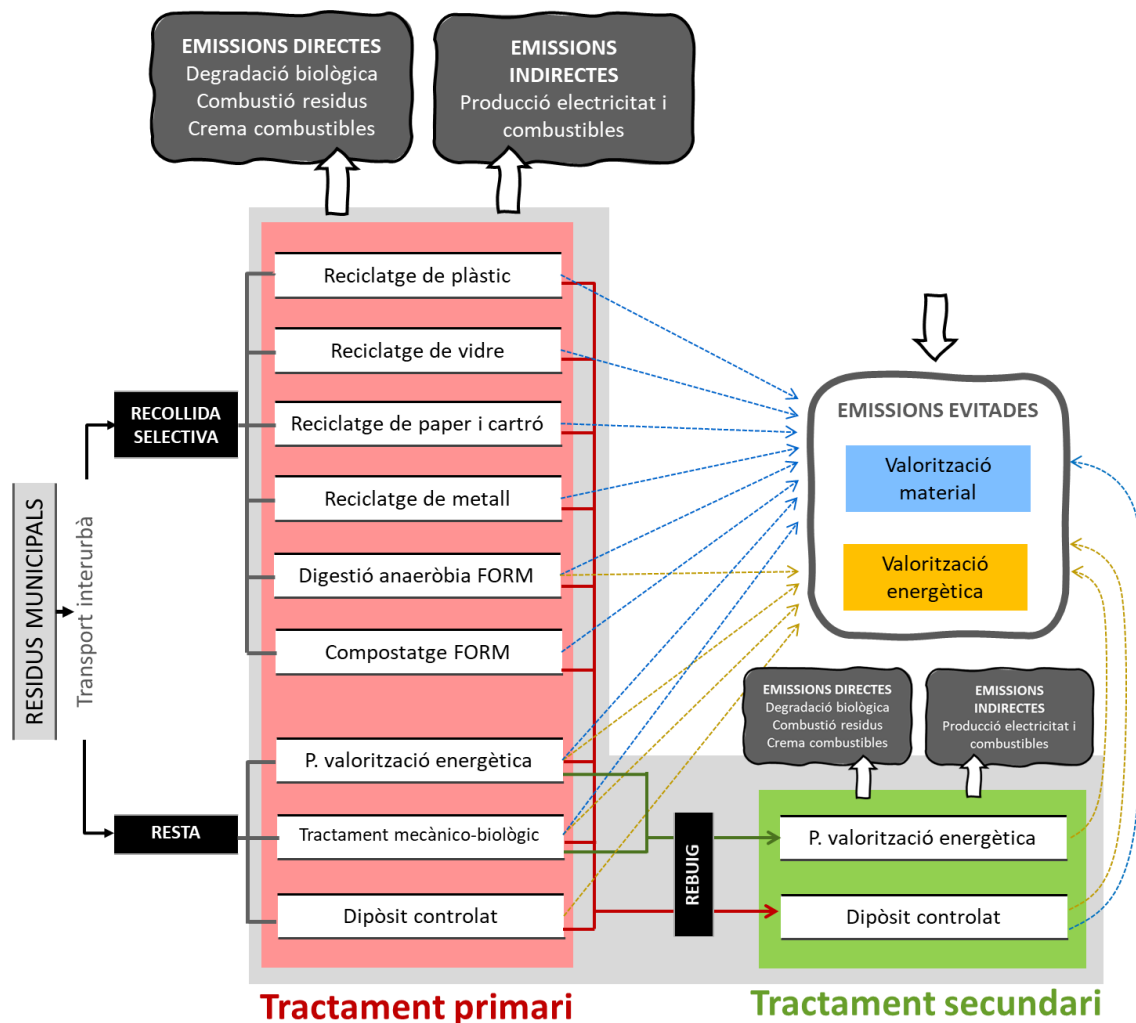


Figura A. Abast de l'estudi.

Petjada de carboni del conjunt de Catalunya (2019)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2019 és de **580.670 t CO₂eq**, el qual representa una emissió de 76 kg CO₂eq/habitant i de 143 kg CO₂eq/tona de residu generat.

Els resultats obtinguts l'any 2019 representen una **significativa reducció de la petjada de carboni** total (-23%) en relació a l'any 2018 degut a diferents elements, principalment la reducció de la quantitat de residus destinats a dipòsit controlat. Es redueix tant la quantitat de resta, per un increment de la recollida selectiva i perquè un percentatge major va a plantes de tractament mecànicobiològic (TMB), com la quantitat de rebuig que s'hi deriva des d'aquestes plantes de TMB.

Com en anys anteriors, el 2019, 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 quarts parts dels impactes generats pel tractament de residus sòlids municipals. En segon lloc es troben les

emissions directes de les plantes de valorització energètica (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 un 60% de les emissions generades.

Si s'analitzen els resultats per una tona de residu, per cadascuna de les fraccions de residus i tenint en compte tant els tractaments primaris com els secundaris, la via de gestió amb més impacte per **la resta i el rebuig** serien el dipòsit controlat, seguit dels TMBs, i finalment les PVE, ja que les emissions generades en dipòsit controlat són considerablement superiors, mentre que les emissions evitades només són significatives per TMB i PVE. Les emissions generades per **la fracció orgànica dels residus sòlids municipals (FORM)** en dipòsit controlat 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 digestió anaeròbia, gràcies a unes menors emissions per descomposició i a la recuperació energètica en el procés de digestió. 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 dipòsit controlat, 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.

Evolució de la petjada de carboni i de la gestió en el període 2012-2019

En el període 2012-2019 la generació de residus per habitant i la recollida selectiva segueixen una tendència global de creixement (Figura B). Pel que fa a la generació per habitant, l'any 2019 s'ha tornat a superar l'indicador de l'any 2012. La recollida selectiva el 2019 ha experimentat un creixement significatiu i es situa com el valor més alt de la sèrie. De fet, en el període 2019 augmenta la recollida selectiva de totes les fraccions.

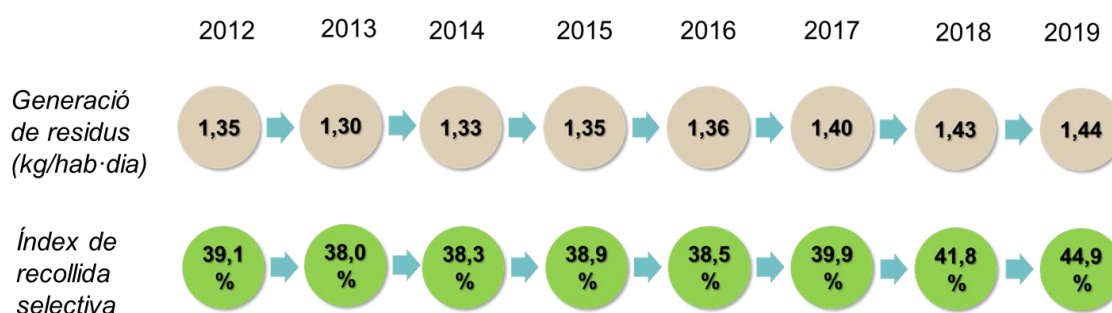


Figura B. Generació de residus per càpita i índex de recollida selectiva (2012-2019)

El percentatge de resta gestionada en dipòsit controlat es redueix considerablement respecte 2018, i aquesta passa a gestionar-se via TMBs. Per altra banda, s'observa com la quantitat relativa de rebuig que surt dels TMBs i es destina a dipòsit controlat es redueix considerablement respecte 2018 i per primer cop és inferior al valor de 2012. Pel que fa a la

recuperació de materials (destí valorització material) a plantes TMB, es redueix molt lleugerament el percentatge respecte 2018.

La petjada de carboni per tona de residu al llarg del període 2012-2019 es manté relativament estable, no oscil·la (Figura C), excepte el 2018 i 2019, que baixa clarament. El 2019 és el tercer any consecutiu per sota de 2012, s'observa un decreixement del 35% respecte l'any de referència. El del 2019 és el valor més baix de la sèrie temporal. D'aquesta manera, pel que fa a la petjada de carboni per tona de residu, es situa en 143 kg CO₂eq/tona, en comparació als 222 kg CO₂eq/tona de l'any 2012.

En el cas de la **petjada de carboni per habitant**, s'observa un comportament similar (Figura C), amb una variabilitat en el període estudiat més petita, fins el 2018 en que baixa significativament. D'aquesta manera, en el període 2012-2019 es detecta un decreixement del 31%, i respecte del 2018 la reducció és del 24%.

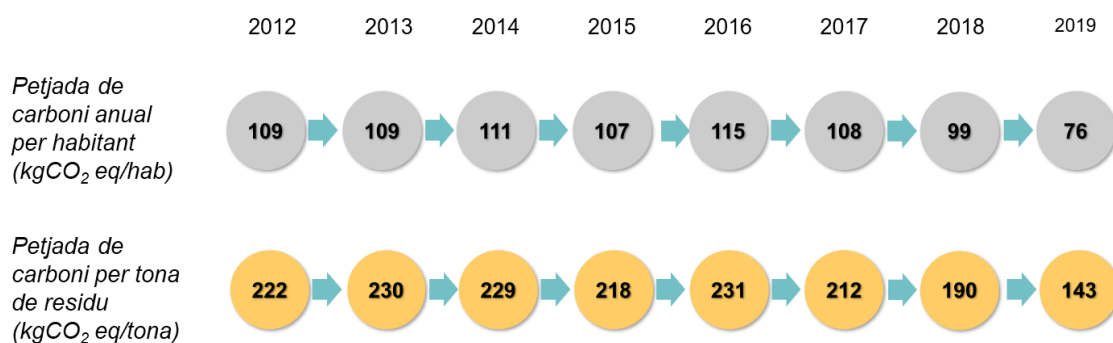


Figura C. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2019

La petjada de carboni total s'ha reduït en 30 punts entre 2012 i 2019 (Figura D). L'impacte generat total s'ha anat reduint des del 2017. L'impacte evitat total ha crescut proporcionalment més que el generat. Aquí cal tenir en compte que afecten tant els canvis en la gestió, com l'increment progressiu en la quantitat total de residus generats.

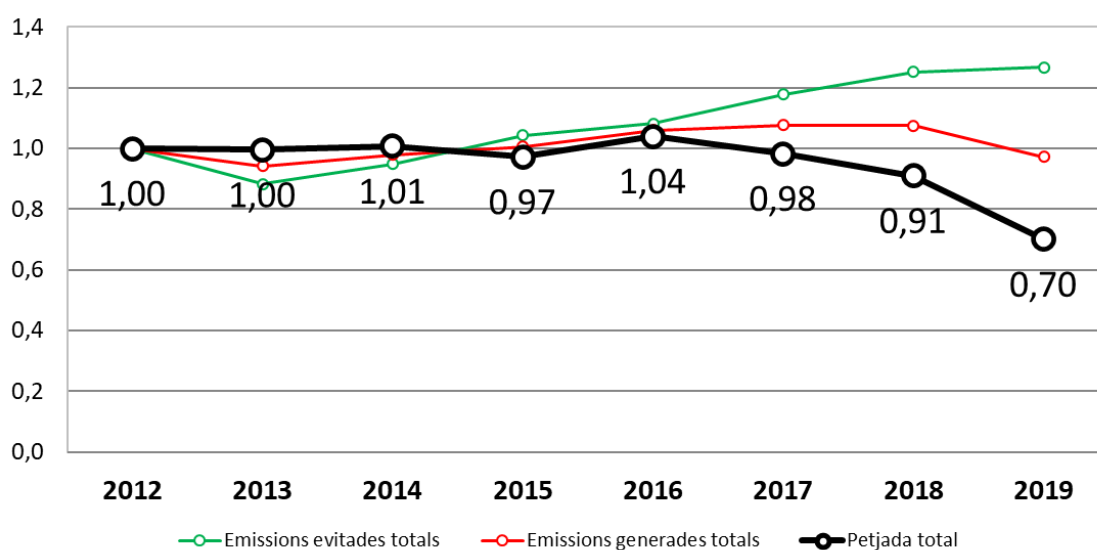


Figura D. Evolució de la petjada de carboni total en el període 2012-2019 (tones de CO₂ eq).

Petjada de carboni per municipi i comarca (2019)

La meitat dels municipis catalans tenen una petjada de carboni entre 74 i 217 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 quantitat de **resta i rebuig de TMB que van a dipòsit controlat per habitant**, seguida de la **generació de residus** i l'índex de **recollida selectiva (%)**.

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, per augmentar les ràtios de recollida selectiva i la reducció d'impropis, i per reduir la quantitat de resta que va directament a dipòsit controlat.

A nivell de les plantes de Tractament mecanicobiològic cal incrementar l'estabilització de la matèria orgànica recuperada a la sortida, i segregar el rebuig en funció del contingut en biodegradables (aquest flux en dipòsit controlat 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 5,2% de les emissions totals del país l'any 2018. 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 2020a).

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 les emissions generades com les potencialment estalviades. 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 2019) aplicant la CO₂ZW®.

Els objectius específics de la proposta de projecte, són:

- Adaptar la CO₂ZW® amb valors per defecte de la gestió actual (2019) 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 2019.
- Quantificar la Petjada de Carboni associada a la gestió dels residus municipals per tots els municipis catalans (2019).
- Analitzar l'evolució de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya per al període 2012-2019.

2. METODOLOGIA DE CàLCUL – L'EINA CO₂ZW® I L'ABAST DE L'ESTUDI

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 a les emissions evitades 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 anaeròbia.
- *Tractament mecanicobiològic (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).
- *Valorització energètica*: es considera una Planta de Valorització Energètica (PVE) que incinera els residus i produeix calor i electricitat.

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

- *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 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).

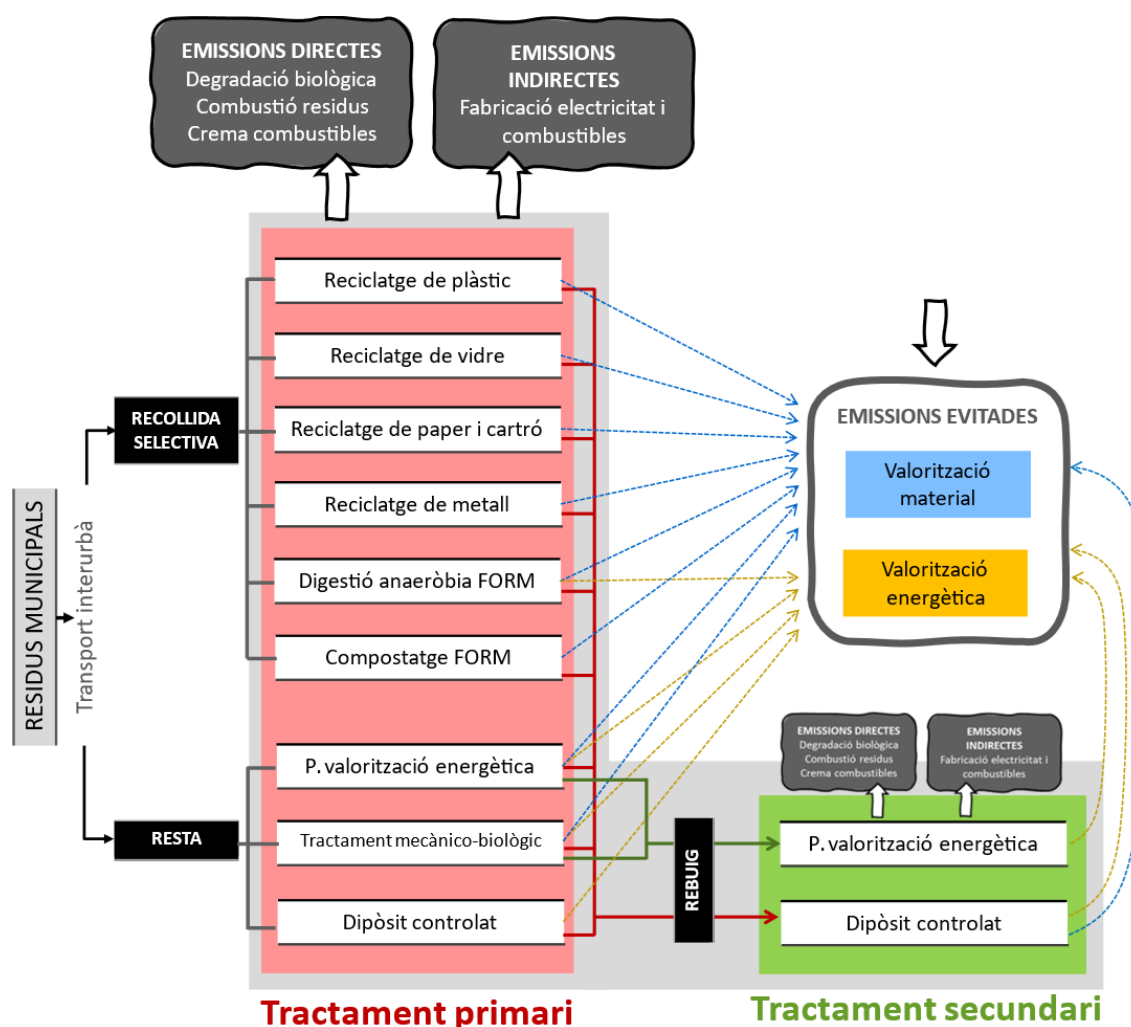


Figura 2. Abast de l'estudi de petjada de carboni a nivell global.

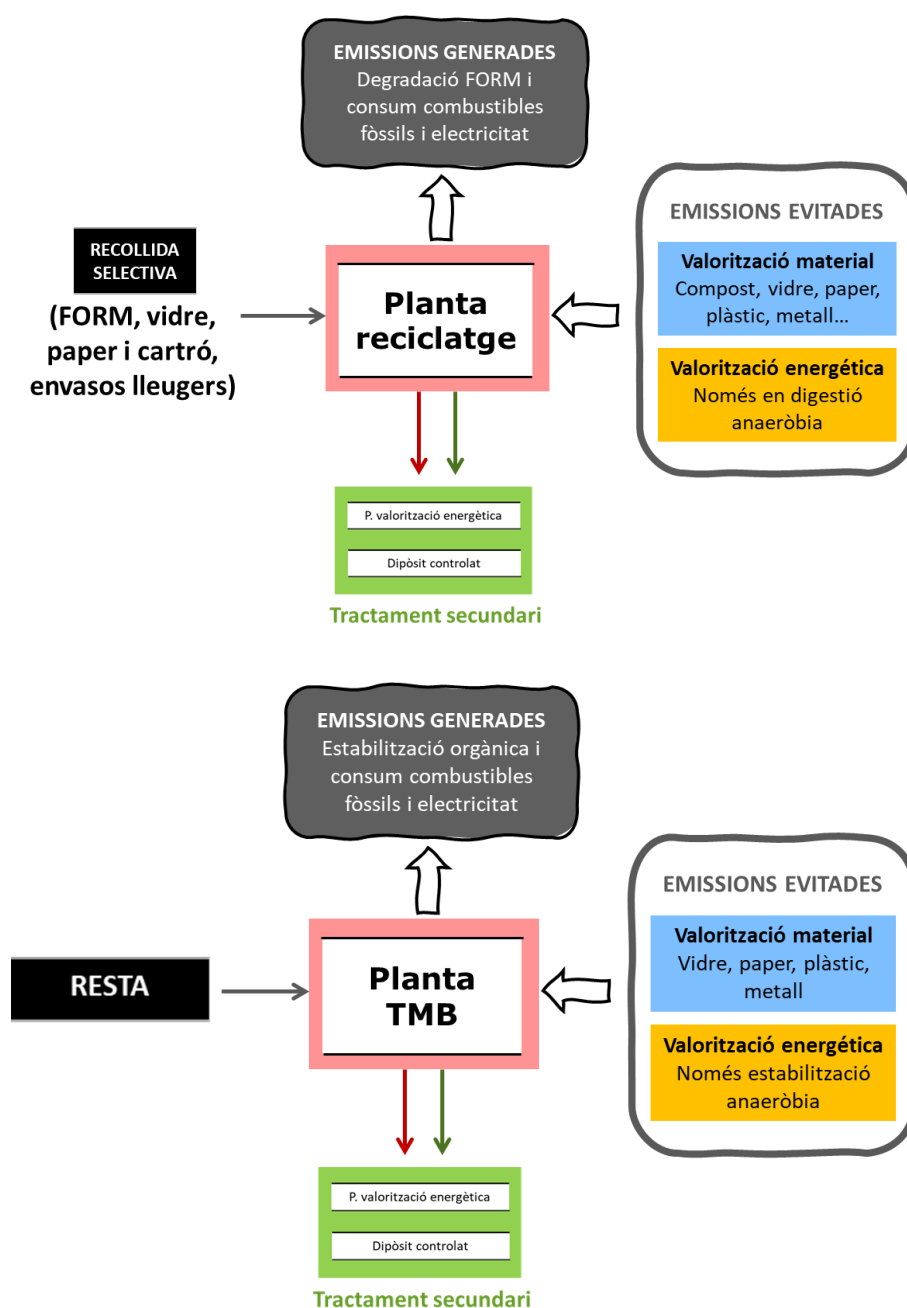
Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, 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

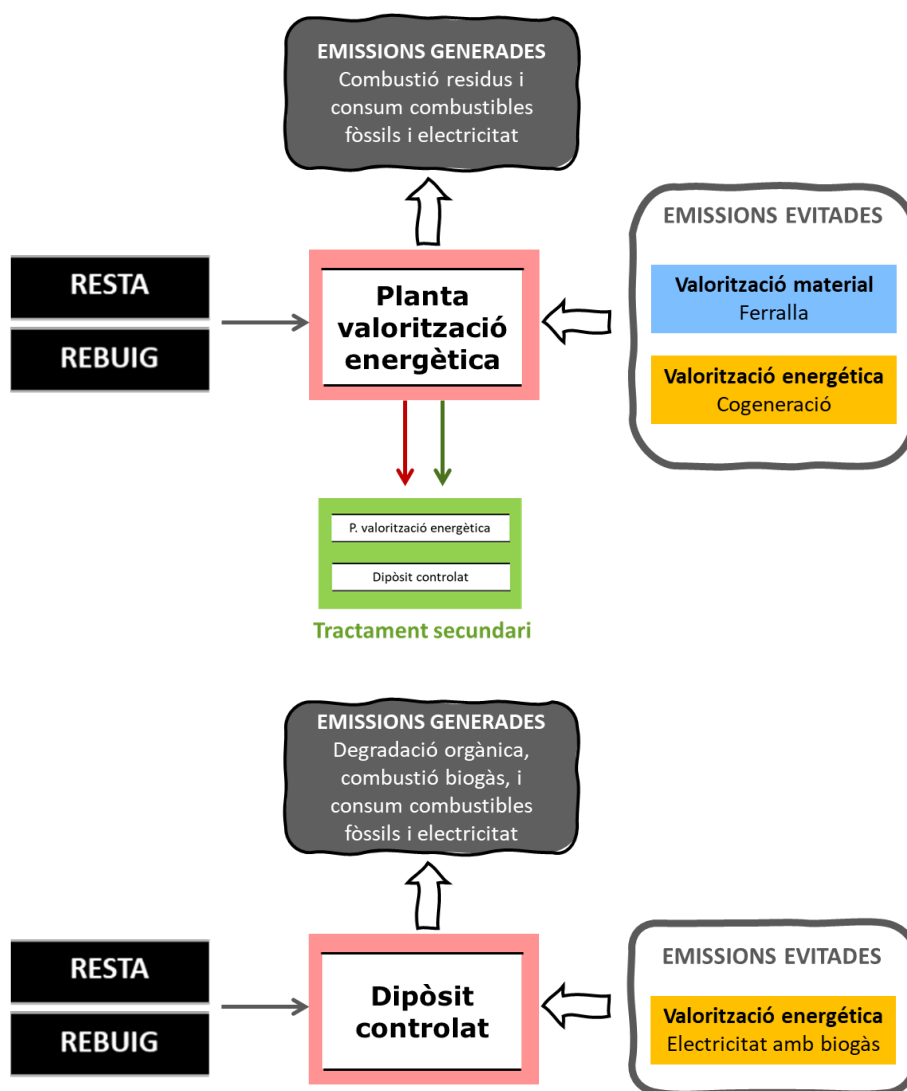
cada instal·lació i, en el cas dels dipòsits controlats, consideren els GEH que s'emeten en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant els 50 anys anteriors.

Per cada fracció de residus, es consideren tant el tractament del flux primari, com el secundari.

- **Flux primari:** tractament/gestió a la primera instal·lació on es tracta el residu.
- **Flux secundari:** tractament del flux de rebuig que es genera durant el tractament/gestió del flux primari. Principalment, rebuig de les plantes TMB, plantes reciclatge...

Figura 3. Abast de l'estudi de petjada de carboni per cada tipus de planta.





3. METODOLOGIA DE CàLCUL – 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, TMB, 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 2019 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 2019

A continuació es mostren les dades per defecte considerades per a Catalunya per a l'any 2019, així com per els anys 2012-2019 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 2019 ascendeix a 7.675.217 habitants i la generació total de residus municipals és de 4.046.622 tones.

Taula 1. Generació de residus per habitant a Catalunya i mitjana europea.

País	Generació de residus (kg/habitant·dia)
Catalunya (2019)	1,44
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	1,33

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- 2019)	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)
2019	1.816.931	203.329	126.619 ¹	41.997 ²	416.702 ³	537.316 ⁴	75.777	18.521	396.671
2018	1.661.077	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 dels 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'. Es 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. 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 2019	44,9	65,3	30,5	44,0	87,8	35,6	30,2	11,1	48,1
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 2019	11
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 2019	69,2 ¹	23,4	7,4
Catalunya 2018	65,9	25,0	9,0
Catalunya 2017	61,9	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 d'estabilització anaeròbia (19%) i l'altra per estabilització aeròbia (81%).

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.

Aquest any 2019 s'han identificat i considerat transferències rellevants de residus entre plantes, que es considera que abans no eren tant rellevants. Les tones de FORM s'assignen a un tipus o un altre de planta segons la planta que realment tracta el residu, i no la primera a la que s'envia.

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 2019²	43,7	19,8	0,0	23,1	13,4
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.

² Aquest any 2019 s'han identificat i considerat transferències rellevants de residus entre plantes, que es considera que abans no eren tant rellevants. Les tones de FORM s'assignen a un tipus o un altre de planta segons la planta que realment tracta el residu, i no la primera a la que s'envia.

Eficiència de les plantes de tractament de residus i reciclatge

La CO₂ZW® diferencia dues plantes de tractament mecanicobiològic: 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 aeròbia 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 ecoparcs i plantes TMB s'assimilen a l'opció TMB2 de l'eina CO₂ZW® (Taula 8). L'any 2019 s'ha actualitzat el consum energètic dels TMB per tona tractada (44,5 kWh/t d'electricitat i 0,5 L/t de gasoil). El rebuig generat en aquestes instal·lacions pot seguir tres vies: dipòsit controlat, valorització energètica o preparació de combustibles derivats de residus (CDR), d'acord amb la Taula 9.

Taula 8. Característiques dels ecoparcs –tractament de resta- (TMB) a Catalunya i comparació amb les plantes TMB 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			
Cat 2019	2,1	2,3	0,7	4,0	9,2	83,8	2,6	68,7
Cat 2019	2,1	2,2	0,8	4,1	9,3	82,4	4,3	74,6
Cat 2017	2,2	2,3	0,8	3,6	9,0	82,6	5,9	73,9
Cat 2016	2,4	2,3	0,9	3,8	9,4	82,0	2,2	76,2
Cat 2015	2,4	2,3	0,9	3,8	9,3	82,3	3,3	75,2
Cat 2014	2,2	2,3	0,4	3,2	8,1	83,4	4,3	70,4
Cat 2013	2,0	2,0	0,4	2,7	7,1	85,0	8,5	63,6
Cat 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 TMB a Catalunya i comparació amb Espanya.

País	Dipòsit Controlat (%)	Valorització energètica (%)	Combustible Derivat de Residus (%)
Catalunya 2019	56,1	42,8	1,1
Catalunya 2018	62,9	37,1	0,0
Catalunya 2017	59,0	41,0	0,0
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

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 2019	0,241 ¹	30,0 ²
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 2020b)

² Valor estimat per 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 (2019)

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 (veure secció 3.3).

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**, generats amb l'aplicació CO₂ZW® adaptada a Catalunya. Els càlculs utilitzen dades de gestió i tractament de l'any 2019 any facilitades per l'ARC en el context de l'actual projecte.

L'obtenció de factors d'emissió mitjans per utilitzar 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.

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 (emissions degradació matèria orgànica, de la combustió, etc.), l'impacte de l'obtenció de l'electricitat (emissions indirectes) 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.

Adicionalment, s'ha calculat el factor d'emissió per tona de resta tractada en cadascuna de les plantes TMB catalanes el 2019 (veure Annex C).

Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius

Amb ànim d'interpretar els resultats, es comparen els resultats de l'escenari 2019 (any base) amb altres escenaris alternatius de gestió dels residus municipals a Catalunya per tal d'avaluar la sensibilitat d'alguns paràmetres clau i veure quin efecte tindrien determinades polítiques de gestió dels residus.

Evolució de la petjada de carboni 2012-2019

Finalment, s'analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals catalans en el període 2012-2019, 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 (2019)

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. Són

residus de recollides complementàries de residus municipals que no són efectuades pels ens locals. Exemples: residus recollits en grans superfícies comercials o grans instal·lacions (p.e. aeroports), recollides per organitzacions sectorials (p.e. paper d'oficines), o residus lliurats a gestors per organitzacions d'economia social i del sector informal. La font de les dades per estimar-ne les quantitats són els gestors de residus. Representen un volum rellevant dels residus recollits selectivament, més d'un 10%.

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

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.

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).

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

Ahora, 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 2019, 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 (2019)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2019 és de 580.670 t CO₂eq, i representa una emissió de 76 kg CO₂eq/habitant i de 143 kg CO₂eq/tona de residu generat (Figura 4). Aquests valors representen una reducció respecte els valors de l'any 2018, degut principalment a la reducció de la quantitat de residus destinats a dipòsit controlat. Es redueix tant la quantitat de resta, per un increment de la recollida selectiva i perquè un percentatge major va a plantes de TMB, com la quantitat de rebuig que s'hi deriva des de les plantes de TMB.

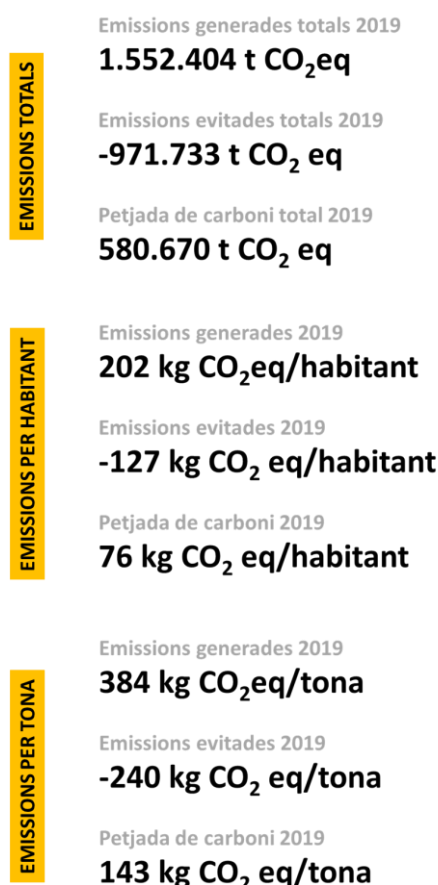


Figura 4. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2019)

La Figura 5 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.

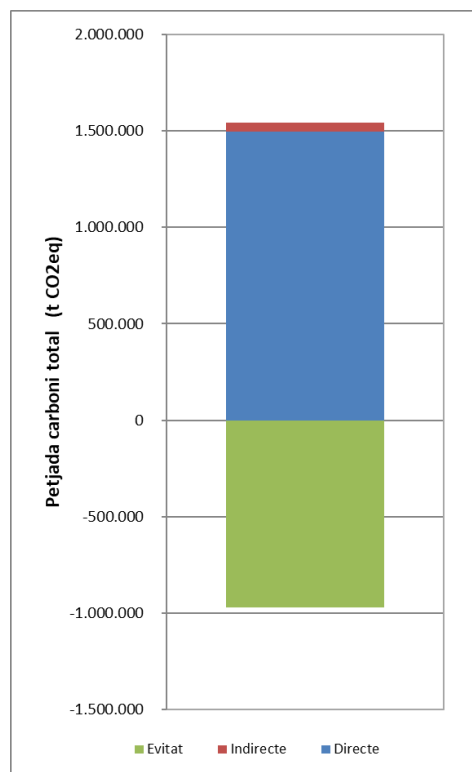


Figura 5. Petjada de carboni de Catalunya (2019): impactes directes, indirectes i evitats

Petjada de carboni per instal·lació

La Figura 6 mostra la petjada de carboni per cada instal·lació de tractament i per cada tipus d'impacte. Cal tenir en compte que en aquest apartat analitzem cada tipus d'instal·lació de forma aïllada. Les emissions associades a la Recollida selectiva (inclou reciclatges, compostatge i DA) i la Rest a TMB corresponen només al tractament primari, o inicial, del residu a les plantes de reciclatge o de tractament mecanicobiològic. 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 un 60% de les emissions generades.

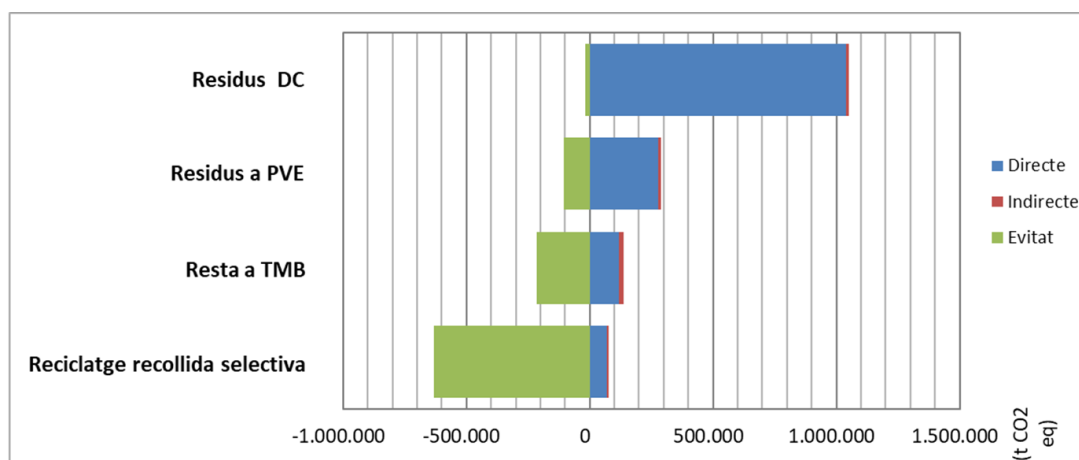


Figura 6. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2019) per instal·lació de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades.

La Taula 13 mostra el detall de la petjada de carboni del tractament dels residus l'any 2019, diferenciant la contribució de cada tipologia d'instal·lació així com els impactes directes, indirectes i evitats. També es mostra la diferència respecte de les emissions de 2018.

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 2019 (segons dades de OCCC 2020b) ha passat de 0,321 a 0, 241 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 2019 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, excepte el tèxtil. Aquesta millora es veu lleugerament contrarestada per un major impacte directe, que creix pel petit increment de les tones de FORM recollides, i també perquè els impropis baixen considerablement (del 13,2 al 11,2%), i per tant hi ha més part de la FORM que és orgànica i genera emissions. Però sobretot creixen perquè la millor assignació a les plantes de tractament de FORM que acaben gestionant el residu, ha revelat una menor importància de la digestió anaeròbia, a favor del compostatge en piles. I aquest últim presenta unes emissions directes més importants per tona de residu tractat.

