



Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2020)

Desembre, 2021

Preparat per:

inèdit

Per a:



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



Agència de
Residus de
Catalunya

Crèdits del treball:

Treball desenvolupat per **inèdit**, estudi d'ecoinnovació estratègica que treballa per a la transició cap a un futur intel·ligent, pròsper i sostenible i que s'alinea amb les organitzacions del demà acompanyant-les a gestionar el canvi que planteja l'economia circular, i per l'**Agència de Residus de Catalunya**.

The logo for 'inèdit' features the word in a bold, lowercase sans-serif font. A small orange bird-like icon is positioned above the letter 'i'.The logo of the Generalitat de Catalunya, consisting of a red shield with vertical white stripes.

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural

The logo for the Agència de Residus de Catalunya, featuring a stylized 'r' with a green leaf and a grey recycling symbol, above five green dots.

Agència de
Residus de
Catalunya

I amb la col·laboració de l'**Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC)**.

The logo for the Oficina Catalana del Canvi Climàtic, featuring a stylized 'C' with horizontal stripes in red, white, and blue.

Oficina Catalana
del **Canvi Climàtic**

Contacte:

Telèfon: 93.268.3476

info@ineditnova.com

www.ineditnova.com

Índex del document

Abreviatures	4
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	24
4. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS DEL CONJUNT DE CATALUNYA	28
4.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2020)	28
4.2. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2020)	34
5. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS A NIVELL DE MUNICIPI I COMARCA	38
5.1. Resultats a nivell de municipi (2020)	38
5.2. Resultats per comarca (2020)	43
6. RECOMANACIONS	46
7. REFERÈNCIES	48
A. Annex. Emissions de GEH generades i evitades de la gestió dels residus municipals, a escala municipal (2020)	51
B. Annex. Petjada de carboni dels municipis en funció del sistema de recollida	95

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 de les plantes de tractament mecanicobiològic de la 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 (2020), en t de CO ₂ eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2019.	31
Taula 14. Evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals pel conjunt de Catalunya en el període 2012-2020.	36
Taula 15. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2020)	39
Taula 16. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (any 2020)	41
Taula 17. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2020), en kg de CO ₂ eq/hab, i evolució de la petjada respecte 2019.	44

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 (2020).....	28
Figura 5. Petjada de carboni de Catalunya (2020): impactes directes, indirectes i evitats	29
Figura 6. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2020) per tipus de tractament de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades.	30
Figura 7. Petjada de carboni de la valorització dels residus de recollida selectiva.....	32
Figura 8. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2020)	33
Figura 9. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2020).....	34
Figura 10. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2020). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecanicobiològic.	35
Figura 11. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2020). Les dades de rebuig, inclouen també el bioestabilitzat amb destí dipòsit controlat.	35
Figura 12. Evolució de la petjada de carboni de Catalunya (2012-2020). En termes relatius, 2012 correspon al punt de referència=1.	37
Figura 13. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2020	37
Figura 14. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi.....	38
Figura 15. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2020)	40
Figura 16. 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 (2020).	42
Figura 17. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2020).	45

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 2020, els quals es comparen amb els obtinguts en els anys anteriors (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 i 2019). Alhora, també es presenten els resultats a nivell municipal i comarcal per l'any 2020.

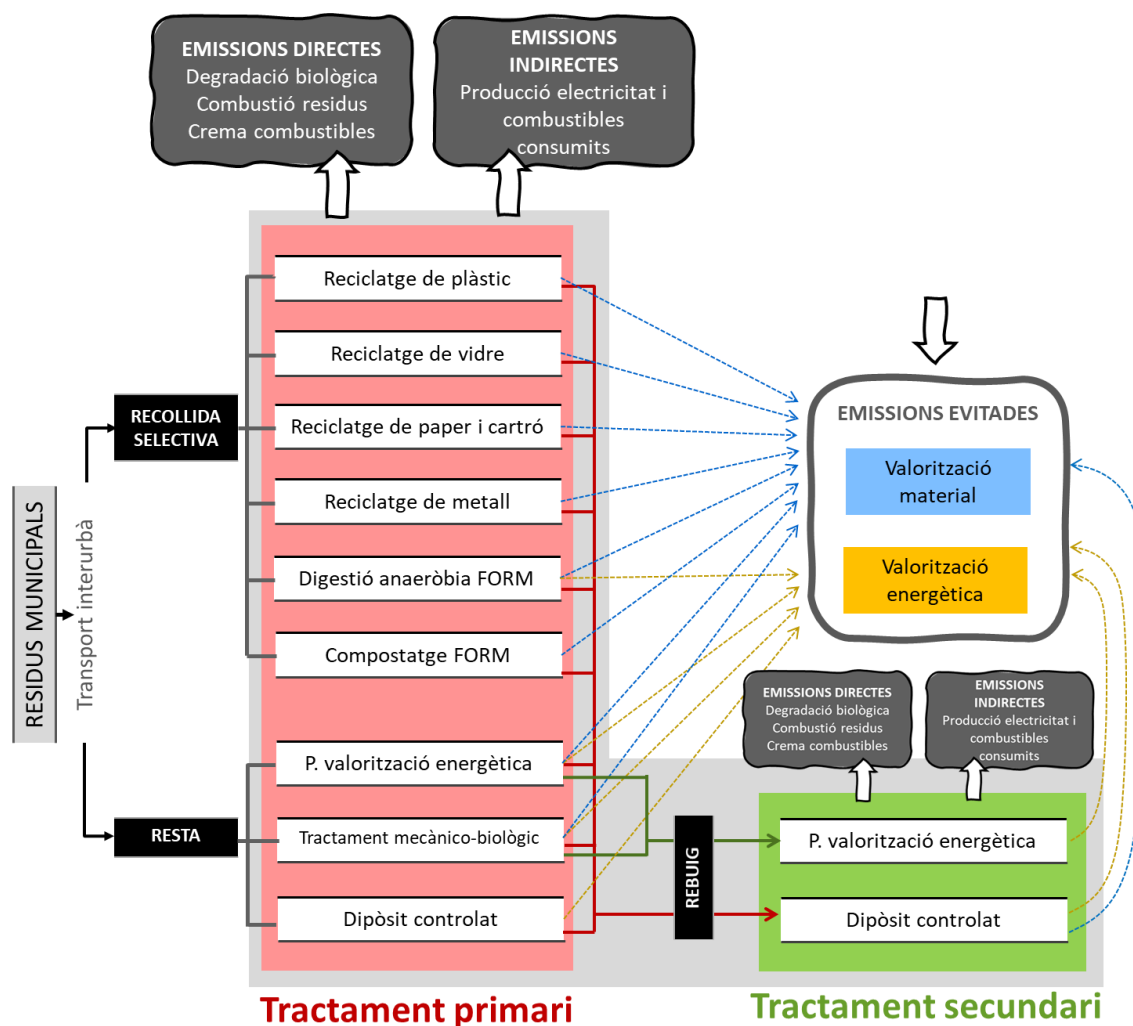


Figura A. Abast de l'estudi.

Petjada de carboni del conjunt de Catalunya (2020)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2020 és de **512.527 t CO₂eq**, el qual representa una emissió de 66 kg CO₂eq/habitant i de 129 kg CO₂eq/tona de residu generat.

Els resultats obtinguts l'any 2020 representen una **significativa reducció de la petjada de carboni** total (-12%) en relació a l'any 2019 degut principalment a quatre factors: la reducció de la quantitat de residus destinats a dipòsit controlat, l'augment de la quantitat de materials recollits selectivament, la reducció dels residus que van a PVE, i finalment per una lleugera baixada de la generació de residus per habitant.

Com en anys anteriors, el 2020, la principal font d'emissions són els **dipòsits controlats**, els quals emeten grans quantitats de metà tot i la captació de biogàs. Els residus que entren a dipòsit controlat (ja sigui com a fracció resta o com a rebuig) representen tres quartes parts dels impactes 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 65% 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 2012-2020

En el període 2012-2020 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 2020 s'ha tornat a superar l'indicador de l'any 2012. La recollida selectiva el 2020 ha seguit creixent i es situa com el valor més alt de la sèrie. De fet, en el període 2020 augmenta la recollida selectiva de totes les fraccions.

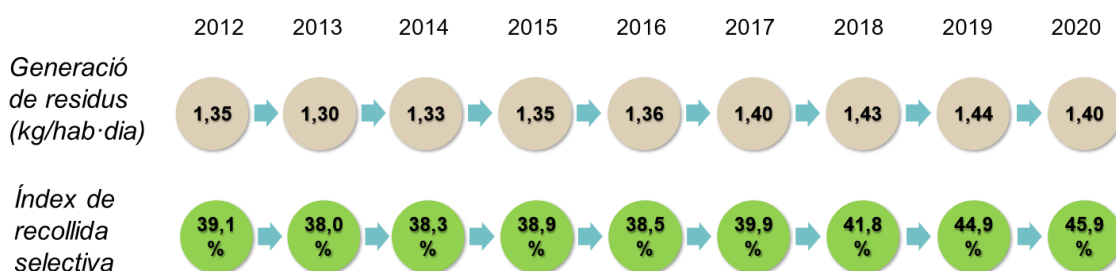


Figura B. Generació de residus per càpita i índex de recollida selectiva (2012-2020)

El percentatge de resta gestionada en dipòsit controlat es manté molt similar al del 2019. Per altra banda, s'observa com la quantitat relativa de rebuig que surt dels TMBs i es destina a dipòsit controlat creix lleugerament respecte 2019. Pel que fa a la recuperació de materials (destí valorització material) a plantes TMB, es redueix el percentatge respecte 2019.

La petjada de carboni per tona i per habitant segueixen la tendència a anar disminuint, tot i que amb una baixada més moderada que el 2019 (Figura C). La **petjada de carboni per tona** es redueix un 42% respecte l'any 2012. El del 2020 és el valor més baix de la sèrie temporal. La petjada de carboni per tona el 2020 es situa en 129 kg CO₂eq/tona, en comparació als 222 kg CO₂eq/tona de l'any 2012.

En el cas de la **petjada de carboni per habitant** (Figura C), s'observa un comportament similar a la petjada de carboni per tona. D'aquesta manera, en el període 2012-2020 es detecta un decreixement del 40%, i respecte del 2019 la reducció és del 13%.

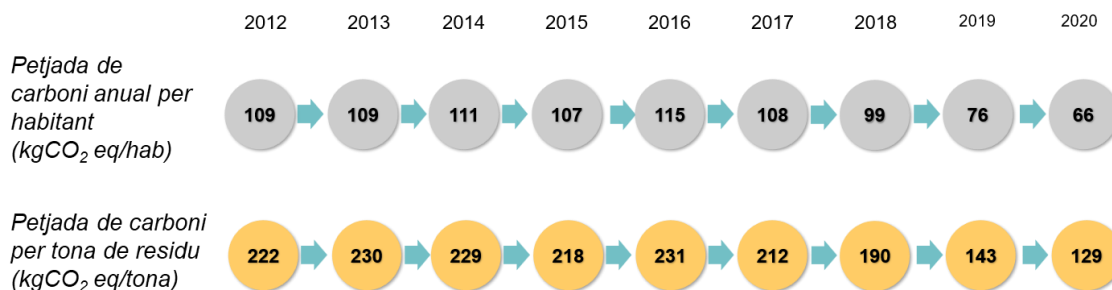


Figura C. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2020

La petjada de carboni total s'ha reduït un 38% entre 2012 i 2020 (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.

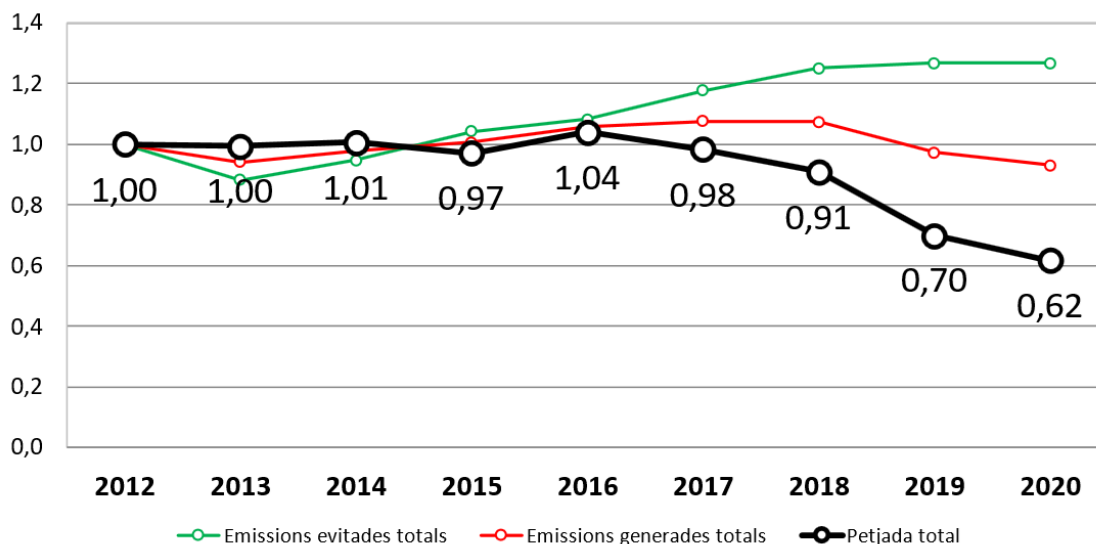


Figura D. Evolució de la petjada de carboni de Catalunya (2012-2020). En termes relatius, 2012 correspon al punt de referència=1.

Petjada de carboni per municipi i comarca (2020)

La meitat dels municipis catalans tenen una petjada de carboni entre 72 i 206 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 segregat 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 4,6% de les emissions totals del país l'any 2019. 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 2021a).

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 2020) aplicant la CO₂ZW®.

Els objectius específics de la proposta de projecte, són:

- Adaptar la CO₂ZW® amb valors per defecte de la gestió actual (2020) 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 2020.
- Quantificar la Petjada de Carboni associada a la gestió dels residus municipals per tots els municipis catalans (2020).
- Analitzar l'evolució de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya per al període 2012-2020.

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).

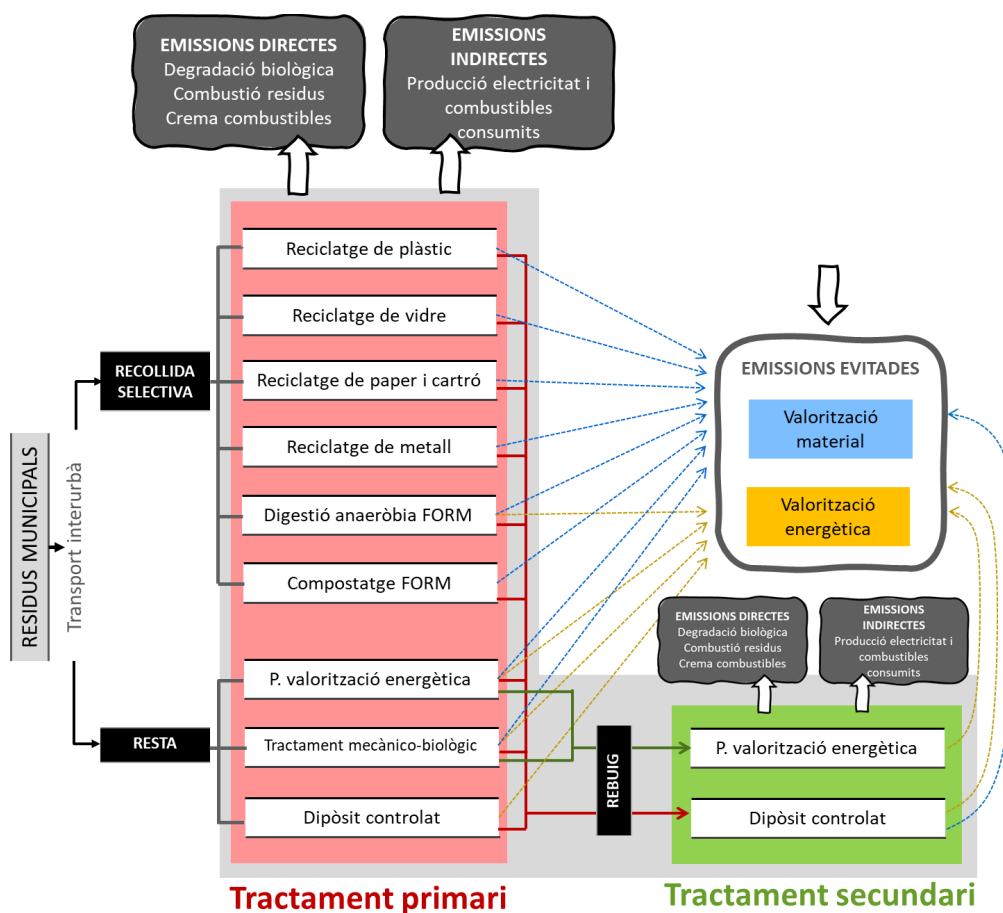


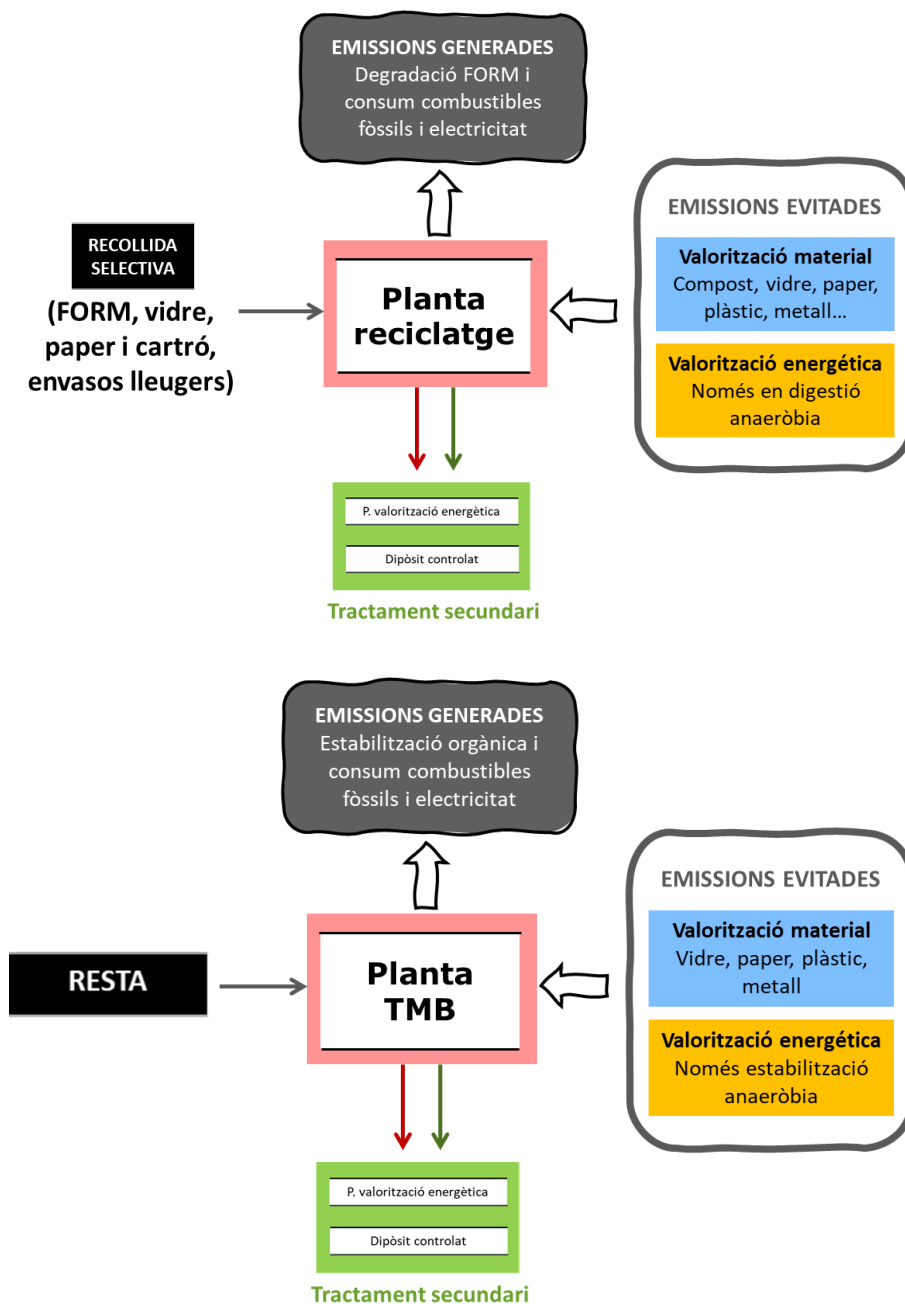
Figura 2. Abast de l'estudi de petjada de carboni a nivell global.