Pel que fa a la **resta tractada a través de TMB**, s'observa un increment de l'impacte ambiental total, pugen els impactes directes i es redueixen els evitats, però les tones de resta tractades només pugen un 1%. Gran part de la diferència és deguda a alguns ajustos en els balanços considerats a la calculadora CO2ZW que s'han derivat de l'anàlisi en detall de les dades de cada planta TMB i algunes petites correccions en les dades de partida i en les hipòtesis (necessaris per tal de preparar l'Annex C). Els impactes directes pugen, en part per l'increment

en les tones tractades de resta en un 1%, però principalment com a resultat de la millora en l'assignació de les tones de resta que es tracten mitjançant estabilització aeròbia i anaeròbia. A més, una de les plantes TMB amb estabilització anaeròbia va patir problemes al reactor a finals de 2018, i el 2019 ha pogut gestionar menys resta en aquesta via. Per tant, les tones a la línia d'estabilització anaeròbia de la MOR (matèria orgànica recuperada) es redueixen a favor de la línia d'estabilització aeròbia. L'estabilització anaeròbia passa del 21 al 13% i aquest tractament presenta unes emissions per degradació directes menors per tona tractada que estabilització aeròbia. Per una altra banda, el impacte evitat s'ha reduït, tot i que s'han incrementat les tones tractades i els percentatges de materials recuperats són molt similars al 2018. El canvi s'ha degut a que el mix elèctric s'ha reduït i per tant les emissions evitades associades a l'electricitat generada amb estabilització anaeròbia, però també a l'ajustament en les tones de MOR (matèria orgànica recuperada) que van a estabilització anaeròbia en les plantes TMB (la ràtio per tona de resta entrada ha resultat ser molt més baixa que la de referències teòriques i la que s'havia reportat en el passat per alimentar la calculadora CO2ZW).

En el cas dels **residus enviats a PVE**, la petjada de carboni creix, 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. A més, el impacte directe també creix, ja que el factor d'emissió directa per tona de resta i de rebuig creix respecte de 2018 (el contingut de plàstics i tèxtil amb contingut de C fòssil creix lleugerament). El increment és més notori pel rebuig que per la resta. Tot i que les tones totals de residus tractats es mantenen (de fet es redueixen un 1%), creix la proporció del rebuig respecte del total de residus que van a PVE (del 67% al 74%). Per tant les emissions directes totals creixen, per l'efecte combinat de més proporció de rebuig i un factor emissió superior.

Finalment, els impactes totals en **dipòsit controlat** baixen de forma rellevant. I de la mateixa manera ho fa el impacte directe, principalment per la rellevant reducció de la quantitat de residus gestionats (un 11% en valor absolut). La proporció entre rebuig i resta que entra a dipòsit es manté constant. Per contra, l'impacte evitat es redueix degut al canvi en el mix elèctric i a la menor quantitat de residus gestionats en dipòsit.

Taula 13. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals de Catalunya (2019), en t de CO₂eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2018

Flux de residus	Impacte directe	Impacte indirecte	Impacte evitat	Petjada de carboni total
Recollida Selectiva	68.916	8.447	-633.083	-555.720 -46.957
Rest a TMB	106.848	16.948	-216.302	-92.506 +20.511
Residu a PVE (resta + rebuig)	278.344	11.648	-105.819	184.173 +39.350
Residu a DC (resta + rebuig)	1.041.051	9.307	-16.529	1.033.829 -186.495
TOTAL	1.495.159 -148.179	46.350 -13.645	-971.733 -11.767	569.777 -173.592

Nota: Els valors en color negre corresponen a 2019. De color verd i vermell es mostra la diferència entre la petjada de carboni de 2019 i 2018. El color verd indica una evolució favorable en termes de petjada de carboni, mentre que el vermell indica una evolució desfavorable.

Recollida selectiva

Si posem el focus en les plantes de reciclatge que tracten els residus procedents de recollida selectiva (Figura 7), veiem que les emissions generades són principalment conseqüència de la gestió de la FORM, més del 80% en les plantes de compostatge i un 12% en les de digestió anaeròbia. Cal tenir en compte que la gestió d'aquesta fracció en DC suposaria unes emissions extremadament superiors (veure següent apartat). En tot cas, les plantes de reciclatge presenten unes emissions evitades que són gairebé 10 vegades més grans que les generades. Les fraccions que contribueixen més a evitar emissions, gràcies a la valorització dels materials recuperats, són paper i cartró, envasos lleugers i metall.

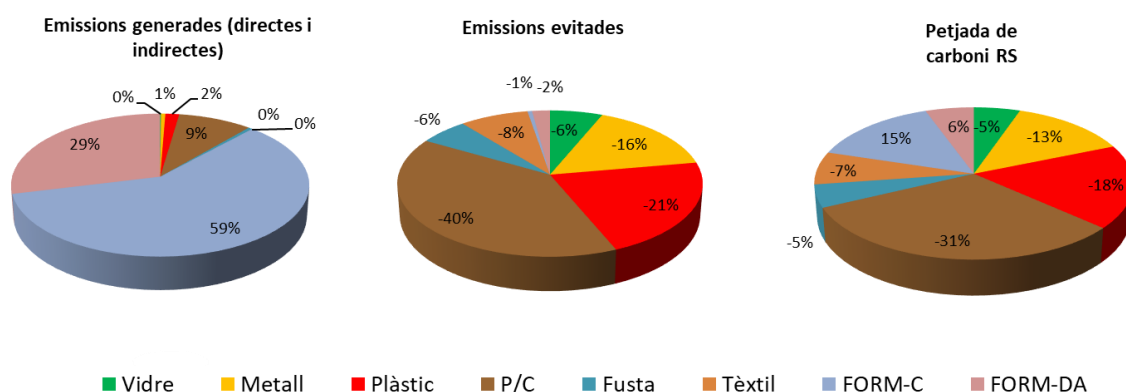


Figura 7. Petjada de carboni de les plantes de reciclatge per fraccions

Petjada de carboni per fraccions de residus i vies de gestió

A continuació es presenten els factors d'emissió unitaris per tona per les diferents fraccions de residus i alternatives de gestió, són per l'any 2019 i mitjanes de la situació a Catalunya. Les taules mostren els resultats en kg CO₂eq/tona per les diferents fraccions i tractaments.

Per les tres taules presentades en aquest apartat, les emissions generades inclouen els impactes directes (degradació biològica, combustió residus o combustibles fòssils...) i indirectes (producció electricitat), i tant el tractament primari, com el secundari. Per exemple, la resta que es porta a TMB (tractament primari), implica una generació de rebuig que surt de les plantes de TMB i es porta a DC o PVE (tractament secundari). Les emissions evitades inclouen les potencials valoritzacions materials i/o energètiques tant en el tractament del flux primari com del secundari. El detall de què s'ha considerat per cada fracció i via de gestió es pot consultar a la Figura 3.

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.

La resta i el rebuig

La Taula 14, Figura 8 i Figura 9 mostren 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 431 kg CO₂ eq. en la via PVE, i arriben fins pràcticament el doble si va a DC. La diferència és encara major si considerem l'efecte de les emissions evitades, ja que els impactes evitats en la gestió via 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. La petjada de carboni mitjana ponderada del tractament de la resta és de 424 kg CO₂ eq/tona.

Si comparem el balanç amb el de l'any 2018, aquest ha millorat considerablement per resta a TMB: principalment per la reducció de les emissions generades secundàries (es redueix el percentatge de rebuig i la proporció de rebuig a dipòsit controlat. El factor d'emissió per resta a PVE creix, ja que es redueixen les emissions evitades primàries: 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. Finalment, el factor d'emissió per resta a dipòsit controlat baixa lleugerament, ja que baixen les emissions generades: baixa la proporció d'orgànica a la resta, però puja paper i cartró (fracció amb unes emissions més elevades a dipòsit).

En el cas del rebuig, si va a PVE el factor emissió puja de nou pel canvi en el mix elèctric. Pel rebuig a dipòsit, també hi ha una baixada del factor. Com la proporció de paper baixa a la resta, també ho fa al rebuig, i per tant les emissions generades.

Taula 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta i rebuig a Catalunya (2019). I comparativa amb factors calculats per 2018.

<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	Emissions generades	Emissions evitades	Balanç	Comparativa balanç (2018)
Resta				
1 t RESTA a TMB	522	-196	326	382
<i>1 t RESTA a TMB (Anaeròbia)</i>	459	-206	253	308
<i>1 t RESTA a TMB (Aeròbia)</i>	537	-193	344	410
1 t RESTA a PVE	431	-155	276	236
1 t RESTA a DC	774	-12	762	779
<u>1 t RESTA (mitjana)</u>	<u>574</u>	<u>-150</u>	<u>424</u>	<u>468</u>
Rebuig				
1 t rebuig a PVE	471	-174	297	221
1 t rebuig a DC	783	-12	771	818
1 t rebuig a CDR	283	-143	140	-

* CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2019. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2020.

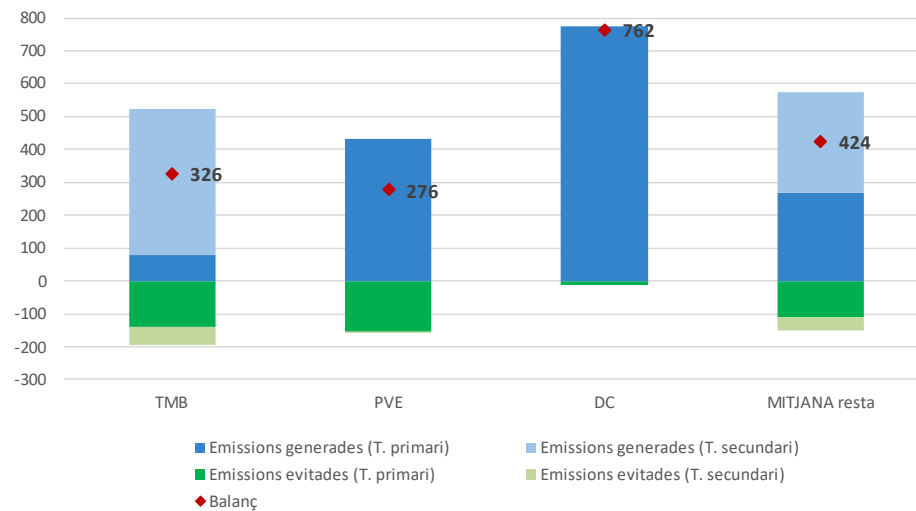


Figura 8. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta a Catalunya (2019). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

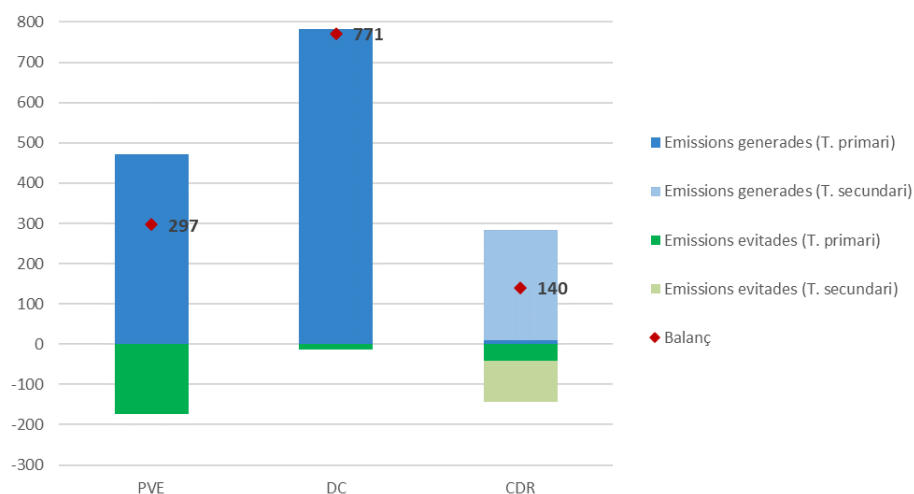


Figura 9. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2019). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

Fraccions recollida selectiva

La Taula 15 i Figura 10 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. Els factors emissió per fracció no canvien gaire respecte 2018 (es poden consultar a l'informe de l'any passat). Només es veu afectada la PVE, pel gran canvi en el mix, i per tant en les emissions evitades.

Taula 15. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2019).

	kg CO ₂ eq. / tona de residu	1 t P/C	1 t vidre	1 t metall	1 t plàstic
DC	Emissions generades	2031	3	3	3
	Emissions evitades	-32	0	0	0
	Balanç	1999	3	3	3
PVE	Emissions generades	36	36	36	2788
	Emissions evitades	-129	0	0	-352
	Balanç	-92	36	36	2437
Reciclatge	Emissions generades	41	1	24	25
	Emissions evitades	-604	-196	-2420	-1074
	Balanç	-563	-195	-2395	-1049

*CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2019. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2020.

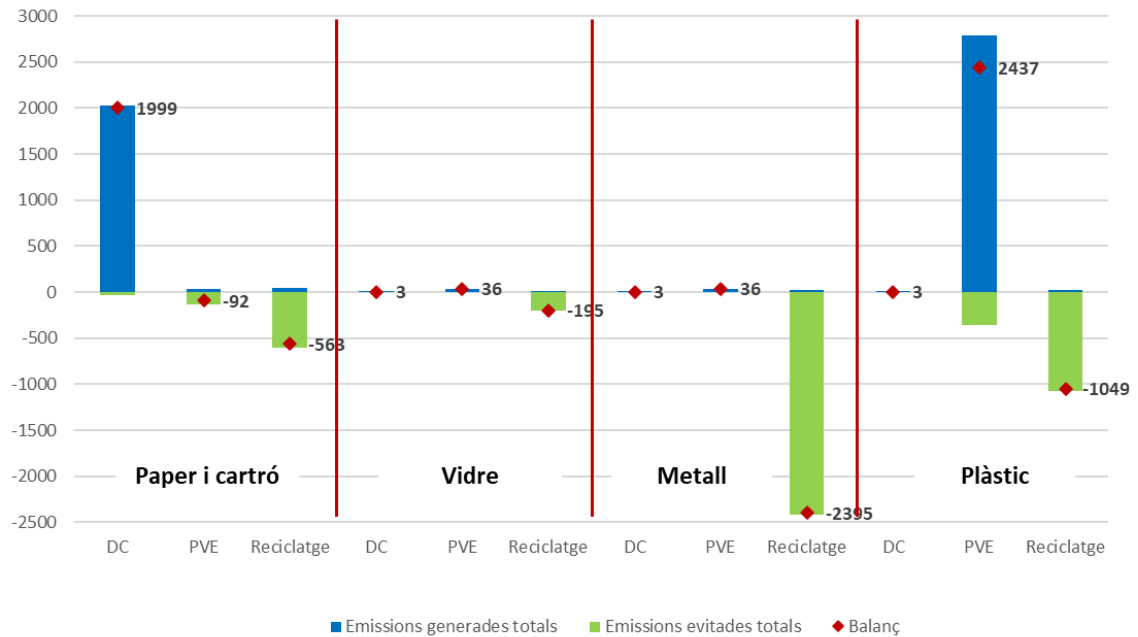


Figura 10. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2019). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

La Taula 16 i Figura 11 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 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2019)

<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	Emissions generades	Emissions evitades	Balanç
DC	842	-13	828
Compostatge	332	-10	322
Digestió anaeròbia	281	-69	212

* CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2019. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2020.

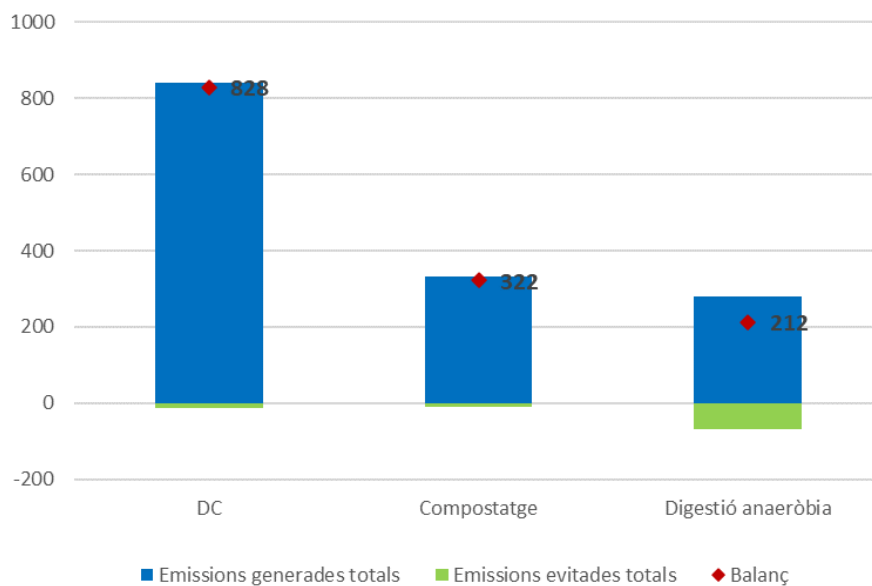


Figura 11. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2019). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

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 10.894 tones de CO₂eq, el qual representa un 1,9% del total d'impactes generats pel tractament (Figura 12). Cal tenir en compte que no s'ha pogut estimar l'impacte de la recollida municipal de residus per manca de dades fiables.

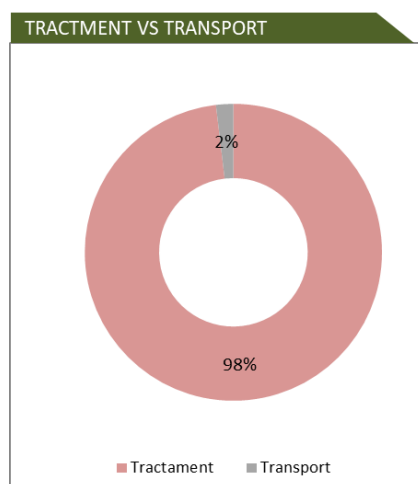


Figura 12. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2019)

4.2. Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius

Per tal d'interpretar els resultats, es compara l'escenari 2019 (escenari 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 2019 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 (s'assumeix la proporció entre TMB amb estabilització aeròbia i anaeròbia de l'any 2019), i 100% del rebuig generat a TMB va a DC

- **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 E1 / Neutral en carboni**

Aquest escenari combina els següents canvis, alineats amb els objectius quantitius 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 2019 anava a DC, es passa a gestionar a través de TMB i PVE, de manera proporcional a les quantitats tractades l'any 2019). A l'escenari E1, el destí de la resta seria: 0% DC, 17,3% TMB-EstabilitzacióAnaeròbia, 73,1% TMB-EstabilitzacióAeròbia i 9,7% 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 E1, la recuperació material total a plantes de TMB seria del 13,8%.
- c) Recollida selectiva i valorització material a TMB aconseguixen conjuntament 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 E1, 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 E1, hi hauria unes 156.000 tones de resta que es tracten en PVE i unes 471.000 tones de rebuig (principalment de TMBs). Es gestionarien unes 692.000 tones de rebuig en DC, això seria un 9% del total de residus generats (per sota de l'objectiu europeu del 10% pel 2030).

La Taula 17 i Figura 13 mostren la petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2019 (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 6.

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, que es desvia de DC, acaba finalment convertint-se en residu (rebuig) que va a DC. L'**escenari A1** permet observar com el fet de destinar el 100% de la fracció resta a dipòsit controlat suposaria doblar la petjada de carboni: concretament, un increment de les emissions generades del 27% i una reducció de les evitades del 32%. 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 8% i un increment de les evitades del 10%. L'escenari A2 permetria en conjunt una reducció d'aproximadament d'un 39% 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 50%. 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 5% respecte de l'escenari base, i mantenir pràcticament igual les emissions evitades, així que en total s'incrementaria la petjada de carboni un 14%.

Taula 17. Emissions generades, evitades i petjada de carboni en el escenari base (2019) i escenaris alternatius

(tones de CO2 eq)	Emissions generades	Emissions evitades	Petjada de carboni	Comparativa PC amb Base
Escenari Base	1.552.404	-971.733	580.671	0%
Escenari A / Destí de la resta				
/A1/ 100% a dipòsit controlat	1.978.329	-662.823	1.315.506	127%
/A2/ 0% a dipòsit controlat	1.421.923	-1.065.969	355.954	-39%
/A3/ 100% a PVE	1.269.887	-981.752	288.135	-50%
/A4/ 100% a TMB (rebuig a DC)	1.628.680	-966.232	662.448	14%
Escenari B / Recollida selectiva				
/B1/ Sense recollida selectiva	2.586.969	-604.865	1.982.104	241%
/B2/ Recollida selectiva global del 60%	1.357.462	-1.071.403	286.058	-51%
Escenari C / Captació de biogàs en dipòsits controlats				
/C1/ Sense captació (0%)	1.981.529	-955.204	1.026.325	77%
/C2/ Captació del 60%	1.123.279	-988.261	135.017	-77%
/C3/ Captació del 100%	551.113	-1.010.300	-459.187	-179%
Escenaris D / Plantes TMB				
/D1/ 100% rebuig TMB a PVE	1.380.316	-1.068.499	311.817	-46%
Escenari E / Neutral en carboni	1.173.927	-1.243.871	-69.944	-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 67% i les evitades es reduirien un 38%. 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 13% en les emissions generades i un increment del 10 de les evitades. En total, B1 i B2 suposarien un increment de la petjada de carboni del 241% i una reducció del 51%, 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 un 28% addicional i reduir-les un 64% respecte a l'escenari base, respectivament. No obstant, cal considerar que l'escenari C3 és tècnicament inviable, degut a la complexitat d'assolir taxes de captació tan elevades. El PRECAT es marca l'objectiu d'arribar a una captació del 60%, que reduiria les emissions generades en un 28%.

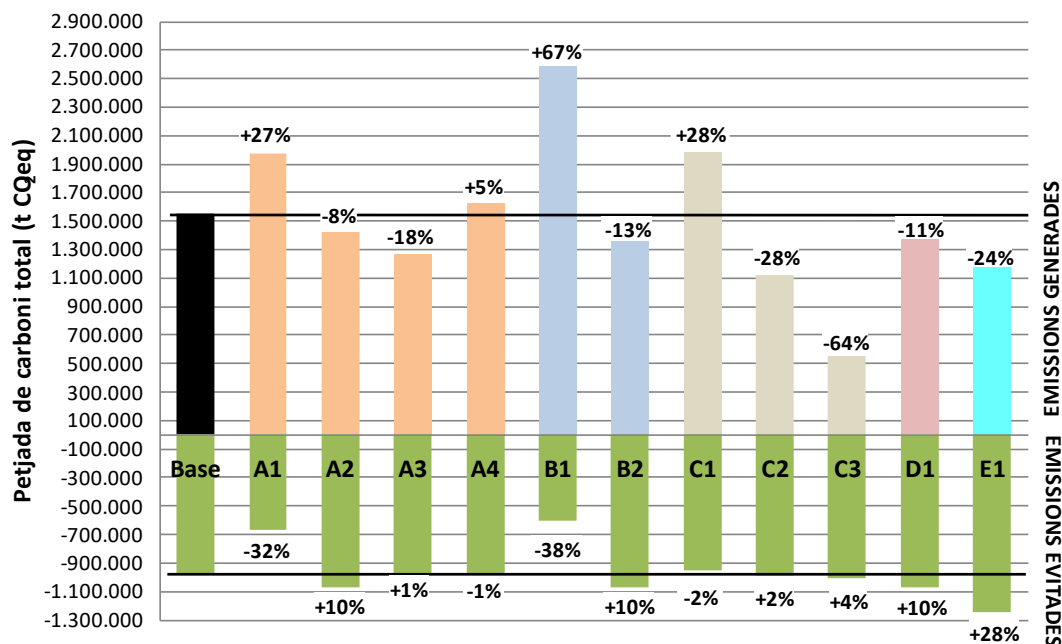


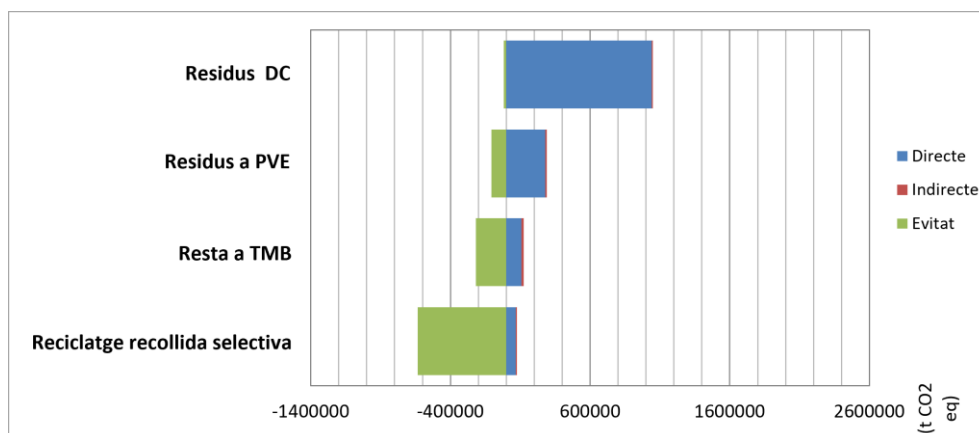
Figura 13. Efecte en les emissions generades (barres superiors de color negre, taronja, blau, etc.) i evitades (en verd) de la gestió dels residus municipals a Catalunya (2019): escenari base vs escenaris alternatius (les etiquetes amb percentatges són respecte de l'escenari base per emissions generades i evitades)

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 (11%) i un increment de les emissions evitades (del 10%).

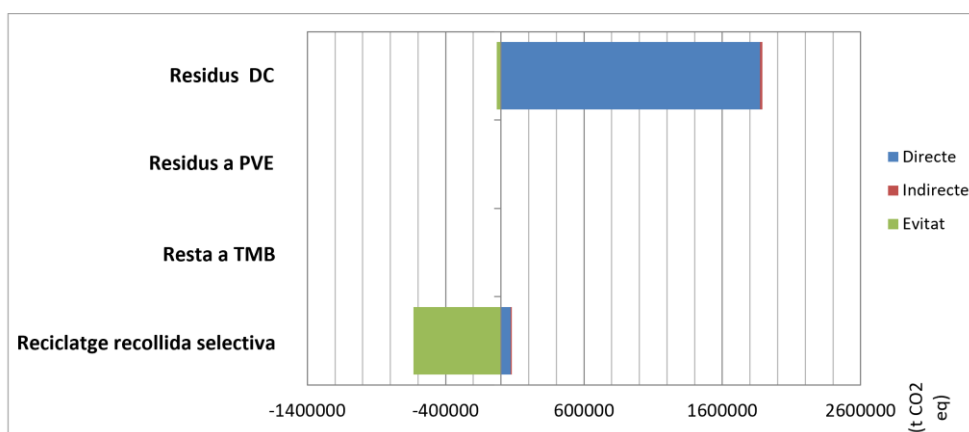
Finalment, les hipòtesis considerades en l'**escenari E0**, aconseguirien efectivament la neutralitat. És a dir que la baixada de les emissions generades del 24% i l'increment de les emissions evitades del 28%, donaria com a resultat una petjada de carboni en que les emissions evitades han neutralitzat 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 d'estabilització dels residus orgànics en les plantes de TMB. Per tant, si es posen mesures per millorar aquest paràmetre, 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

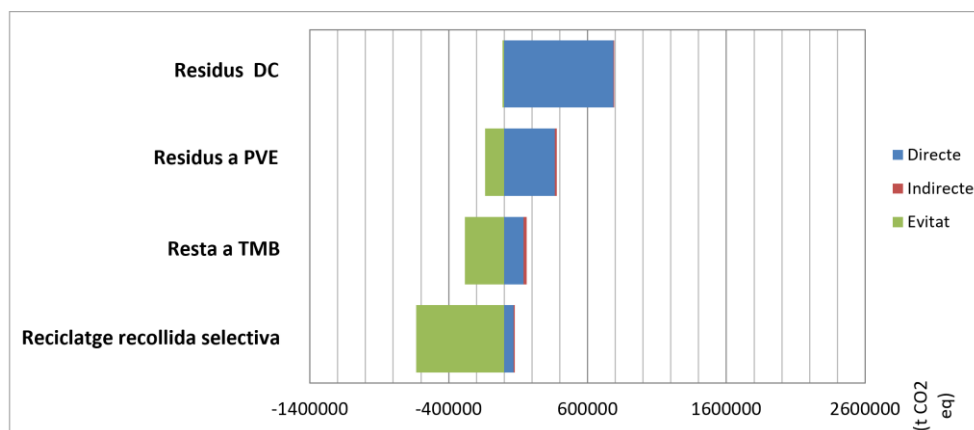
/BASE/



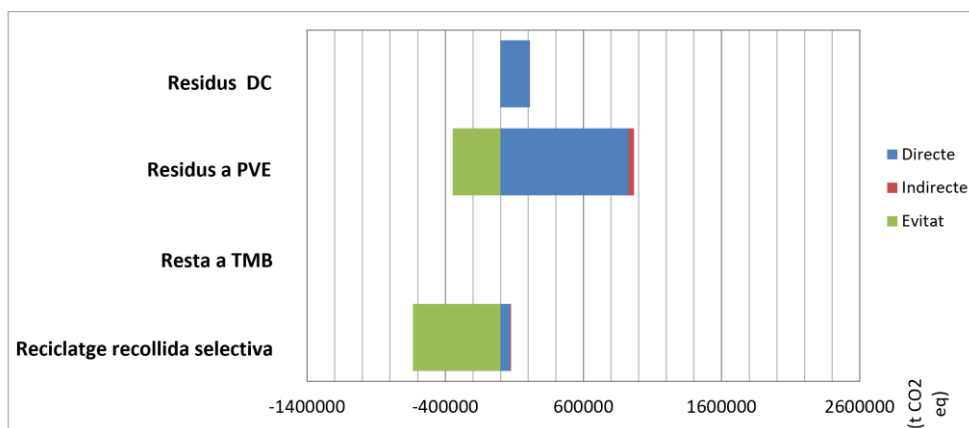
/A1/



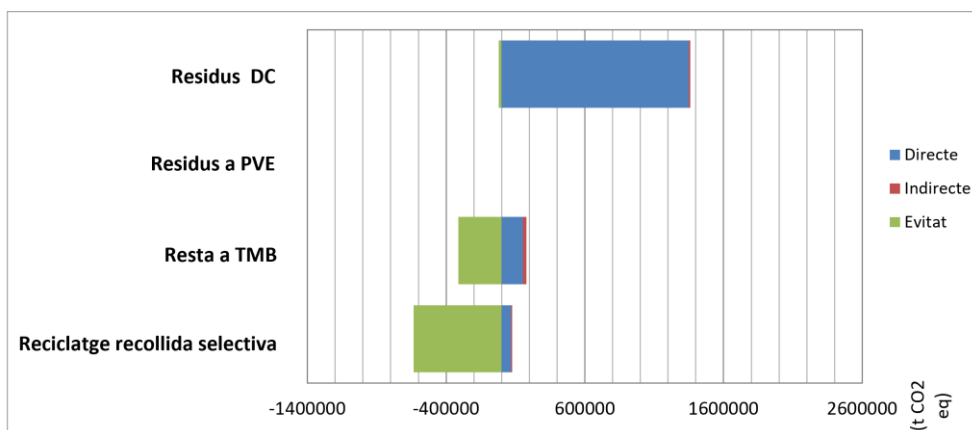
/A2/



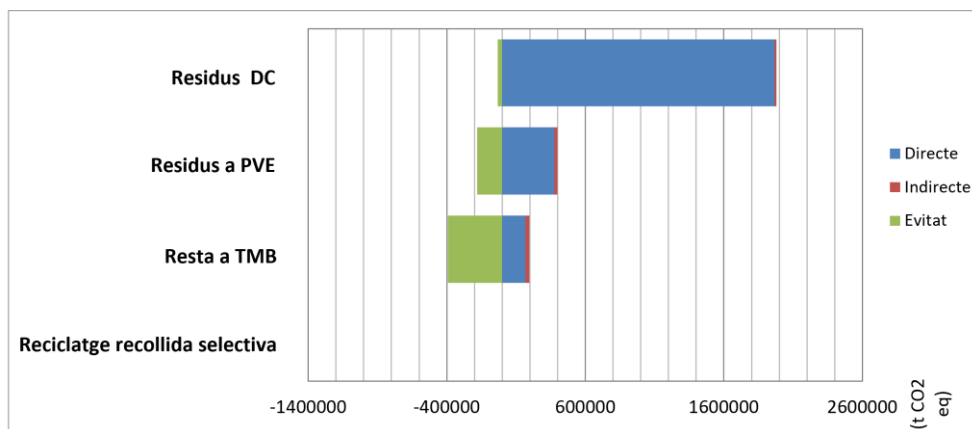
/A3/



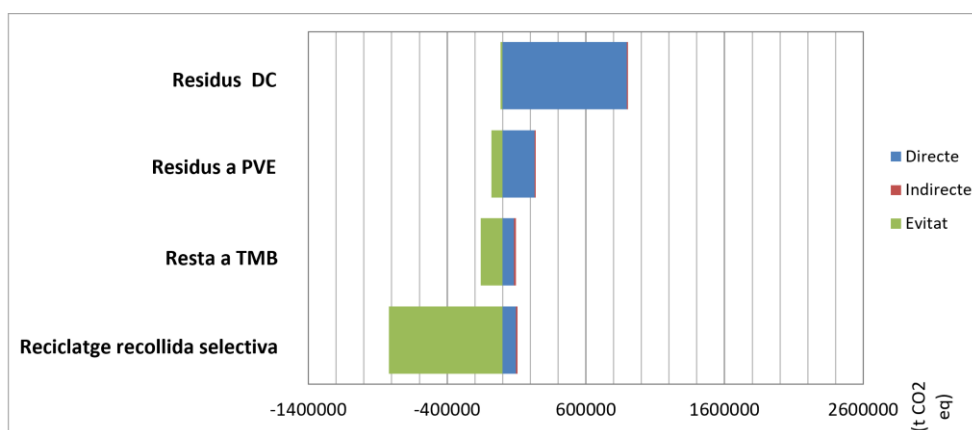
/A4/



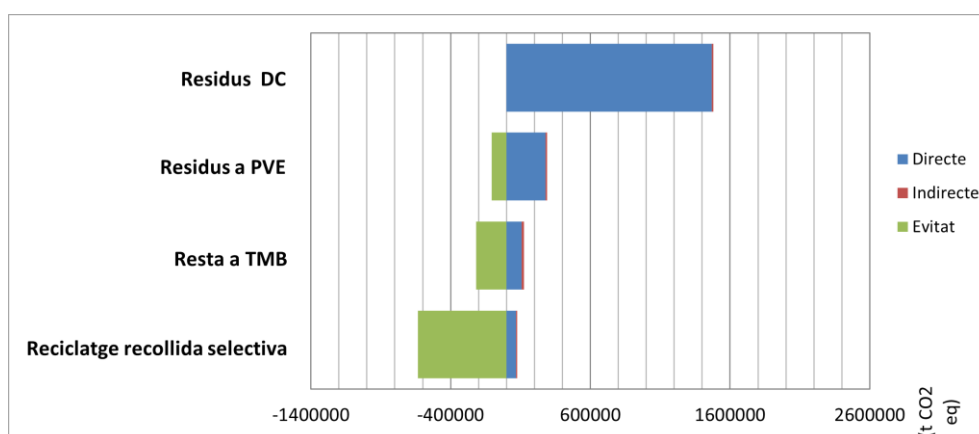
/B1/



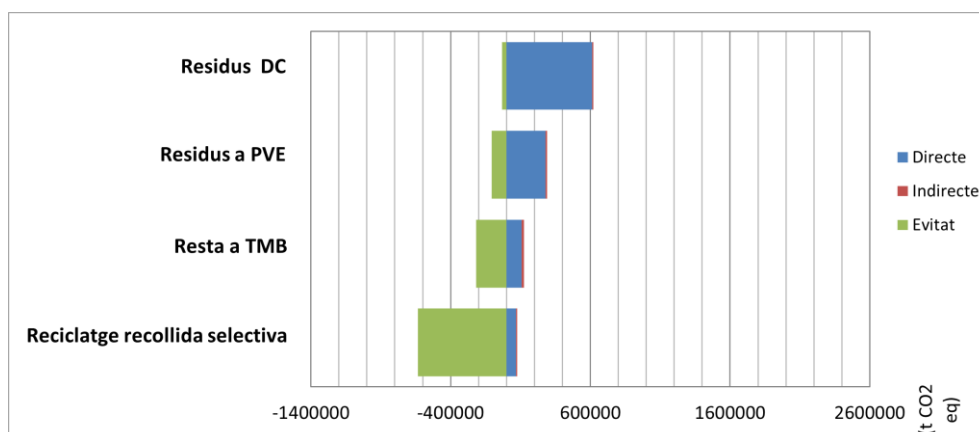
/B2/



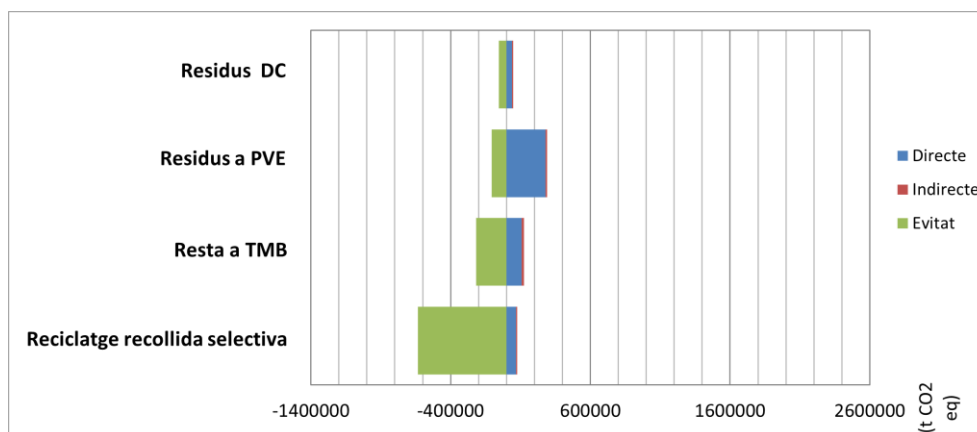
/C1/



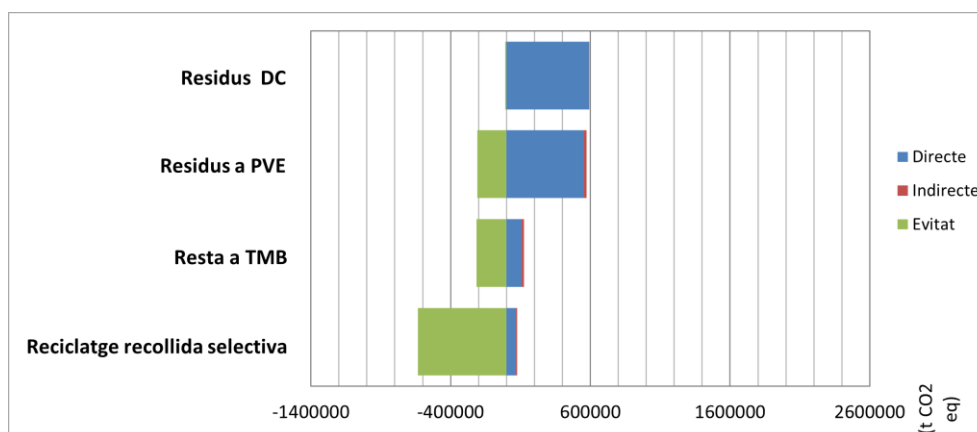
/C2/



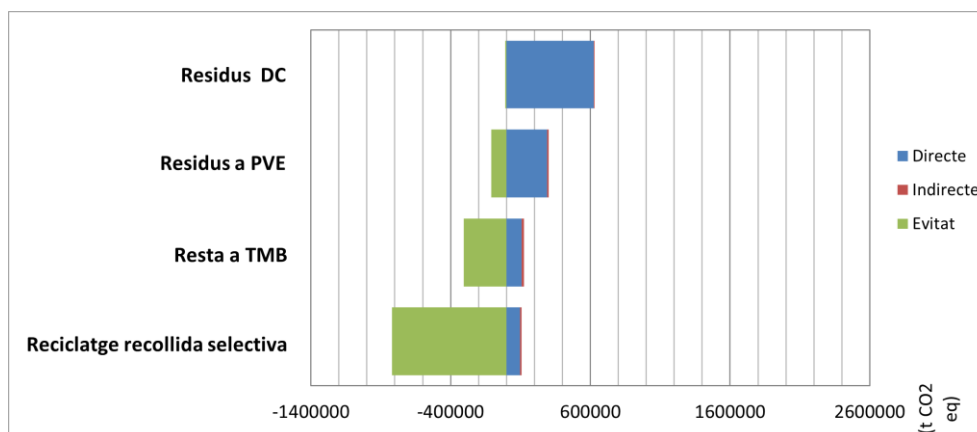
/C3/



/D1/



/E1/



4.3. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2019)

Aquest apartat analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya al llarg del període 2012-2019⁵.

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, 2018 i 2019, fent èmfasi en els principals canvis a efectes de petjada de carboni.

En el període 2012-2019 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 14). Pel que fa a la generació per habitant, l'any 2019 ha seguit la tendència incremental des de 2013 i s'ha superat l'indicador de l'any 2012 en 0,09 kg/hab·dia. Pel que fa a la recollida selectiva, el valor de 2019 ha experimentat un increment significatiu respecte de 2018, ha incrementat 3,1 punts percentuals, gairebé un 8%.

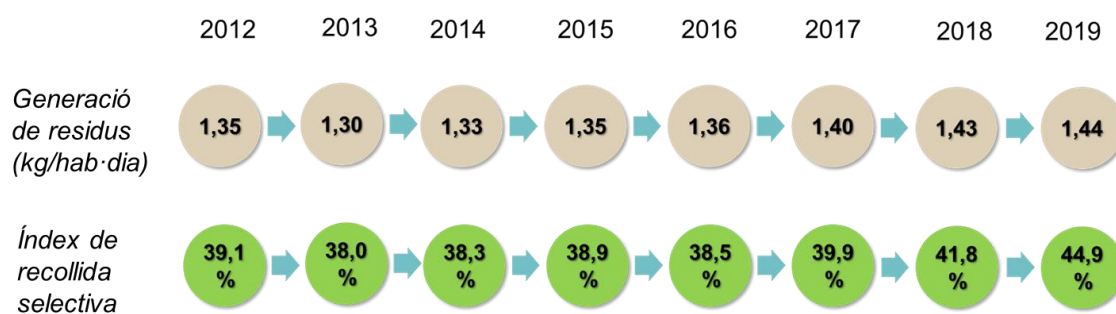


Figura 14. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2019)

Per la seva banda, la Figura 15 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 respecte 2018 (passa del 25% al 23% entre 2018 i 2019). I segueix estant per sota de l'any 2012, concretament 15 punts percentuals més baix. La resta gestionada a través de TMB segueix la mateixa tendència d'augment (i passa del 66 al 69% entre 2018 i 2019). En total, ha pujat 19 punts percentuals des de 2012. El percentatge de resta que va a PVE es redueix un punt percentual respecte 2018.

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.

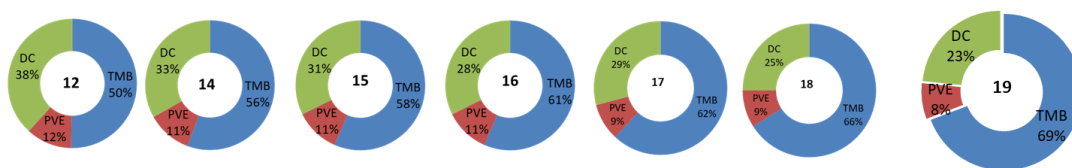


Figura 15. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2019). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecanicobiològic

Per la seva banda, la Figura 16 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 es redueix considerablement respecte de 2018 (es redueix en 5,9 punts percentuals). Es trenca la tendència de creixement que hi ha hagut entre 2012 i 2018, i de fet per primer cop es situa per sota del percentatge de 2012. Això és en part conseqüència al canvi en els criteris per a la compensació del cànon del rebuig que va a DC i també perquè més plantes opten pel bioassecat en lloc de bioestabilitzat.

La quantitat relativa (per tona) de rebuig que surt dels TMBs i es destina a dipòsit controlat també es redueix, en un 18% respecte de 2018, i per primer cop es situa per sota de 2012. La tendència és la mateixa en percentatge de rebuig que va a DC.

La valorització material es manté estable respecte de 2018, amb una lleugera tendència a la baixa.

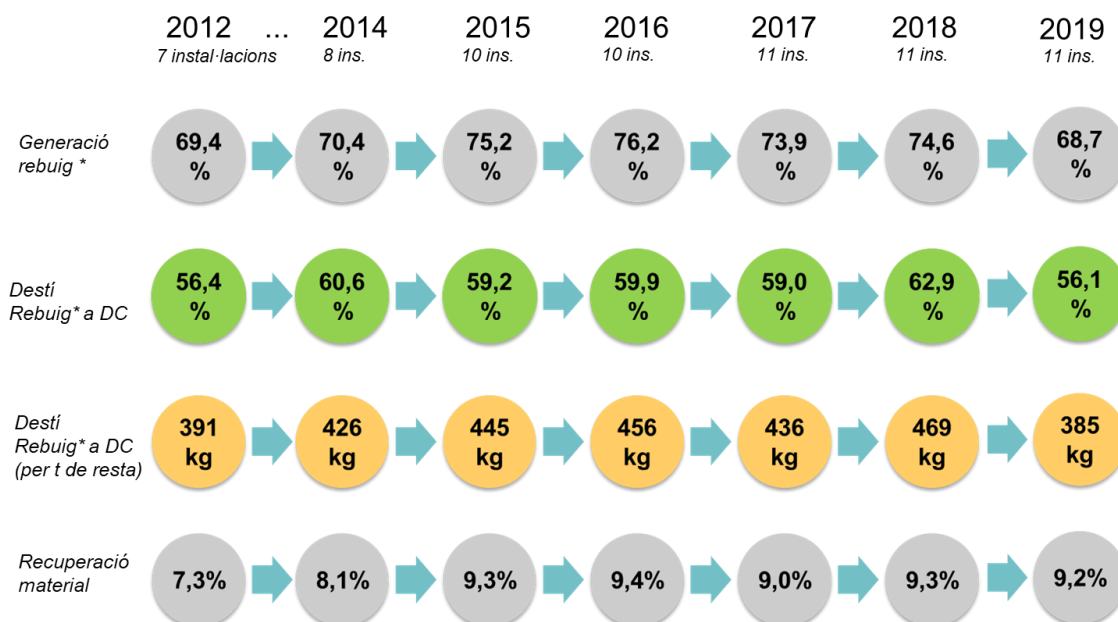


Figura 16. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2019). Les dades de rebuig, inclouen també el bioestabilitzat amb destí dipòsit controlat.

Evolució de la petjada de carboni

La Taula 19 i la Figura 17 presenten els resultats de petjada de carboni pel conjunt de Catalunya de la sèrie anual. Les emissions generades definitivament trenquen la tendència de creixement i es situen per sota del 2012. En total es redueixen un 3% entre 2012 i 2019. L'impacte evitat total ha crescut proporcionalment més que el generat, un 9% en el mateix període. Tot i que creix menys que altres anys respecte de 2018. Així, la petjada de carboni total s'ha reduït un 27% entre 2012 i 2019. Aquí cal tenir en compte que les emissions generades i les evitades es veuen afectades pels canvis tant en la gestió però també per l'increment progressiu en la quantitat total de residus generats.

La petjada de carboni per tona al llarg del període es manté relativament estable, no oscil·la (Figura 18), excepte el 2018 i 2019, que baixa clarament. El 2019 és el tercer any consecutiu per sota de 2012, s'observa un decreixement del 35% respecte l'any de referència. El del 2019 és el valor més baix de la sèrie temporal. D'aquesta manera, pel que fa a la **petjada de carboni per tona**, es situa en 143 kg CO₂eq/tona, en comparació als 222 kg CO₂eq/tona de l'any 2012 (Figura 18).

Taula 19. Evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals pel conjunt de Catalunya en el període 2012-2019

Escenari	Petjada de carboni (t CO ₂ eq)	Impacte generat (t CO ₂ eq)	Impacte evitats (t CO ₂ eq)
Catalunya 2019	580.670	1.552.404	-971.733
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

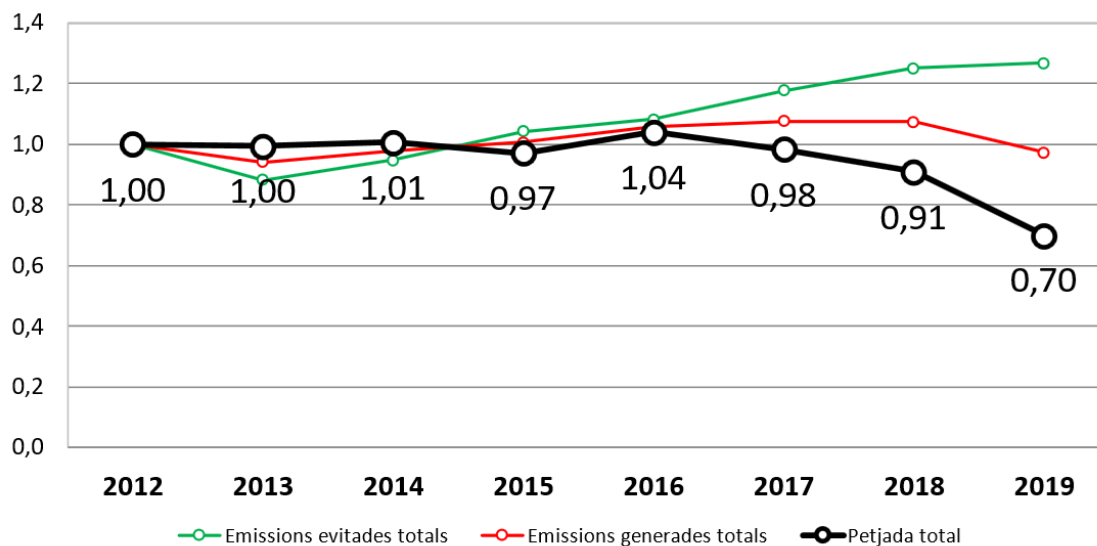


Figura 17. Evolució de la petjada de carboni de Catalunya (2012-2019). En termes relatius, 2012 correspon al punt de referència=1.

En el cas de la **petjada de carboni per habitant** (Figura 18), s'observa un comportament similar a la petjada de carboni per tona, amb una variabilitat en el període estudiat més petita, fins el 2018 en que baixa significativament. D'aquesta manera, **en el període 2012-2019 es detecta un decreixement del 31%**, i respecte del 2018 la reducció és del 24%. Tot i l'increment en la generació de residus per habitant, respecte 2012 i respecte 2018, la petjada de carboni es redueix considerablament gràcies a les millores en la gestió dels residus, que resulten en una menor petjada de carboni per tona.

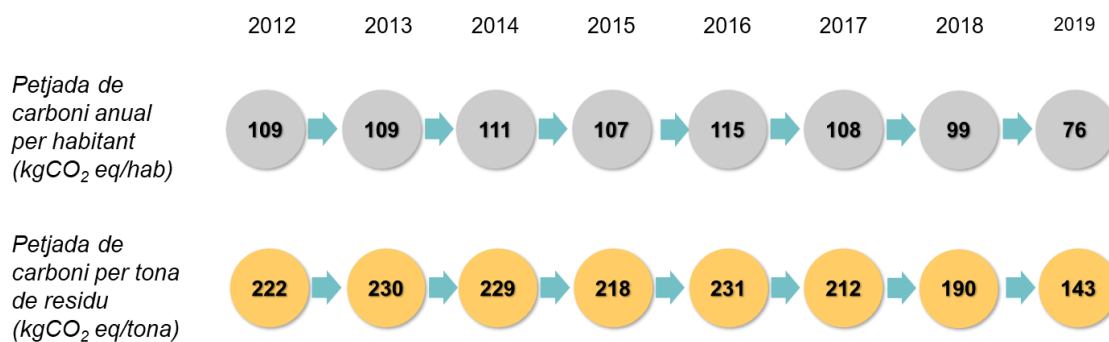


Figura 18. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2019

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 (emissions generades menys emissions evitades) 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 (2019)

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 19) així com de l'aplicatiu CO₂ZW® amb les dades de cada municipi.

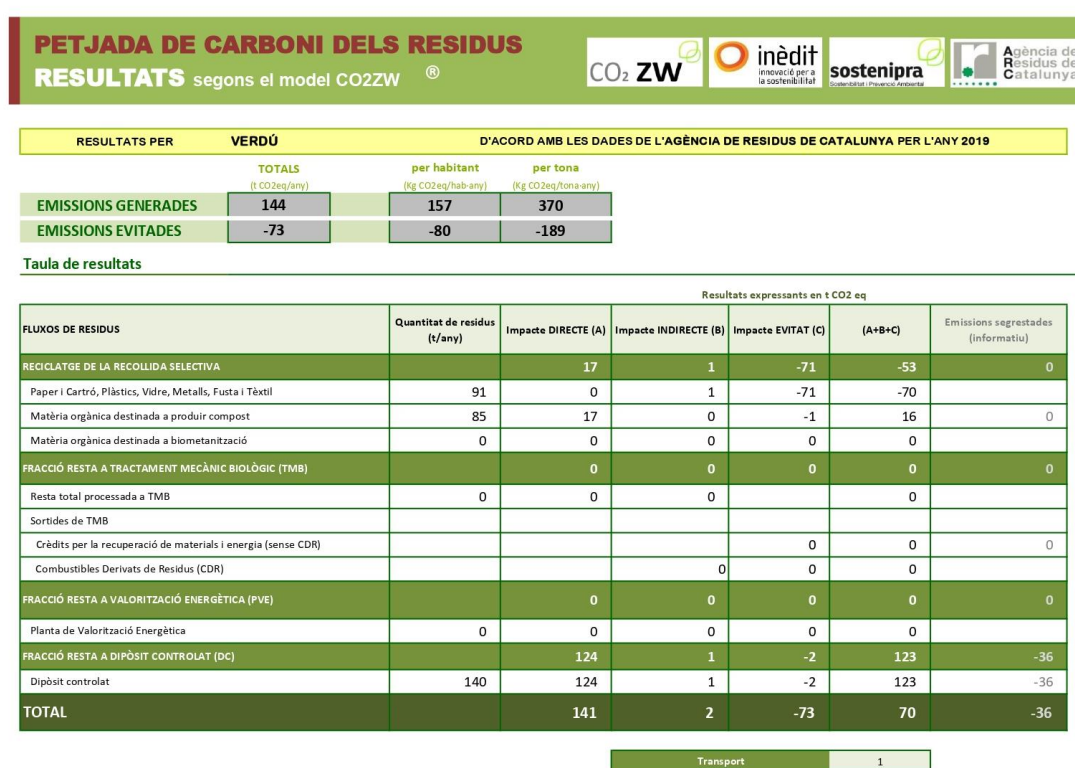


Figura 19. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi

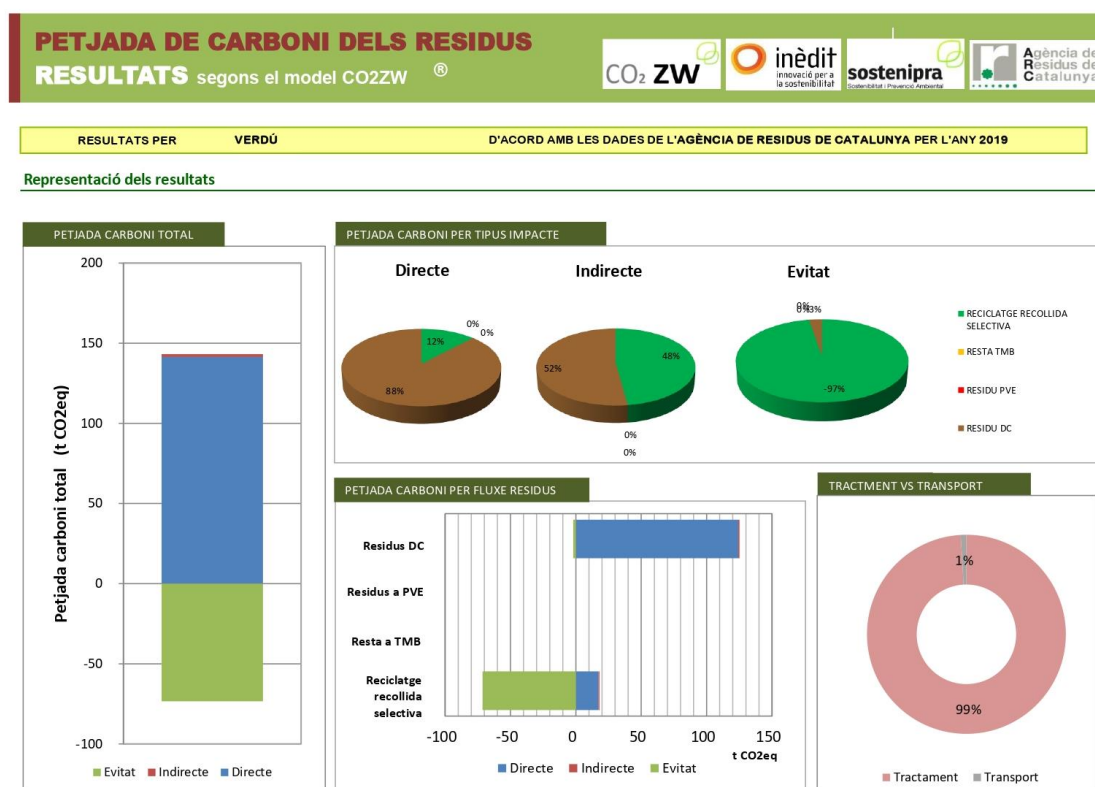


Figura 15. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi (continuació)

Estadística descriptiva

La Taula 20 mostra els descriptius estadístics de la petjada de carboni dels municipis catalans per l'any 2019. D'acord amb aquests resultats, s'observa que el 50% dels municipis tenen una petjada de carboni entre 74 i 217 kg CO₂eq/habitant⁶.

Taula 20. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2019)

Descriptiu	Any 2019 (kg CO ₂ eq/hab)
Mitjana (aritmètica)	160
Mínim	-45
Percentil 25 (P25)	74
Percentil 50 (P50)	141
Percentil 75 (P75)	217
Màxim	838

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 20 mostra l'histograma de les dades de petjada de carboni dels 947 municipis catalans per l'any 2019, 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 gairebé 160 municipis amb petjada de carboni en el rang entre 126 i 168 kg CO₂eq/habitant.

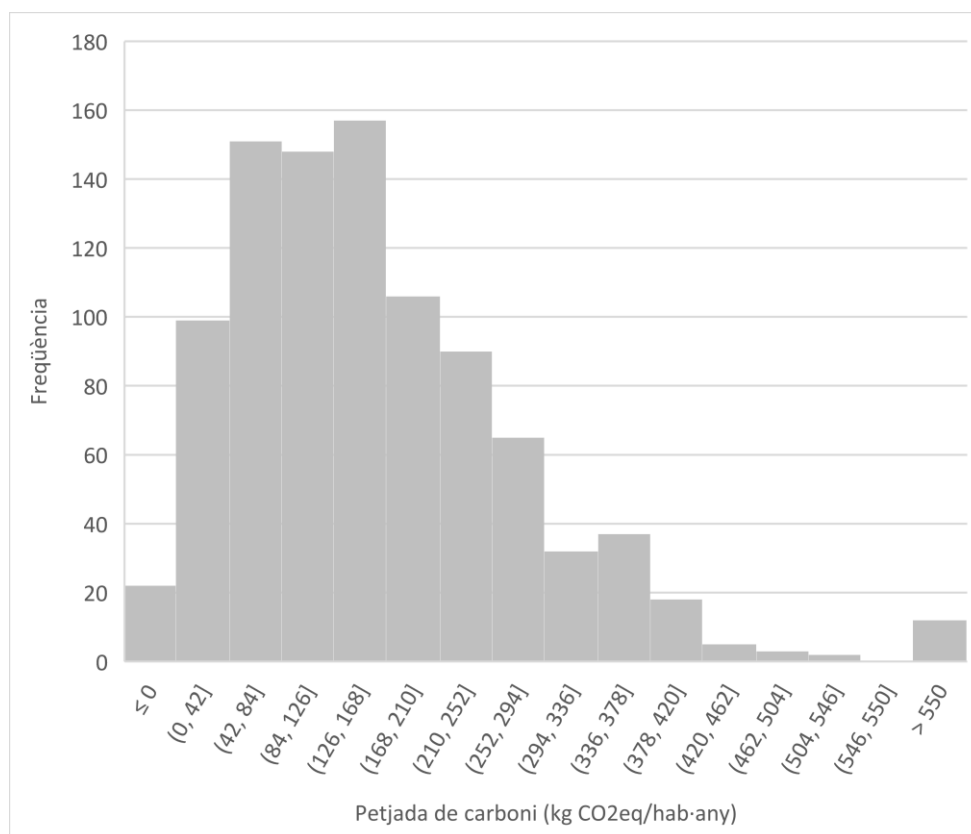


Figura 20. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2019)

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 **resta i rebuig TMB a DC⁷** ($R=0,832$). La variable **resta destinada a dipòsit controlat per habitant** presenta una correlació rellevant ($R=0,602$) amb la petjada de carboni, però aquest coeficient de correlació incrementa considerablement, si a més de la resta a dipòsit controlat, es considera el residu en forma de rebuig de TMB que també arriba a dipòsit. La tendència els darrers anys ha estat que molts municipis redueixin significativament la quantitat de resta destinada a DC, mentre que la seva petjada de carboni no s'ha vist tant

⁷ Nova variable afegida aquest any en informe dades 2019 per primera vegada.

significativament afectada. Ja que 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 es redueix només moderadament.

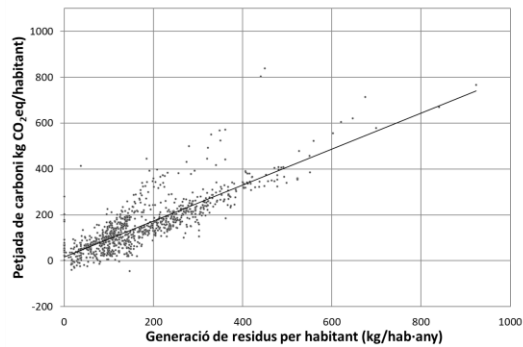
Una altra variable rellevant és la **generació de residus** ($R=0,631$) Per tant, en general, aquells municipis que generen més residus per habitant, són els que tenen una major petjada de carboni per habitant. Entre d'altres raons per les diferències en la generació de residus per habitant, cal tenir en compte l'efecte del turisme en aquells municipis on sigui rellevant, que pot incrementar considerablement la generació en determinades estacions de l'any.

L'índex de **recollida selectiva (%)** presenten també una correlació significativa amb la petjada de carboni per habitant, però en direcció oposada, és a dir, un increment en el percentatge suposa una reducció de la petjada.

Taula 21. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (any 2019)

Variable	Generació de residus (kg/hab)	Rest a Dipòsit (kg/hab)	Rest i rebuig TMB a DC (kg/hab)	Índex Recollida Selectiva (%)
Petjada de carboni 2019 (kg CO ₂ eq/hab)	0,631	0,602	0,832	-0,466

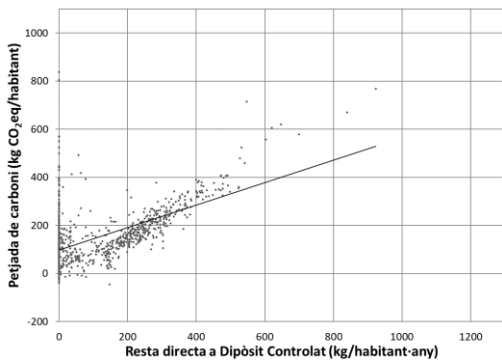
La Figura 21 mostra els **models de regressió lineals** entre la petjada de carboni per habitant dels municipis i les variables amb major correlació. S'observa, de nou, com la resta i rebuig a DC és la variable que presenta una millor relació amb la petjada de carboni per habitant, amb un $R^2=0,69$. Això indica que un 69% dels canvis en la petjada de carboni per habitant es podrien explicar per les diferències en la quantitat de resta i rebuig de TMB que va a DC. 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 36% i un 39%, respectivament, de la variació en la petjada de carboni per habitant dels municipis catalans.



$$PC = 0,34 * \text{Generació} - 26$$

$$R^2 = 0,39; \text{Error} = 90,8$$

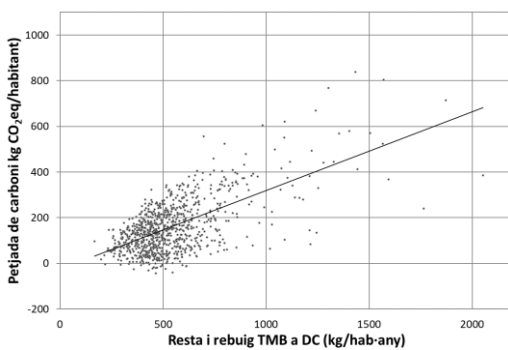
PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab-any)
Generació = Generació de residus (kg/hab-any)



$$PC = 0,47 * \text{Resta a DC} + 97$$

$$R^2 = 0,36; \text{Error} = 93,4$$

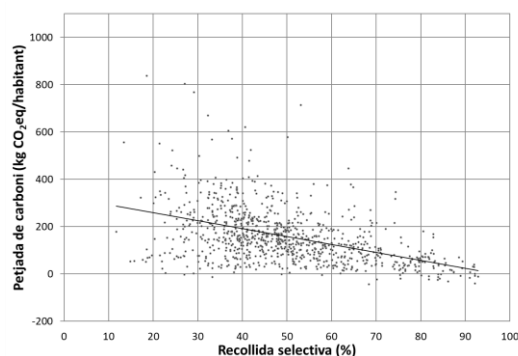
PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab-any)
Resta a DC = Resta directa a dipòsit controlat (kg/hab-any)



$$PC = 0,78 * \text{Residu a DC} + 17,4$$

$$R^2 = 0,69; \text{Error} = 64,5$$

PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab-any)
Residu a DC = Resta directa a dipòsit controlat més rebuig de TMB a dipòsit controlat (kg/hab-any)



$$PC = 326 - 3,4 * RS$$

$$R^2 = 0,22; \text{Error} = 103,5$$

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

Figura 21. Models de regressió lineal de la petjada de carboni per habitant i la generació de residus, la resta a dipòsit controlat, el residu (resta + rebuig TMB) a dipòsit controlat, i recollida selectiva, respectivament (2019).

5.2. Resultats per comarca (2019)

La Taula 22 mostra la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana per habitant de cada comarca⁸, on es pot observar un rang variable entre 21 i 358 kg CO₂eq/habitant·any. S'han classificat les comarques segons si tenen una evolució favorable o no respecte de la petjada del 2018.

Pels resultats municipals i comarcals, cal tenir en compte l'efecte dels residus no territorialitzables, ja que el càlcul es fa a partir de les dades assignades a cada municipi o comarca, sense tenir en compte les dades territorialitzables que li podrien correspondre. Hi ha una part dels residus que no es poden assignar al municipi concret on es generen (generalment residus de recollida selectiva), que sí es comptabilitzen quan les dades són a nivell de tota Catalunya.

La Figura 22 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 2019.

⁸ En aquest apartat es presenten, de manera addicional als resultats per comarca, els resultats corresponents a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB).

Taula 22. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2019), en kg de CO₂eq/hab, i evolució de la petjada respecte 2018.

Comarca	Petjada carboni (kg CO ₂ eq/ hab·any)	Evolució	Comarca	Petjada carboni (kg CO ₂ eq/ hab·any)	Evolució
Alt Camp	59	↓	Maresme	54	↑
Alt Empordà	248	↓	Montsià	174	↓
Alt Penedès	236	↓	Noguera	191	↓
Alt Urgell	162	↑	Osona	21	↓
Alta Ribagorça	136	↓	Pallars Jussà	217	↓
AMB	80	↓	Pallars Sobirà	235	↑
Anoia	226	↓	Pla de l'Estany	209	↓
Bages	150	↓	Pla d'Urgell	145	↑
Baix Camp	84	-	Priorat	206	↓
Baix Ebre	245	↑	Ribera d'Ebre	147	↑
Baix Empordà	315	↓	Ripollès	85	↓
Baix Llobregat	124	↓	Segarra	142	↓
Baix Penedès	160	↓	Segrià	153	↓
Barcelonès	73	↓	Selva	211	↓
Berguedà	73	↓	Solsonès	80	↓
Cerdanya	82	↓	Tarragonès	91	↑
Conca de Barberà	162	↓	Terra Alta	106	↓
Garraf	285	↓	Urgell	163	↓
Garrigues	173	↓	Val d'Aran	358	↑
Garrotxa	146	↓	Vallès Occid.	68	↓
Gironès	106	↓	Vallès Orien.	46	↑
Moianès	135	↓			

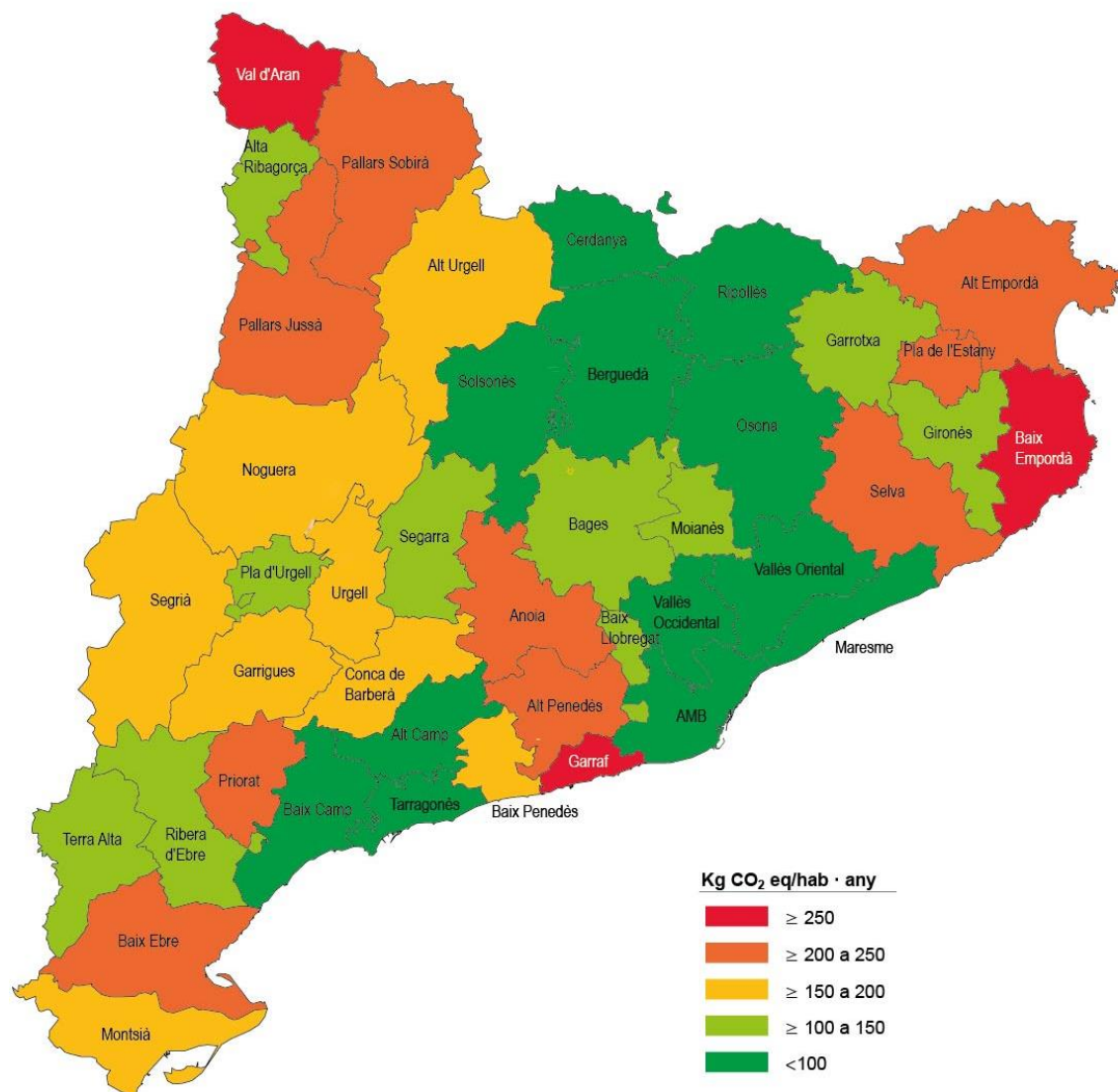


Figura 22. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2019).