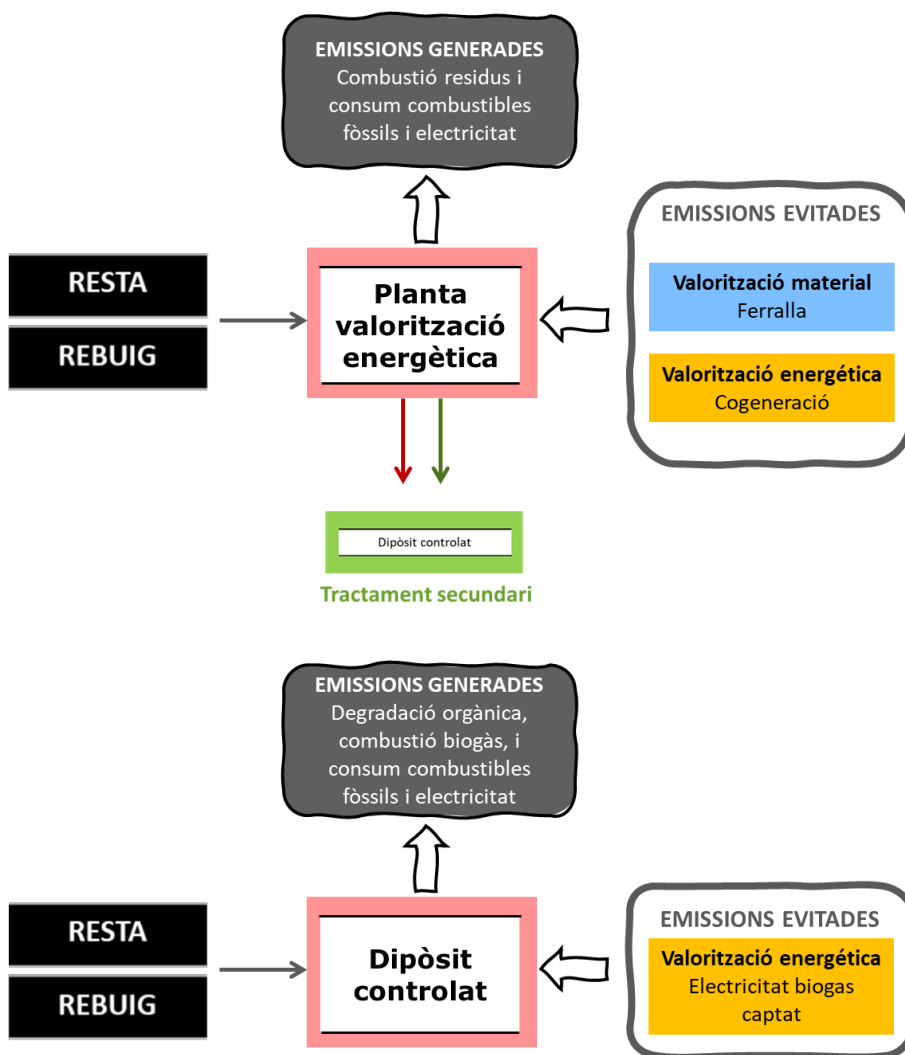
Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, 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 2020 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.

Cal tenir en compte també l'efecte de la pandèmia de la COVID 19 i el seu efecte en el comportament de la població, que pot haver afectat en la generació i separació dels residus.

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 2020

A continuació es mostren les dades per defecte considerades per a Catalunya per a l'any 2020, així com per els anys 2012-2020 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 2020 ascendeix a 7.780.479 habitants i la generació total de residus municipals és de 3.972.512 tones.

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

País	Generació de residus (kg/habitant-dia)
Catalunya (2020)	1,40
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- 2020) ¹	Catalunya (2012 i 2013) ²	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 PRECAT 2013-2020. Estudi de composició de la bossa tipus de residus municipals a Catalunya.

² 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

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)
2020	1.823.417	184.100	141.408 ¹	41.997 ²	423.800 ³	544.364 ⁴	72.715	19.399	390.413
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.

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

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).

plàstic i un 5% de metall (Tetrapak). La Taula 3 mostra la quantitat de residus recollits selectivament a Catalunya (per materials).

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 2020	45,9	60,3	34,7	50,4	90,9	36,8	29,5	11,9	48,2
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 2020	12
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

¹A partir de dades 2020, canvi en la comptabilització de residus comercials entrants a les plantes de tractament biològic de FORM, cosa que fa aflorar més impropis dels comptabilitzats anteriorment.

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: tractament mecànicobiològic (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 2020	69,1 ¹	22,9	8,0
Catalunya 2019	69,2	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 (21%) i l'altra per estabilització aeròbia (79%).

Vies de tractament de la FORM

Les plantes de compostatge i biometanització tracten matèria orgànica provinent de la recollida selectiva (FORM) i les plantes TMB tracten matèria orgànica continguda en la fracció resta. La FORM es pot destinar a cinc opcions de gestió: planta de compostatge en piles, planta de compostatge amb túnel, TMB via compostatge (ja no és una opció utilitzada), biometanització en instal·lacions TMB però separat del flux de la resta, i planta de biometanització. El destí de la FORM es mostra a la Taula 7.

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

País	Planta compostatge piles (%) ¹	Planta compostatge túnel (%)	Compostatge TMB (%)	Biometanització TMB (%)	Planta biometanització (%)
Catalunya 2020²	49,9	16,0	0,0	21,7	12,3
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.

²A partir de dades 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, les plantes TMB s'assimilen a l'opció TMB2 de l'eina CO₂ZW® (Taula 8). 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. A partir de les dades de 2020, es descompten els materials recuperats en les plantes de TMB que s'han destinat a tractaments finalistes, i es sumen al rebuig de sortida. Ja no es consideren com valoritzades.

Taula 8. Característiques de les plantes de tractament mecanicobiològic de la 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 2020⁴	1,7	2,2	0,8	3,7	8,4	84,2	3,6	67,1
Cat 2019	2,1	2,3	0,7	4,0	9,2	83,8	2,6	68,7
Cat 2018	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.

⁴A partir de les dades de 2020, es descompten els materials recuperats en les plantes de TMB que s'han destinat a tractaments finalistes, i es sumen al rebuig de sortida. En anys anteriors es consideraven com part dels materials valoritzats.

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

País	Dipòsit Controlat (%)	Valorització energètica (%)	Combustible Derivat de Residus (%)
Catalunya 2020	59,4	38,7	1,9
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 2020	0,250 ¹	30,0 ²
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 2021b)

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 (2020)

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).

Evolució de la petjada de carboni 2012-2020

Finalment, s'analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals catalans en el període 2012-2020, 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 (2020)

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, TMBs, 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 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).

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

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

Interpretació dels resultats de petjada de carboni dels municipis i comarques

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

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

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

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

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 2020, 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 (2020)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2020 és de 512.527 t CO₂eq, i representa una emissió de 66 kg CO₂eq/habitant i de 129 kg CO₂eq/tona de residu generat (Figura 4). Aquests valors representen una reducció respecte els valors de l'any 2019, degut principalment a quatre factors: la reducció de la quantitat de residus destinats a dipòsit controlat, l'augment de la quantitat de materials recollits selectivament, la reducció dels residus que van a PVE, i finalment per una lleugera baixada de la generació de residus per habitant.

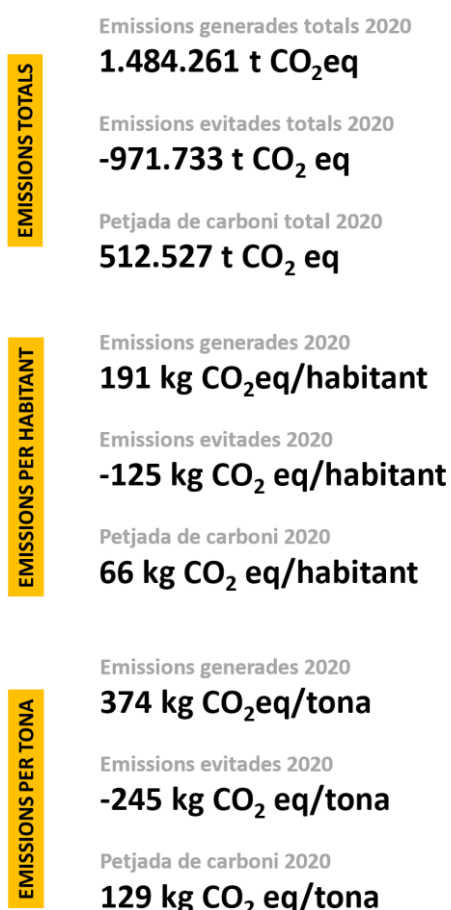


Figura 4. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2020)

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.

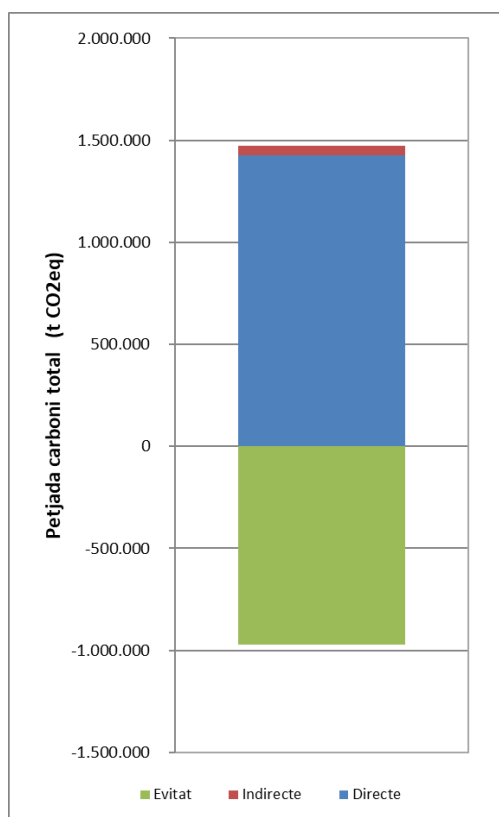


Figura 5. Petjada de carboni de Catalunya (2020): impactes directes, indirectes i evitats

Petjada de carboni per tipus de tractament

La Figura 6 mostra la petjada de carboni per cada tipus de tractament i separant en emissions directes, indirectes i evitades. Cal tenir en compte que en aquest apartat s'analitza cada tipus de tractament o tipus d'instal·lació de forma aïllada. Les emissions associades a la Valorització dels residus de la recollida selectiva (inclou reciclatges, compostatge i DA) i la Resta a TMB corresponen només al tractament primari, o inicial, del residu a les plantes de valorització o de tractament mecanicobiològic, respectivament. Però aquestes plantes 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 a les plantes de valorització de la recollida selectiva, 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 valorització de 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 65% de les emissions generades.

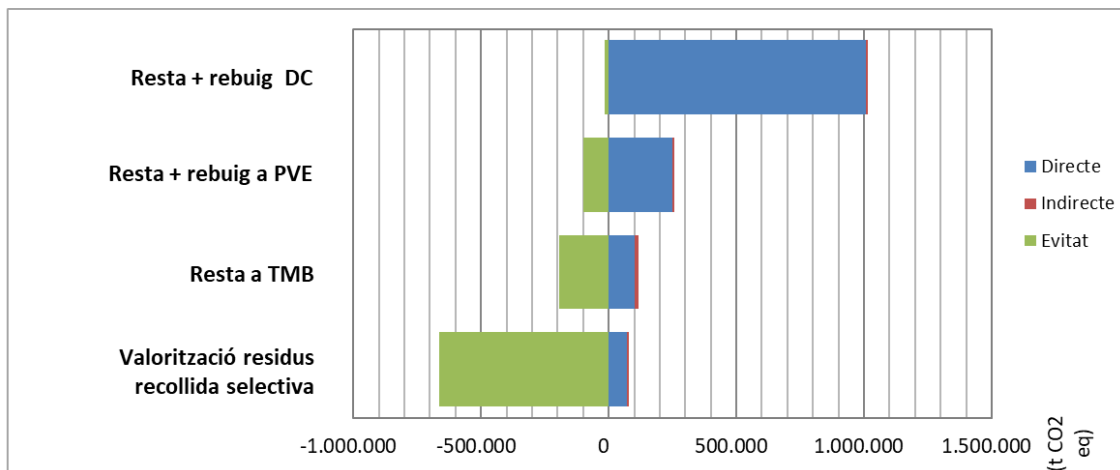


Figura 6. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2020) per tipus de tractament de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades.

La Taula 13 mostra el detall de la petjada de carboni del tractament dels residus l'any 2020, diferenciant la contribució de cada tipologia de tractament així com els impactes directes, indirectes i evitats. També es mostra la diferència respecte de les emissions de 2019.

S'observa com l'impacte total per la **recollida selectiva** l'any 2020 es redueix en relació a l'any 2019. Les emissions evitades creixen, gràcies a l'increment dels materials recollits selectivament. Els percentatges de recollida pugen per totes les fraccions excepte vidre i fusta. Puja especialment per metall i plàstic, que creix més del 10% en valor absolut. Es tracta de dos materials amb emissions evitades per tona de les més altes de entre les fraccions considerades.

Pel que fa a la **resta tractada a través de TMB** l'impacte total creix. Tant les emissions directes com les evitades baixen, ja que es redueix la quantitat de resta gestionada. A més, les emissions directes baixen perquè es redueix la proporció de resta a la línia d'estabilització aeròbia de la MOR (matèria orgànica recuperada) a favor de la línia anaeròbia, i aquesta última presenta menys emissions de degradació. Les emissions evitades també es redueixen per la baixada en la quantitat de materials recuperats, que en part es justifica pel canvi en la manera de considerar quins materials realment es valoritzen (veure Taula 8).

En el cas dels **residus enviats a PVE**, l'impacte total es redueix considerablement. Les emissions directes es redueixen perquè es redueixen les tones tractades totals (un 9% en valor absolut). La resta creix molt lleugerament, i el que baixa considerablement és l'entrada de rebuig. El rebuig presenta més emissions directes però també més estalvi d'electricitat, que la resta. A més, la proporció de plàstic a la composició de la resta i rebuig baixa, ja que se n'ha

recollit més via recollida selectiva. El mix elèctric és més impactant que el considerat per 2019, i per tant els estalvis són més alts.

Finalment, els impactes totals en **dipòsit controlat** baixen lleugerament. L'impacte directe es redueix de forma considerable, es gestiona un 4% menys de resta. El rebuig es manté més o menys igual. La resta presenta més contingut en MO que el rebuig, i per tant més emissions directes per descomposició. A més, una millor recollida selectiva, implica que hi ha menys quantitat de materials biodegradables a la resta que va a dipòsit, i per tant menys generació d'emissions de degradació.

Taula 13. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals de Catalunya (2020), en t de CO₂eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2019.

Instal·lació	Impacte directe	Impacte indirecte	Impacte evitat	Petjada de carboni total
Valorització residus RS	71.460	8.957	-662.867	-582.450 -26.730
Resta a TMB	100.377	17.080	-195.012	-77.554 +14.951
Resta + rebuig a PVE	248.103	10.918	-97.262	161.759 -22.413
Resta + rebuig a DC	1.007.441	9.226	-16.592	1.003.075 -33.755
TOTAL	1.427.381 -67.778	46.182 -169	-971.733 0	501.830 -67.946

Nota: Els valors en color negre corresponen a 2020. De color verd i vermell es mostra la diferència entre la petjada de carboni de 2020 i 2019. El color verd indica una evolució favorable en termes de petjada de carboni, mentre que el vermell indica una evolució desfavorable.

Valorització de residus de recollida selectiva

Si posem el focus en la primera fila de la Taula 13, és a dir en les plantes de valorització 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 81% en les plantes de compostatge i un 11% en les de digestió anaeròbia. Cal tenir en compte que tot i rellevants, la gestió d'aquesta fracció en DC suposaria unes emissions extremadament altes. En tot cas, les plantes de reciclatge en conjunt presenten unes emissions evitades que són 8 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.

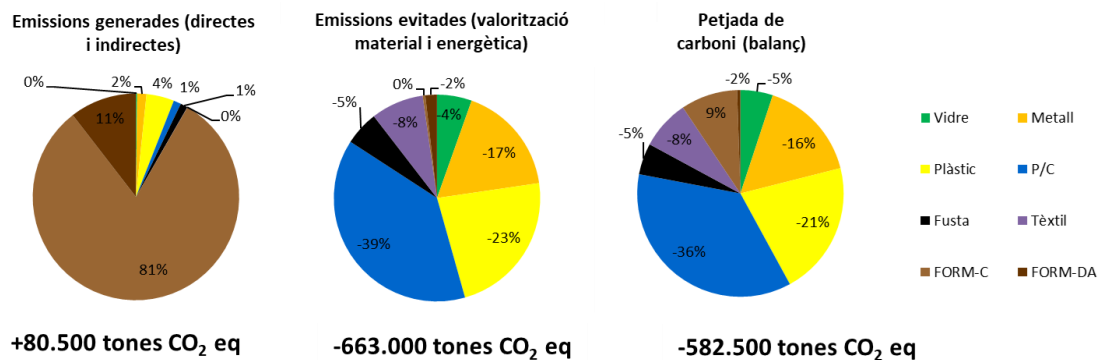


Figura 7. Petjada de carboni de la valorització dels residus de recollida selectiva.