6. RECOMANACIONS

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.
- Augment de ràtios de recollida selectiva i reducció d'impropis.
- En definitiva, reduir la quantitat de residus (sigui resta o rebuig) que va directament a dipòsit controlat.

Plantes de Tractament Mecaniconbiològic:

- Augment de l'estabilització de la MOR en el tractament de la resta.
- Increment de MOR tractada en estabilització anaeròbia.
- Amb les dues anteriors, 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 paper i cartró.

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.

Millors 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 7 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:

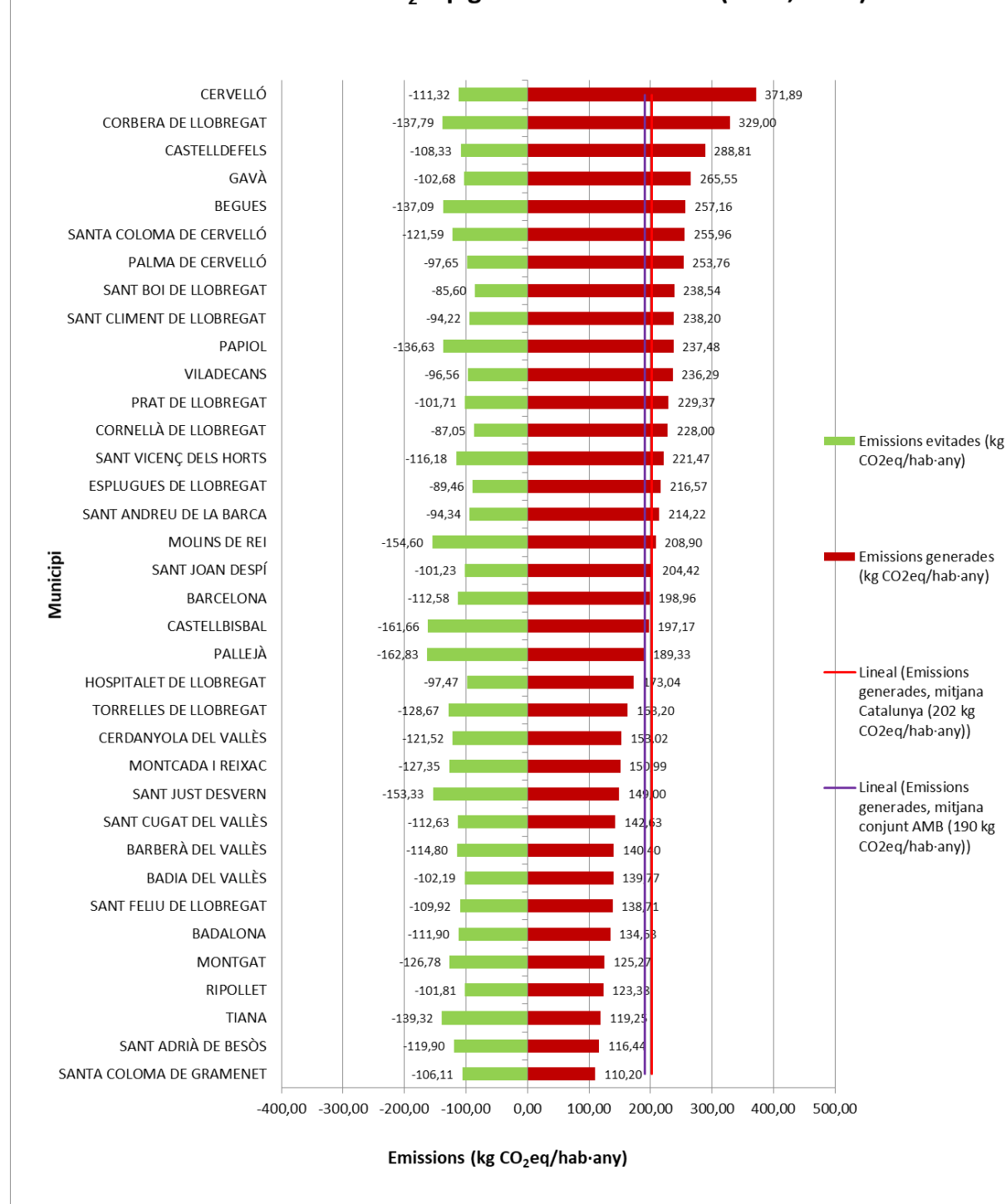
- Revisar i actualitzar les hipòtesis sobre emissions evitades a la valorització material i energètica. Tant pel que fa al càlcul de les emissions que s'evitarien per tona, com validar que efectivament la gestió considerada per part de les plantes de reciclatge s'adequa a la realitat.
- Revisar la modelització 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

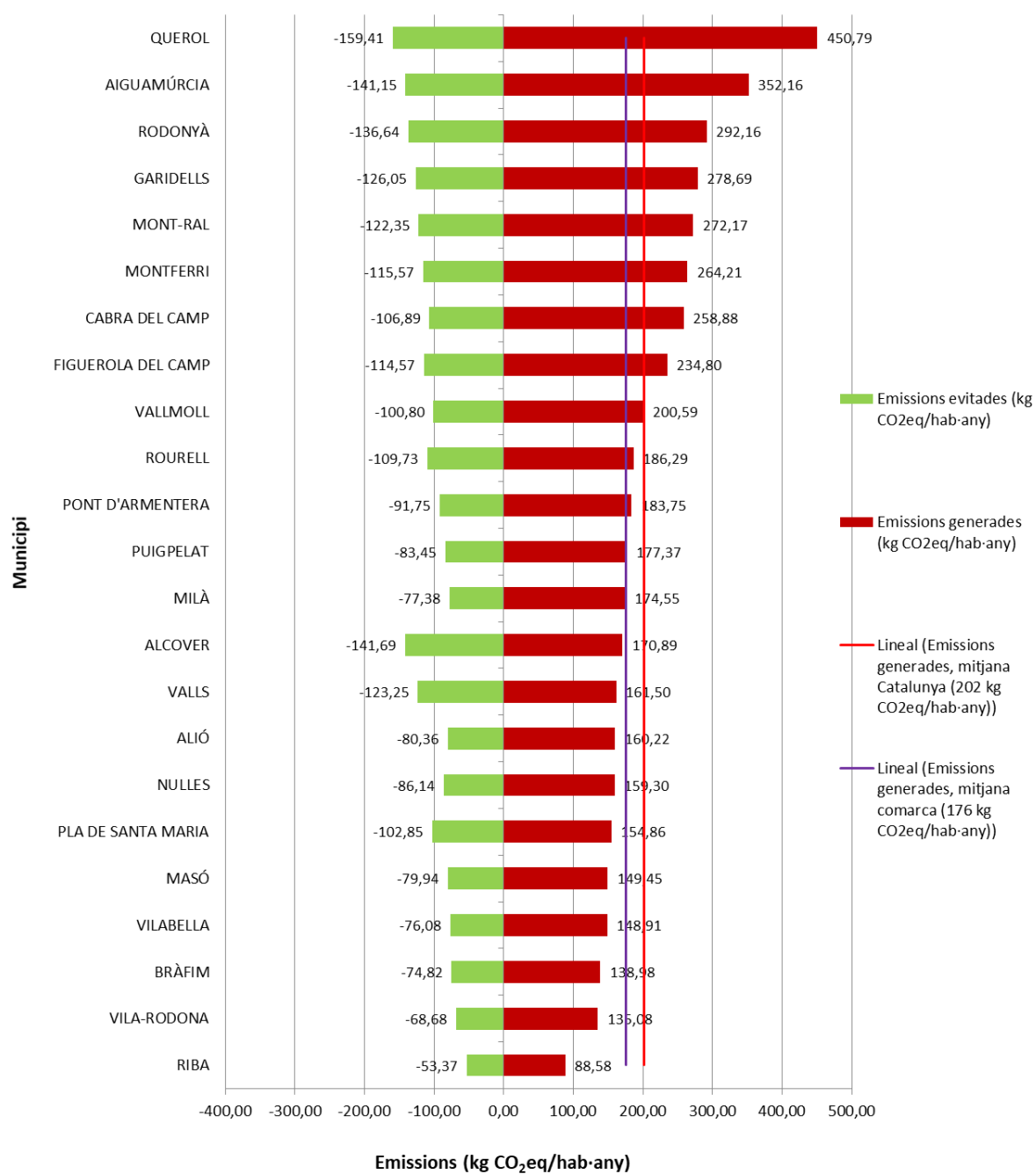
- Boldrin A, Andersen JK, Moller J, Christensen TH, Favoino E. 2009. "Composting and Compost Utilization: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contributions." *Waste Management & Research* 27: 800–812.
- Cleary, J. 2009. "Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management Systems: 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/111111111/22582/1/regno_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. 2020a. "Inventari d'emissions Catalunya 1990-2018 (versió castellà)" Disponible a: https://canvclimatic.gencat.cat/ca/canvi/inventaris/emissions_de_geh_a_catalunya/ (darrer accés: febrer 2021).
- OCCC. 2020b. "Factor d'emissió associat a l'energia elèctrica: el mix elèctric". Disponible a: https://canvclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/ (darrer accés: desembre 2020).

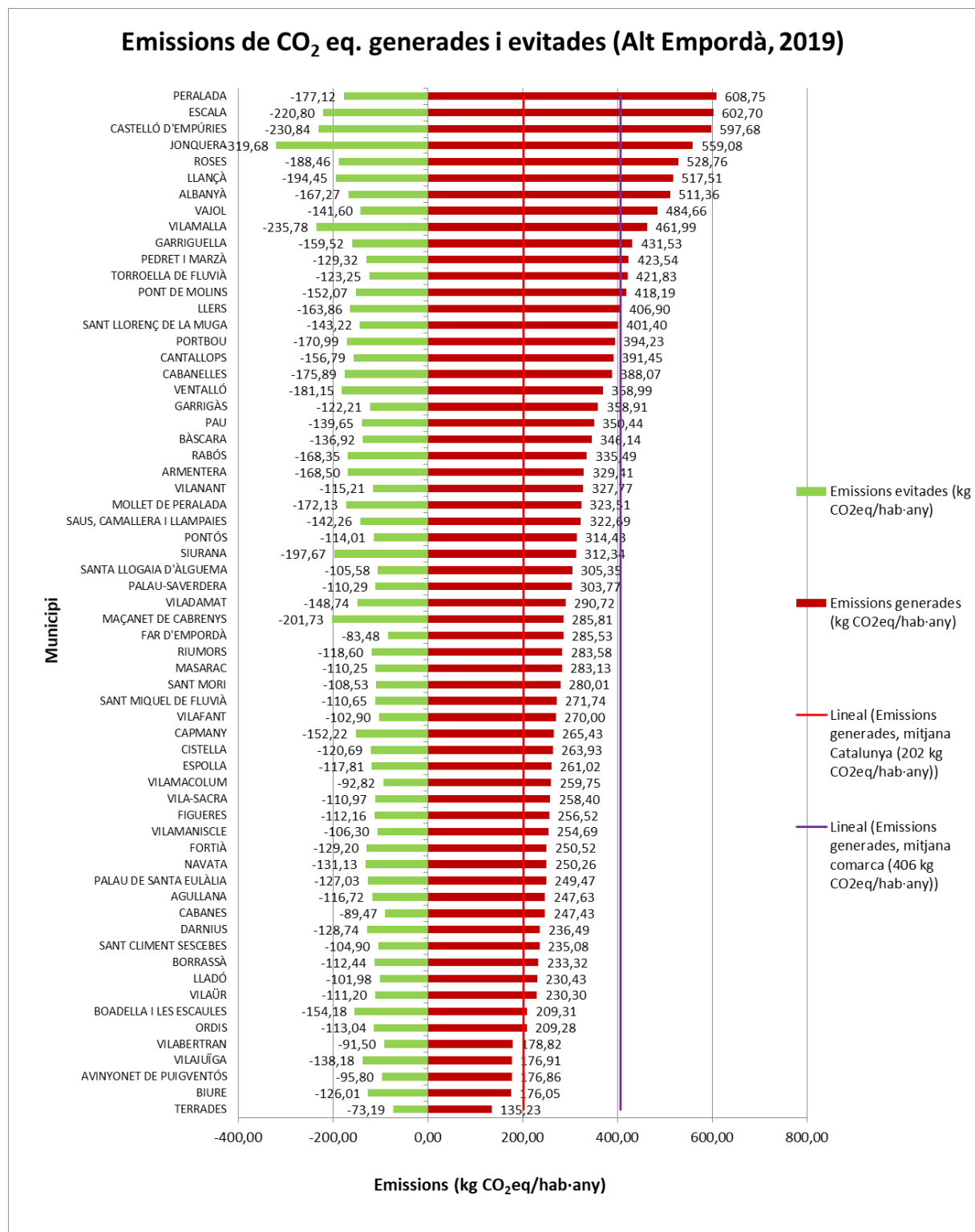
- Prognos, Ifeu, INFU. 2008. "Resource Savings and CO2 Reduction Potential in Waste Management in Europe and the Possible Contribution to the CO2 Reduction Target in 2020." http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/Results_CO2_wasteproject.pdf.
- Seigné-Itoiz, E, CM Gasol, R Farreny, X Gabarrell, 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>.

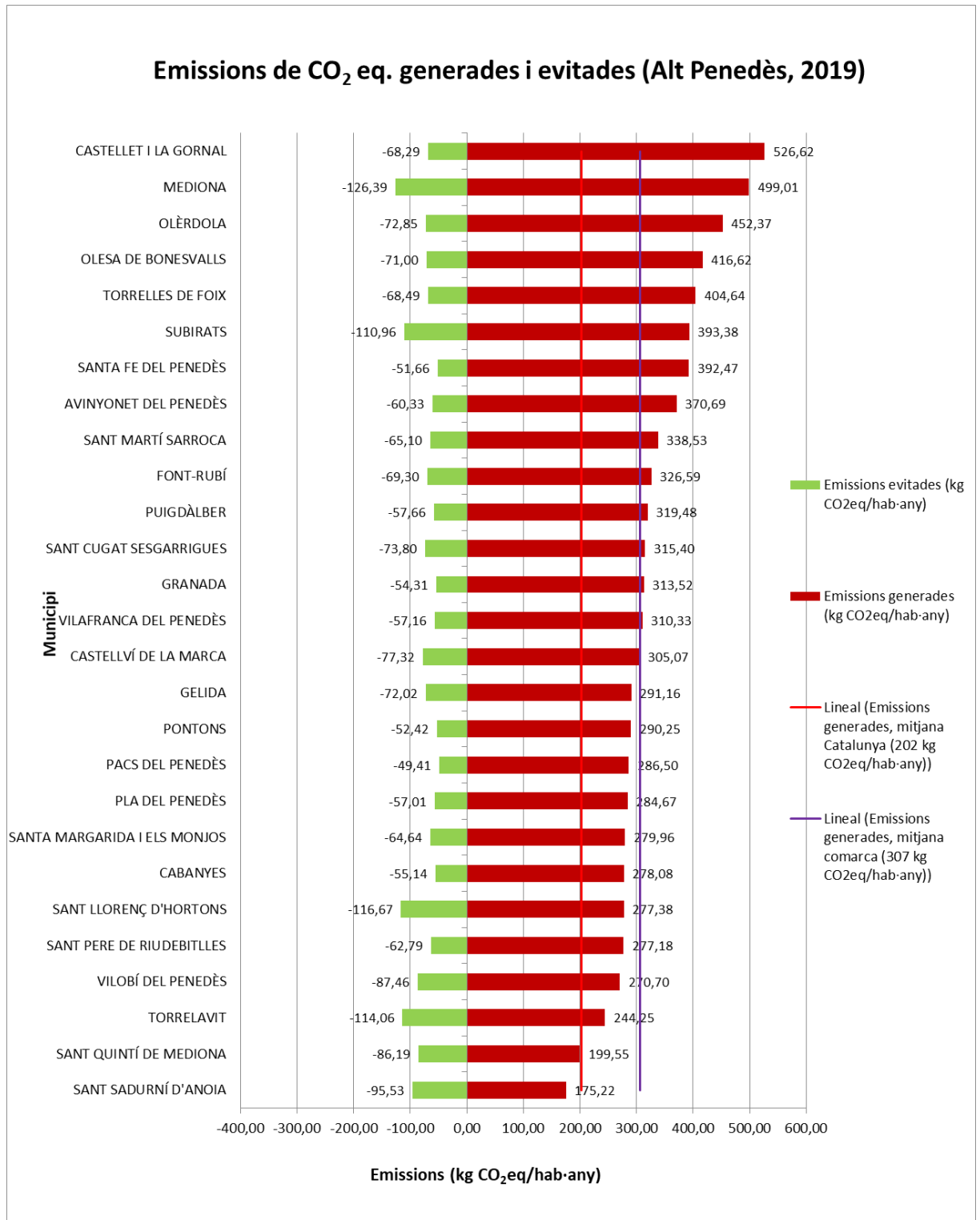
A. Annex. Emissions de GEH generades i evitades de la gestió dels residus municipals, a escala municipal (2019)

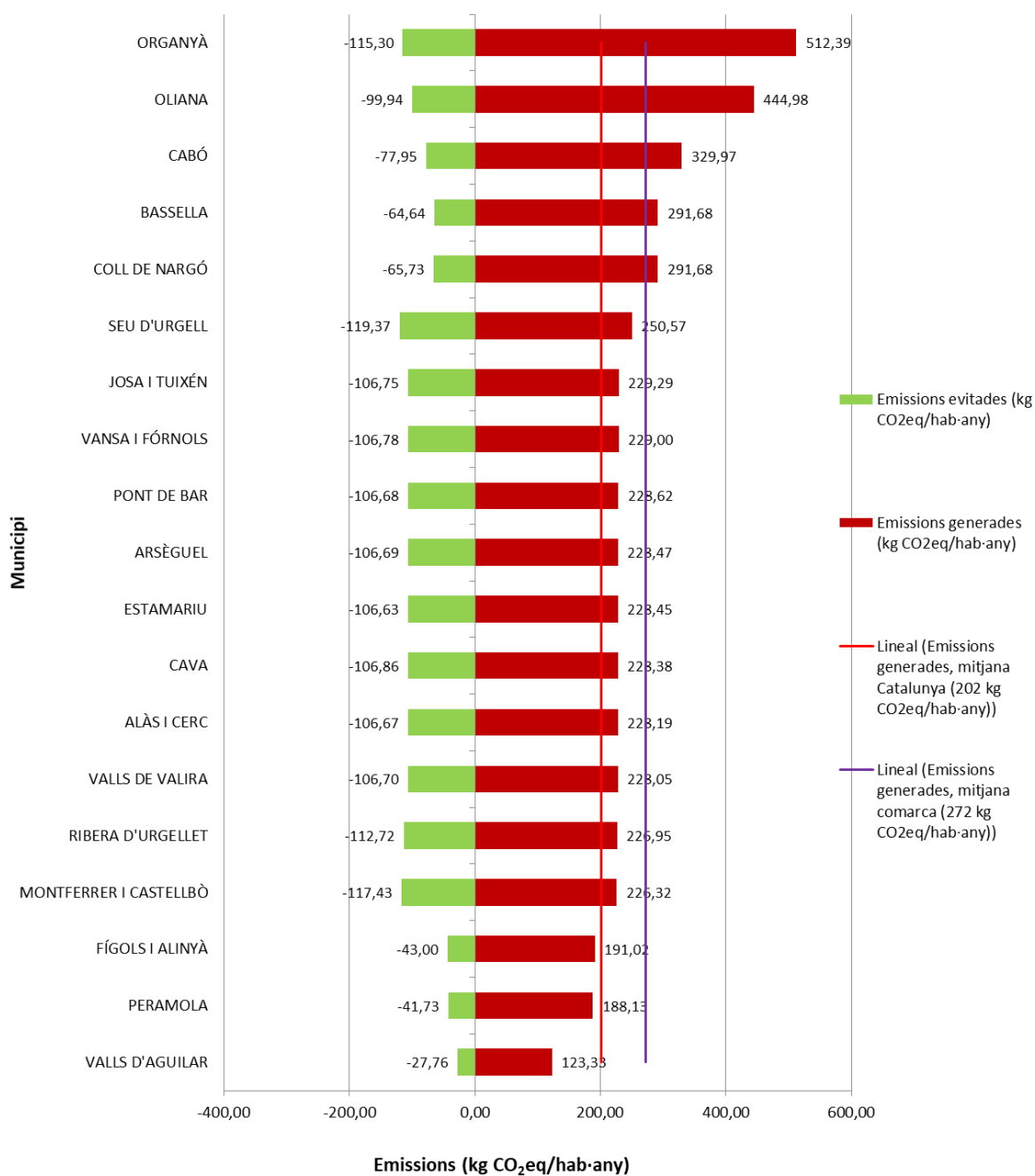
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (AMB, 2019)

Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Camp, 2019)

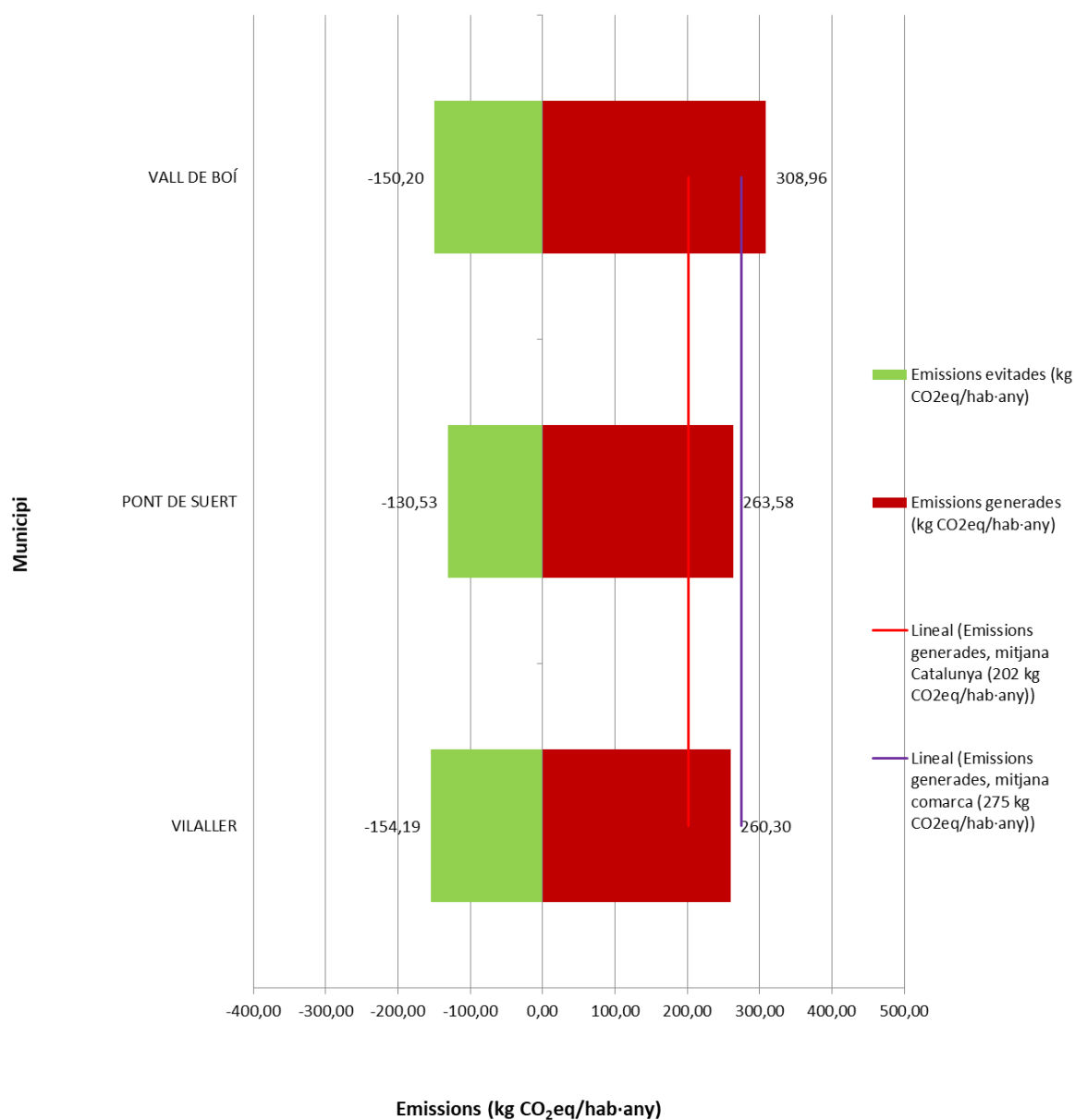


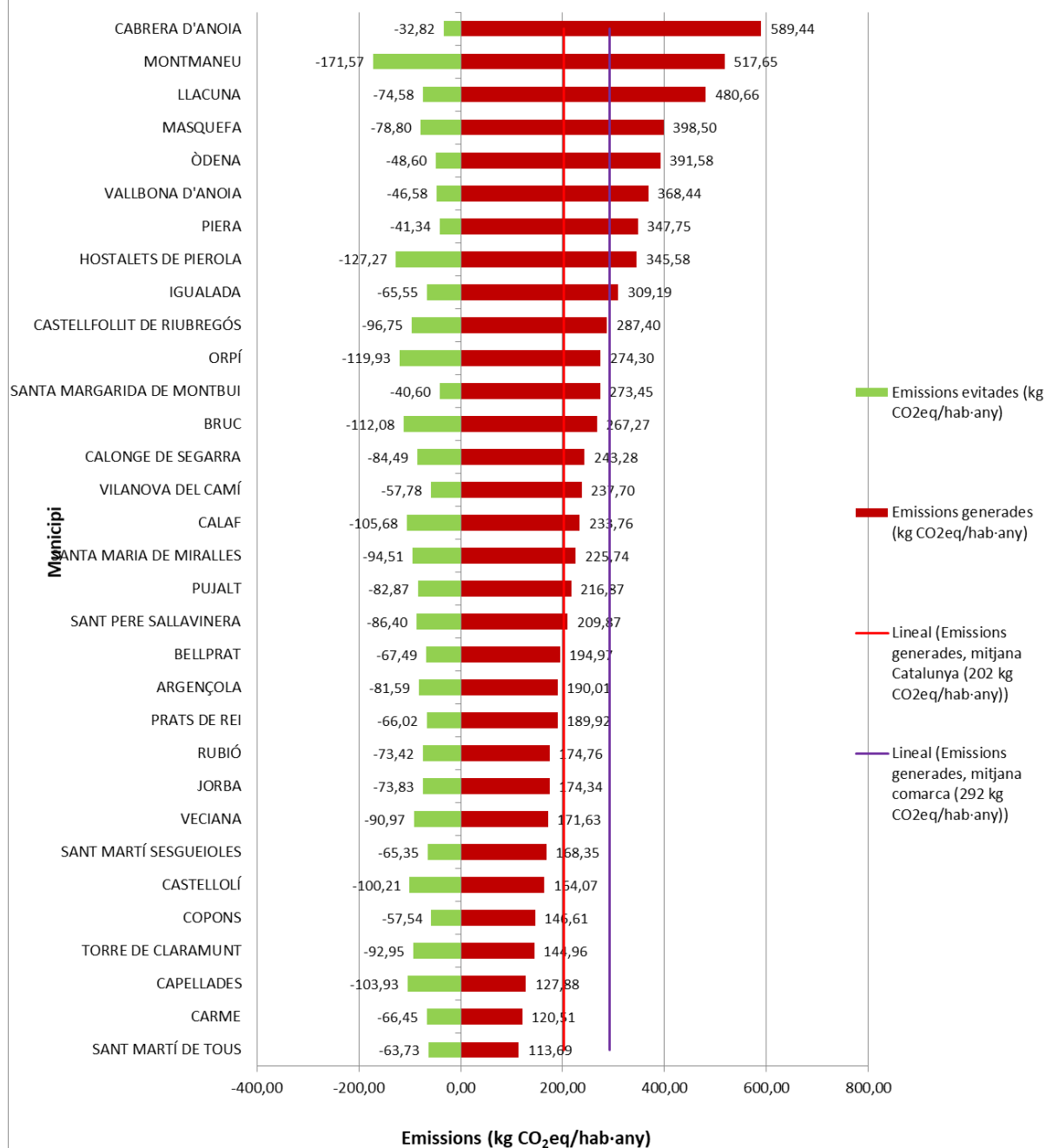


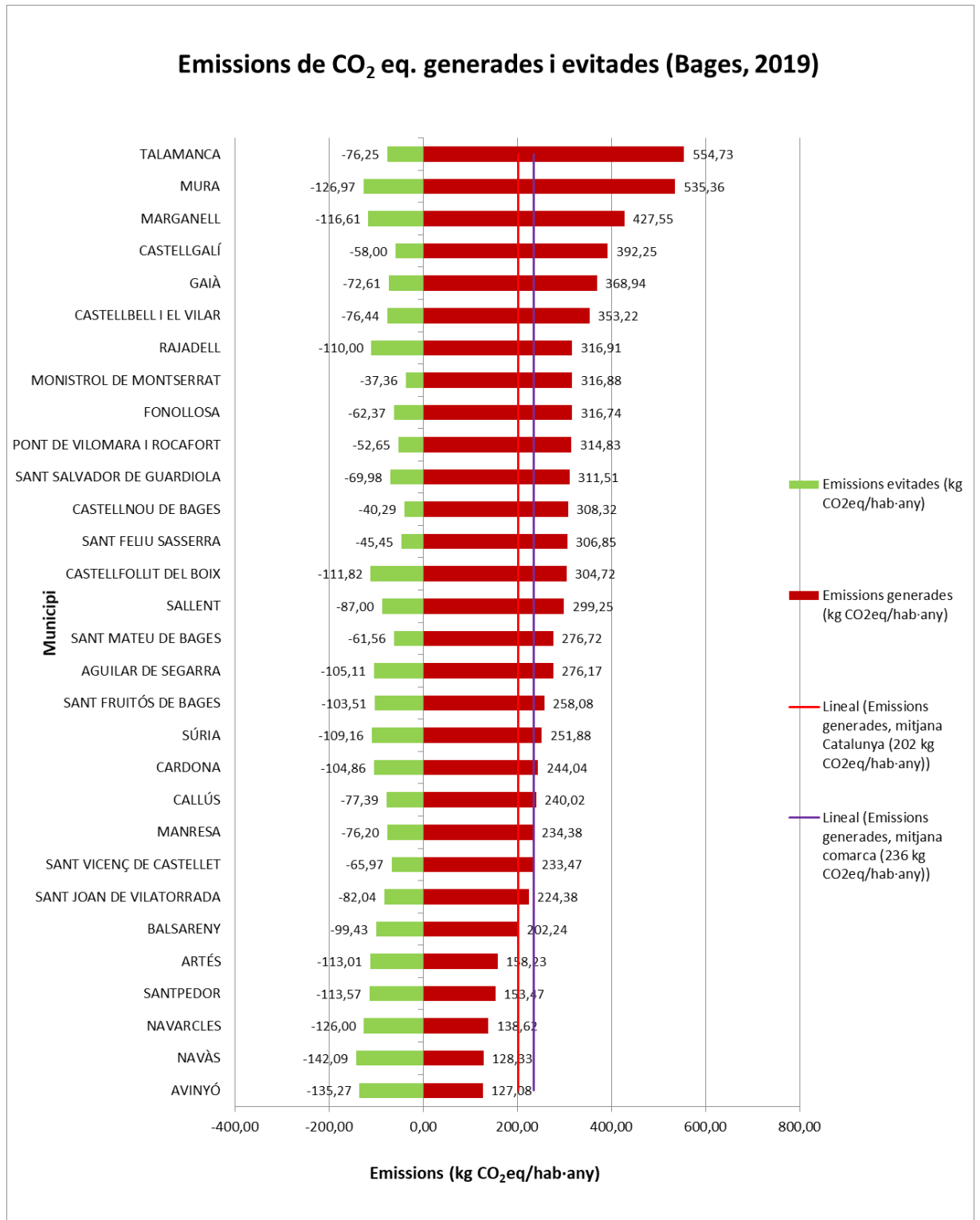


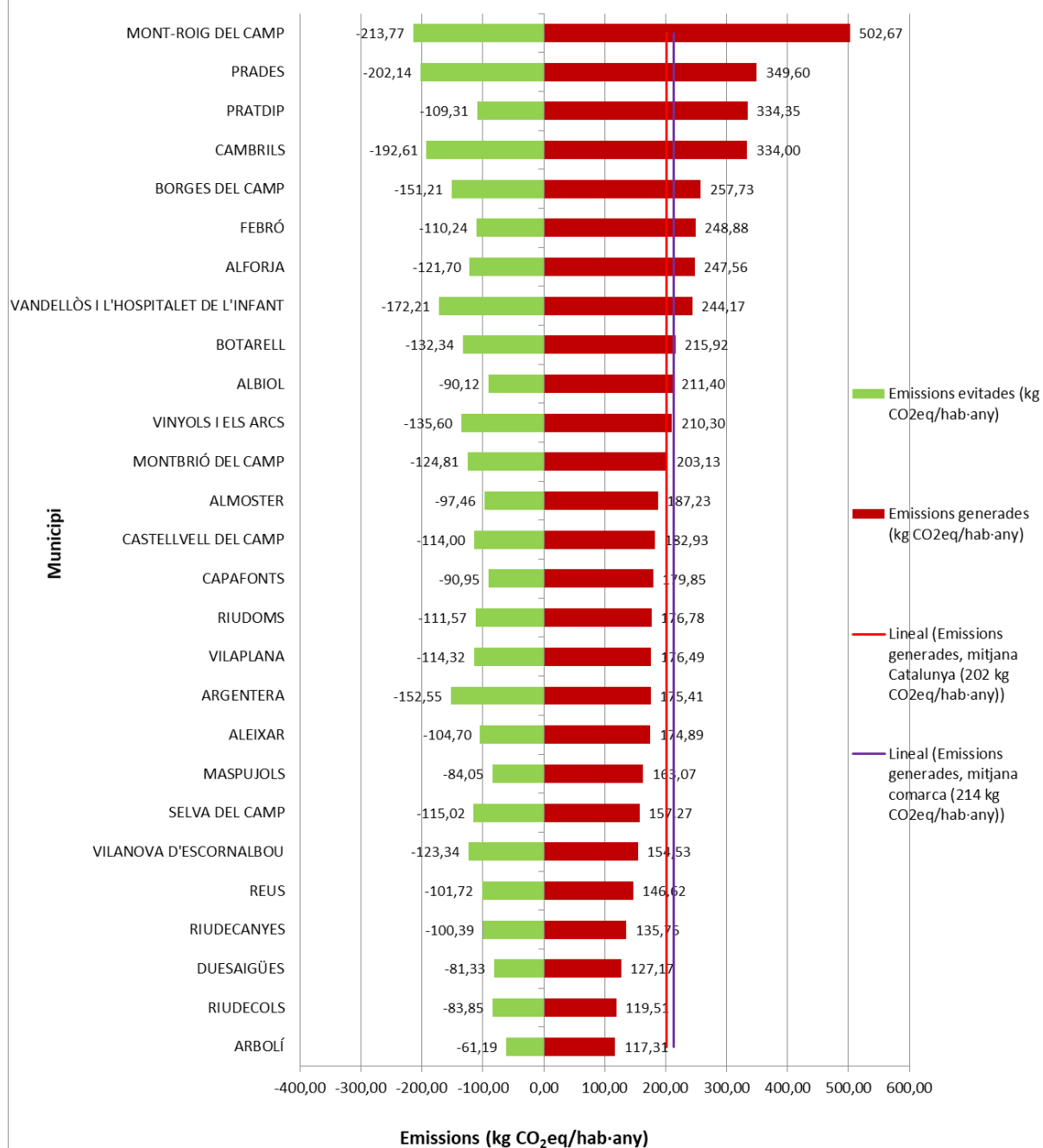
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Urgell, 2019)

Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alta Ribagorça, 2019)

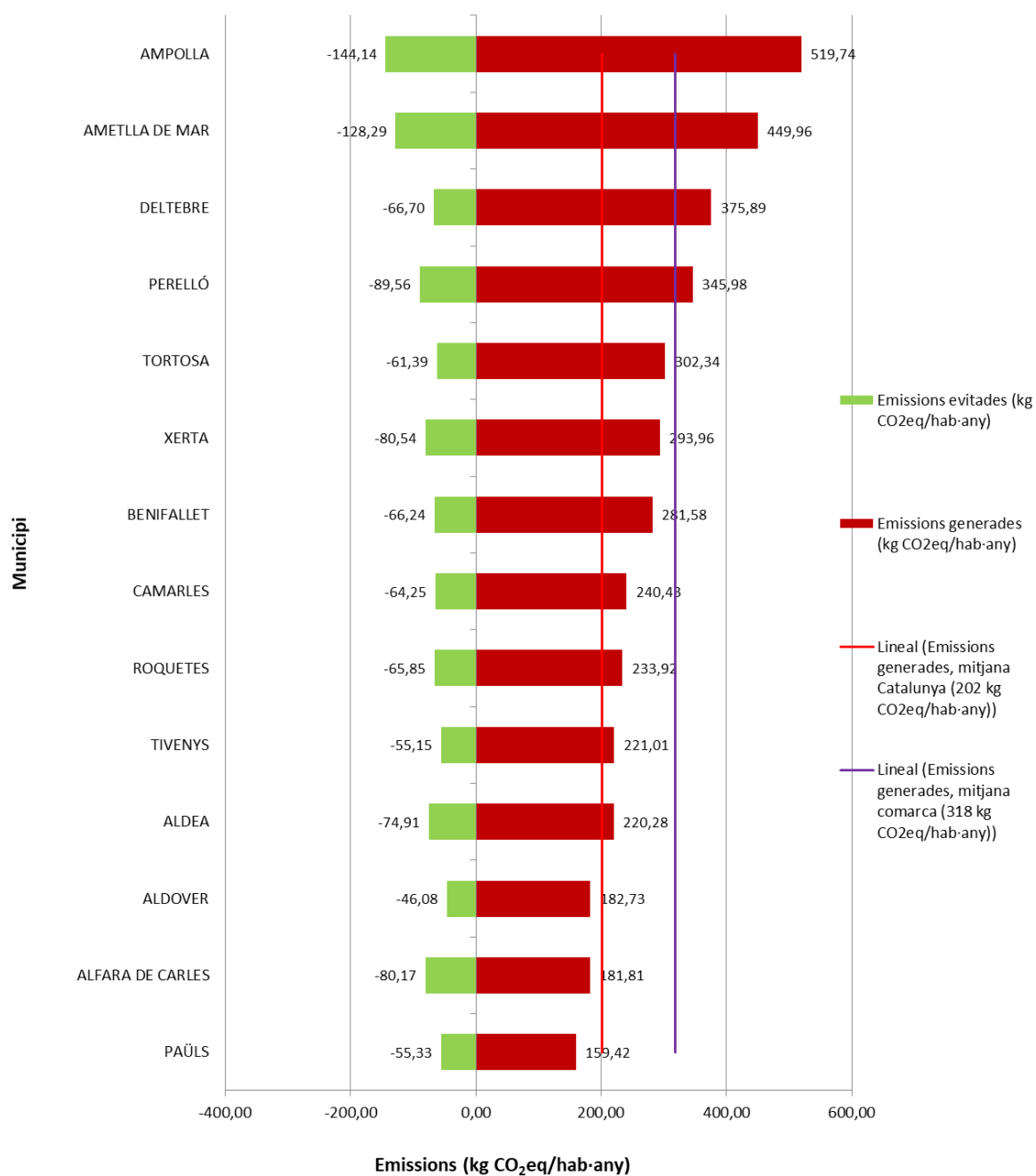


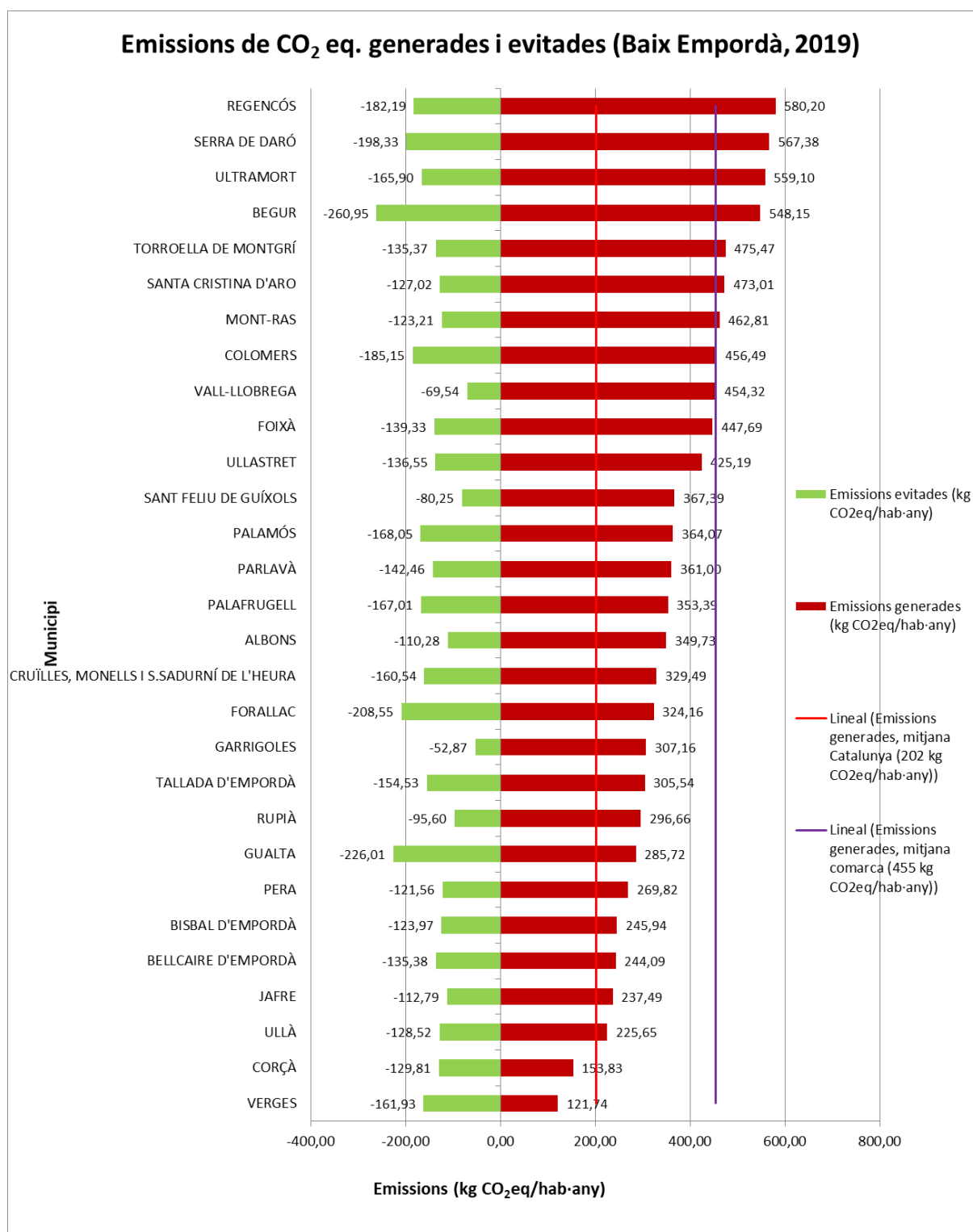
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Anoia, 2019)



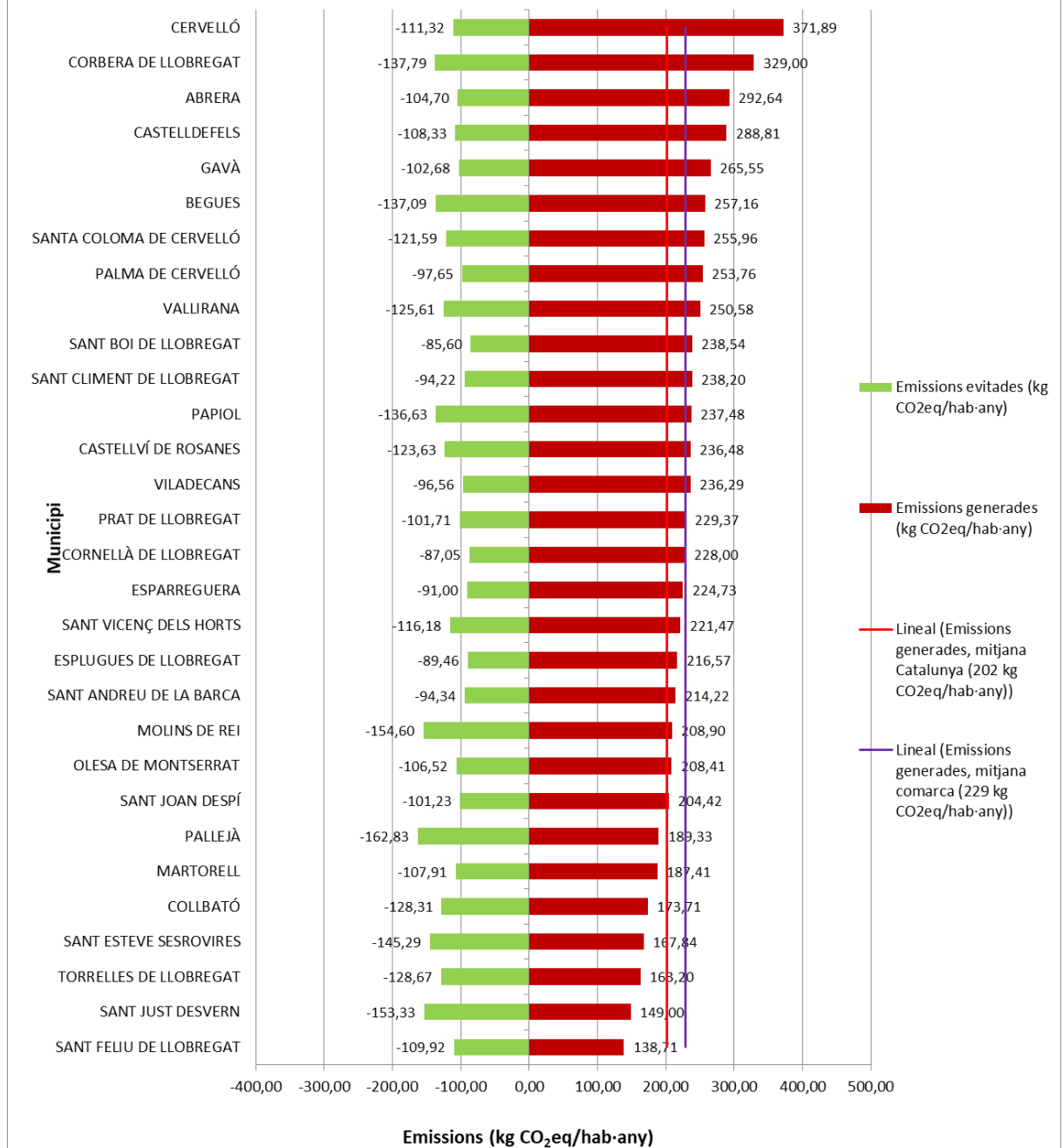
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Camp, 2019)

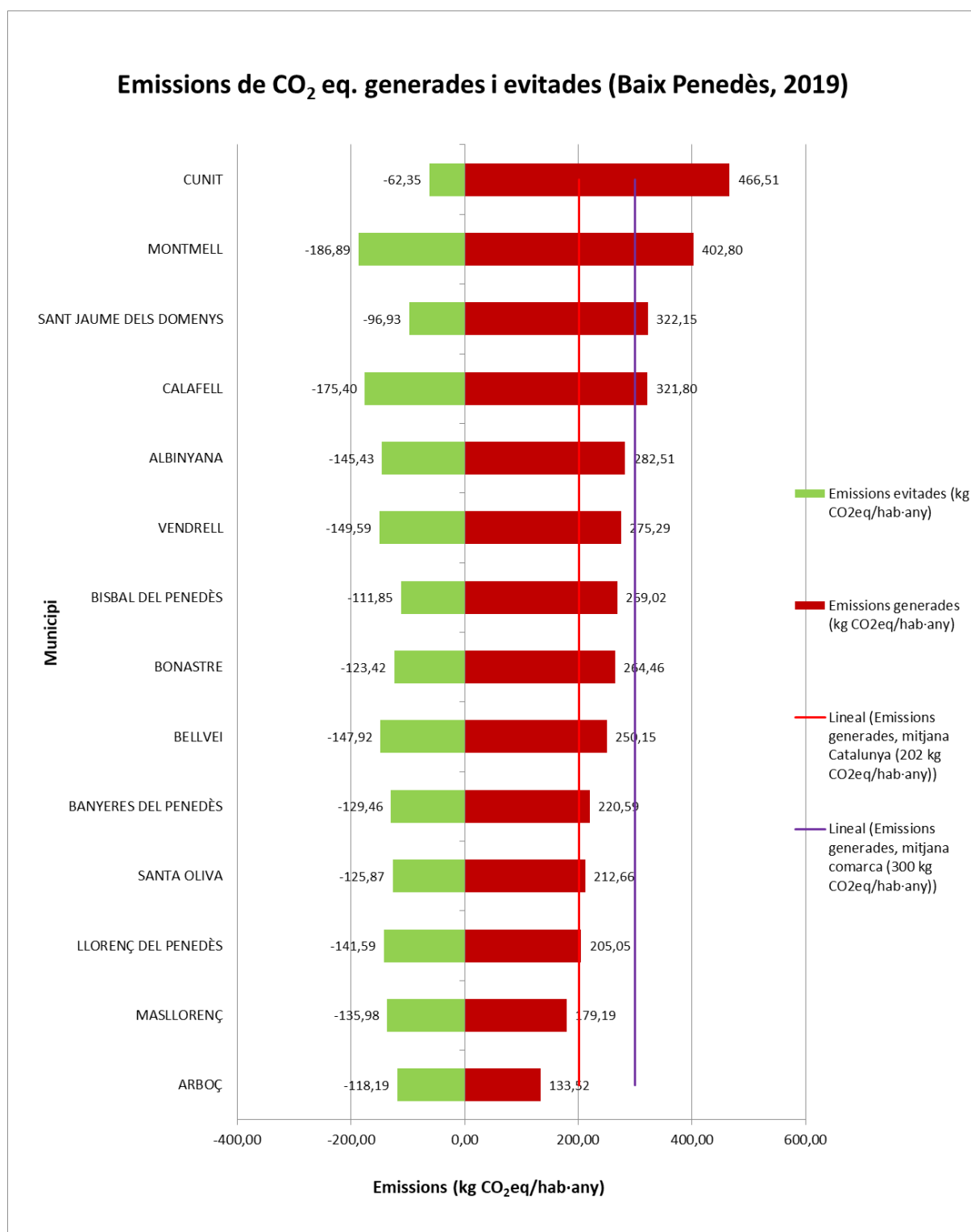
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Ebre, 2019)

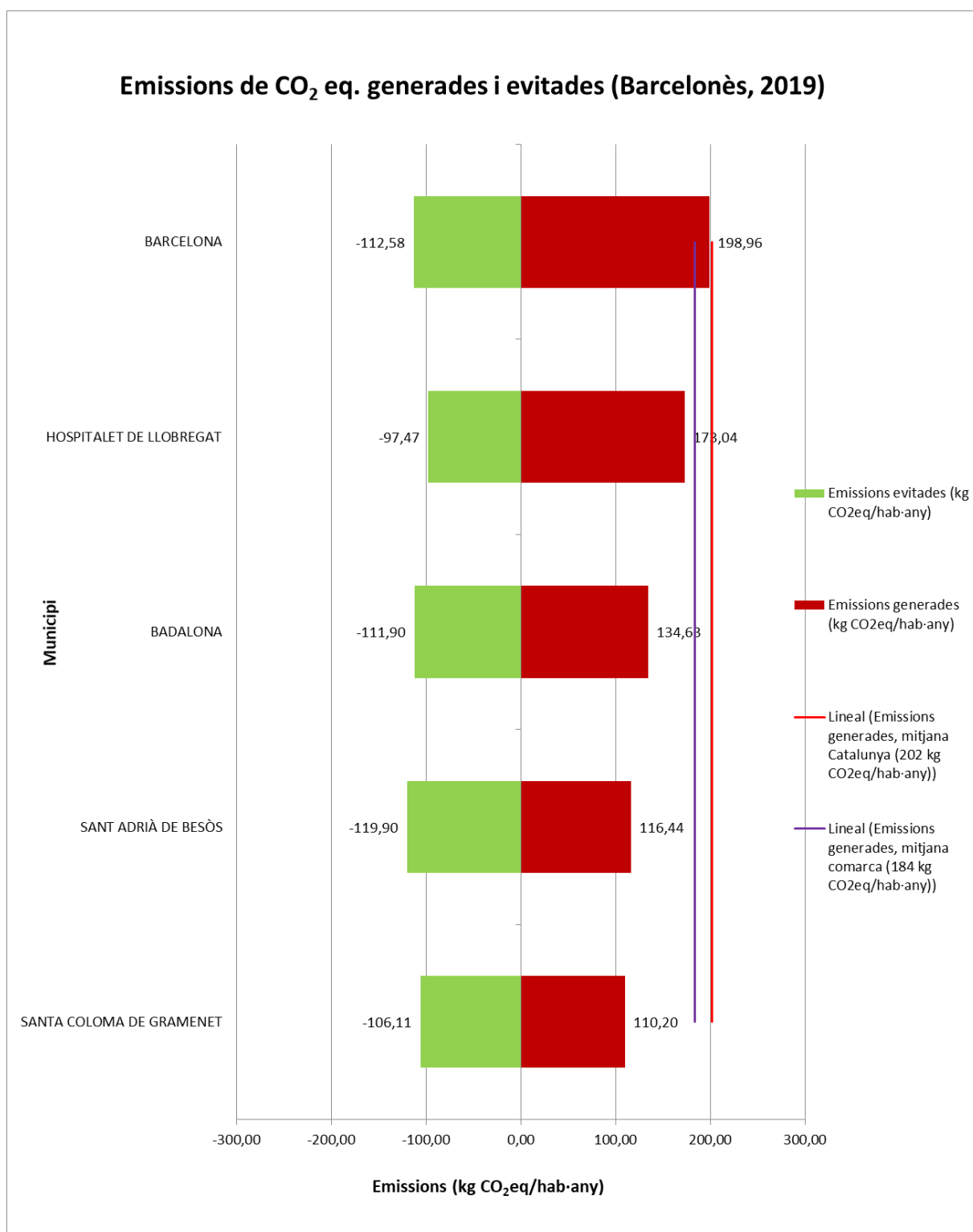


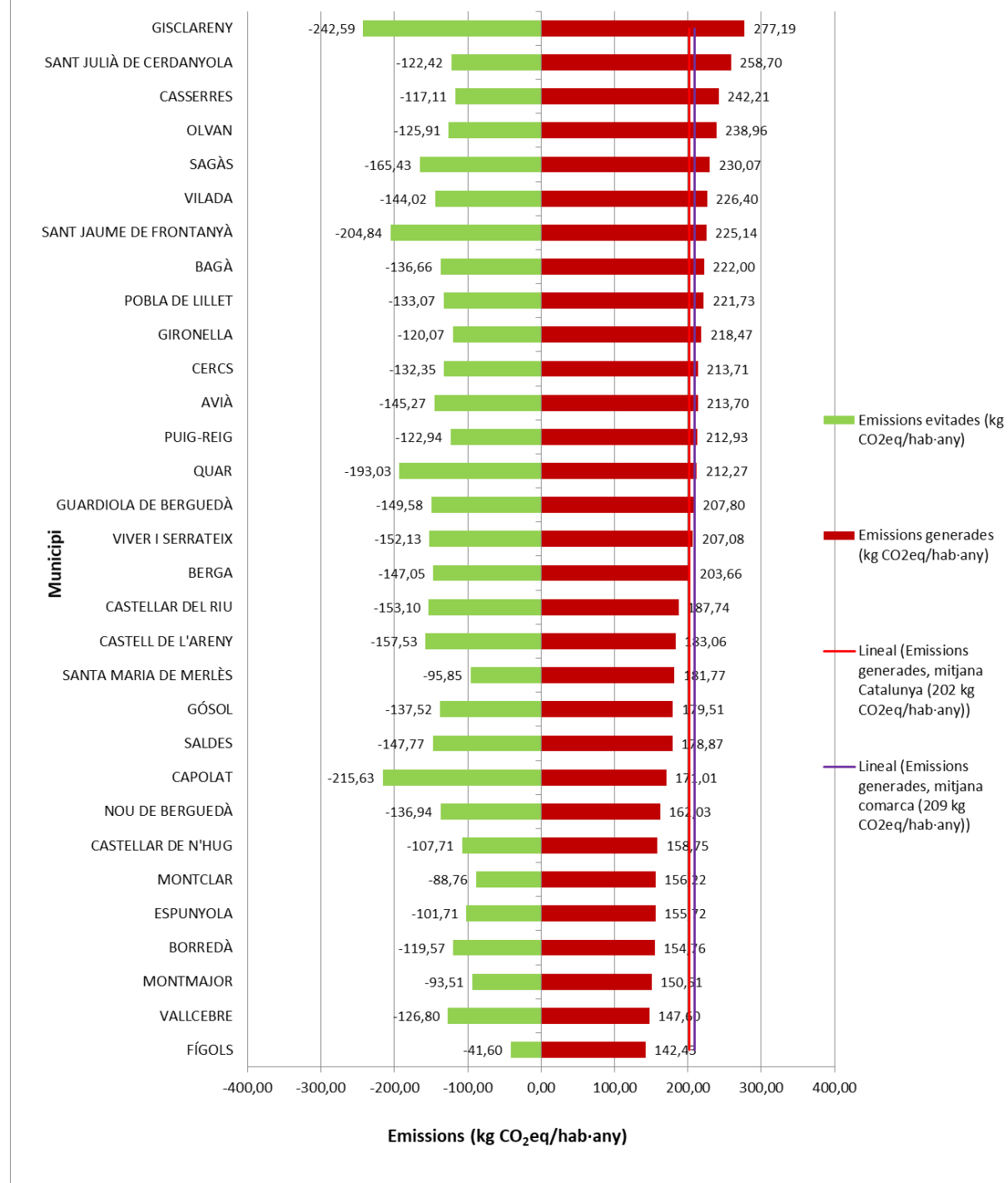


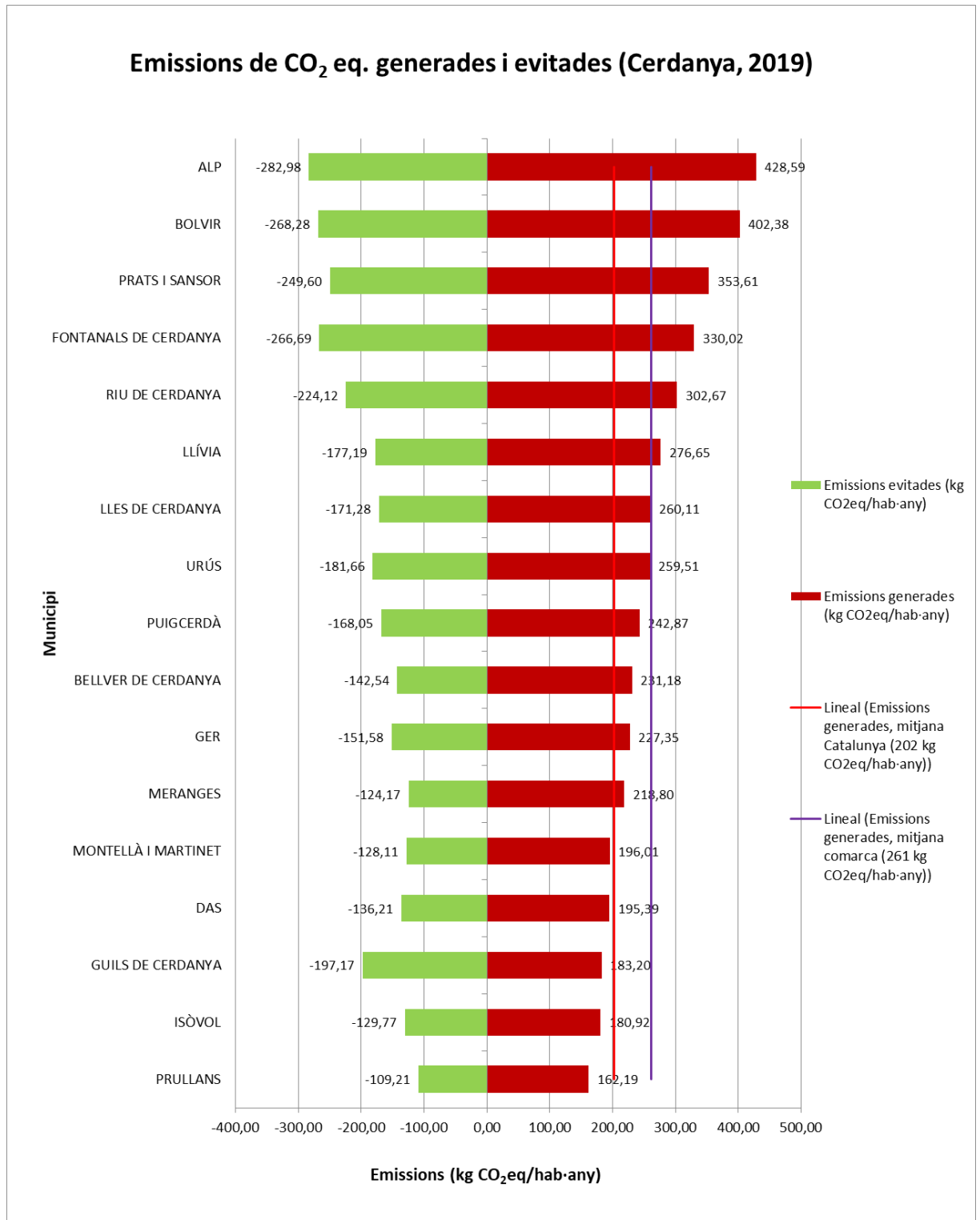
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Llobregat, 2019)