En l'estudi de les dades 2019 (ARC, 2020, secció 4.1 "Petjada de carboni per instal·lació"), es va incloure el anàlisi dels resultats de petjada de carboni per una tona de residu, per cadascuna de les fraccions de residus i tenint en compte tant els tractaments primaris com els secundaris. Segons l'estudi de 2019, 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.

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 10.698 tones de CO₂eq, el qual representa un 2,1% del total d'impactes generats pel tractament (Figura 8). Cal tenir en compte que no s'ha pogut estimar l'impacte de la recollida municipal de residus per manca de dades fiables.

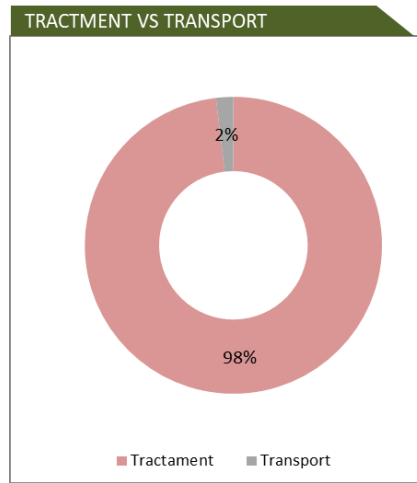


Figura 8. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2020)

4.2. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2020)

Aquest apartat analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya al llarg del període 2012-2020⁵.

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, 2019 i 2020, fent èmfasi en els principals canvis a efectes de petjada de carboni.

En el període 2012-2020 la generació de residus per habitant i la recollida selectiva s'han mantingut relativament estables, amb el mínim per ambdues variables l'any 2013 (Figura 9). Pel que fa a la generació per habitant, l'any 2020 es trenca la tendència continuada d'increment des de 2013. Aquesta reducció podria ser conseqüència dels efectes de la COVID-19. Pel que fa a la recollida selectiva, el valor de 2020 ha experimentat un lleuger increment respecte de 2019, al voltant d'un 2%.

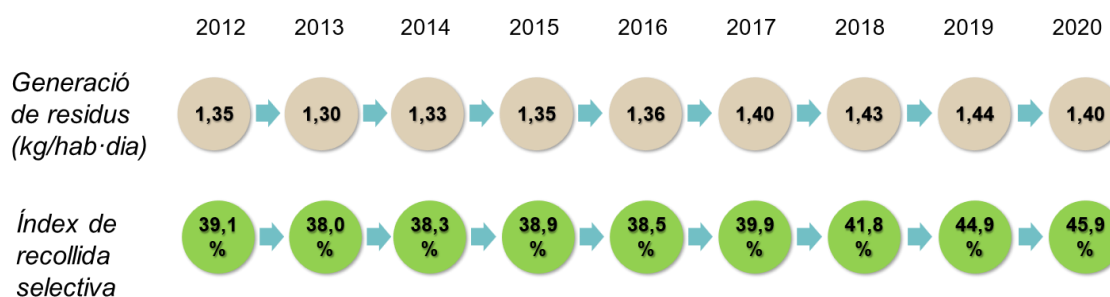


Figura 9. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2020)

Per la seva banda, la Figura 10 mostra quines són les principals vies de tractament de la fracció resta generada. Per una banda, el percentatge de resta gestionada en dipòsit controlat es manté pràcticament igual respecte 2019 (passa de 23,4% el 2019 a 22,9% el 2020). I segueix estant per sota de l'any 2012, concretament 15 punts percentuals més baix. La resta gestionada a través de TMB es manté. En total, ha pujat 19 punts percentuals des de 2012. El percentatge de resta que va a PVE es redueix 0,6 punts percentuals 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.

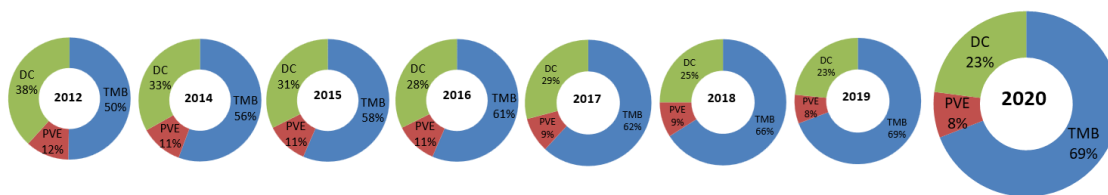


Figura 10. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2020). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecanicobiològic.

Per la seva banda, la Figura 11 mostra el detall de l'evolució 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 lleugerament respecte 2019, i és el valor més baix de la sèrie històrica. Sembla que es consolida el canvi de tendència de creixement que hi ha havia entre 2012 i 2018.

La quantitat relativa (per tona) de rebuig que surt dels TMBs i es destina a dipòsit controlat creix, i torna a valors del 2017. Sembla que el 2018 i 2019 podrien ser valors fora del rang històric.

La valorització material es redueix lleugerament respecte de 2019, en part com a conseqüència d'un canvi en la comptabilització. A les plantes TMB a partir d'ara es descompten de la quantitat de materials recuperats de la resta, aquells que s'han destinat a tractaments finalistes, i es sumen al rebuig de sortida.

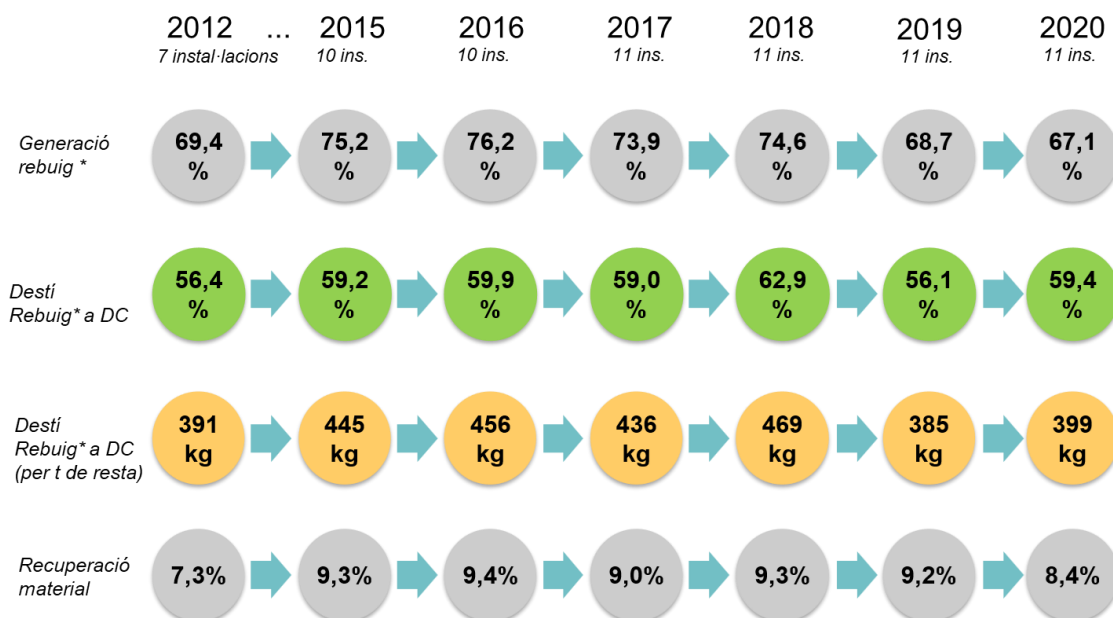


Figura 11. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2020). Les dades de rebuig, inclouen també el bioestabilitzat amb destí dipòsit controlat.

Evolució de la petjada de carboni

La Taula 14 i la Figura 12 presenten els resultats de petjada de carboni de la sèrie anual pel conjunt de Catalunya. Les emissions generades segueixen tendència de reducció del 2019, després que fins el 2018 havien anat creixent lentament. En total es redueixen un 7% entre 2012 i 2020. Tot i que l'impacte evitat ha anat creixent continuadament des del 2015, el 2020 es manté igual al de 2019. Així, la petjada de carboni total (sumant les emissions generades i les evitades) s'ha reduït un 38% respecte de 2012, i un 12% respecte de 2019.

Aquí cal tenir en compte que les emissions generades i les evitades es veuen afectades pels canvis en els hàbits dels ciutadans i en la gestió que es fa dels residus, però també per l'increment o reducció en la quantitat total de residus generats.

Taula 14. Evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals pel conjunt de Catalunya en el període 2012-2020.

Escenari	Petjada de carboni (t CO ₂ eq)	Impacte generat (t CO ₂ eq)	Impacte evitats (t CO ₂ eq)
Catalunya 2020	512.527	1.484.261	-971.733
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

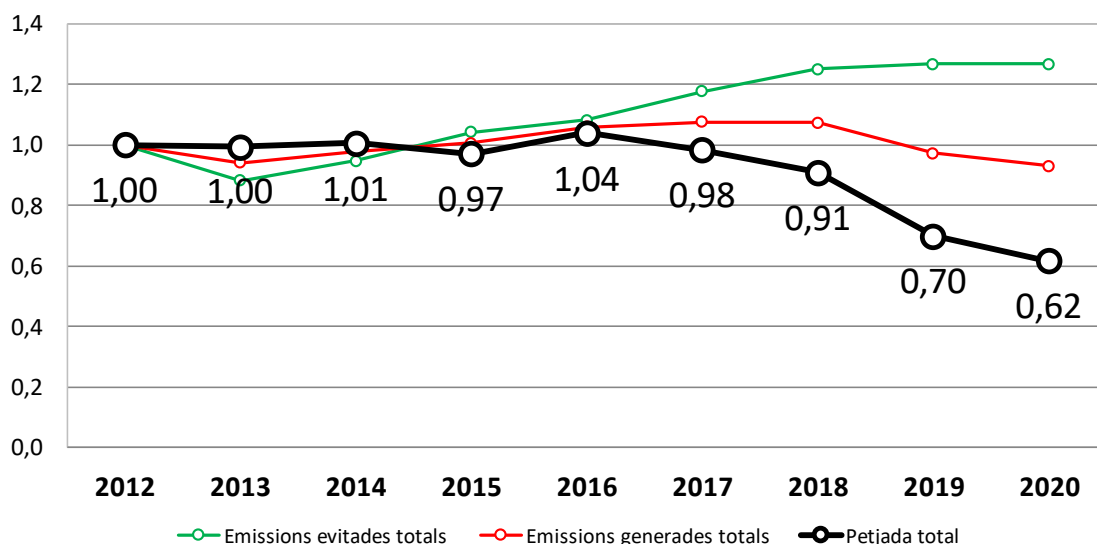


Figura 12. Evolució de la petjada de carboni de Catalunya (2012-2020). En termes relatius, 2012 correspon al punt de referència=1.

Els indicadors de petjada de carboni per tona i per habitant segueixen la tendència a anar disminuint, tot i que amb una baixada més moderada que el 2019 (Figura 13). La **petjada de carboni per tona** es redueix un 42% respecte l'any 2012. El del 2020 és el valor més baix de la sèrie temporal, amb una baixada respecte del 2019 del 10%. La petjada de carboni per tona el 2020 es situa en 129 kg CO₂eq/tona, en comparació als 222 kg CO₂eq/tona de l'any 2012 (Figura 13).

En el cas de la **petjada de carboni per habitant** (Figura 13), s'observa un comportament similar a la petjada de carboni per tona. D'aquesta manera, **en el període 2012-2020 es detecta un decreixement del 40%**, i respecte del 2019 la reducció és del 13%. Es combinen les millores en la gestió de residus i una lleugera reducció en la generació de residus per habitant.

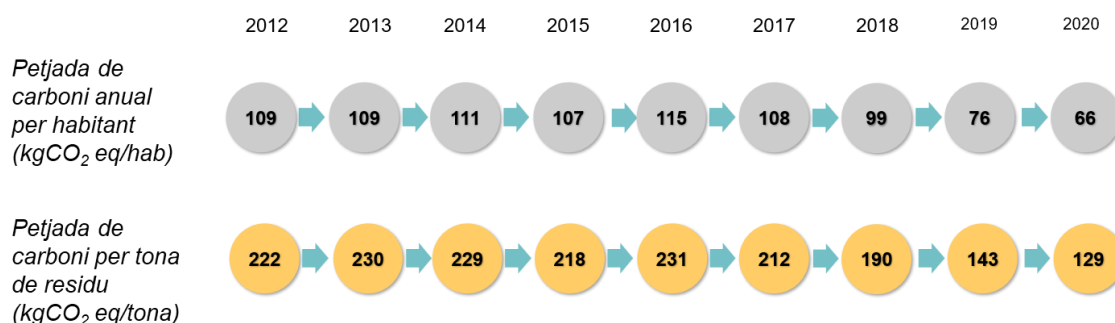


Figura 13. Evolució de la petjada de carboni per habitant i per tona de residu en el període 2012-2020

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 (2020)

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

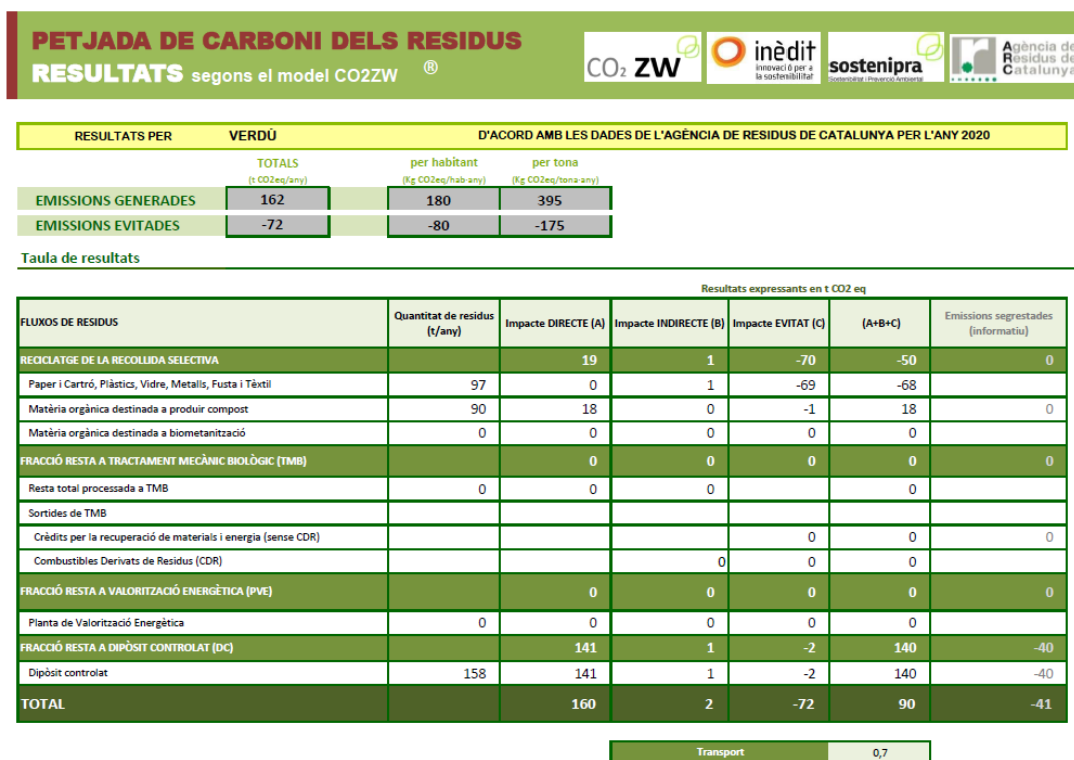


Figura 14. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi

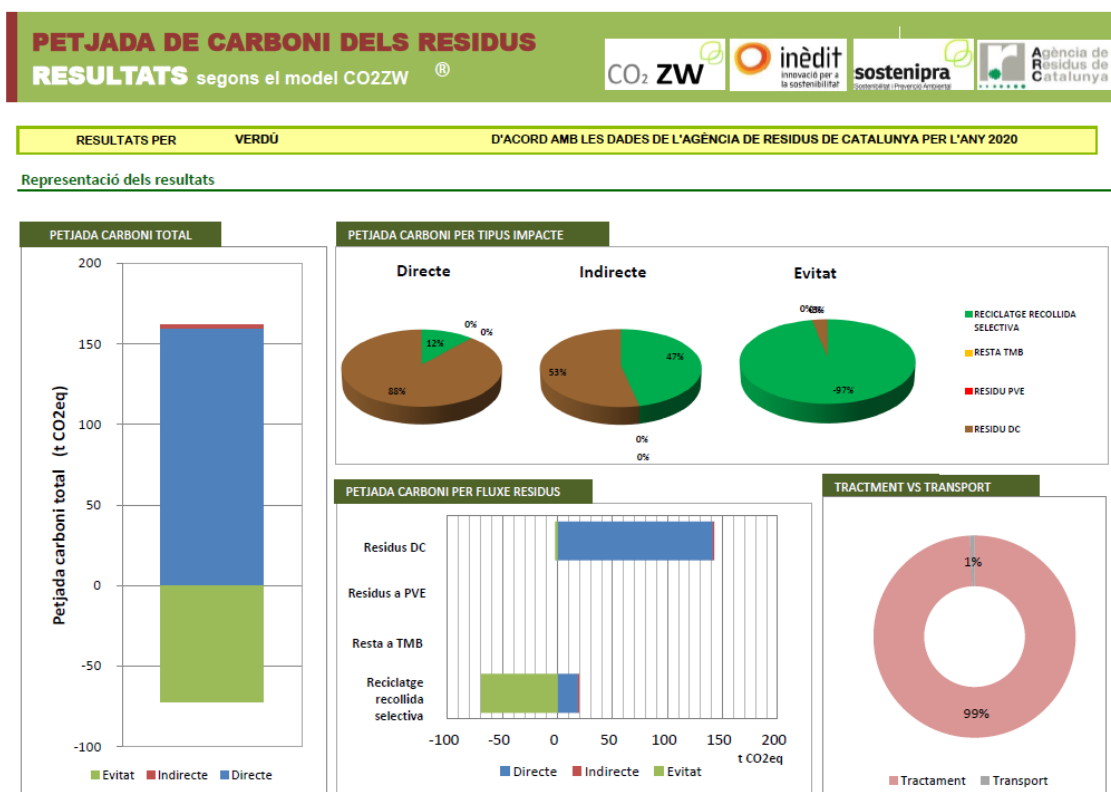


Figura 15. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi (continuació)

Estadística descriptiva

La Taula 15 mostra els descriptius estadístics de la petjada de carboni dels municipis catalans per l'any 2020. D'acord amb aquests resultats, s'observa que el 50% dels municipis tenen una petjada de carboni entre 72 i 206 kg CO₂eq/habitant⁶.