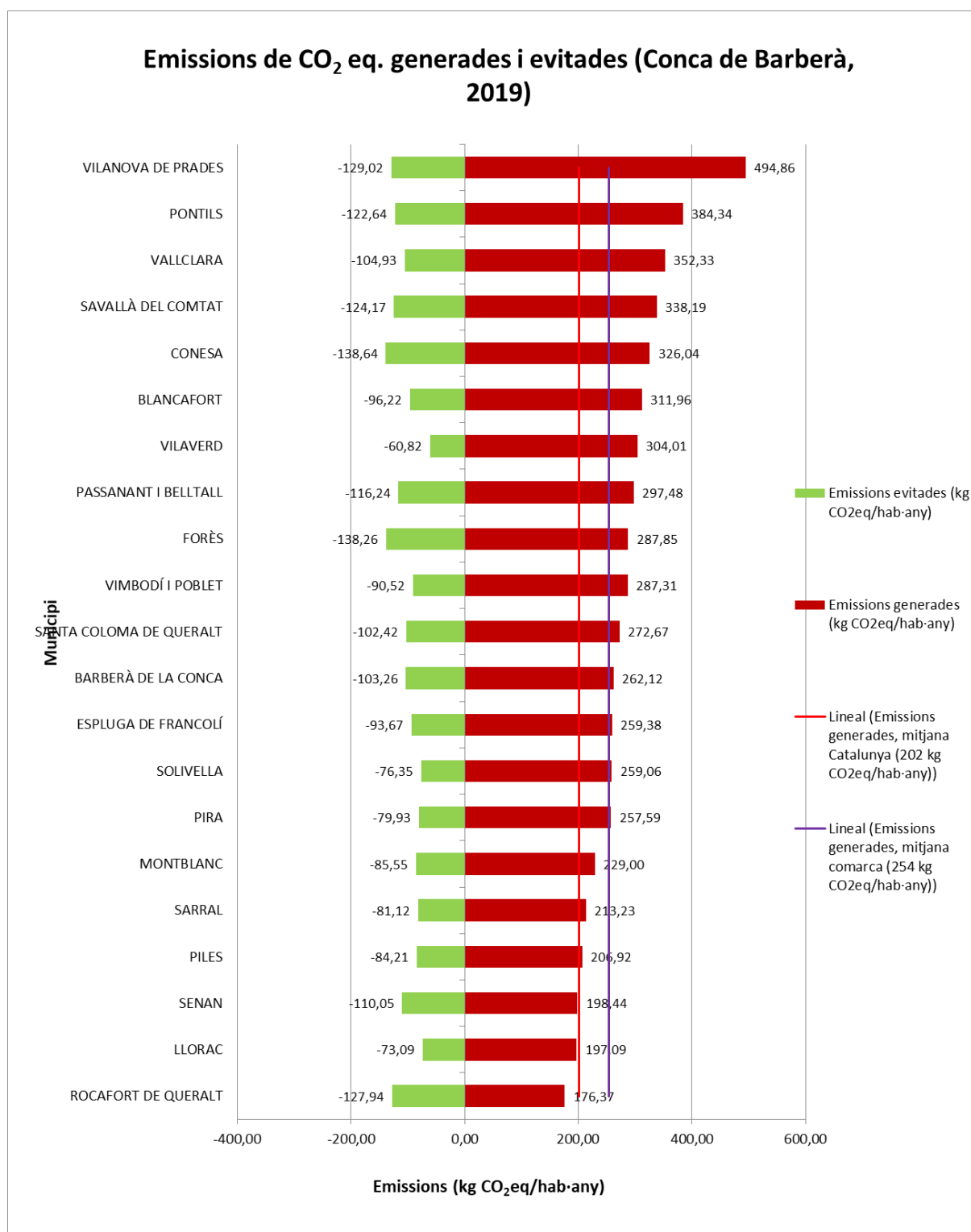


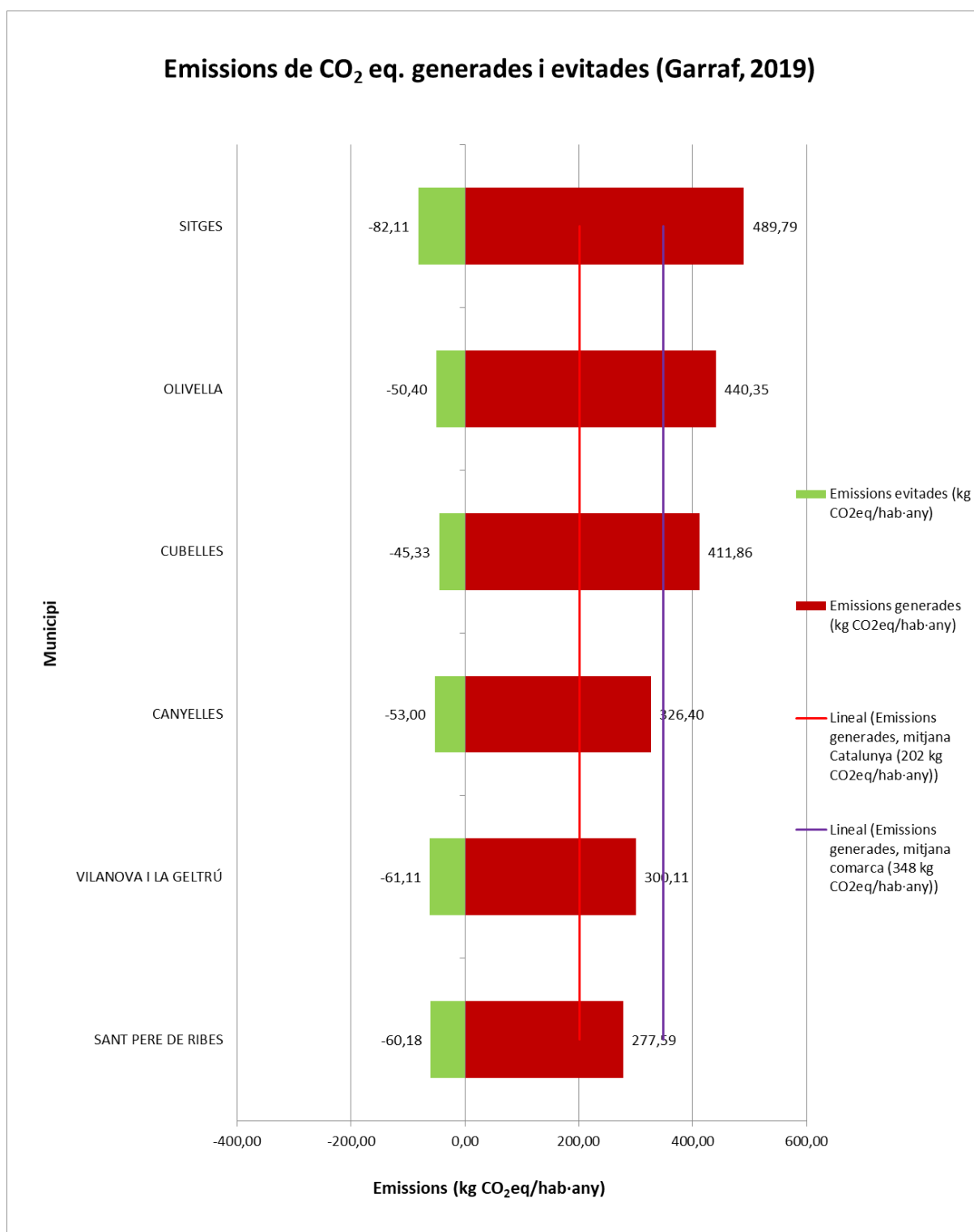


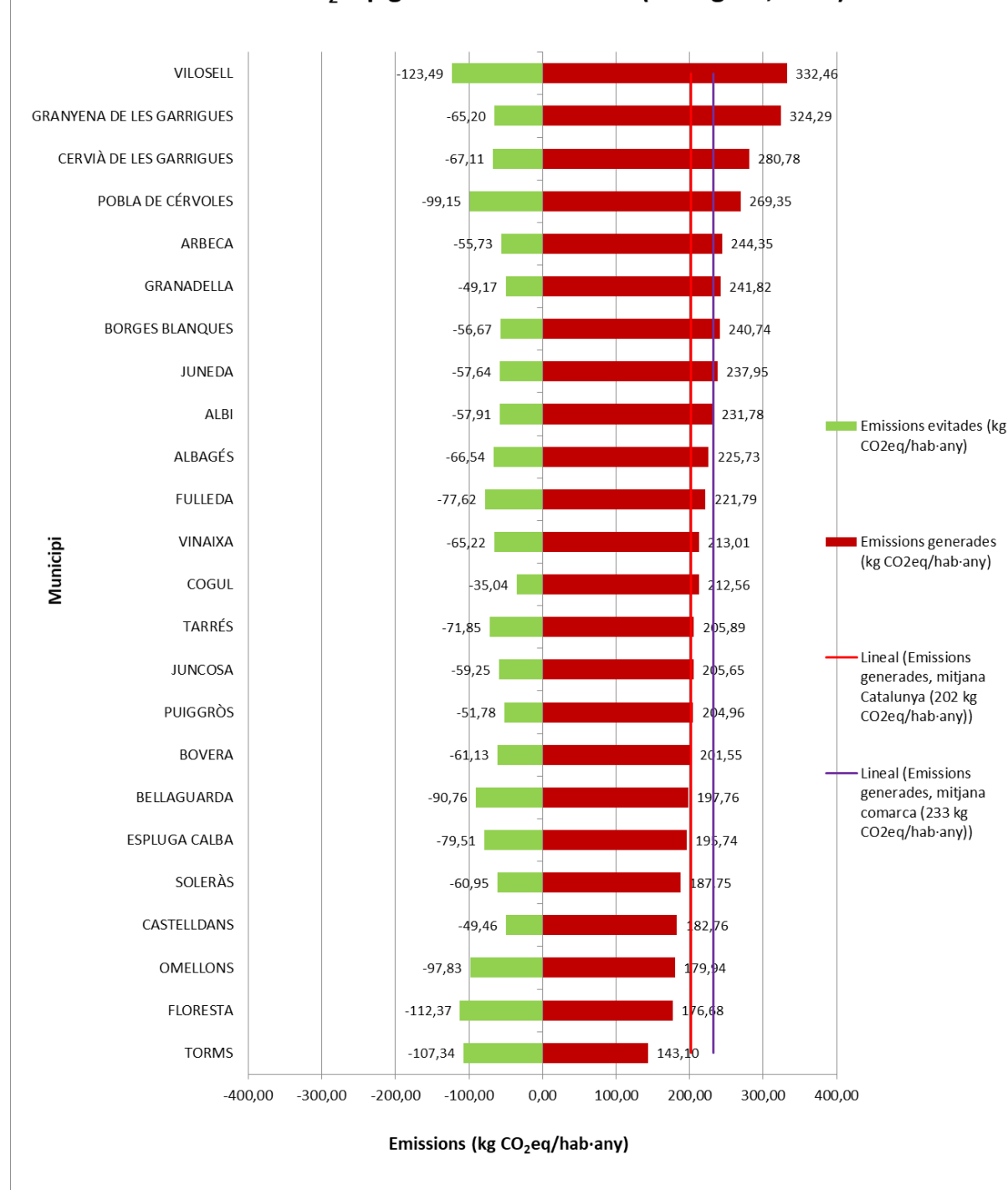


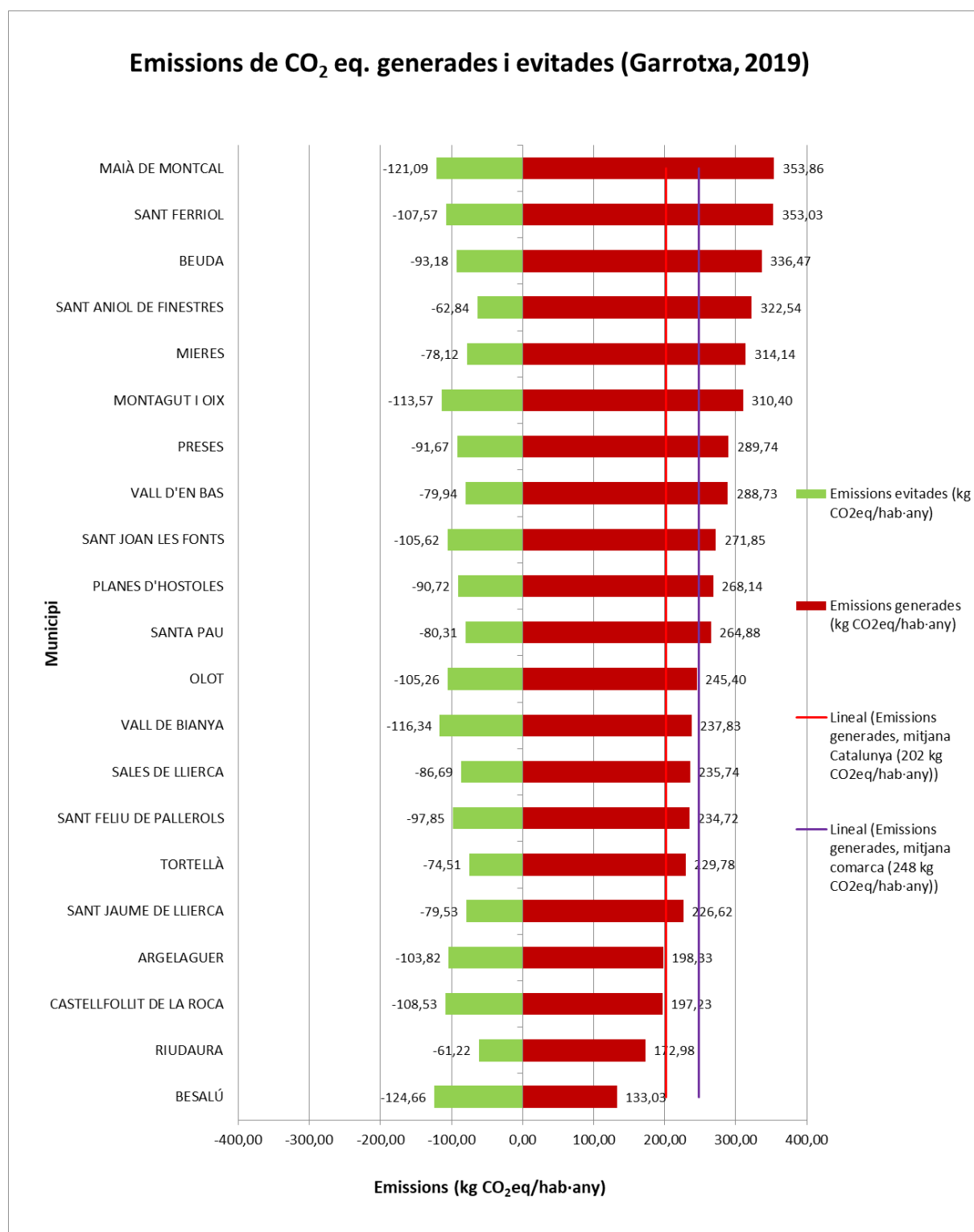
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Berguedà, 2019)

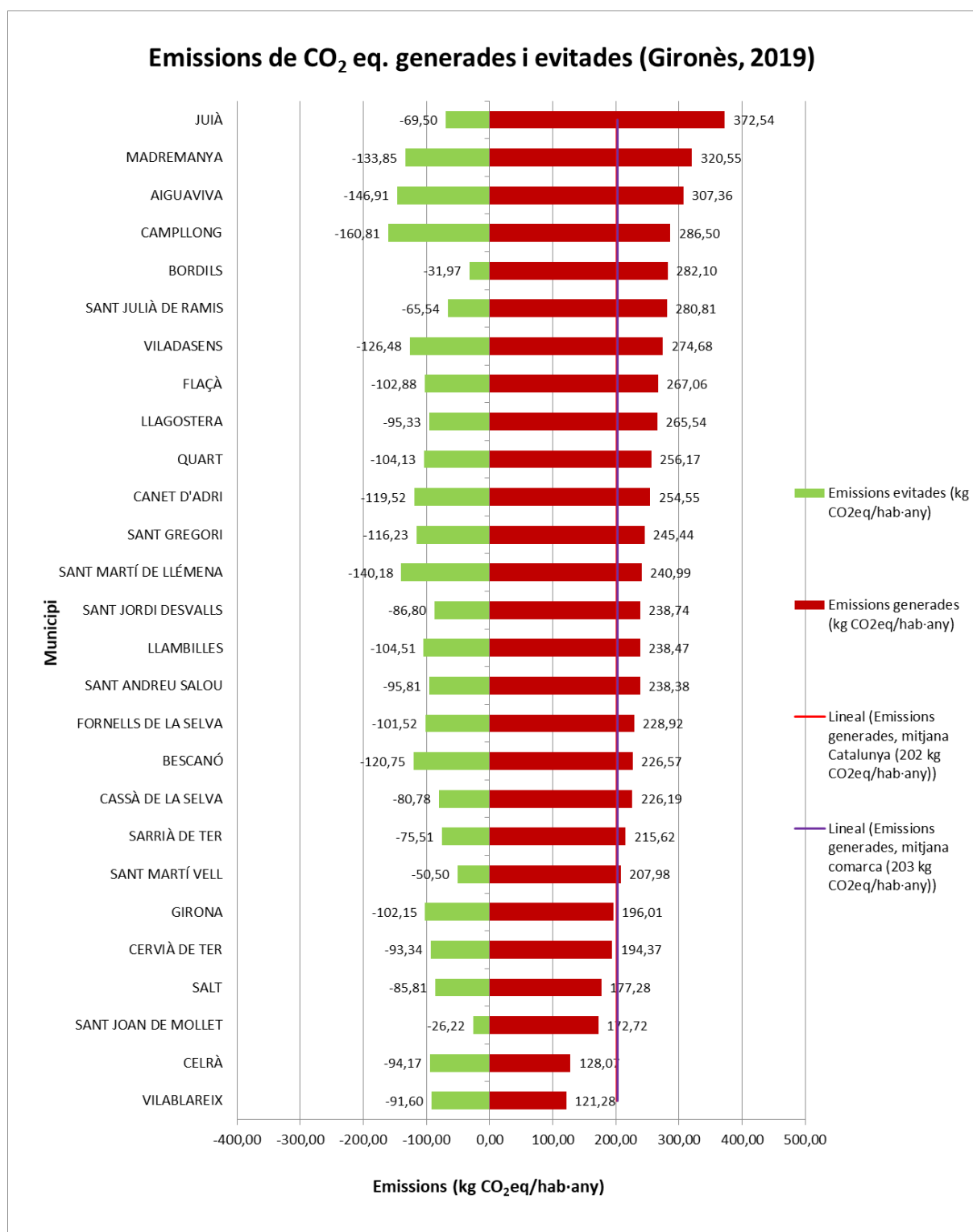


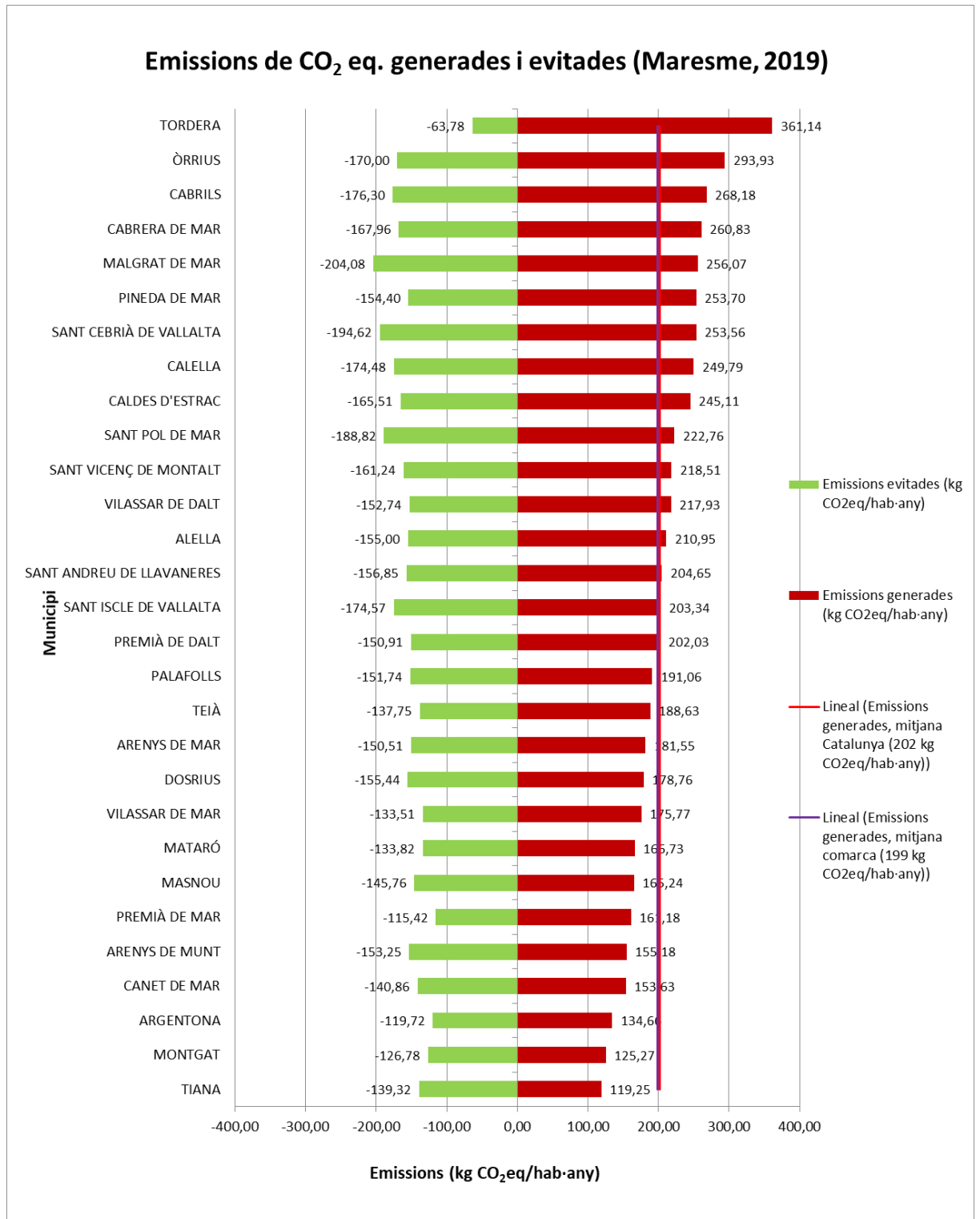


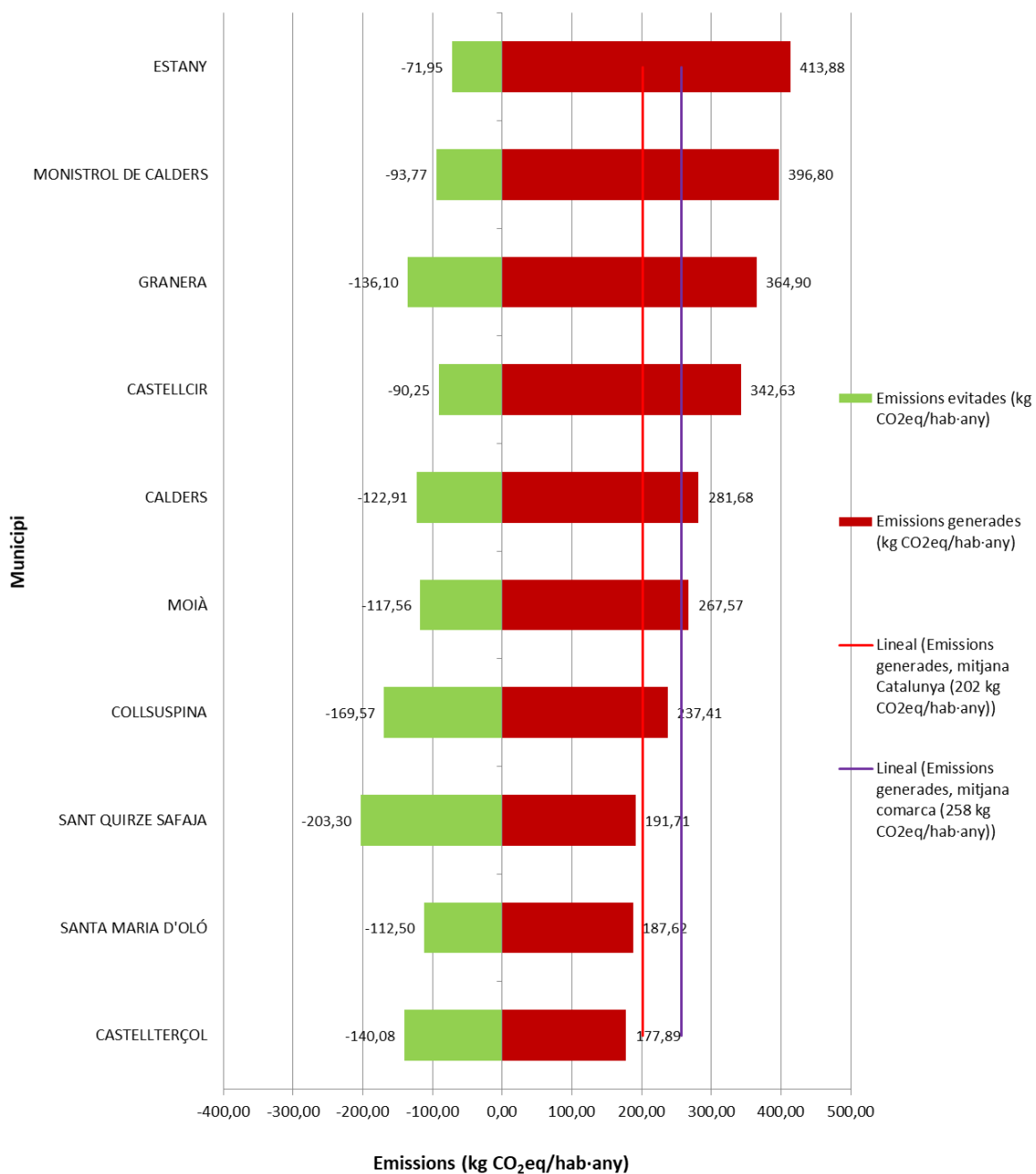


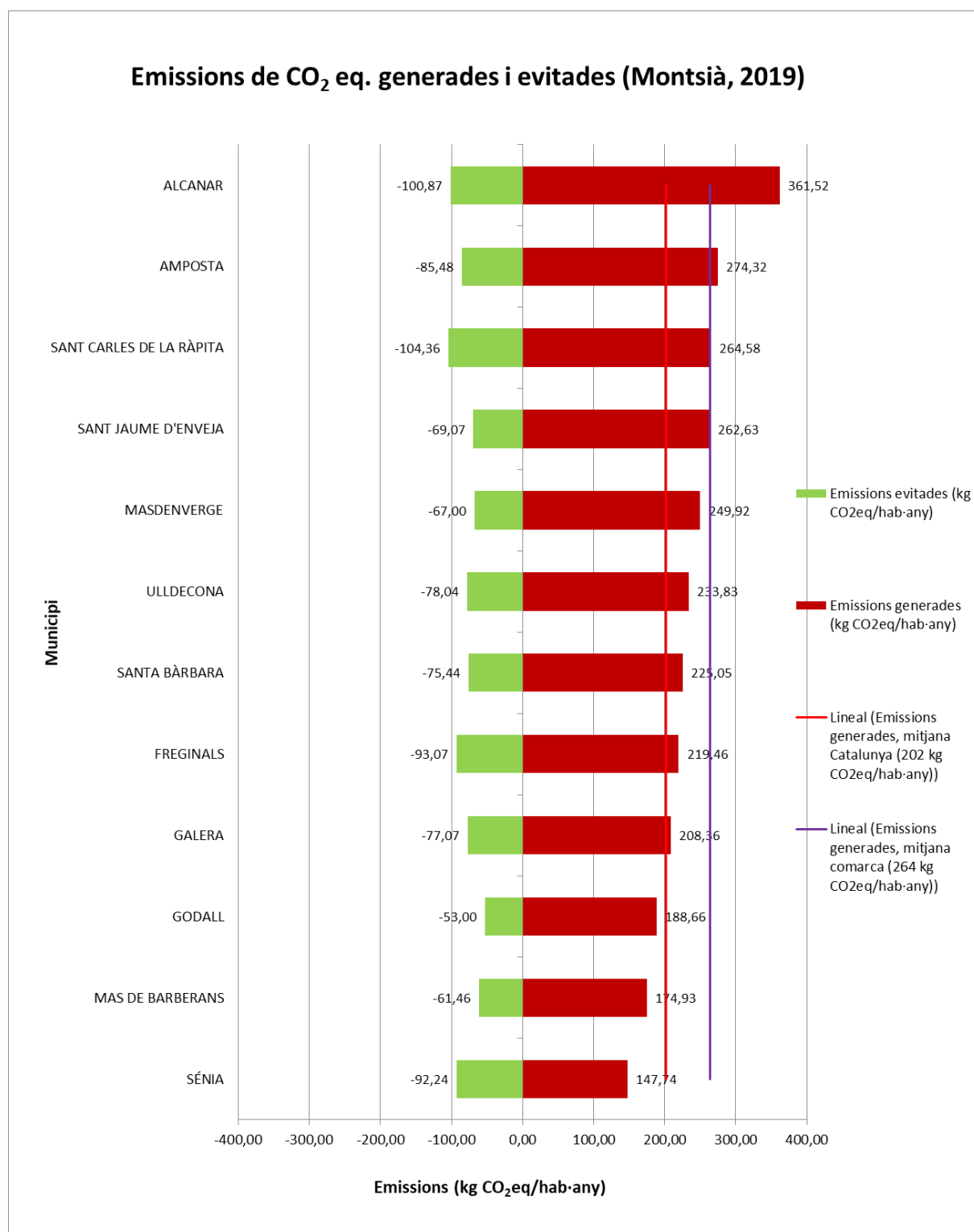
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garrigues, 2019)

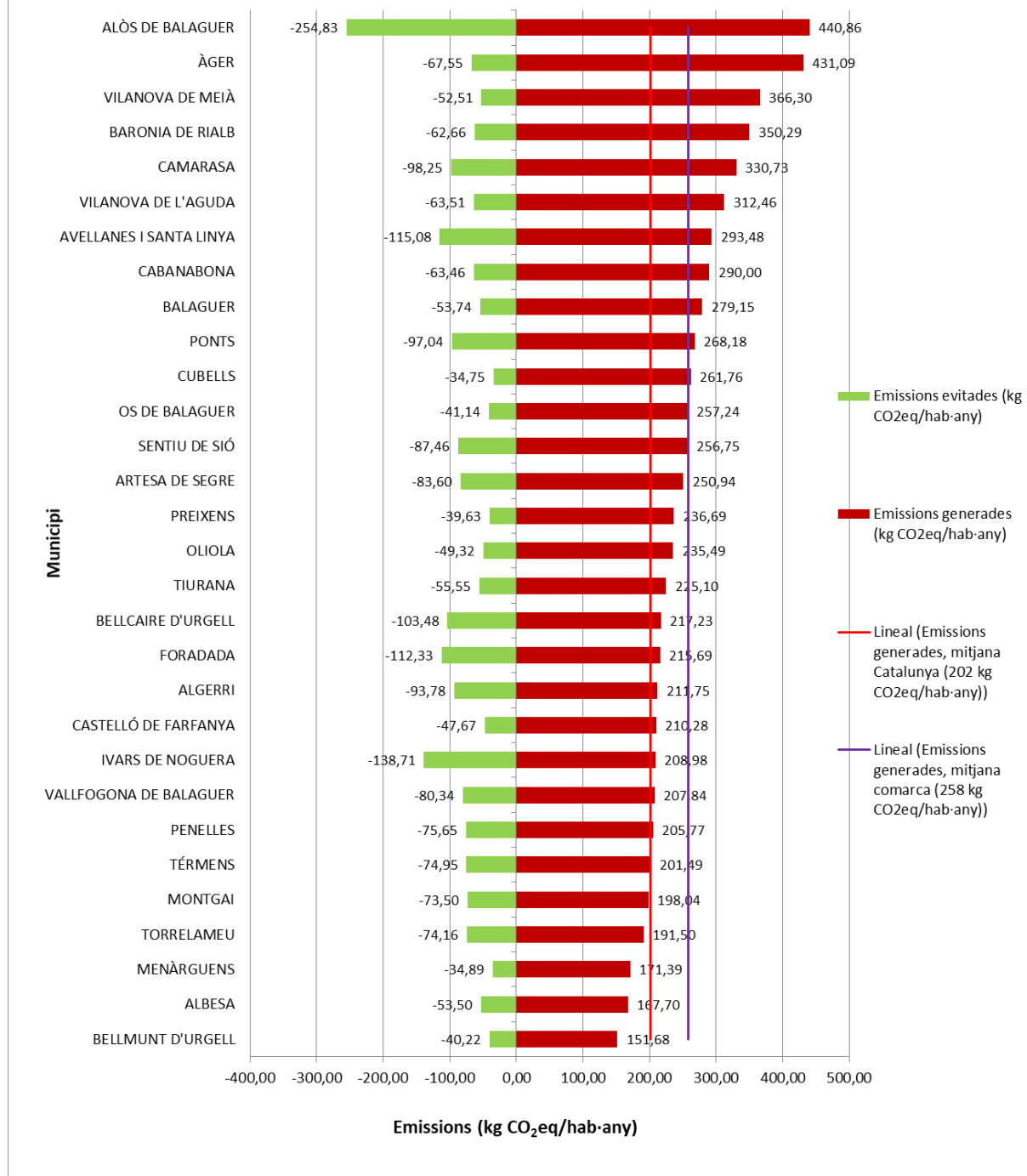


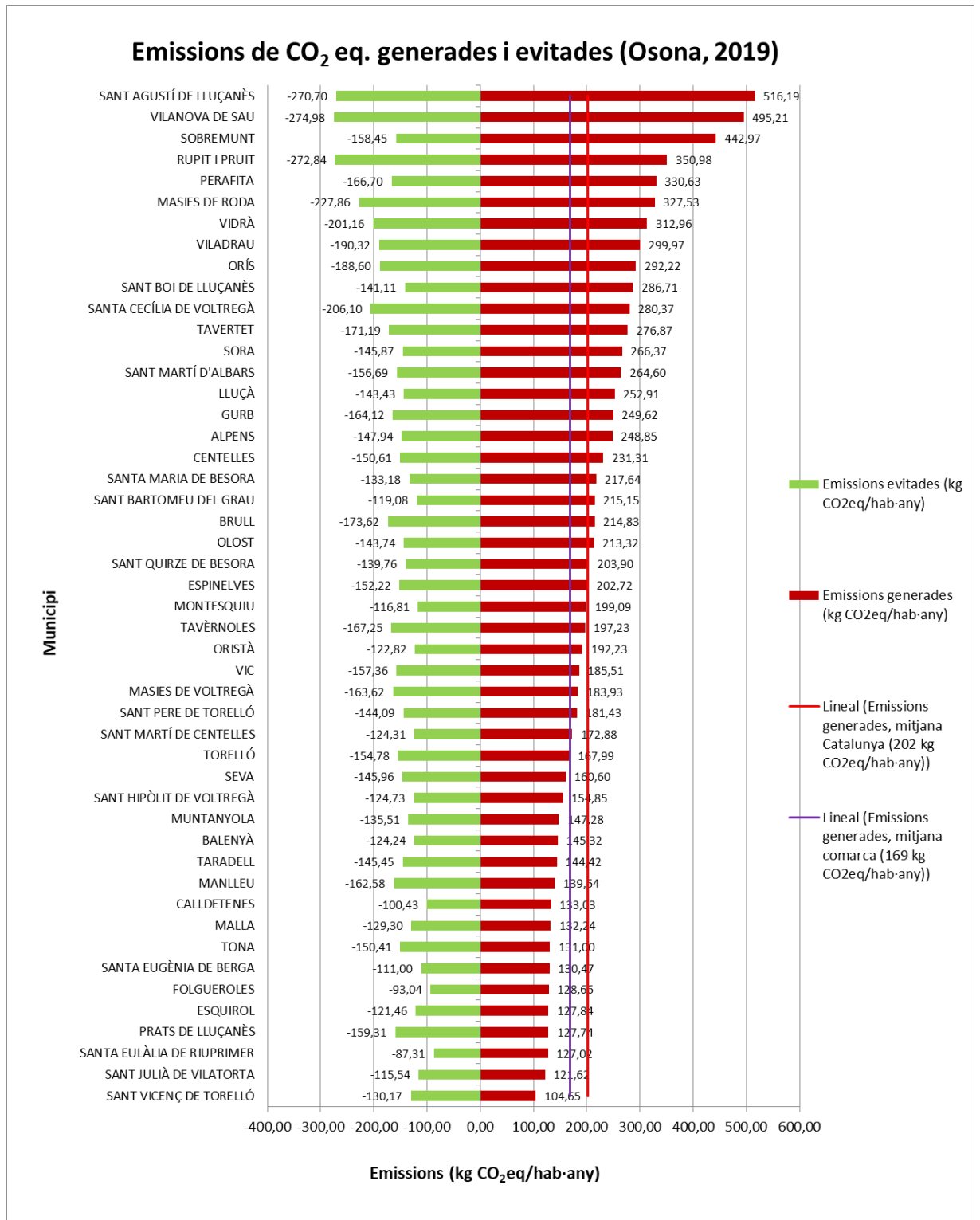


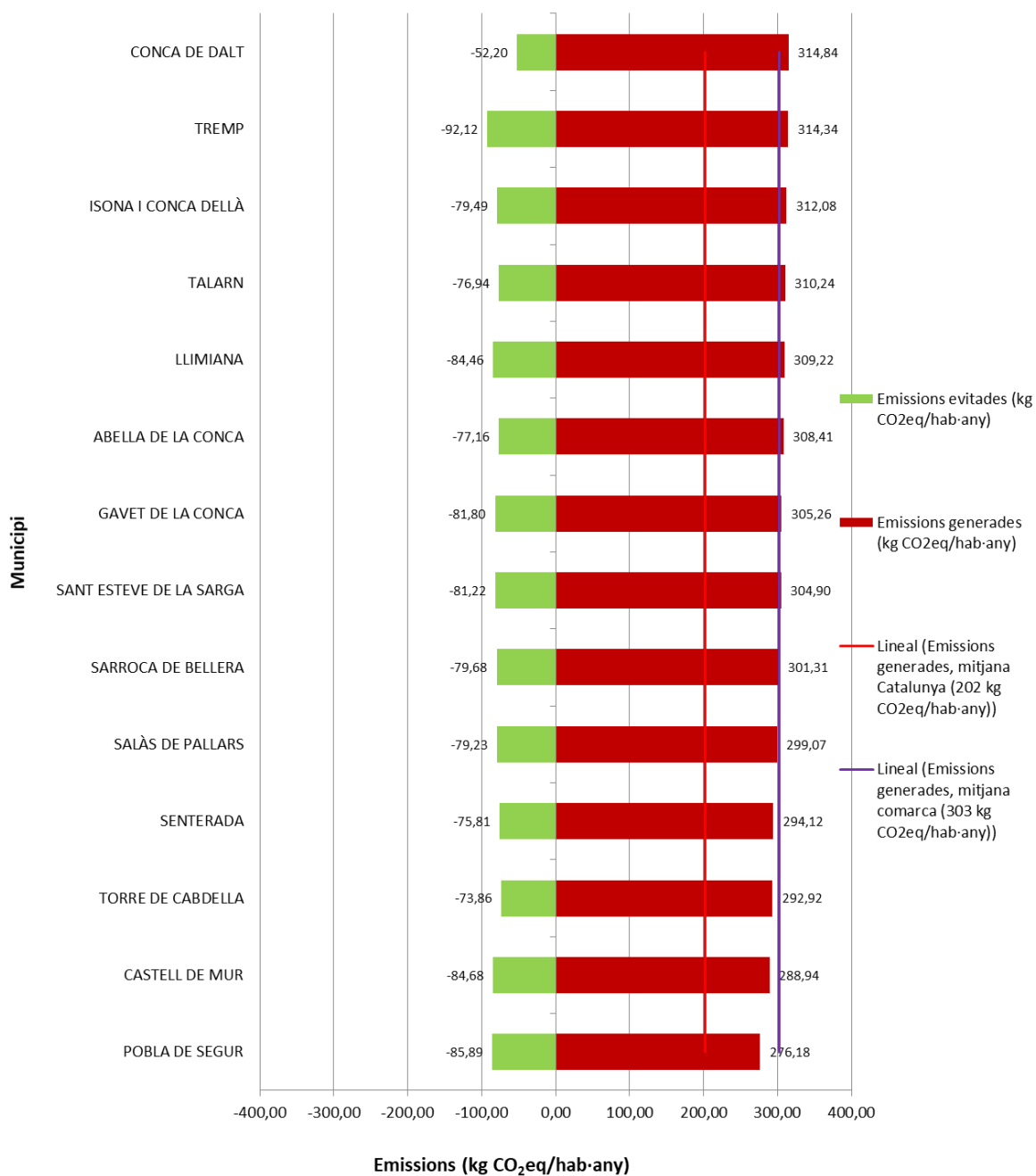


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Moianès, 2019)