Taula 15. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2020)

Descriptiu	Any 2020 (kg CO ₂ eq/hab)
Mitjana (aritmètica)	152
Mínim	-166
Percentil 25 (P25)	72
Percentil 50 (P50)	136
Percentil 75 (P75)	206
Màxim	696

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 15 mostra l'histograma de les dades de petjada de carboni dels 947 municipis catalans per l'any 2020, on s'aprecien el nombre d'ocurrències de cada grup (rangs de petjada de carboni) en el diagrama de barres verticals, segons una distribució normal. Així per exemple, hi ha més de 140 municipis amb petjada de carboni en el rang entre 116 i 150 kg CO₂eq/habitant.

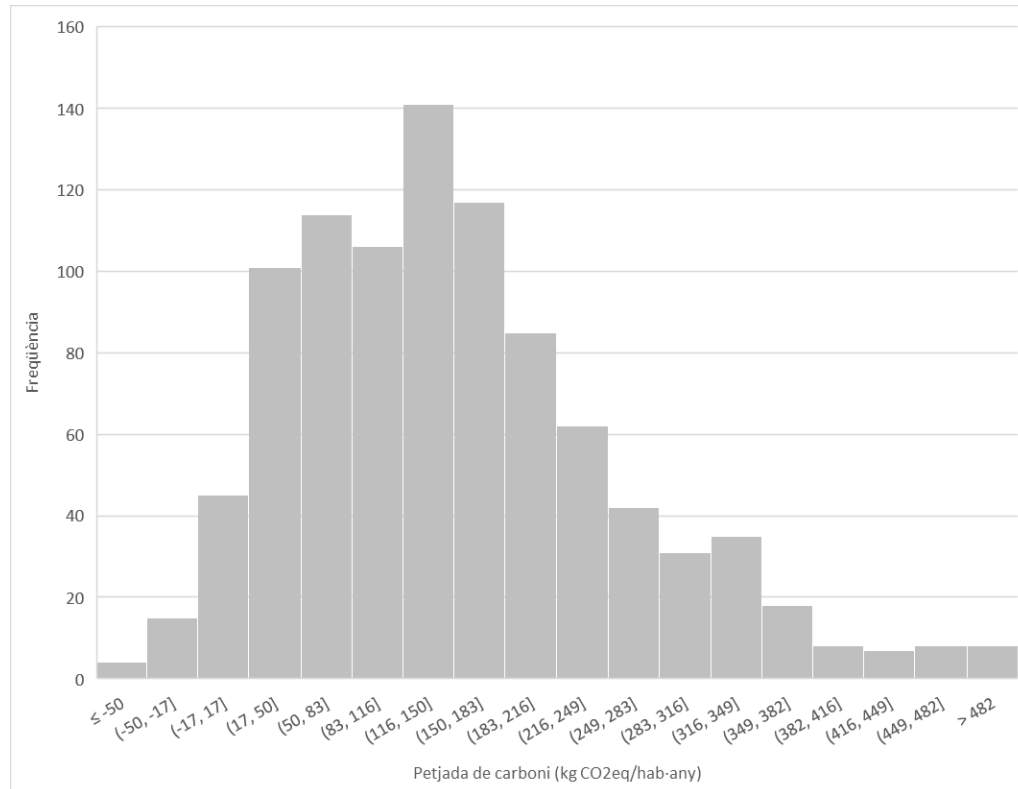


Figura 15. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2020)

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 16). 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 DC** ($R=0,837$). La variable **resta destinada a dipòsit controlat per habitant** presenta una correlació rellevant ($R=0,630$) 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 (és a dir la variable resta i rebuig TMB a DC). La tendència els darrers anys ha estat que tot i que molts municipis redueixen significativament la quantitat de resta destinada directament a dipòsit controlat (sense tractament previ), la seva petjada de carboni no s'ha vist tant significativament reduïda. L'explicació és que segueix havent una quantitat rellevant de residus que va a dipòsit controlat, tot i que indirectament en forma del rebuig que surt de les plantes

de TMB on s'ha portat la resta. I per tant la petjada de carboni es redueix només moderadament.

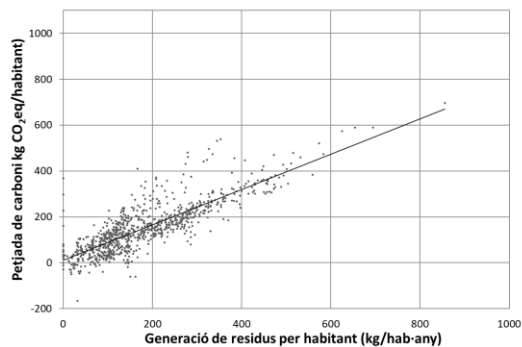
Una altra variable rellevant és la **generació de residus** ($R=0,550$) Per tant, en general, aquells municipis que generen més residus per habitant, són els que tenen una major petjada de carboni per habitant. Entre d'altres raons per les diferències en la generació de residus per habitant, cal tenir 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 (%)** presenta 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 ($R=-0,507$).

Taula 16. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (any 2020)

Variable	Generació de residus (kg/hab)	Rest a Dipòsit (kg/hab)	Rest a i rebuig TMB a DC (kg/hab)	Índex Recollida Selectiva (%)
Petjada de carboni 2020 (kg CO ₂ eq/hab)	0,550	0,630	0,837	-0,507

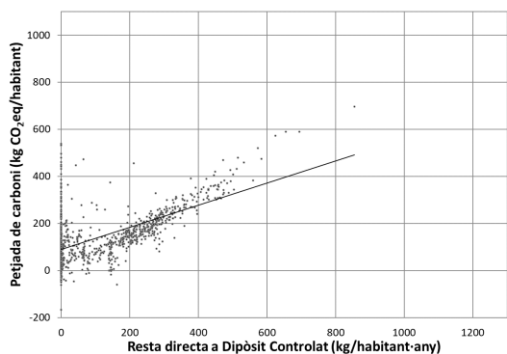
La Figura 16 mostra els **models de regressió lineals** entre la petjada de carboni per habitant dels municipis i les variables amb major correlació. S'observa, de nou, com la resta i rebuig a DC és la variable que presenta una millor relació amb la petjada de carboni per habitant, amb un $R^2=0,70$. Això indica que un 70% 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 40% i un 30%, respectivament, de la variació en la petjada de carboni per habitant dels municipis catalans.



$$PC = 0,30 * \text{Generació} - 16$$

$$R^2 = 0,30; \text{Error} = 91,9$$

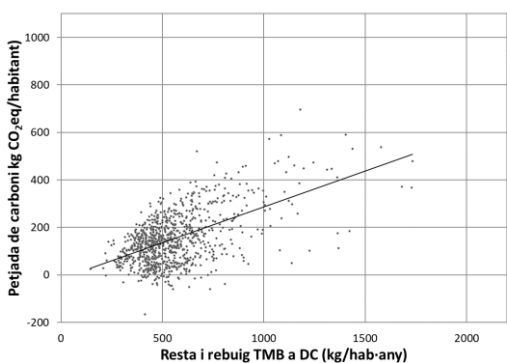
PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab-any)
Generació = Generació de residus (kg/hab-any)



$$PC = 0,47 * \text{Resta a DC} + 89$$

$$R^2 = 0,40; \text{Error} = 85,5$$

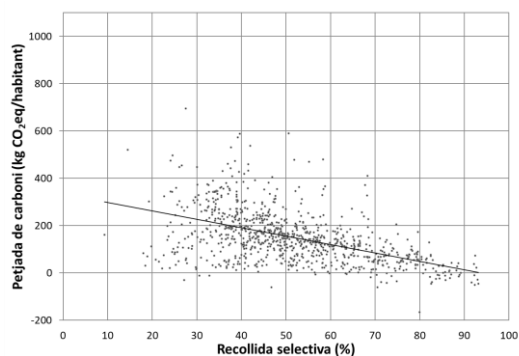
PC = Petjada de carboni (kg CO₂eq/hab-any)
Resta a DC = Resta directa a dipòsit controlat (kg/hab-any)



$$PC = 0,77 * \text{Residu a DC} + 12$$

$$R^2 = 0,70; \text{Error} = 60,2$$

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)



$$PC = 333 - 3,5 * RS$$

$$R^2 = 0,26; \text{Error} = 94,9$$

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

Figura 16. 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 (2020).

5.2. Resultats per comarca (2020)

La Taula 17 mostra la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana per habitant de cada comarca⁷, on es pot observar un rang variable entre 13 i 308 kg CO₂eq/habitant·any. S'han identificat les comarques segons si tenen una evolució favorable o no respecte de la petjada del 2019 (amb fletxes de color verd o vermell).

Pels resultats municipals i comarcals, cal tenir en compte que no contenen les quantitats de residus no territorialitzables. Es tracta de partides de residus (generalment de recollida selectiva efectuada fora dels circuits municipals) que no es poden assignar a un municipi o una comarca concreta, que es comptabilitzen, però, a nivell de tota Catalunya.

La Figura 17 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 2020.

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

Taula 17. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2020), en kg de CO₂eq/hab, i evolució de la petjada respecte 2019.

Comarca	Petjada carboni (kg CO ₂ eq/ hab·any)	Evolució	Comarca	Petjada carboni (kg CO ₂ eq/ hab·any)	Evolució
Alt Camp	63	↑	Maresme	38	↓
Alt Empordà	205	↓	Montsià	179	↑
Alt Penedès	223	↓	Noguera	199	↑
Alt Urgell	147	↓	Osona	13	↓
Alta Ribagorça	113	↓	Pallars Jussà	213	↓
AMB	82	↑	Pallars Sobirà	169	↓
Anoia	223	↓	Pla de l'Estany	209	-
Bages	152	↑	Pla d'Urgell	145	-
Baix Camp	79	↓	Priorat	148	↓
Baix Ebre	225	↓	Ribera d'Ebre	152	↑
Baix Empordà	290	↓	Ripollès	83	↓
Baix Llobregat	126	↑	Segarra	144	↑
Baix Penedès	187	↑	Segrià	152	↓
Barcelonès	73	-	Selva	185	↓
Berguedà	72	↓	Solsonès	66	↓
Cerdanya	68	↓	Tarragonès	56	↓
Conca de Barberà	124	↓	Terra Alta	120	↑
Garraf	271	↓	Urgell	166	↑
Garrigues	176	↑	Val d'Aran	308	↓
Garrotxa	162	↑	Vallès Occid.	78	↑
Gironès	107	↑	Vallès Orien.	36	↓
Moianès	146	↑			

Nota: Les fletxes en verd i apuntant avall indiquen una reducció de la petjada de carboni per habitant respecte de l'any anterior. Les fletxes en vermell i apuntant amunt indiquen un increment de la petjada de carboni per habitant respecte de l'any anterior. El guió en negre indica que la petjada s'han mantingut igual.

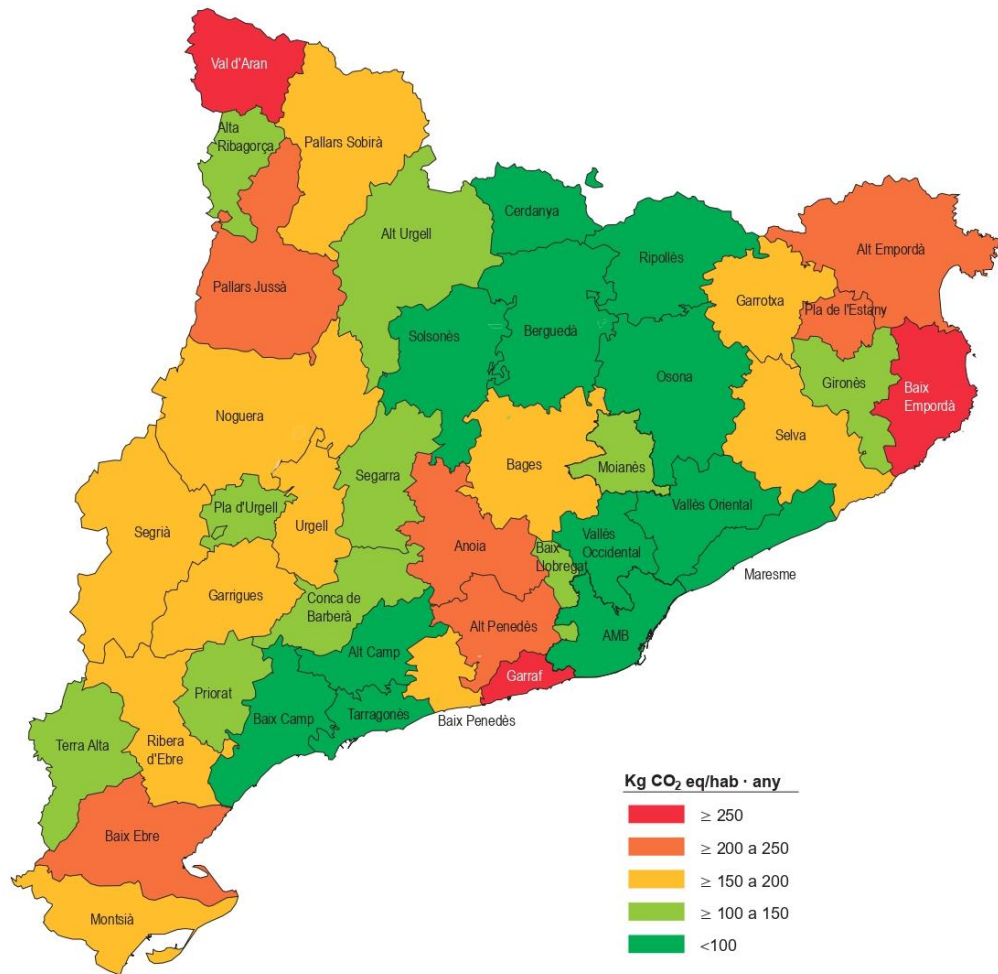


Figura 17. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2020).

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 Mecanicobiològic:

- 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 8 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.

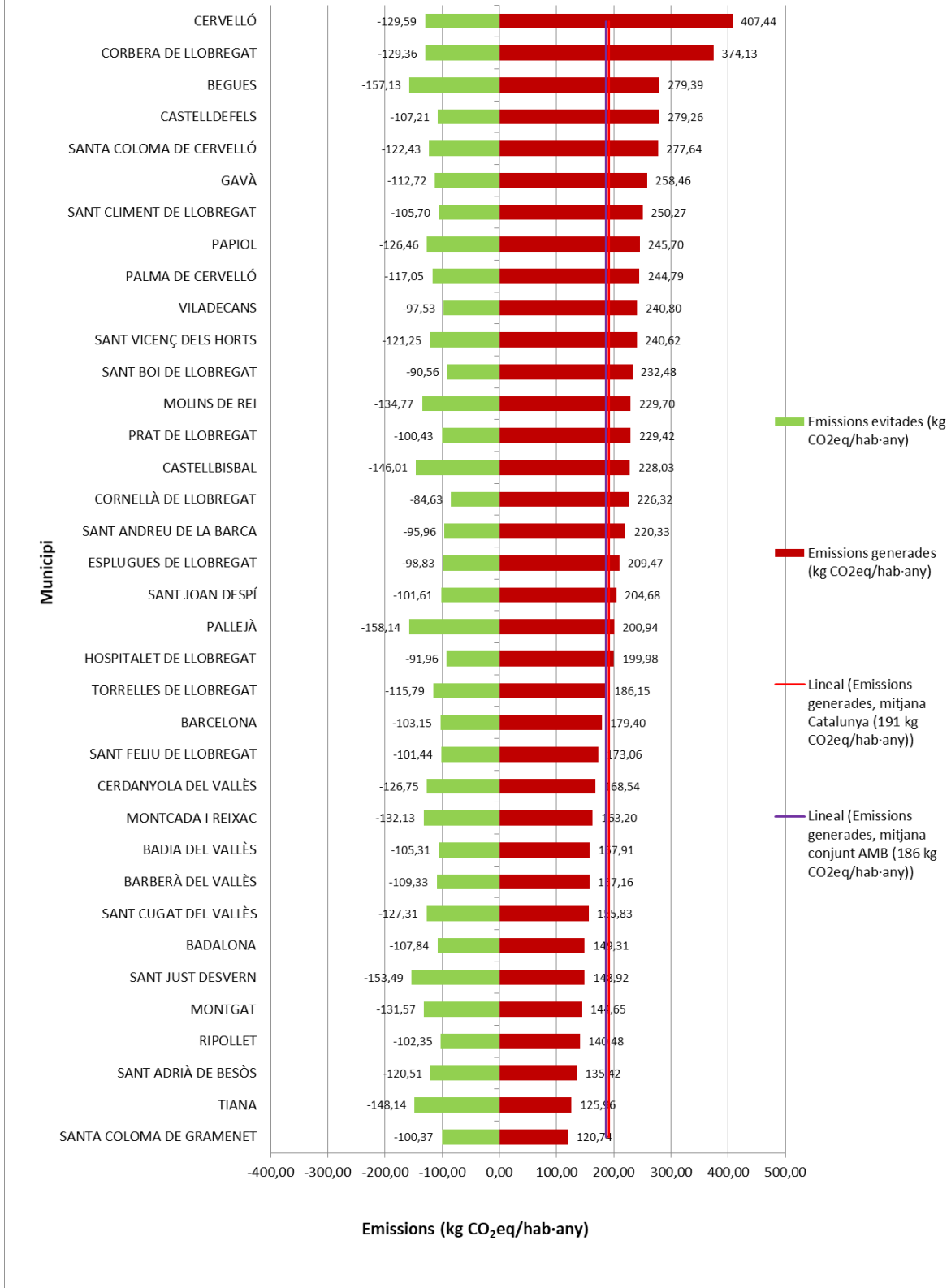
7. REFERÈNCIES

- ARC, 2020. Petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals de Catalunya. Informe 2019. Agència de Residus de Catalunya i inèdit. Disponible a: http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/petjada_carboni_2019.pdf
- 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/reqno_jrc65850_lb-na-24916-en-n%20_pdf_.pdf (darrer accés: octubre 2015)
- Farreny R, Colman S, Gasol CM, Rieradevall J, Sevigné-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. 2021a. "Inventari d'emissions Catalunya 1990-2018 (versió castellà)" Disponible a: https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01_EL_CANVI_CLIMATIC/inventaris_demissions/inventaris_demissions_a_catalunya/Catalunya-1990_2020v2021_publicat.xlsx (darrer accés: desembre 2021).