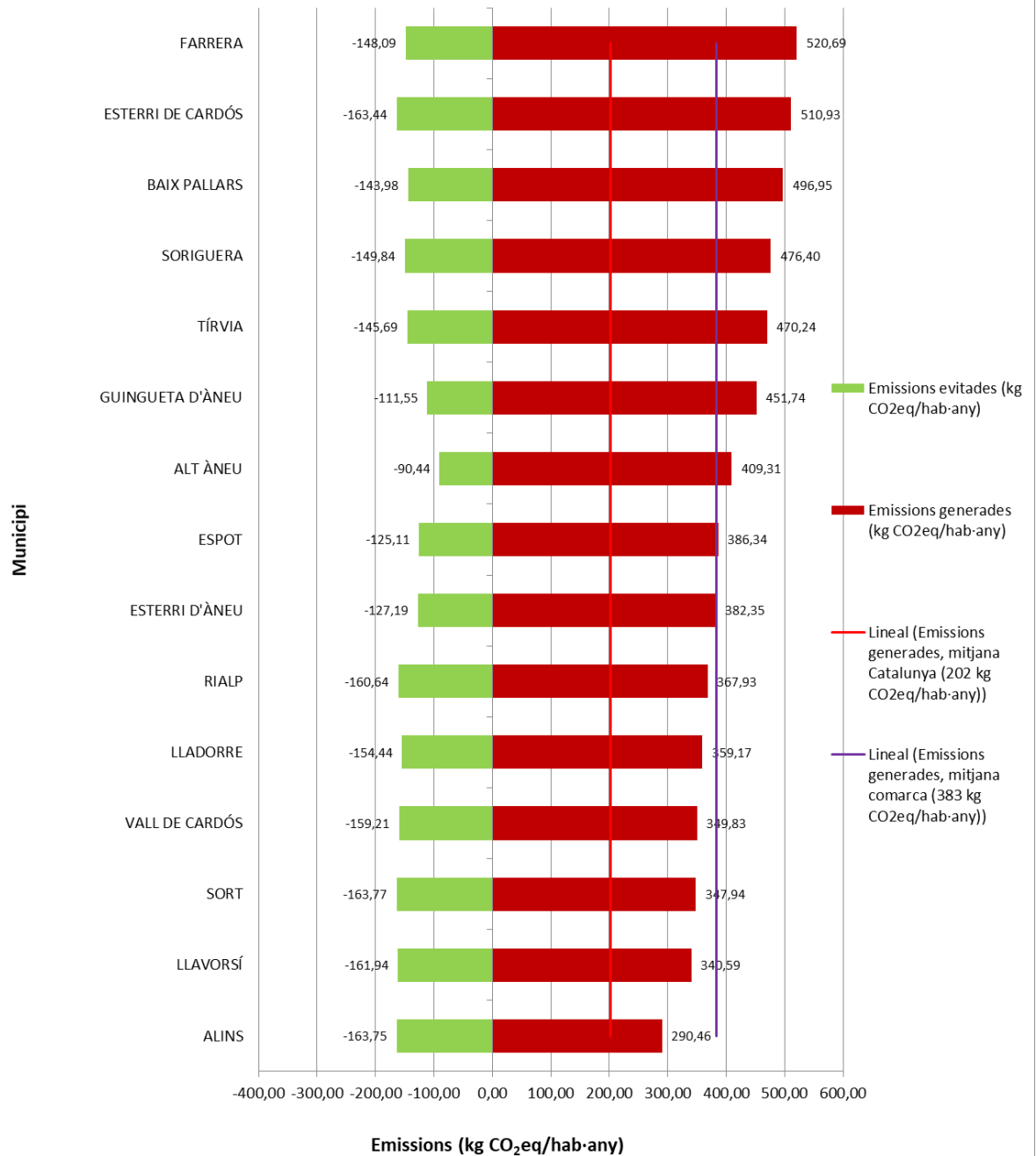


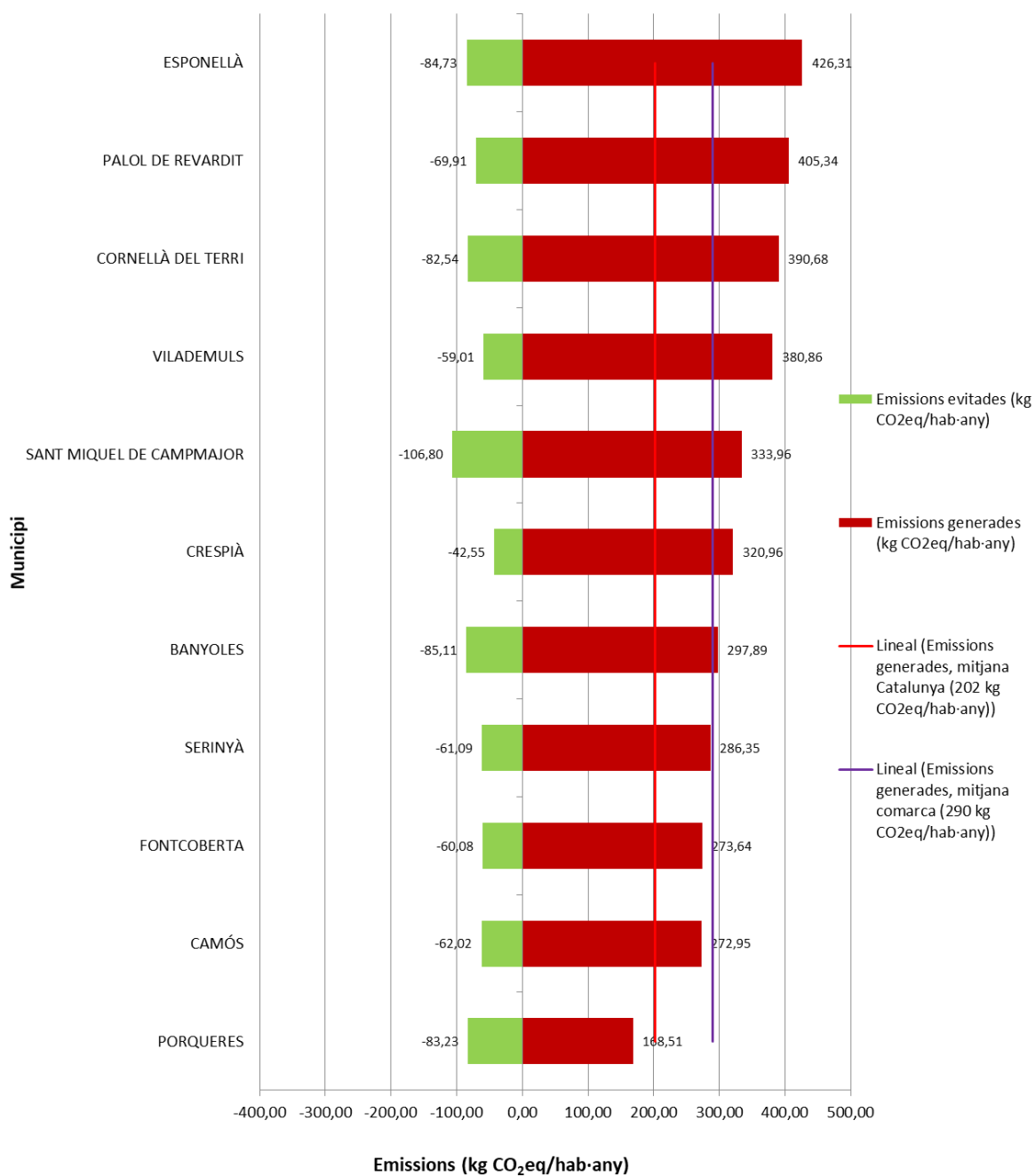
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Noguera, 2019)



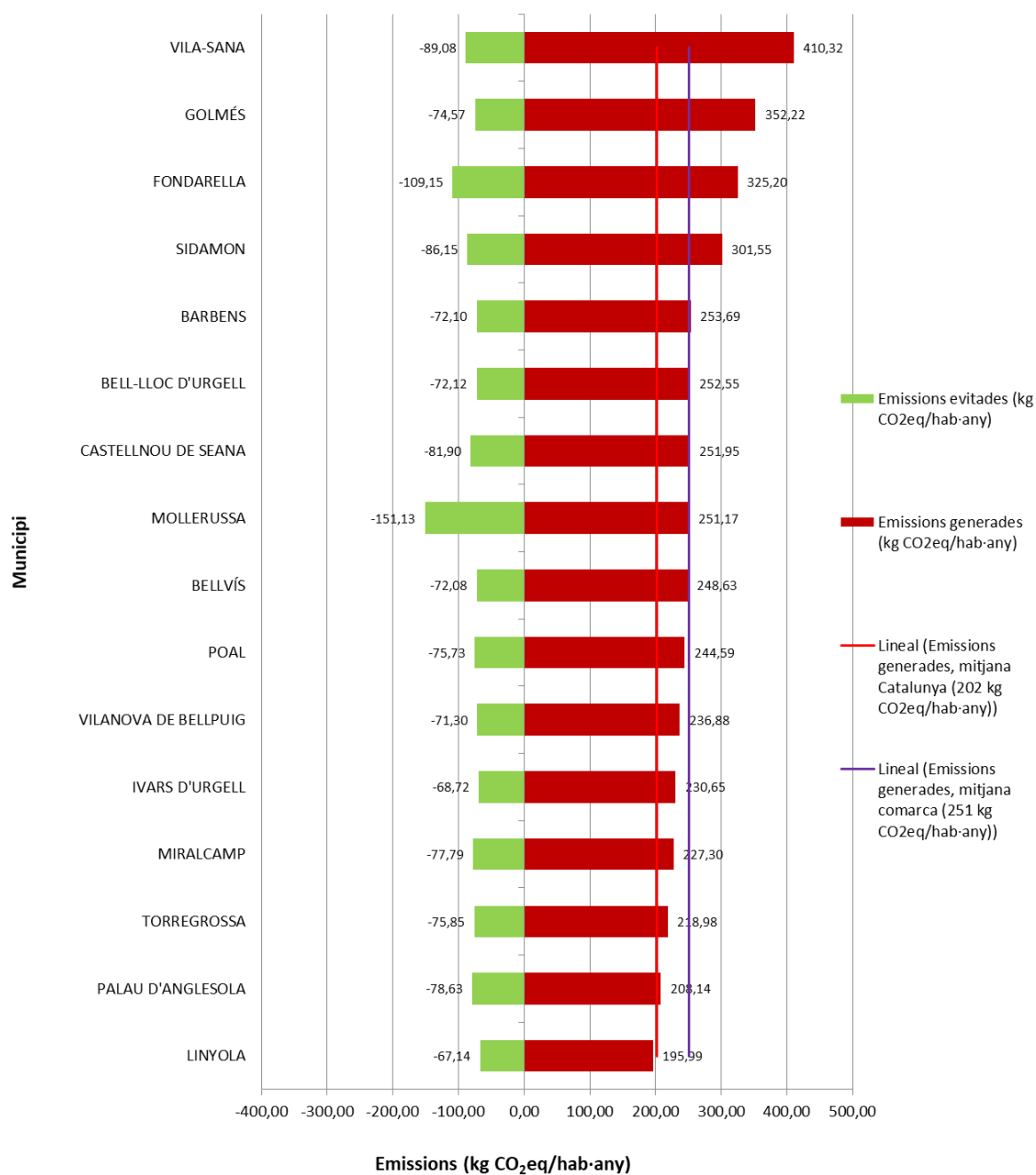
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Jussà, 2019)

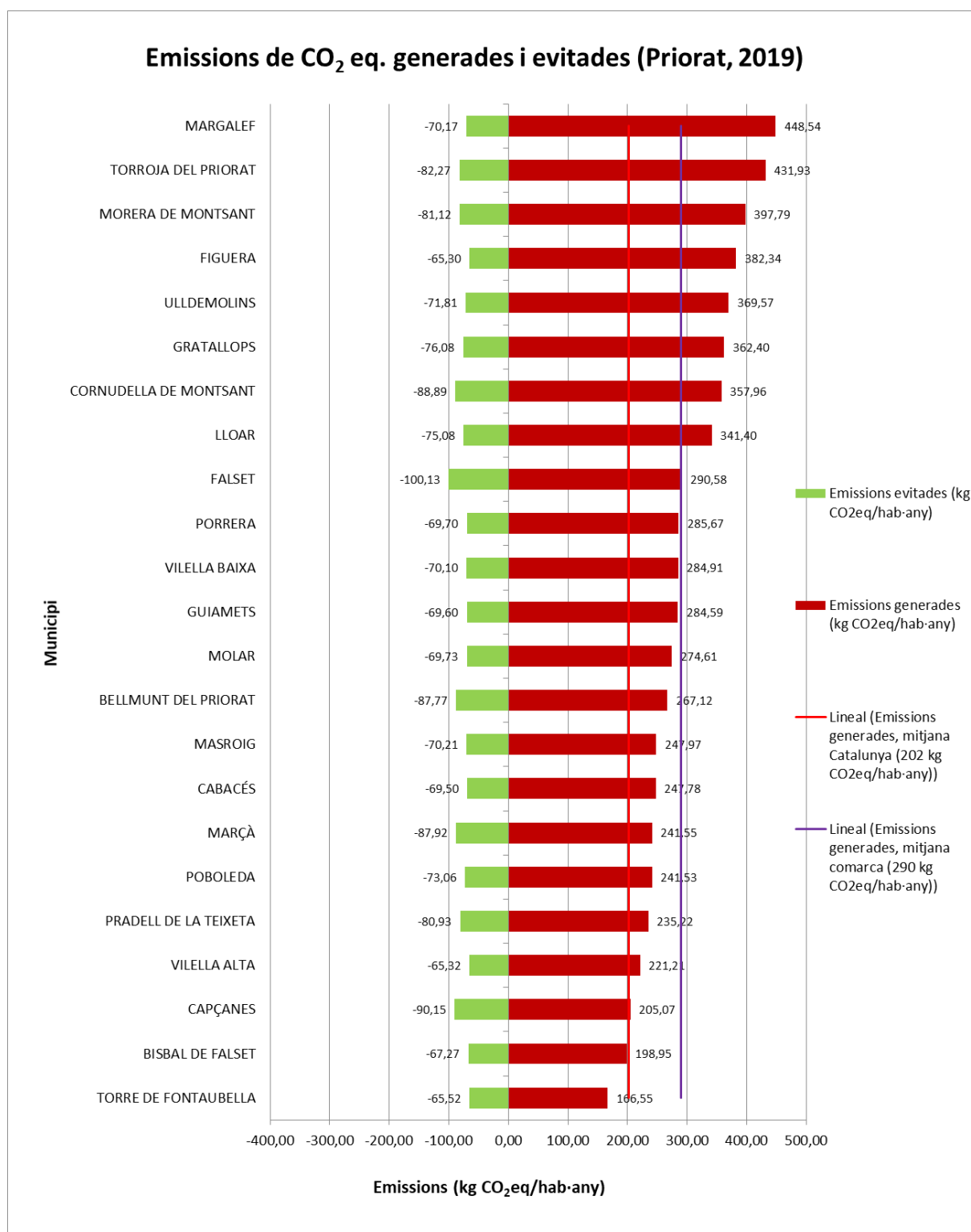
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Sobirà, 2019)



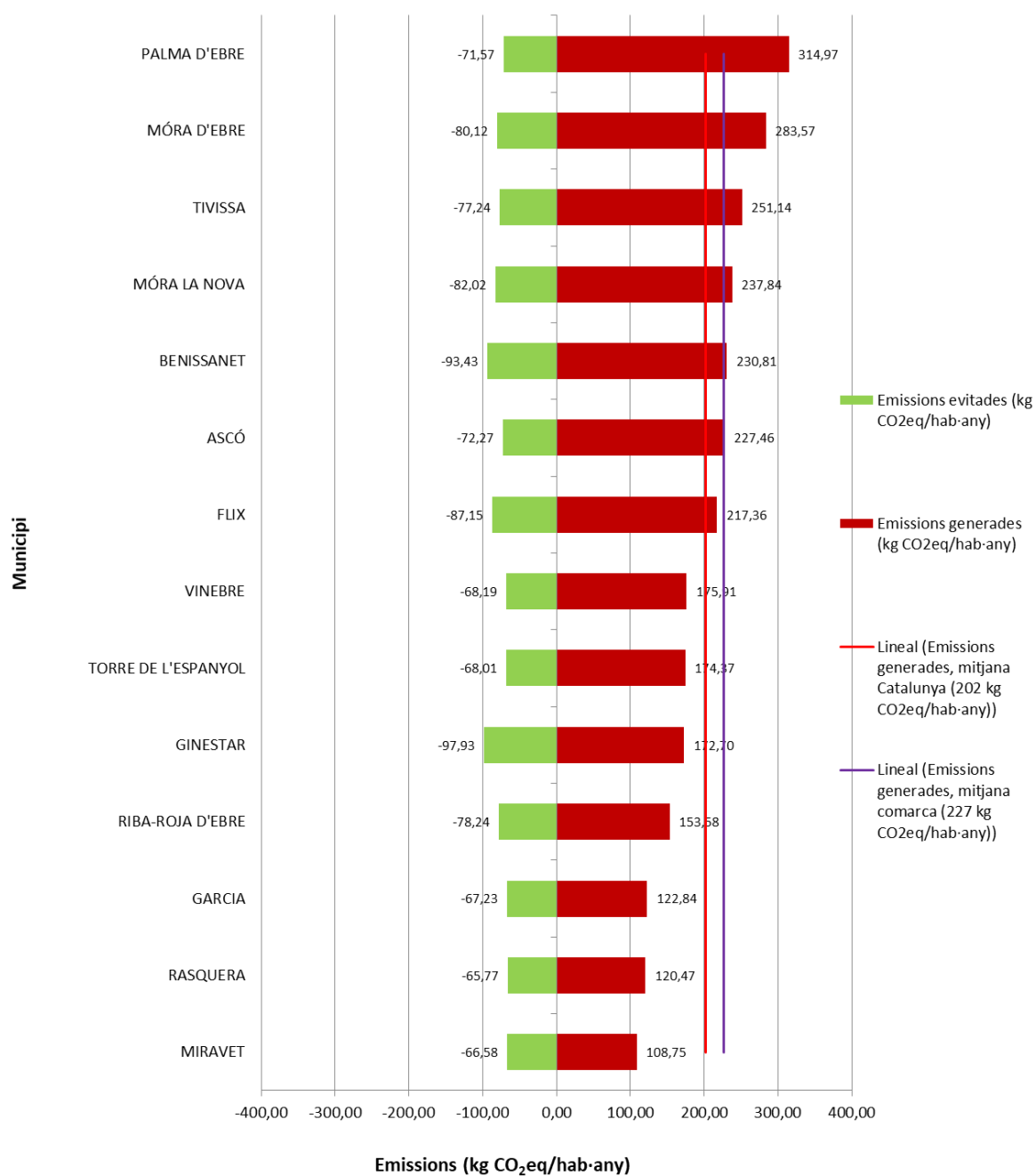
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla de l'Estany, 2019)

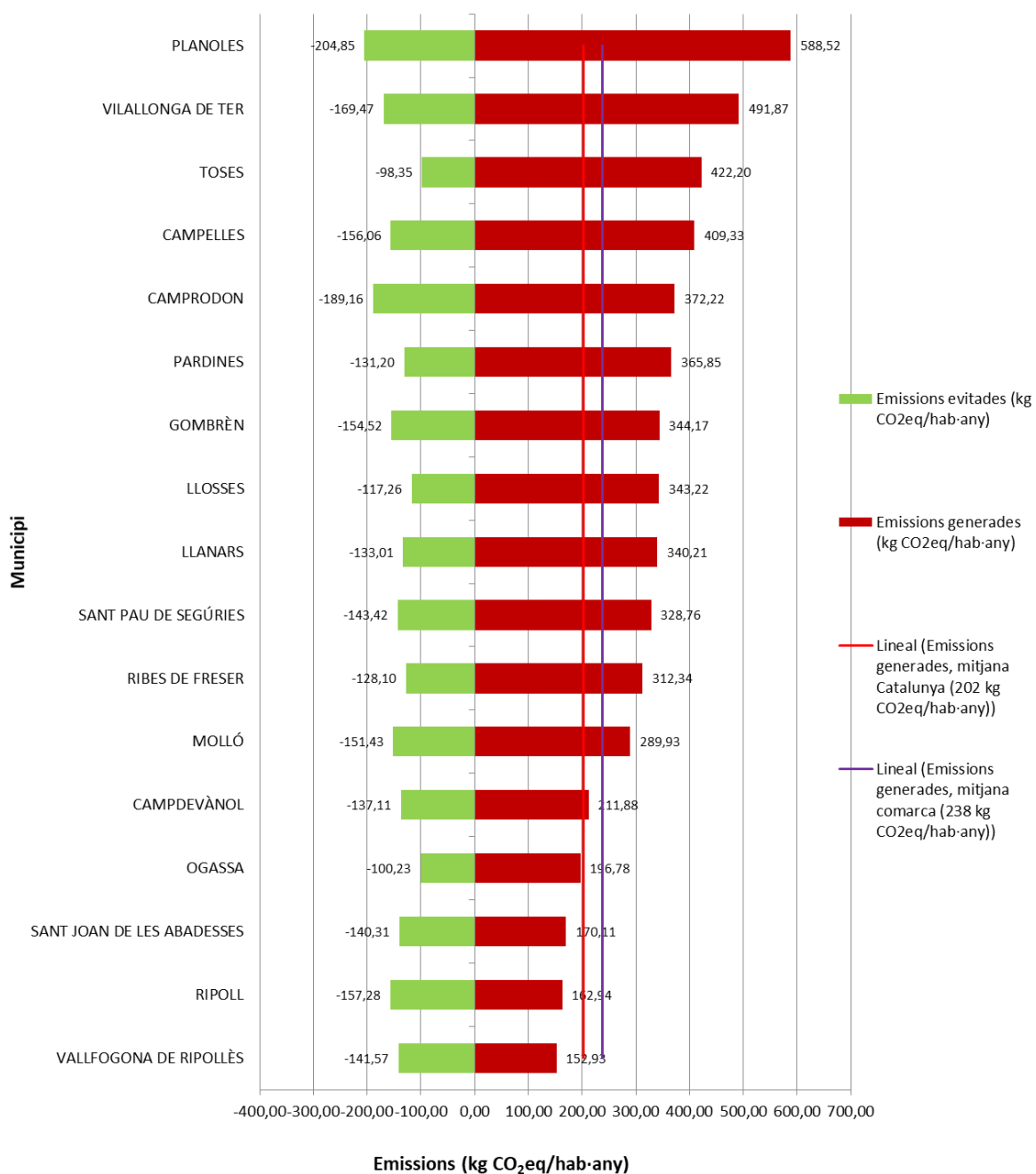
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla d'Urgell, 2019)

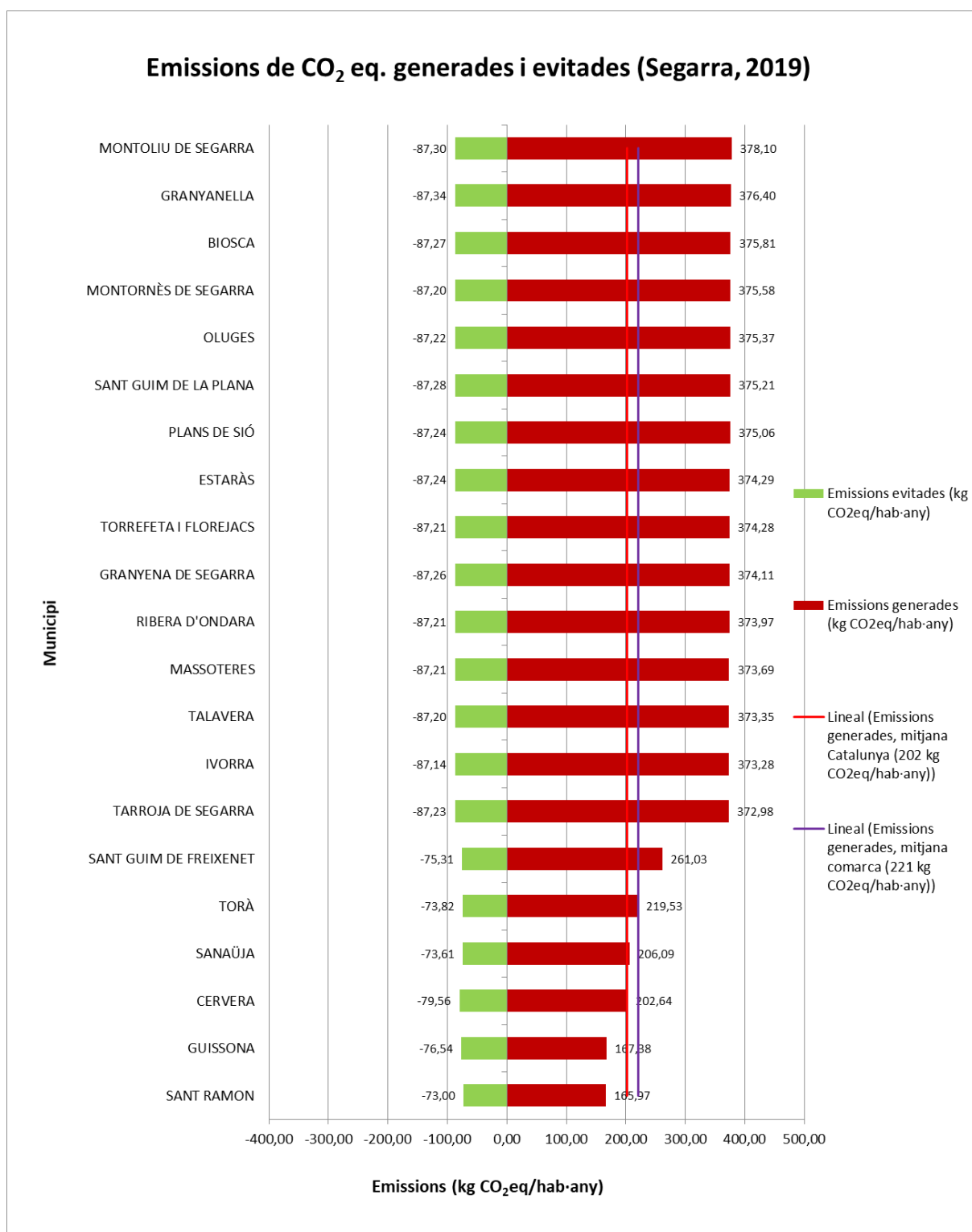


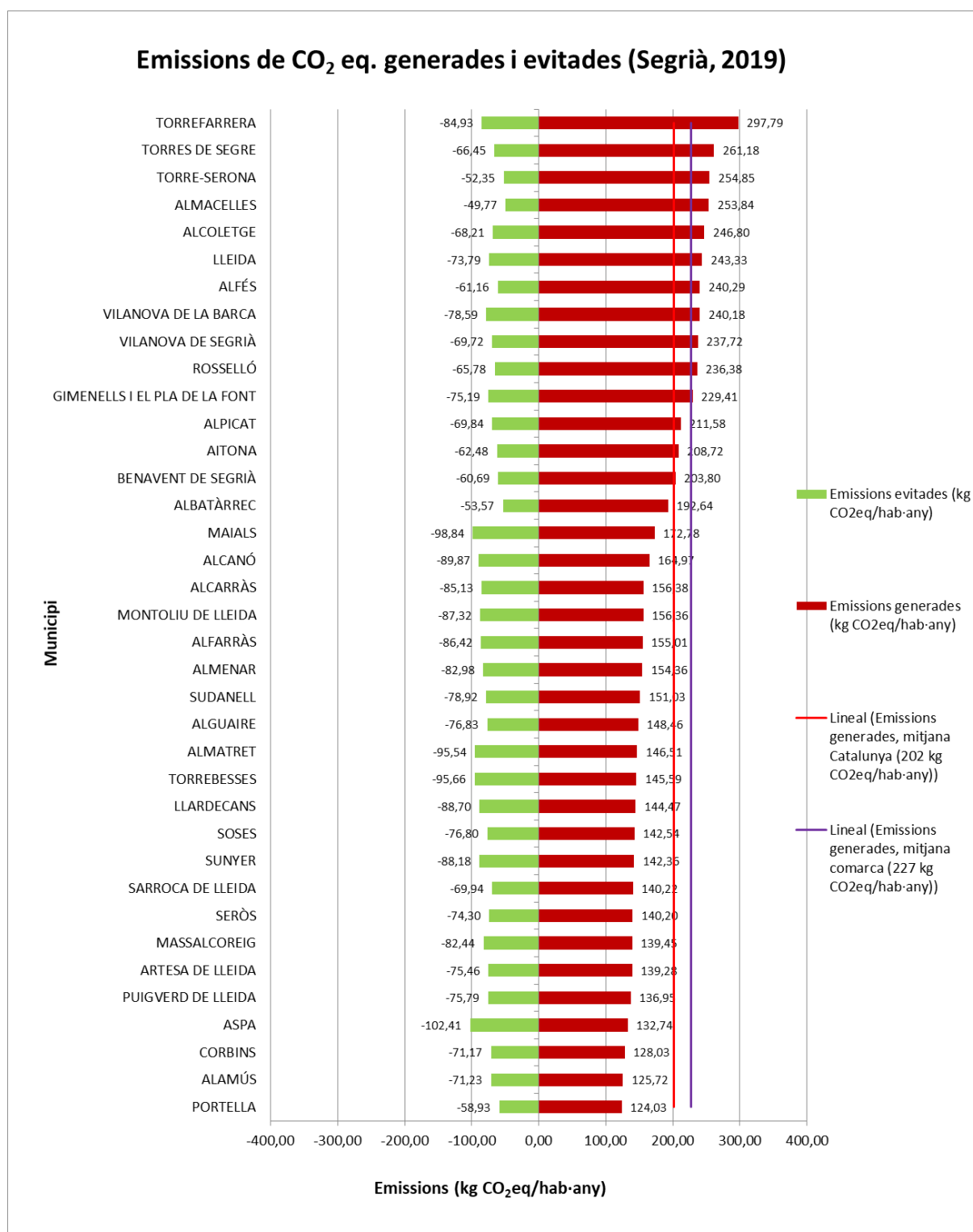


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ribera d'Ebre, 2019)

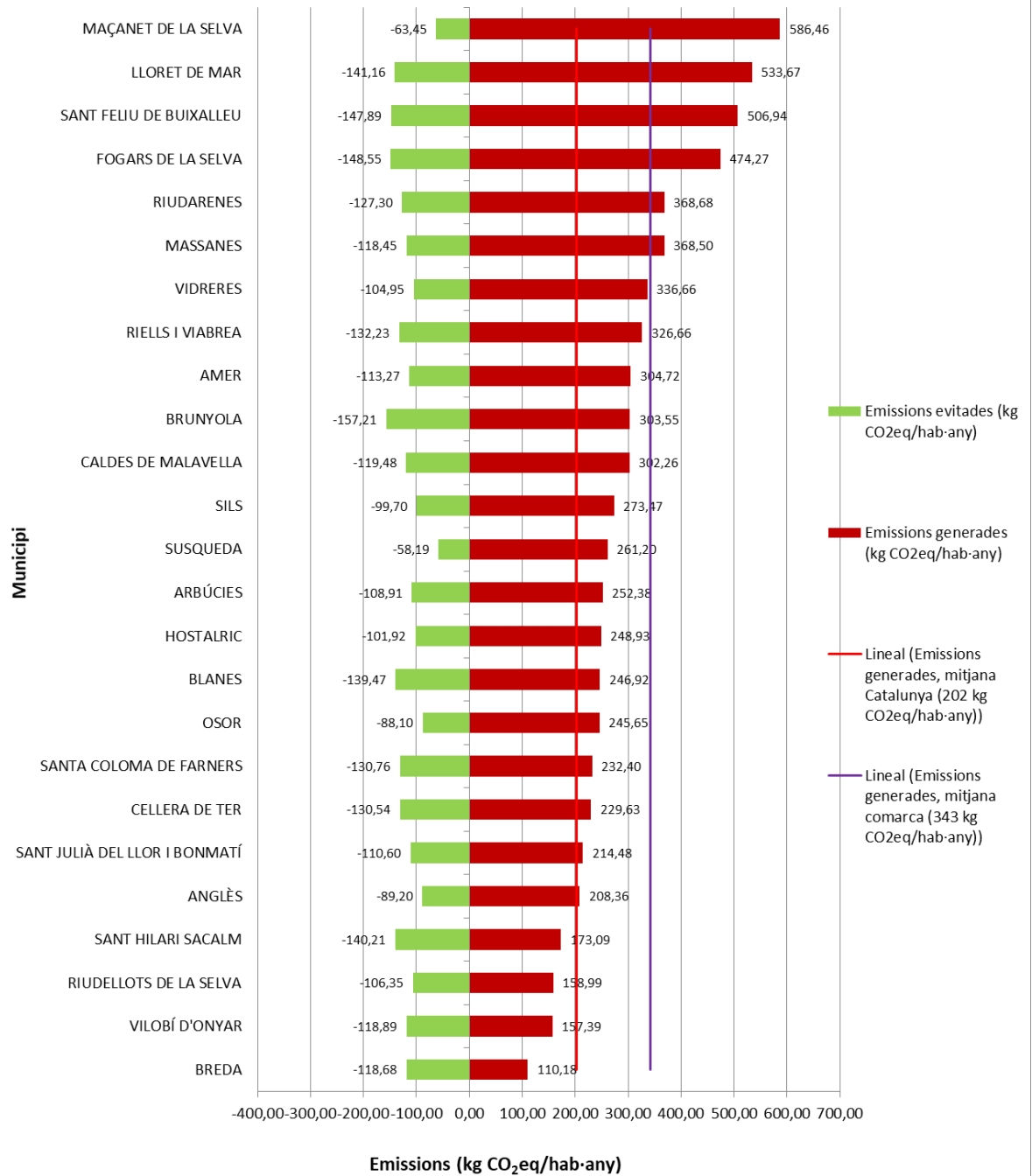


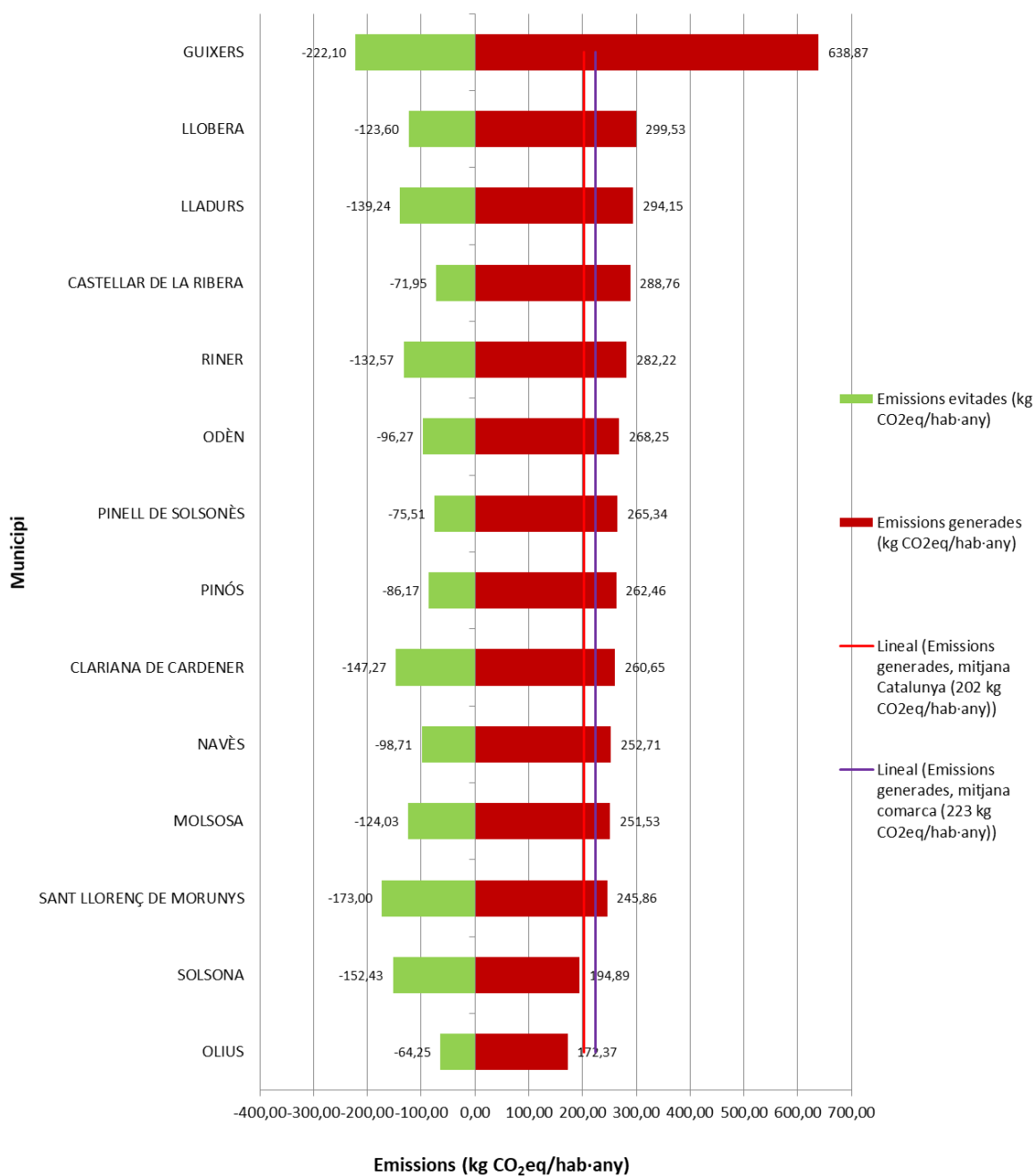
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ripollès, 2019)