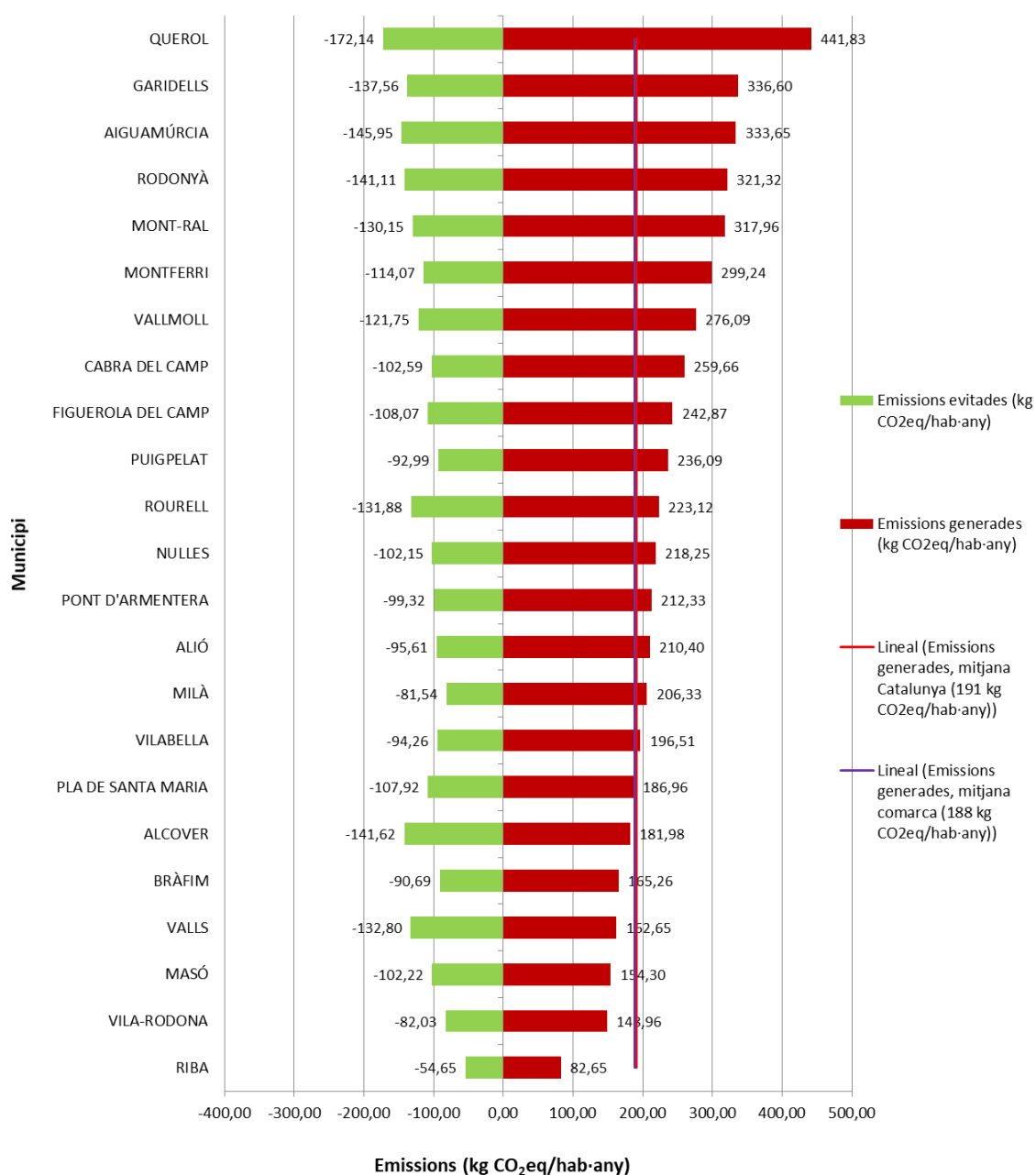
- OCCC. 2021b. "Factor d'emissió associat a l'energia elèctrica: el mix elèctric". Disponible a: https://canviclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/ (darrer accés: desembre 2021).
- Prognos, Ifeu, INFU. 2008. "Resource Savings and CO2 Reduction Potential in Waste Management in Europe and the Possible Contribution to the CO2 Reduction Target in 2020." http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/Results_CO2_wasteproject.pdf.
- Sevigné-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 (2020)

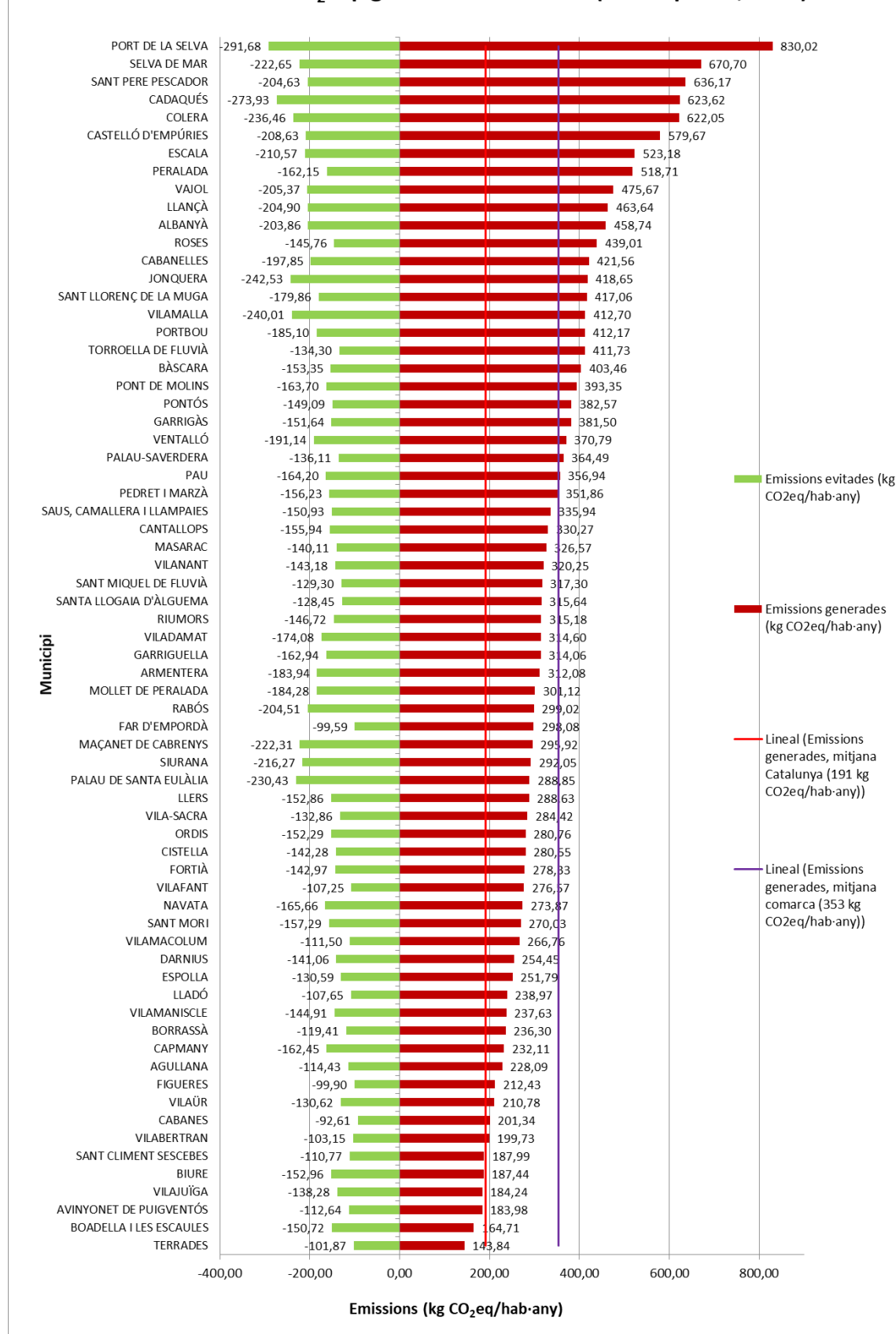
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (AMB, 2020)

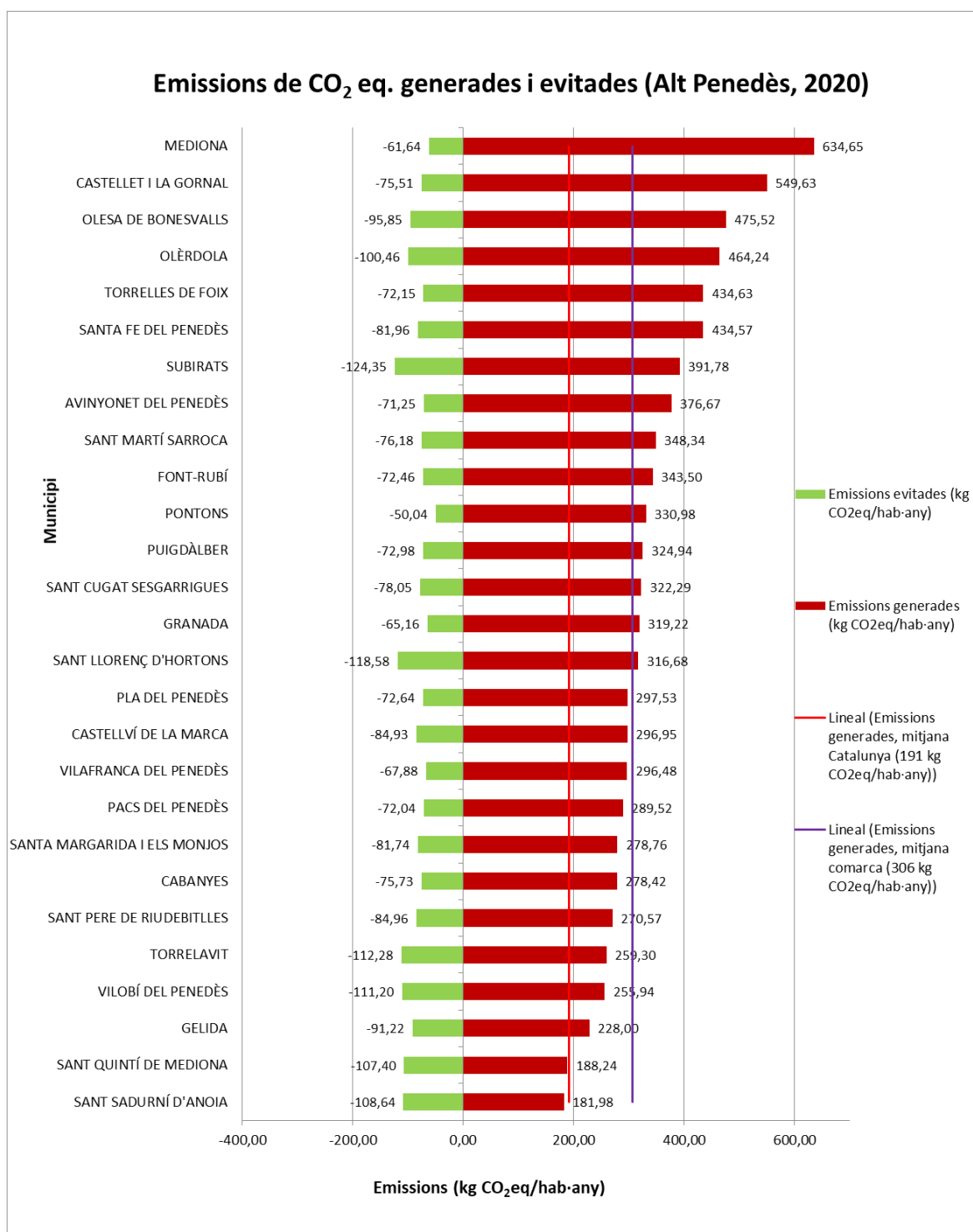


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Camp, 2020)

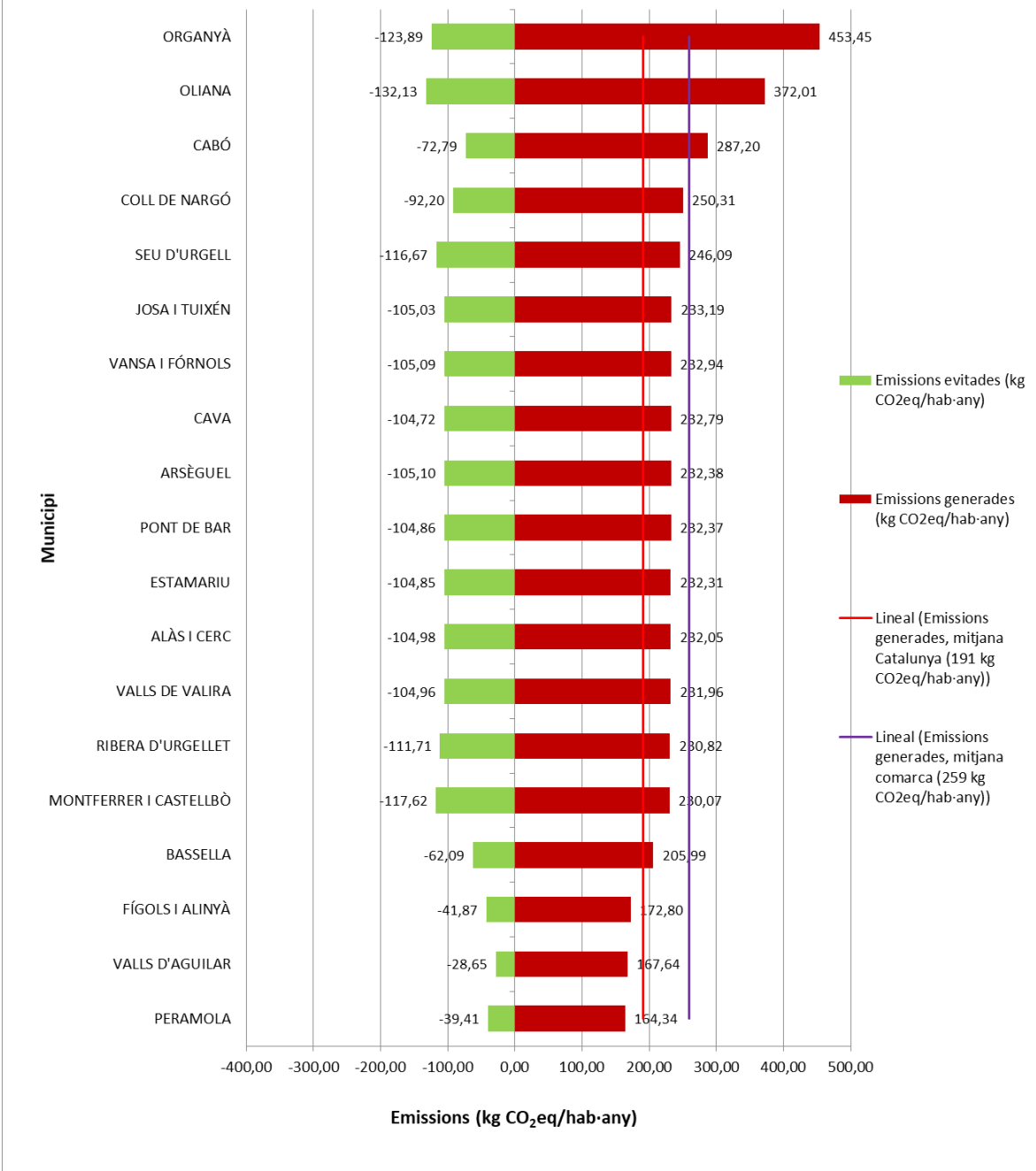


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Empordà, 2020)

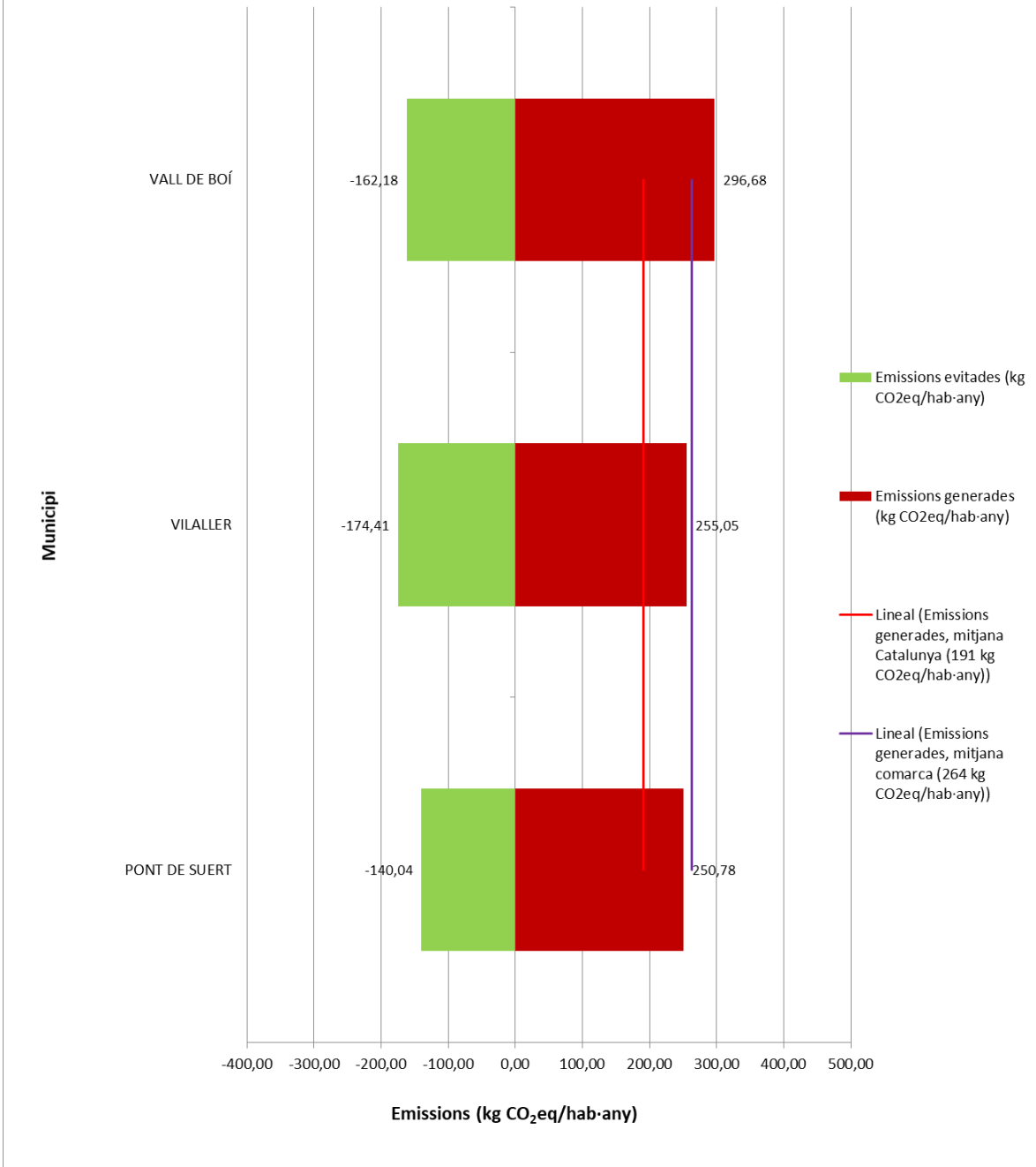




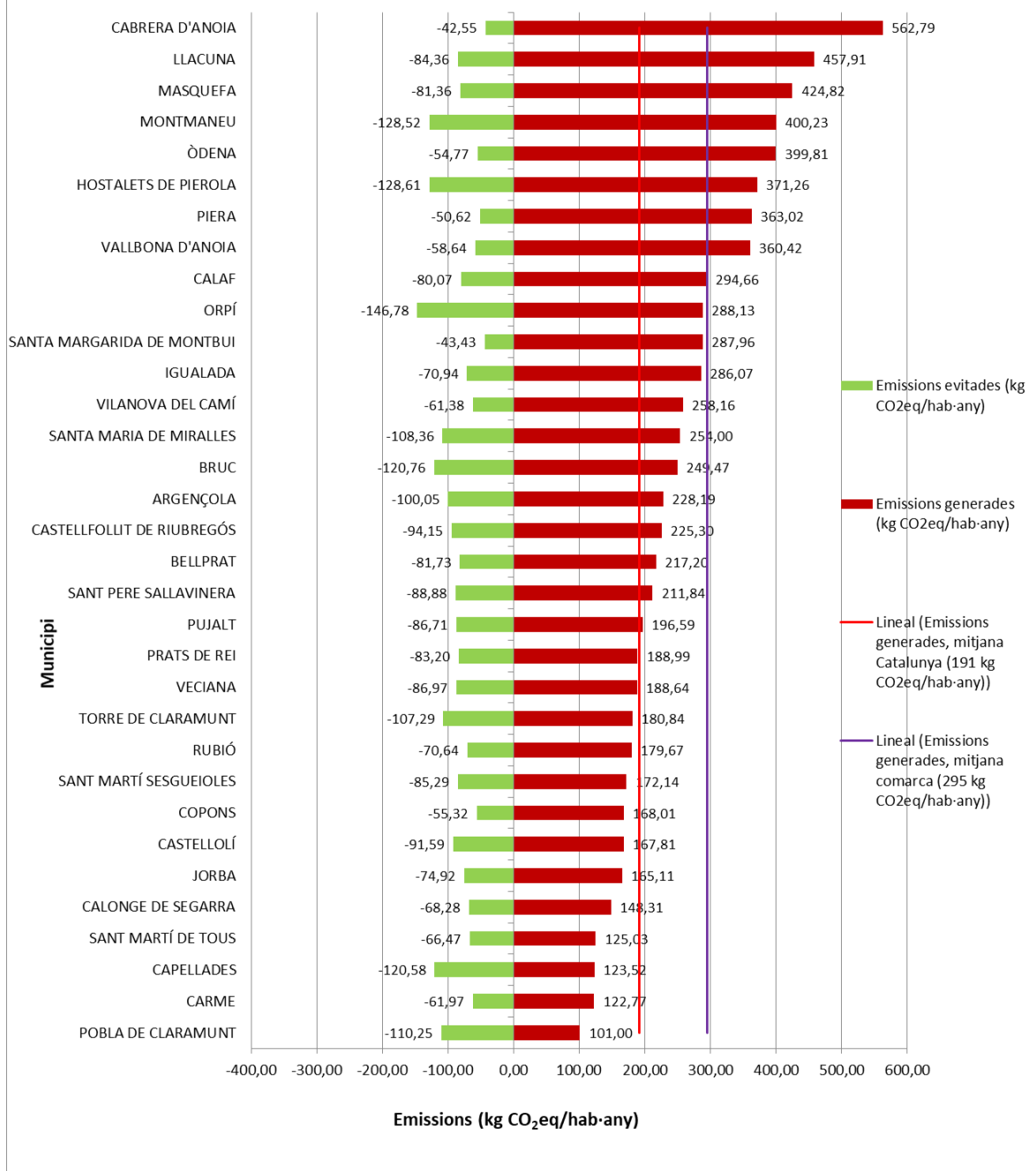
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Urgell, 2020)



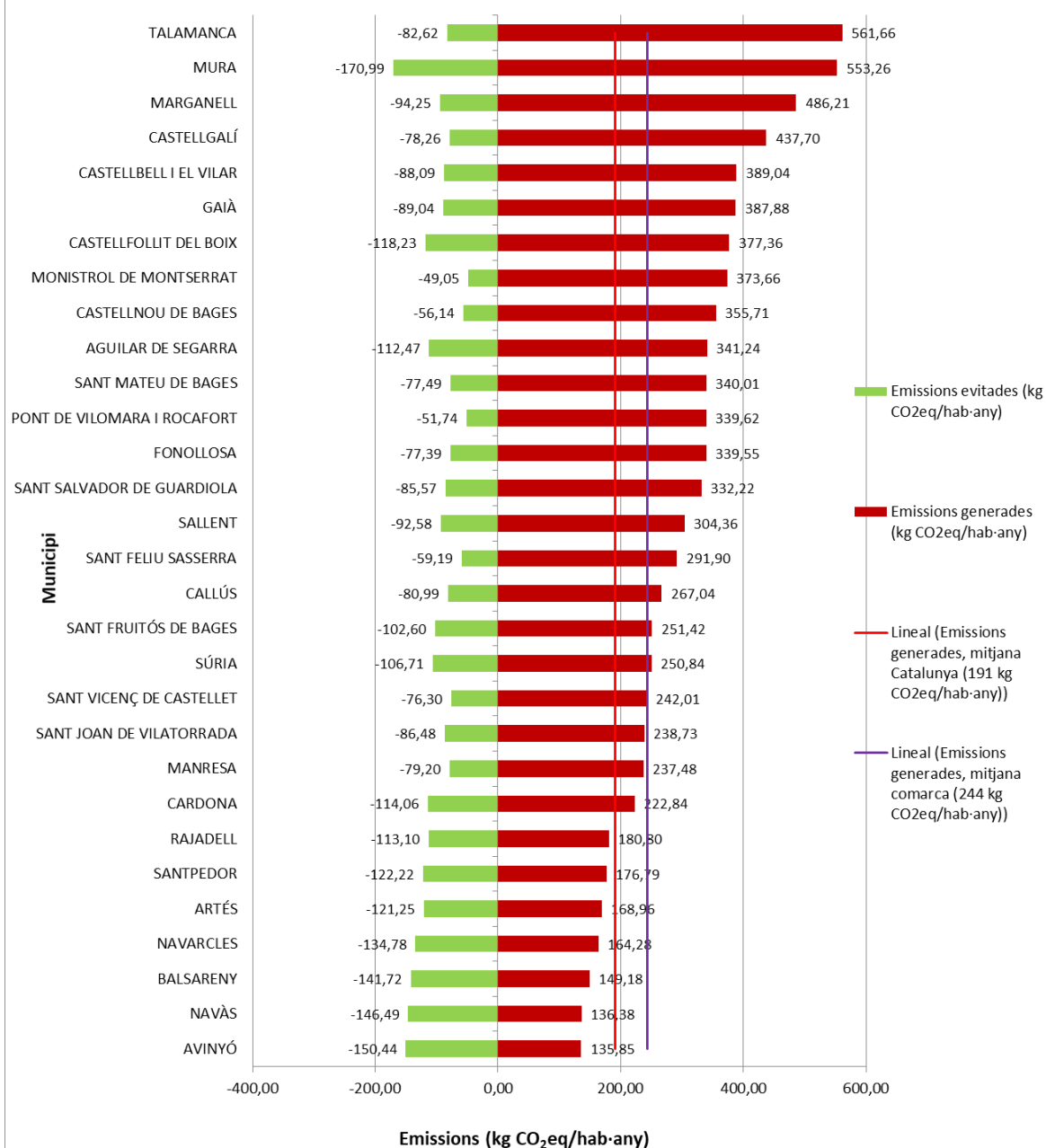
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alta Ribagorça, 2020)



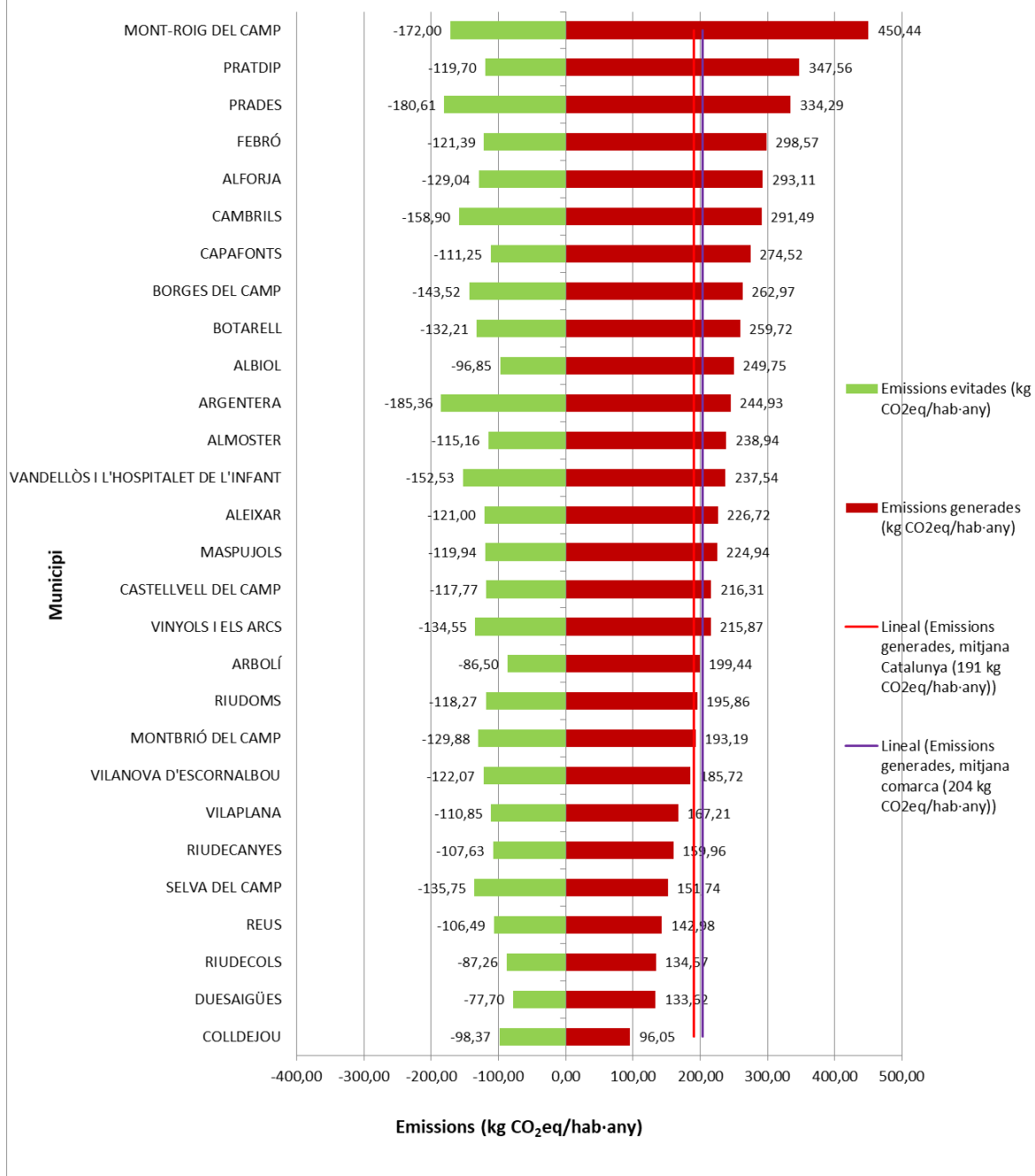
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Anoia, 2020)



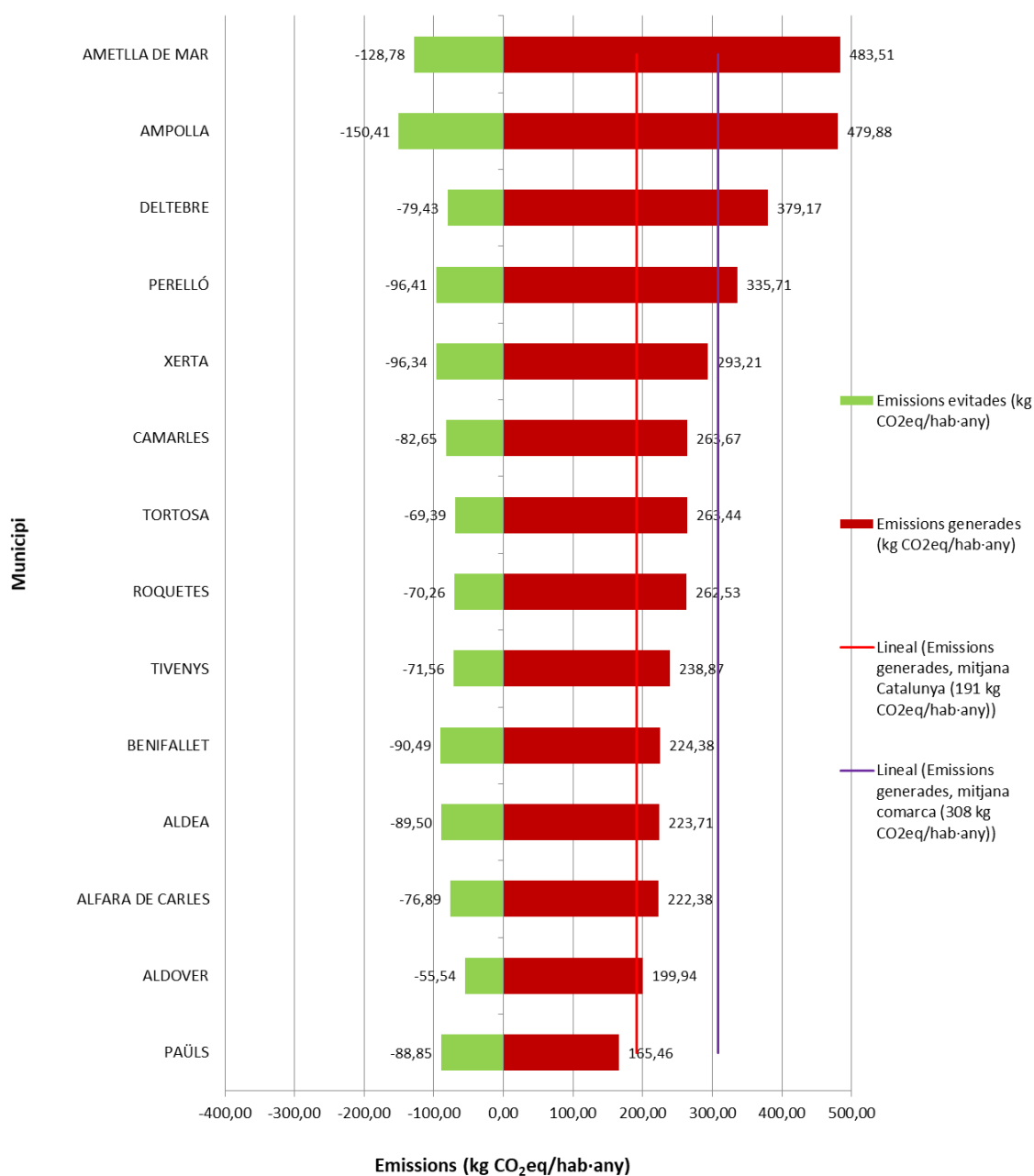
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Bages, 2020)

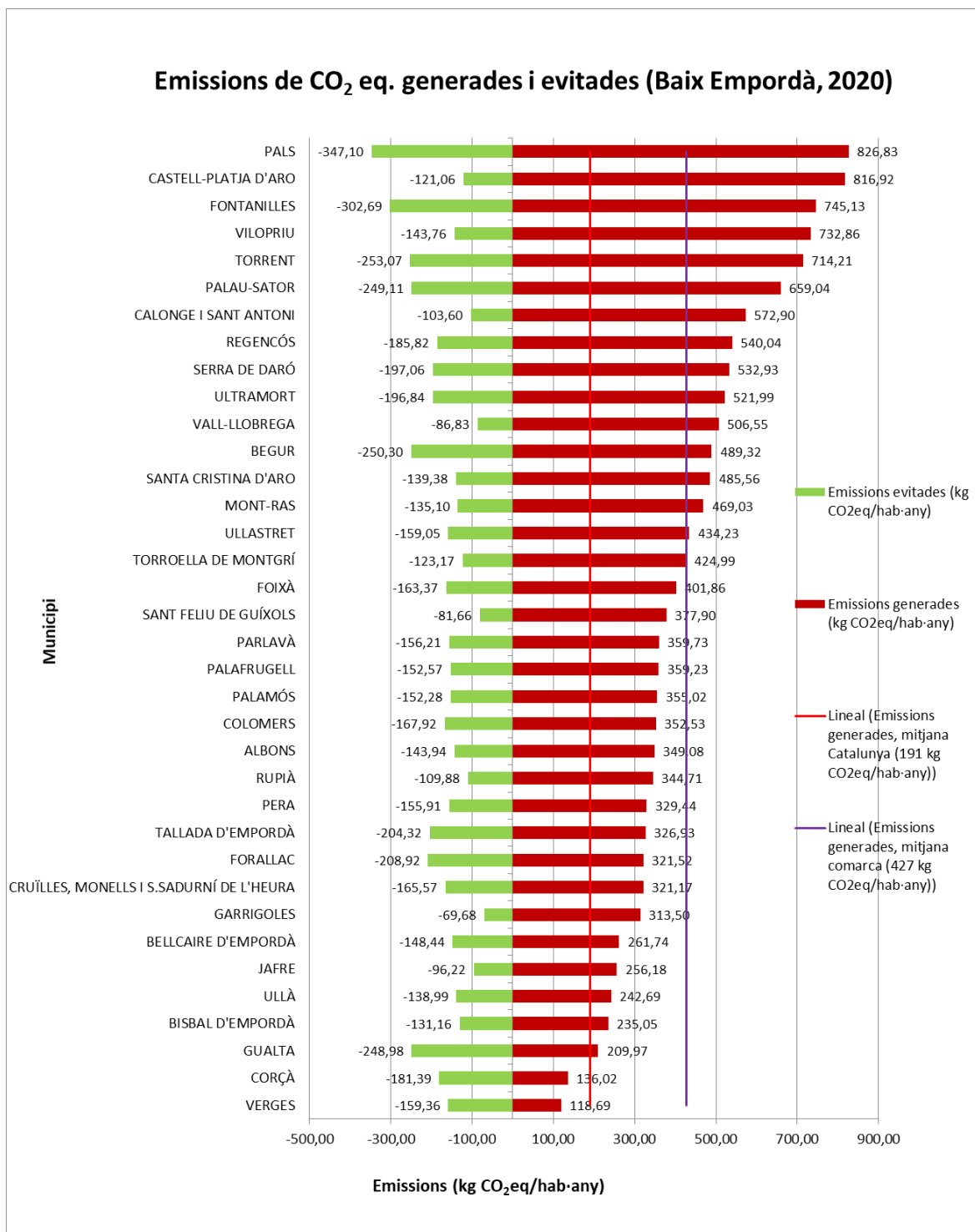


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Camp, 2020)