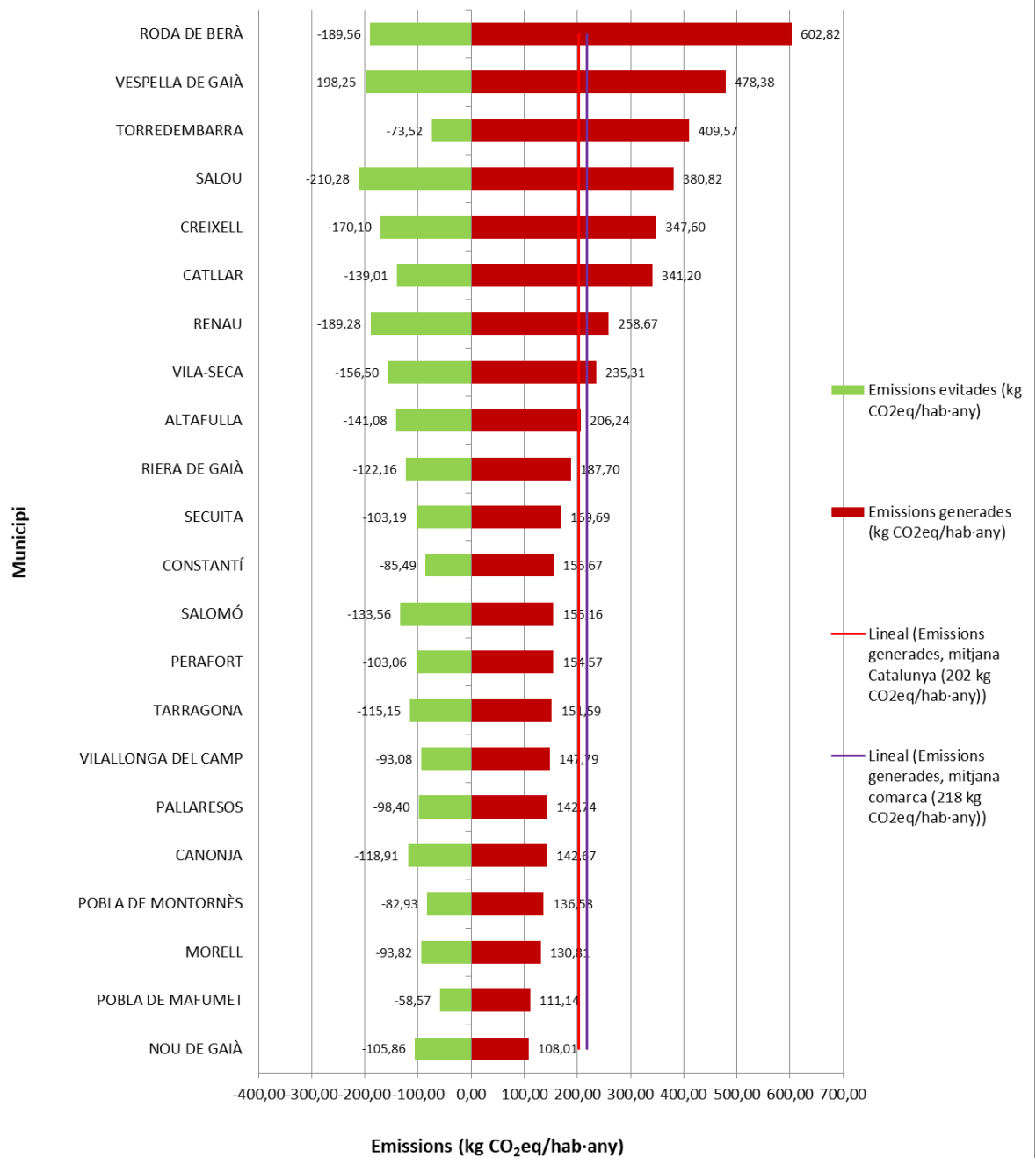


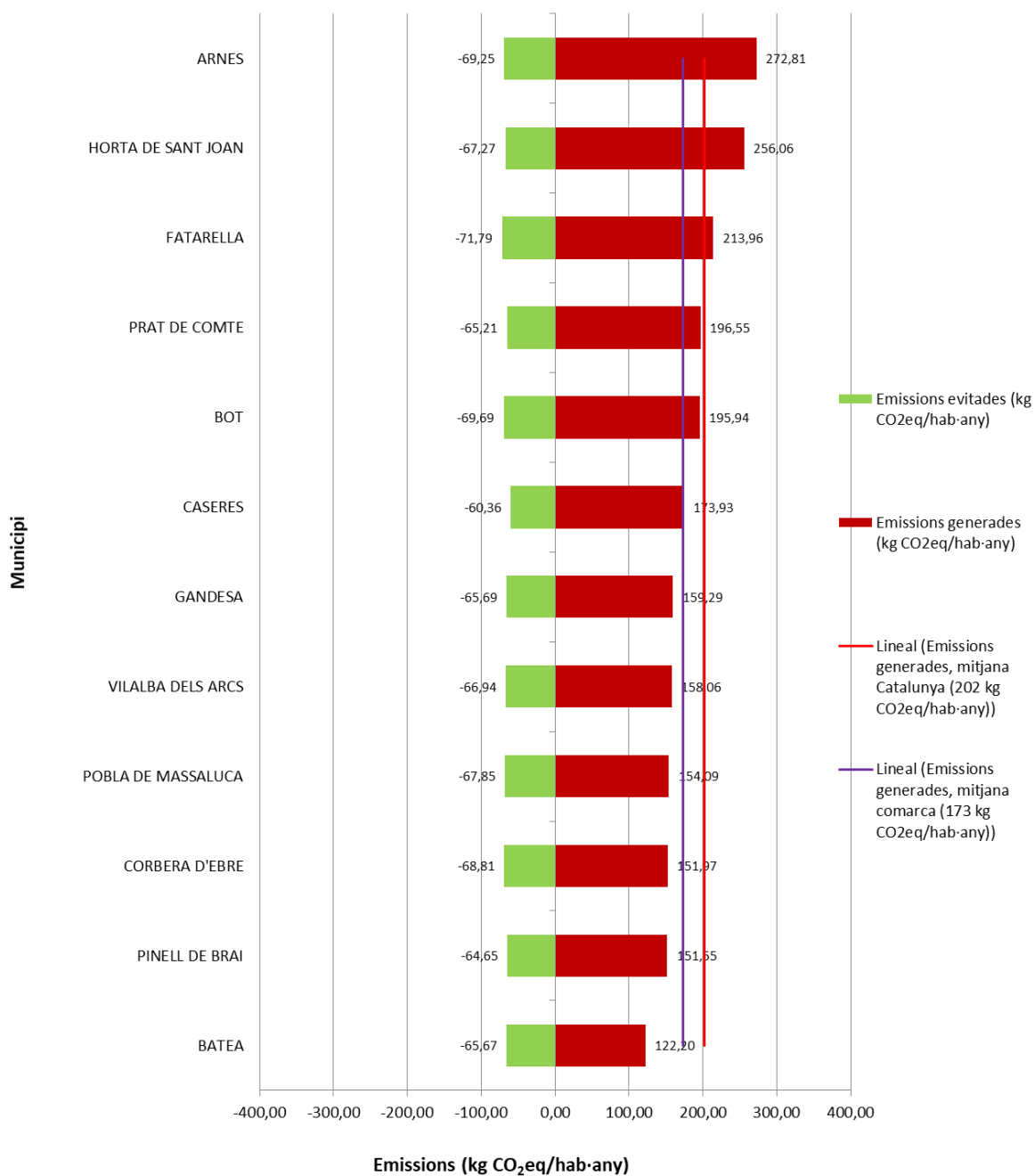
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Selva, 2019)



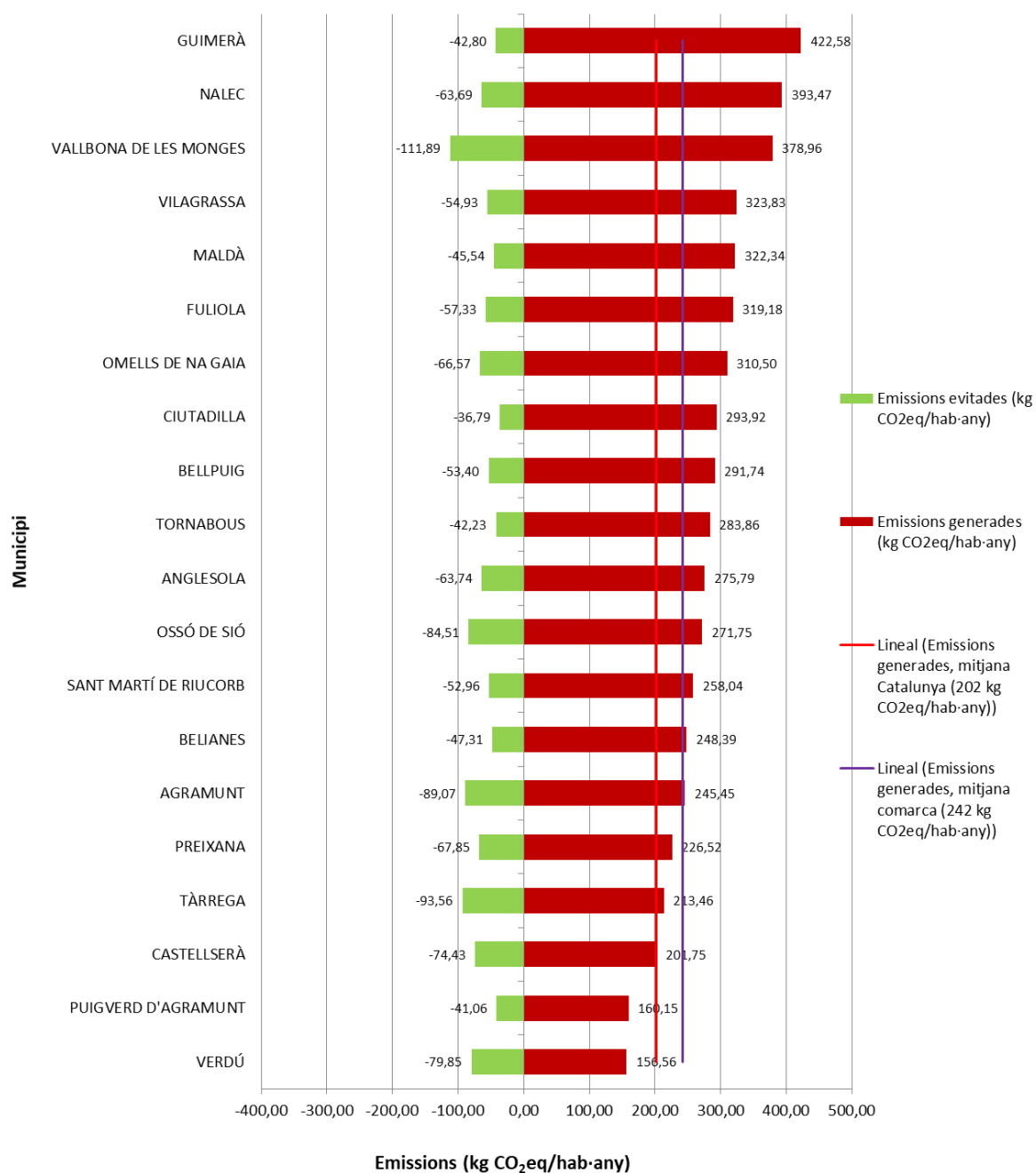
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Solsonès, 2019)

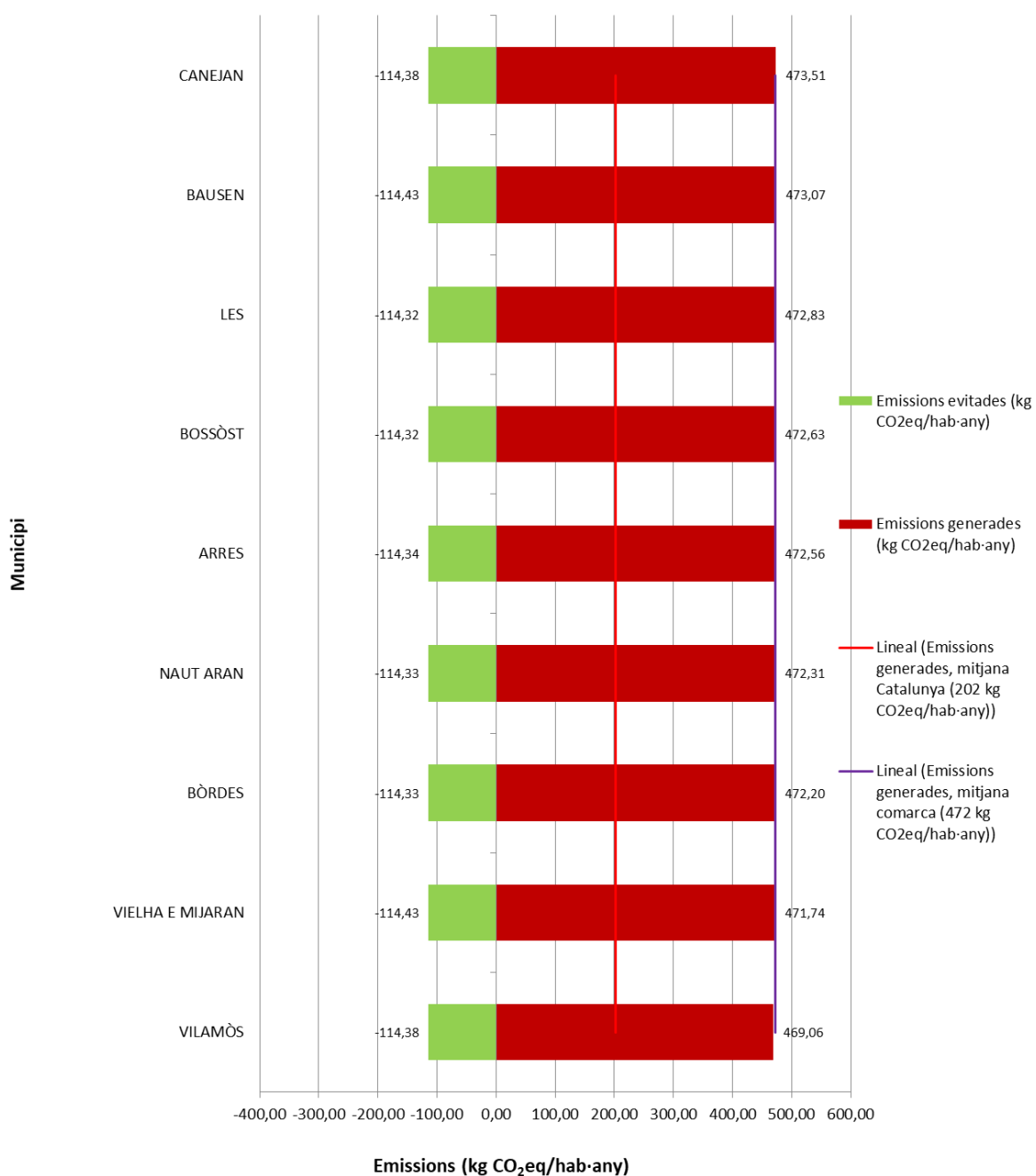
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Tarragonès, 2019)

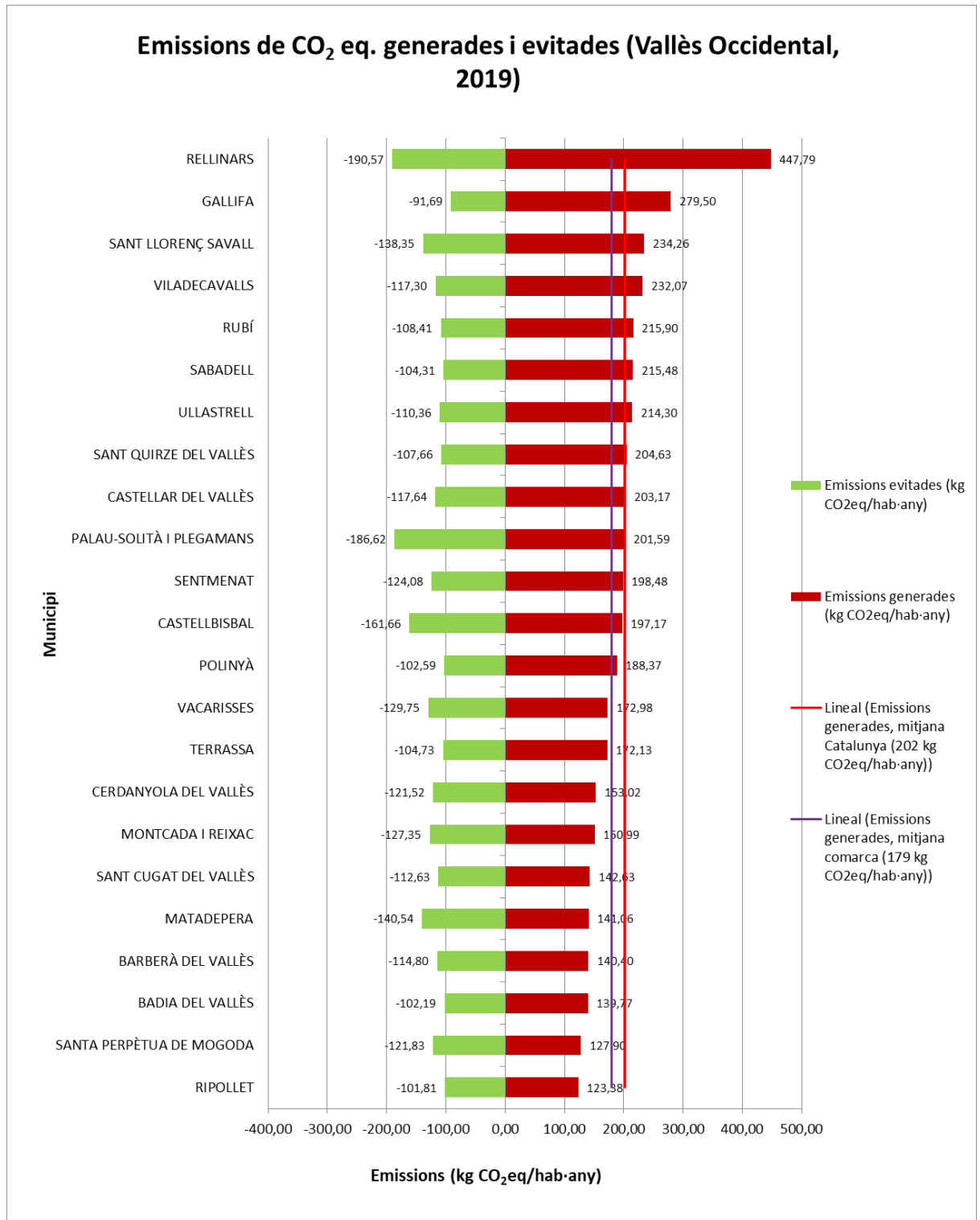


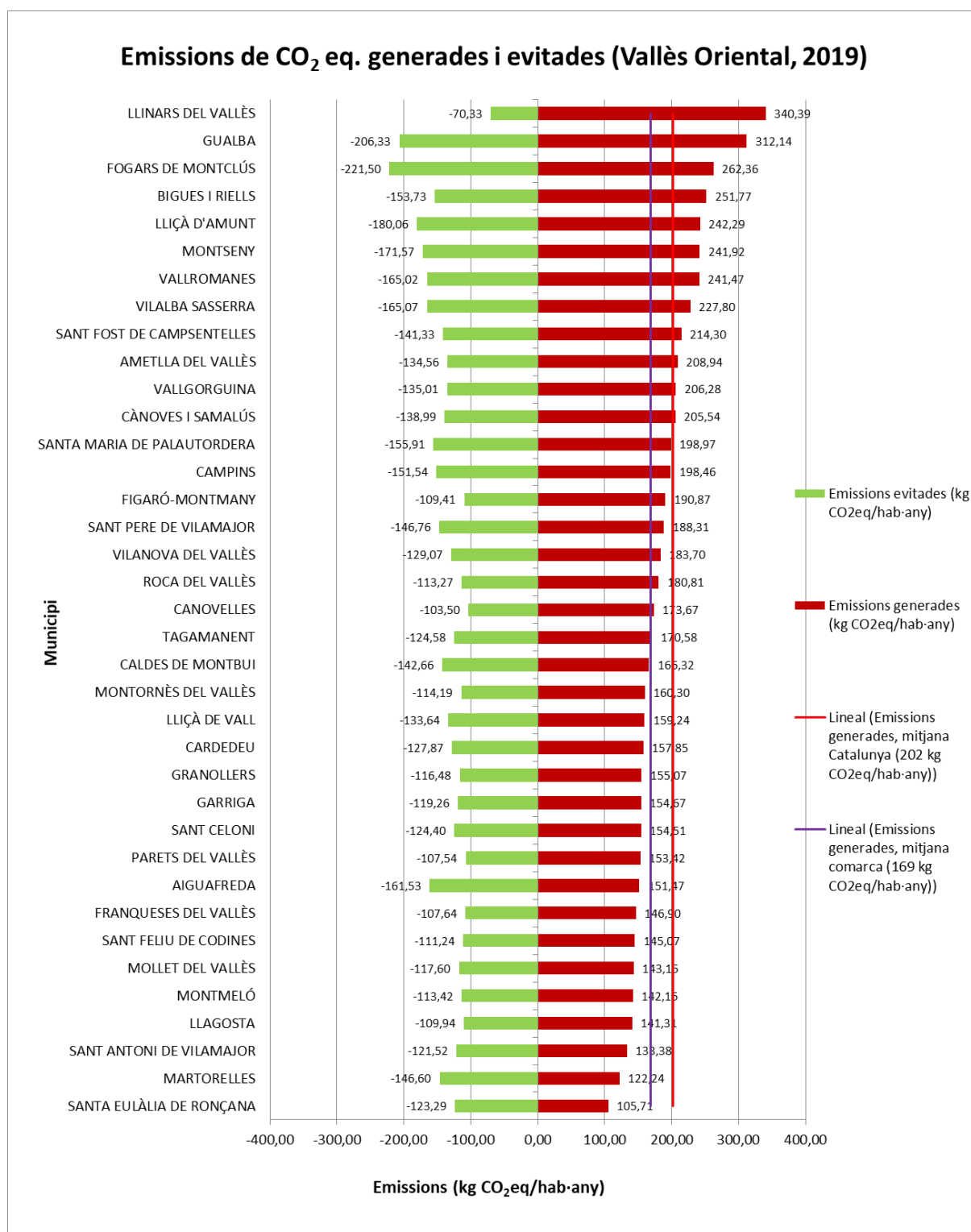
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Terra Alta, 2019)

Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Urgell, 2019)



Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Val d'Aran, 2019)





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 2019 (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 B1 mostra els resultats de l'anàlisi comparatiu entre els dos grups de municipis.

Taula B1. Comparativa entre els municipis amb recollida PaP i la resta de municipis catalans (2019)

Variable	Municipis PaP	Municipis sense PaP
Població acumulada (habitants)	500.835	7.174.382
Mostra (nombre de municipis)	201	746
Generació /habitant (kg/hab·dia) (Sense 'no territorialitzables')	1,30	1,38
Recollida selectiva (%)	70	40
Emissió generada de GEH (kg CO ₂ eq/hab·any)	191	222
Emissió evitada de GEH (kg CO ₂ eq/hab·any)	-120	-111
Petjada de carboni (kg CO ₂ eq/hab·any)	70	110

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 2/3 de la que tenen el municipis sense aquest sistema. La Figura C1a i C1b presenta les emissions generades i evitades dels municipis catalans amb recollida PaP.

Figura B1a. Emissions generades i evitades dels municipis catalans amb recollida PaP (2019)

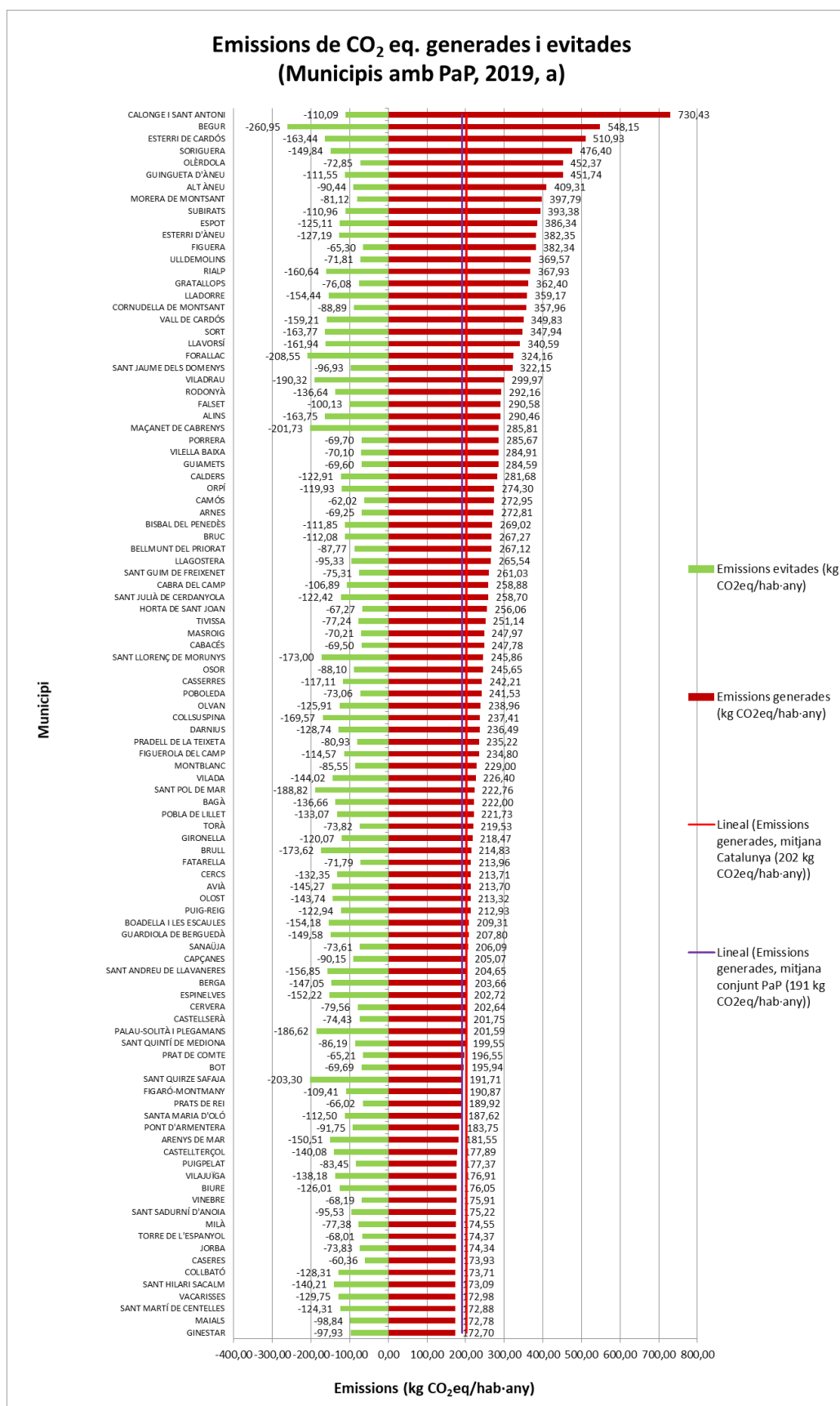
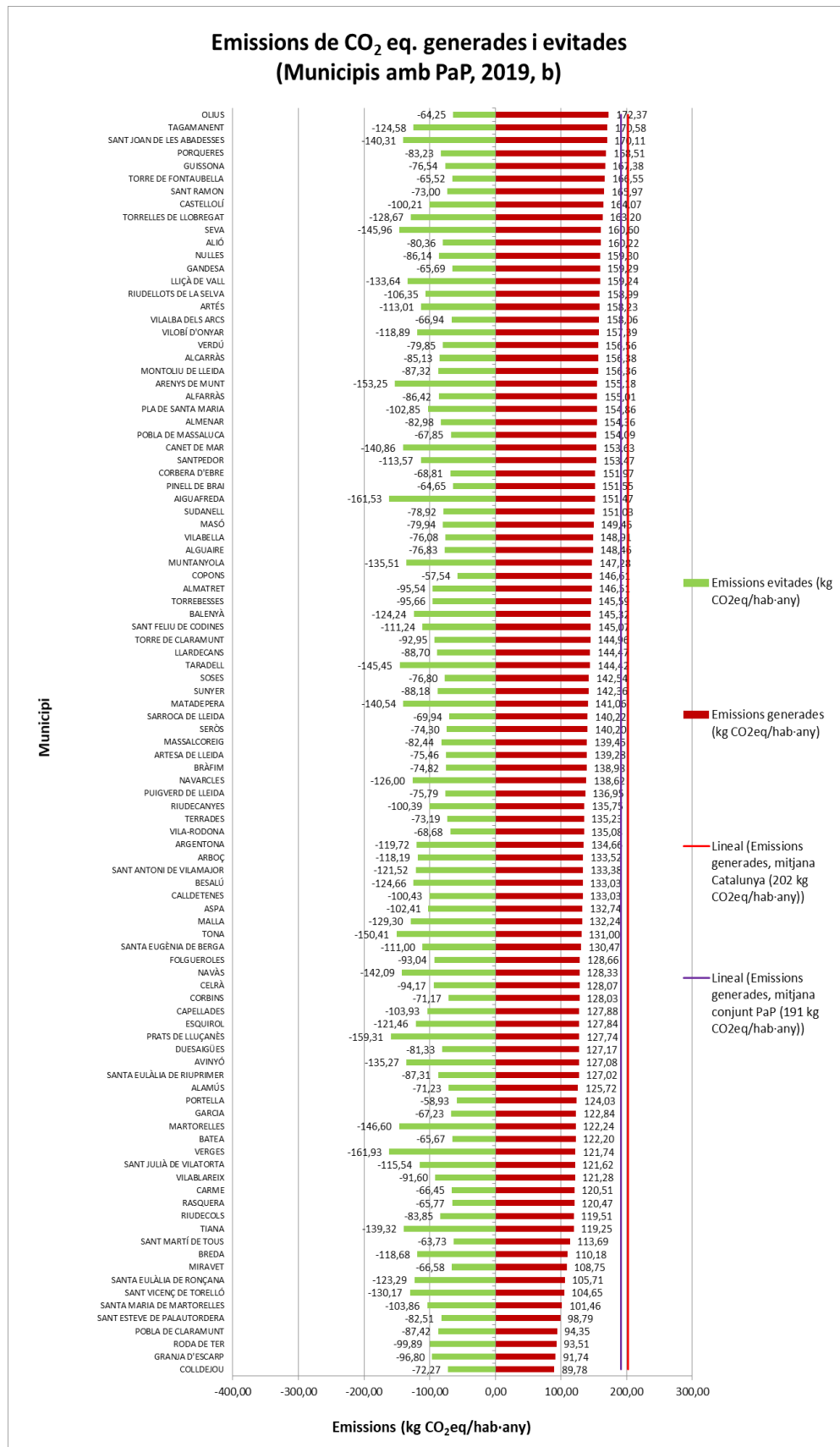


Figura B1b. Emissions generades i evitades dels municipis catalans amb recollida PaP (2019)



C. Annex. Petjada de carboni del tractament de la resta a les plantes de tractament mecanicobiològic (TMB)

L'objectiu d'aquest Annex és poder tenir una estimació de la petjada de carboni a cada planta TMB, amb l'objectiu de poder-les comparar i poder avaluar la seva evolució amb el temps (en futurs informes).

S'ha utilitzat com a base les dades de l'informe "Instal·lacions de tractament de residus municipals. Fracció Resta-rebuig. Informe Anual 2019" preparat pel Departament de Planificació i Oficina Tècnica de l'ARC. Aquestes s'han revisat conjuntament amb el citat departament i complementat amb la Declaració Anuals de Residus per a Gestors (DARIG) de cada planta. Les dades de la DARIG s'han utilitzat per afegir el consum de combustibles fòssils i per caracteritzar en més detall totes les sortides que no es valoritzen materialment.

A la Taula C1 es presenten els resultats de petjada de carboni per tona de resta i per tota la planta. S'han desglossat les emissions de GEH generades i evitades, tant del tractament primari (tractament de la resta a la planta TMB) com el tractament secundari (tractament del rebuig que surt de la planta TMB a dipòsit controlat, planta de valorització energètica o CDR).

Com es mostra a la Figura C1, de les emissions de GEH generades les més rellevants són les del tractament secundari (majoritàriament DC i PVE), mentre que les emissions evitades són més rellevants en el tractament primari, gràcies a la valorització material. A la Figura C2 es presenta la contribució de cada planta a la petjada de carboni de la gestió de la resta en TMB, i per tant combinant la eficiència de la planta (emissions per tona de resta) pel volum de resta que s'hi ha gestionat.

Com a limitació, cal tenir en compte que la composició del rebuig que entra a les plantes TMB s'ha estimat a partir de bossa tipus i balanç entrades i sortides. En el cas de l'anàlisi planta a planta aquesta hipòtesis pot desviar alguns resultats.

Taula C1. Petjada de carboni per tona de resta i per tota la planta (2019)

Emissions		ECO1	ECO 2	ECO 3	ECO 4	CTR VALLES	MARES- ME	LLORET	BOTA- RELL	ORIS	CLARIA- NA	PEDRET	Catalunya
PETJADA CARBONI PER TONA (kg CO2 eq/tona resta)													
Tractament primari	E. Generades	109	98	9	95	93	82	84	22	89	94	93	79
(planta TMB)	E. Evitades	-159	-151	-147	-156	-111	-137	-95	-192	-59	0	-46	-137
Tractament secundari	E. Generades	352	399	447	380	276	442	325	421	473	447	442	387
(rebuig)	E. Evitades	-41	-48	-56	-47	-46	-55	-41	-48	-58	-56	-55	-49
Balanç total	Sumatori	261	297	253	271	211	332	272	203	445	484	434	280
Desviació respecte mitjana Catalunya 2019		-7%	-7%	6%	-10%	-3%	-24%	19%	-3%	-27%	59%	73%	55%
PETJADA CARBONI TOTAL DE LA PLANTA (tones CO2 eq)		45.581	45.581	56.639	49.892	76.365	44.070	76.740	24.509	17.919	15.657	2.168	29.276

Figura C1. Emissions generades i evitades en el tractament primari i secundari de cada planta TMB i per la mitjana de Catalunya (2019)

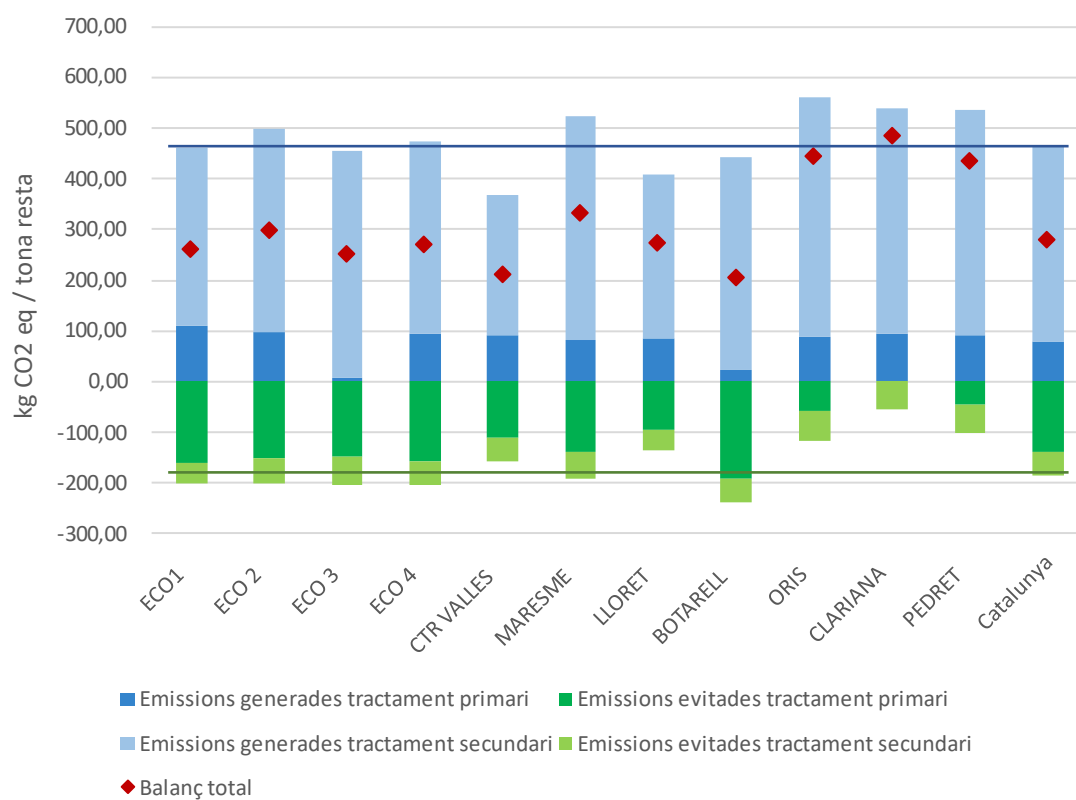


Figura C2. Contribució de cada planta a la petjada de carboni de la gestió de la resta en TMB (tenint en compte tractaments primaris i secundaris)