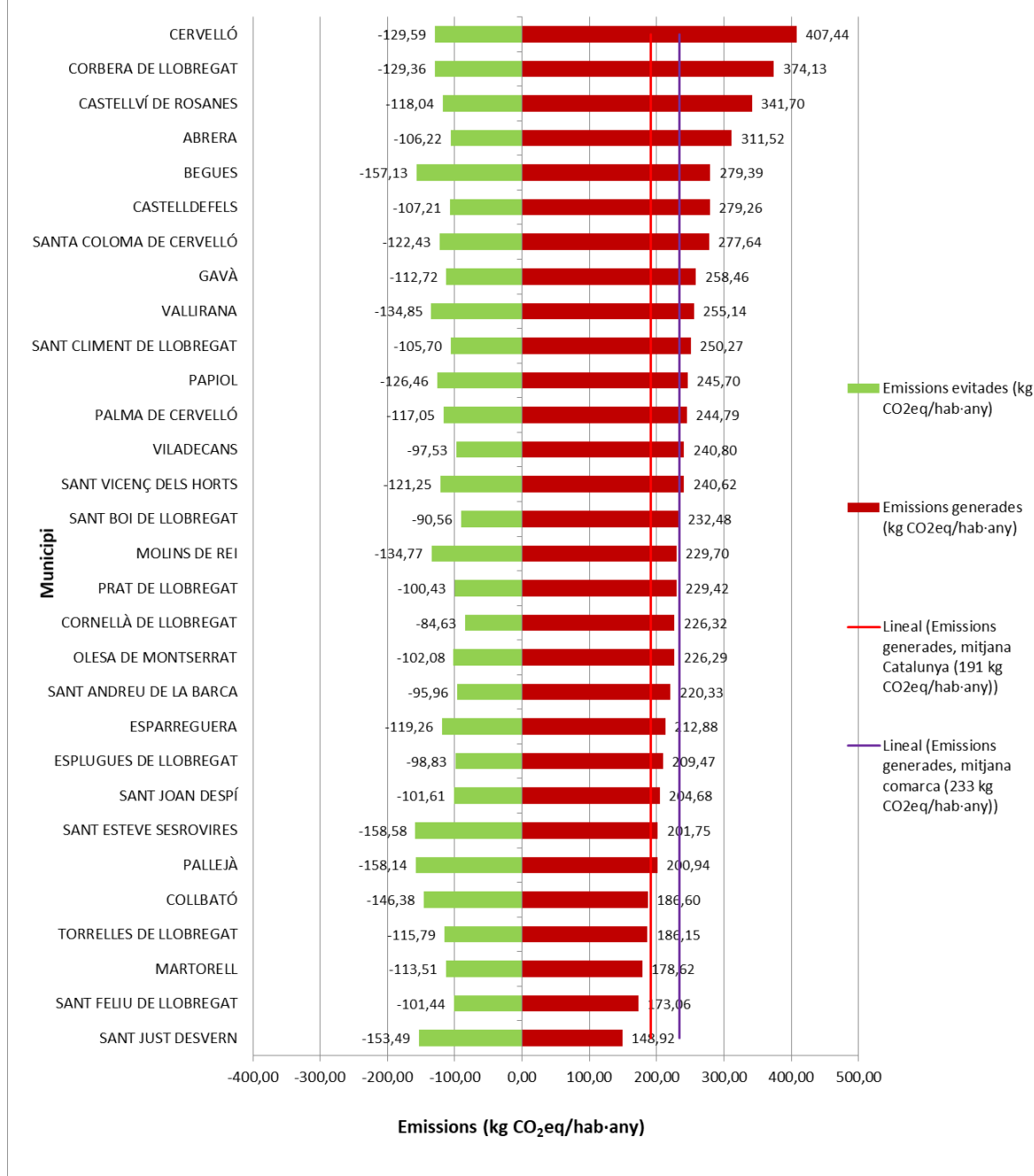


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Ebre, 2020)

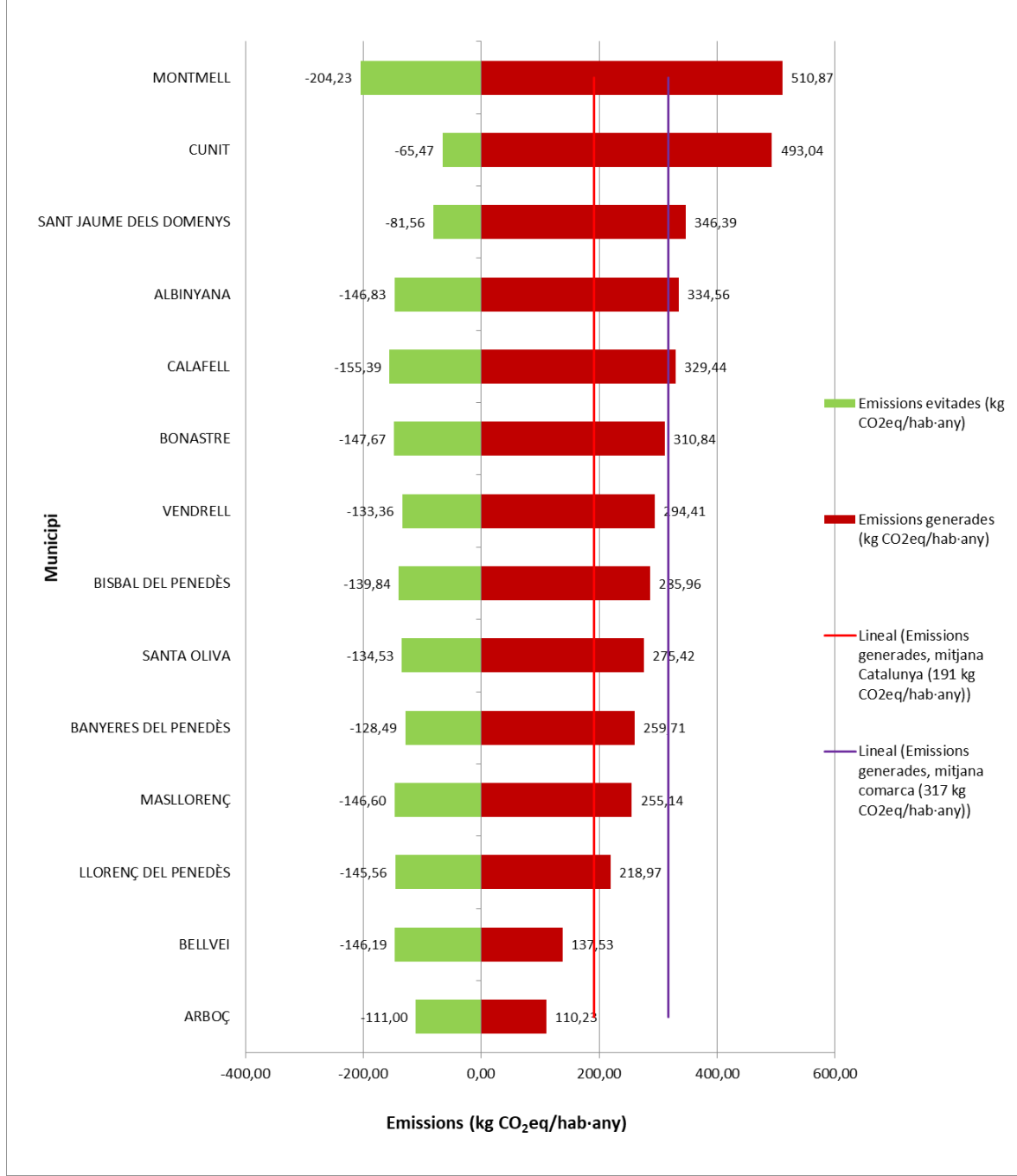




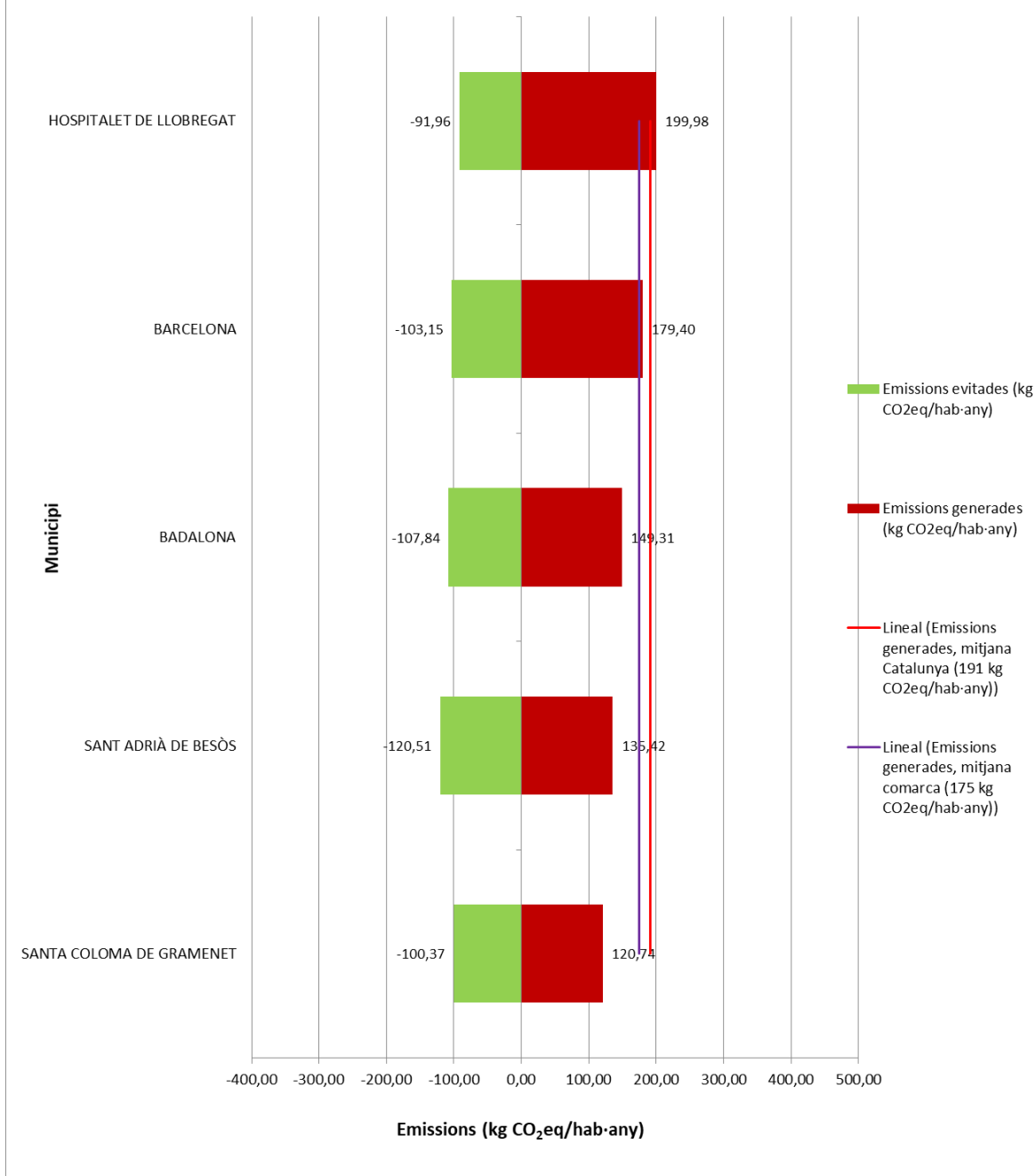
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Llobregat, 2020)



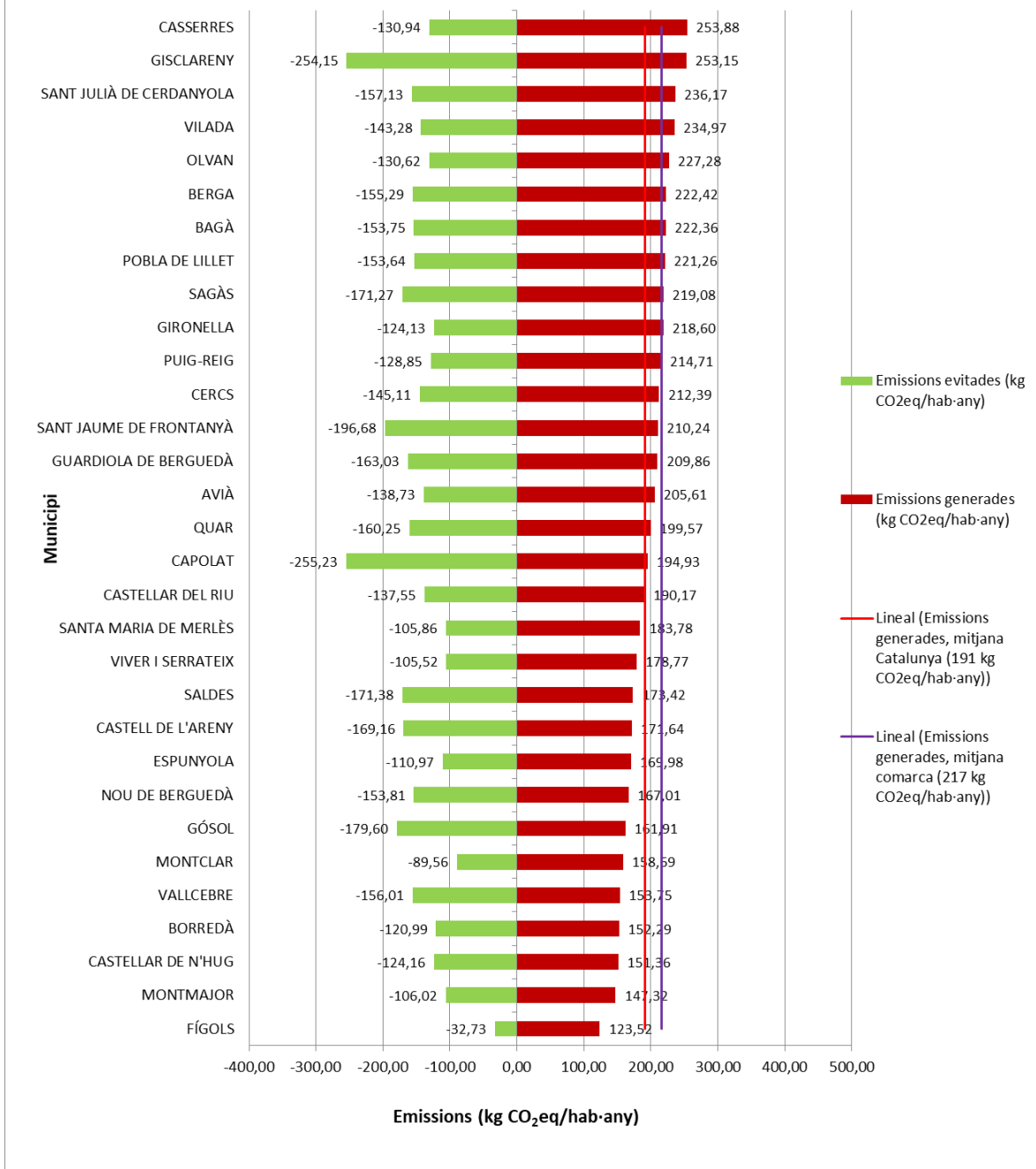
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Penedès, 2020)

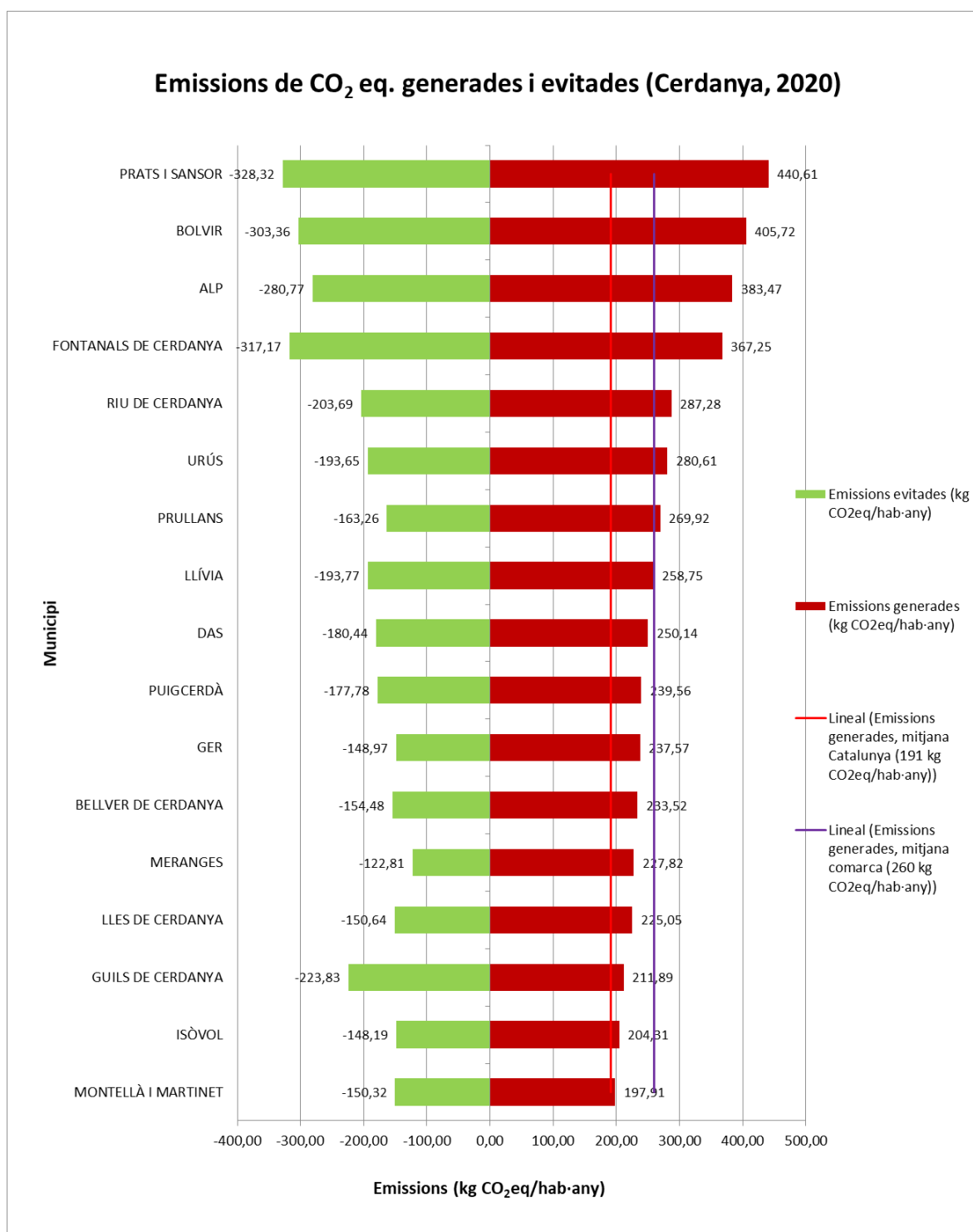


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Barcelonès, 2020)

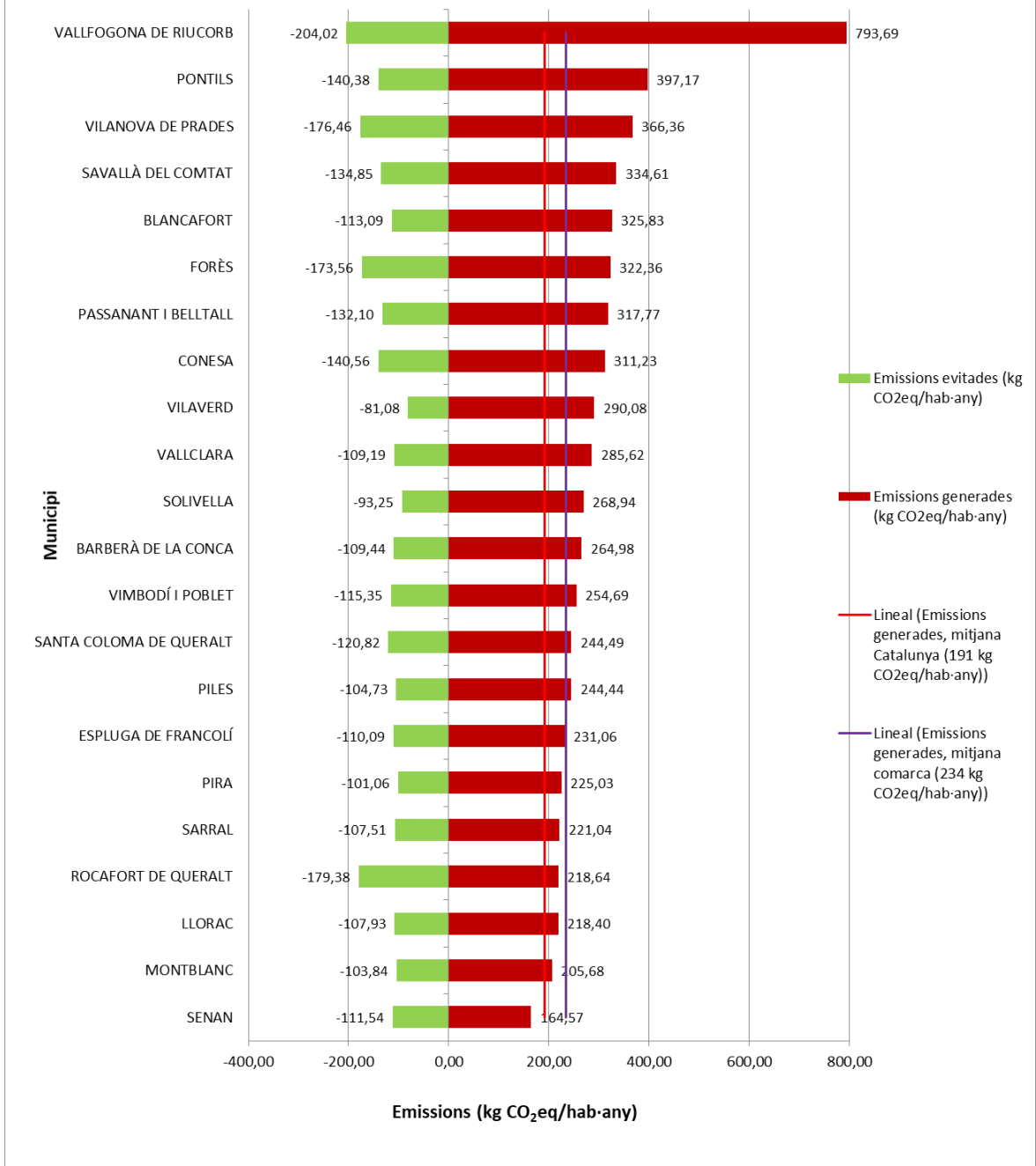


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Berguedà, 2020)

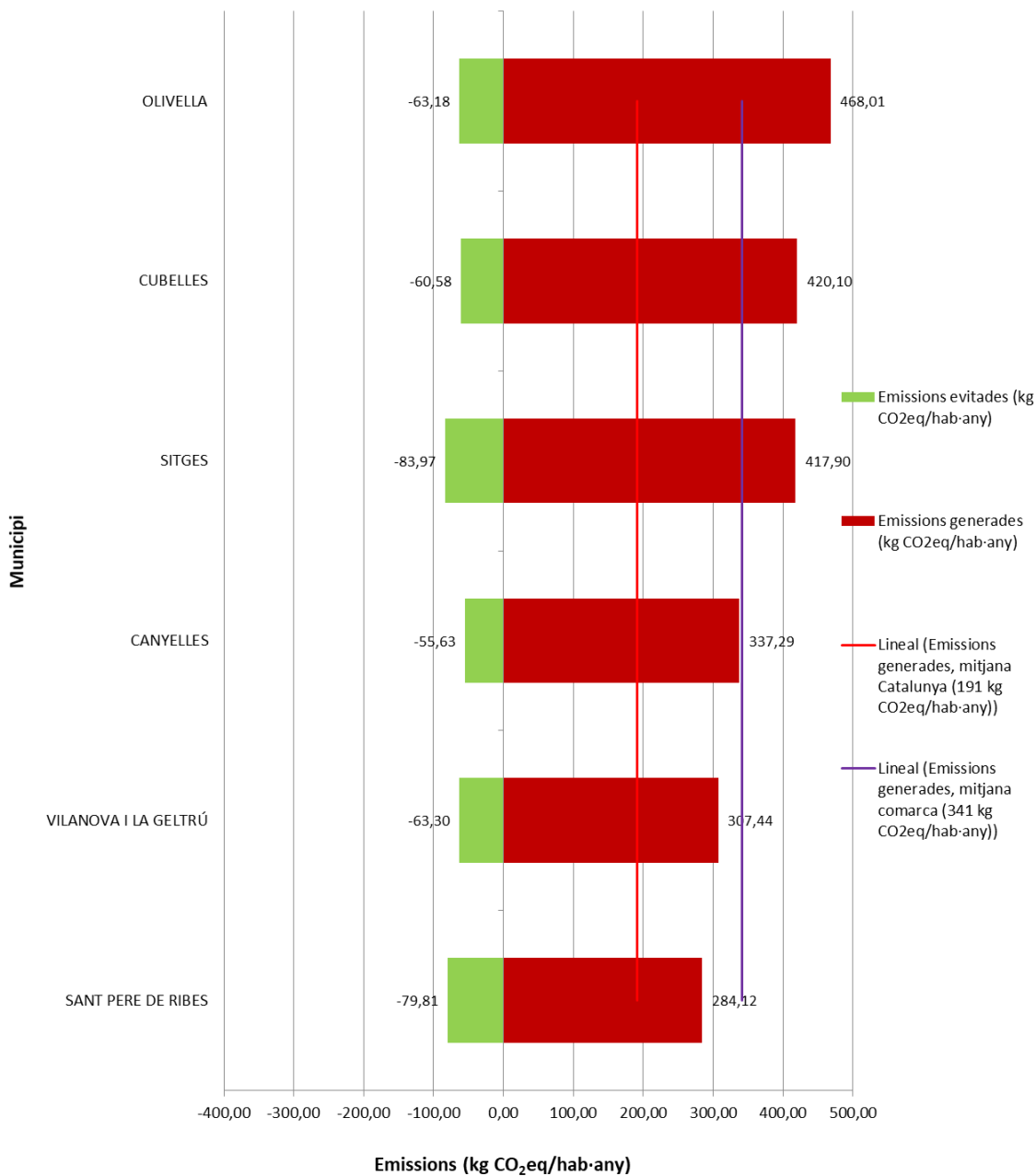




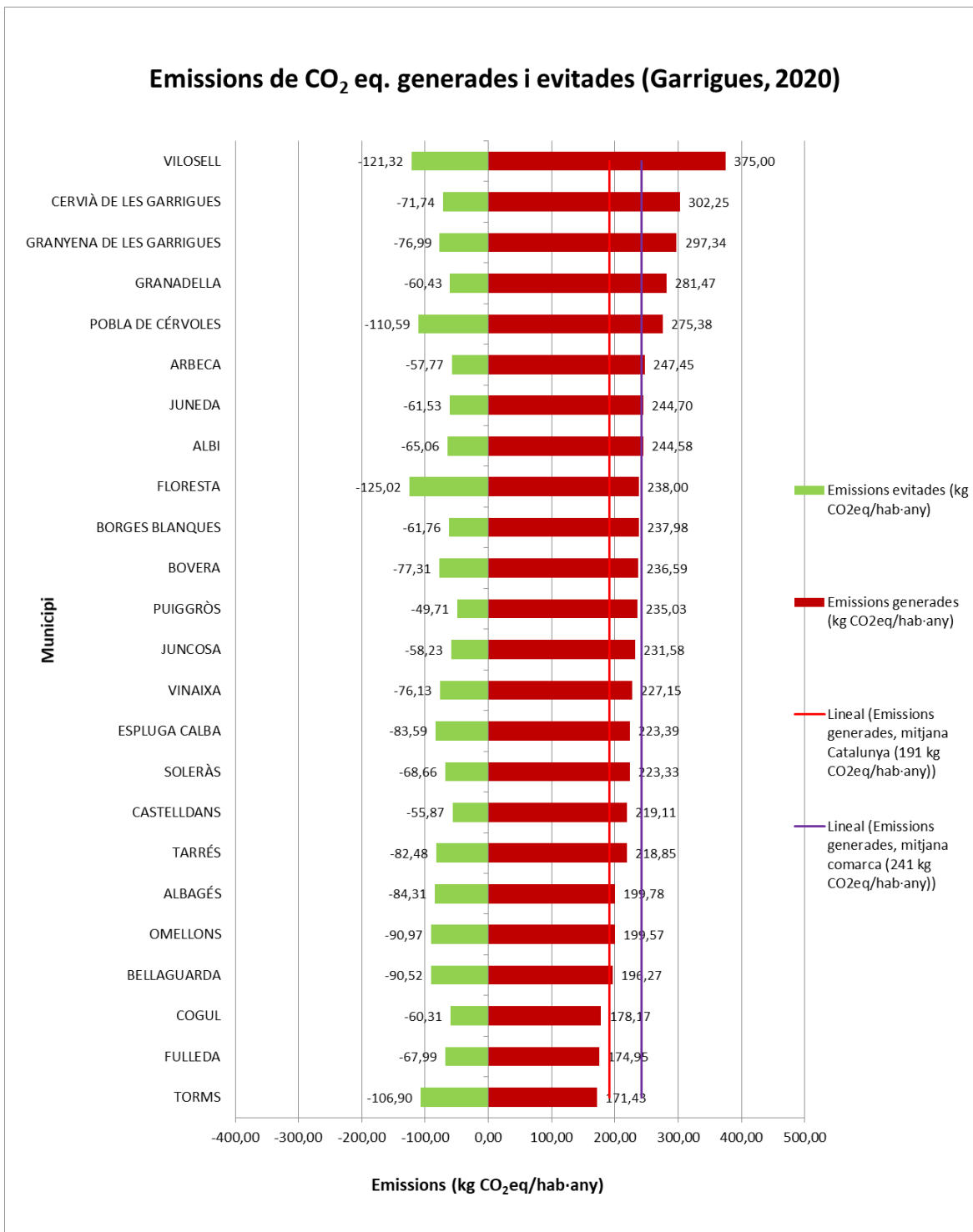
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Conca de Barberà, 2020)



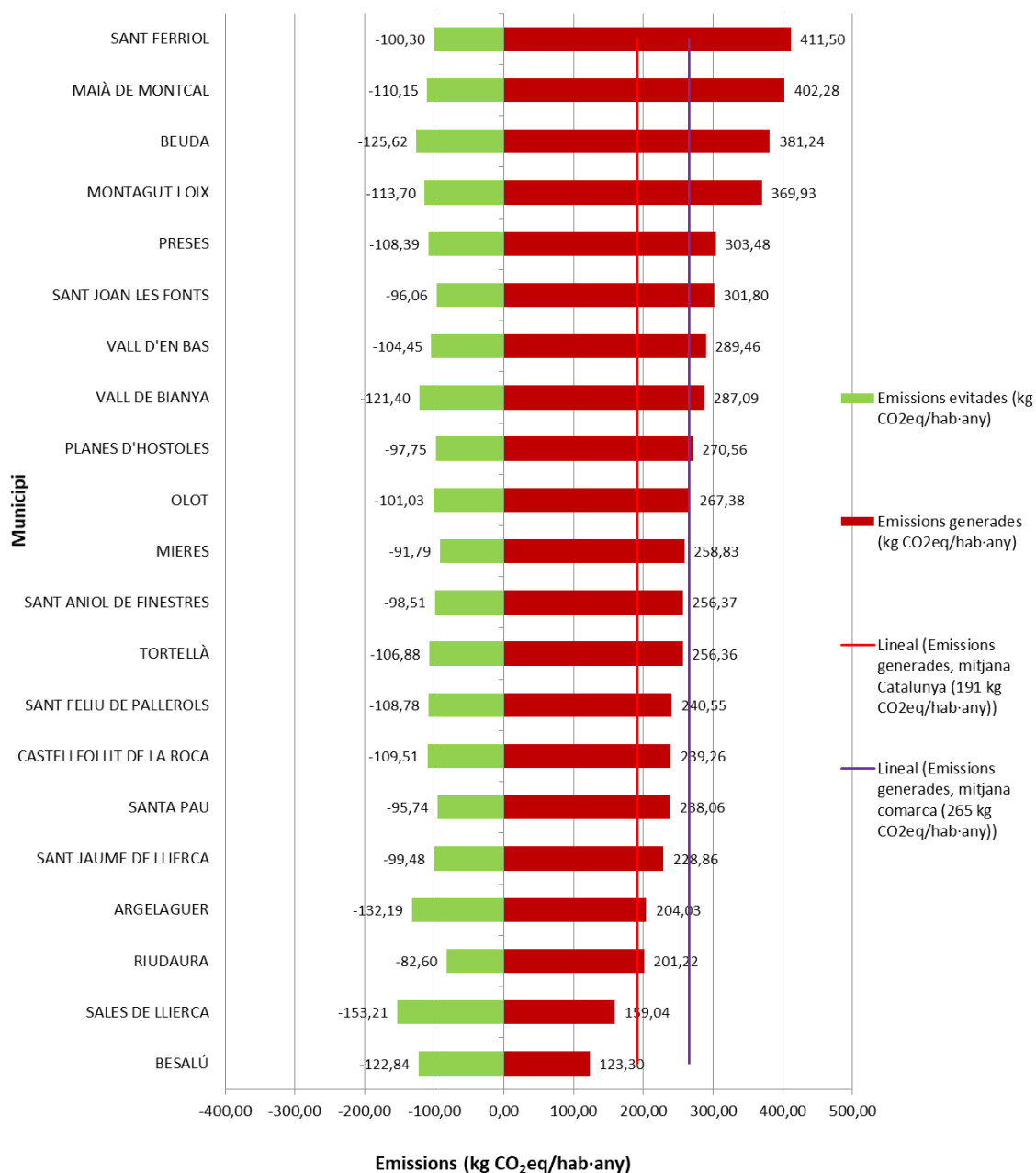
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garraf, 2020)



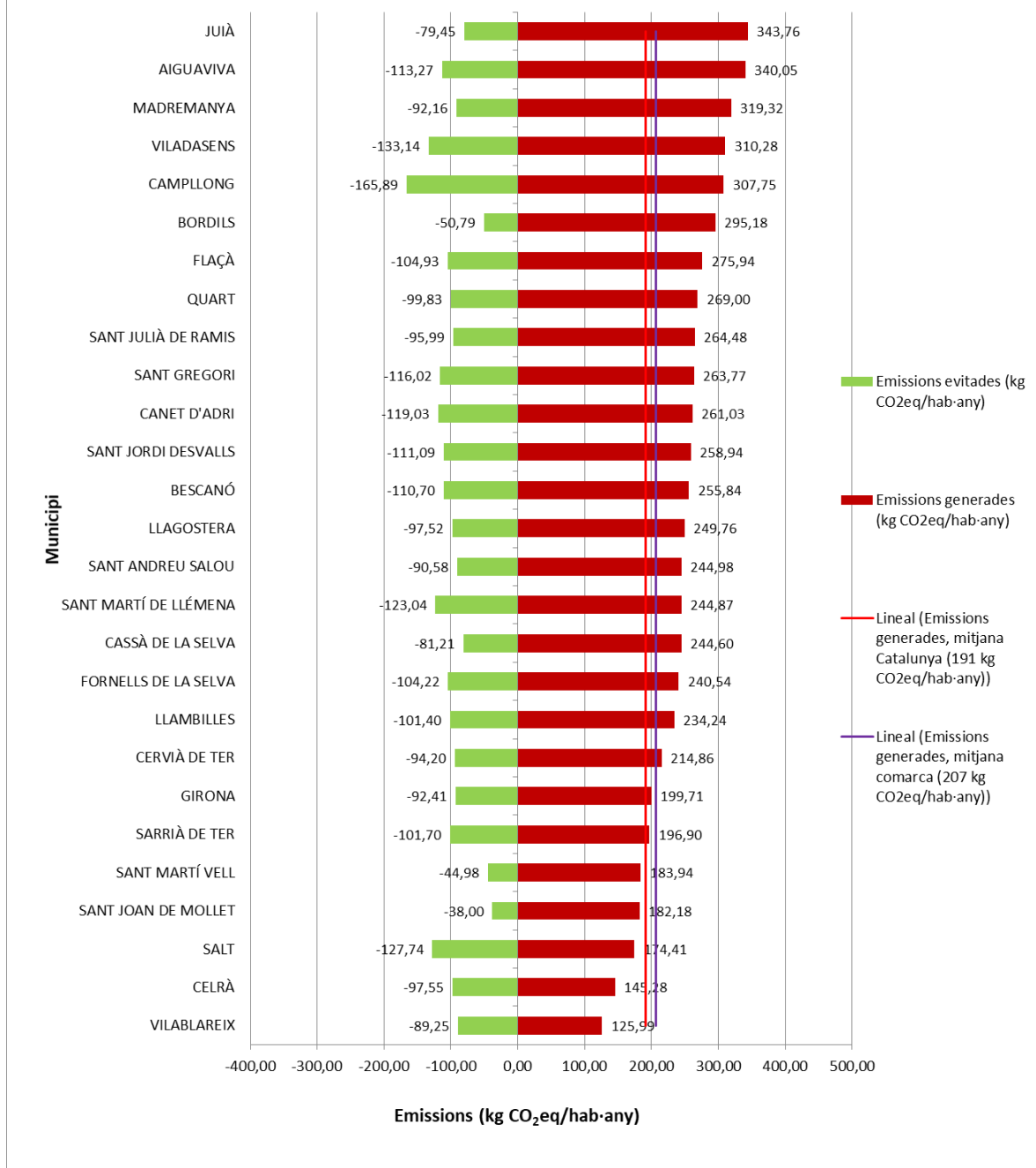
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garrigues, 2020)



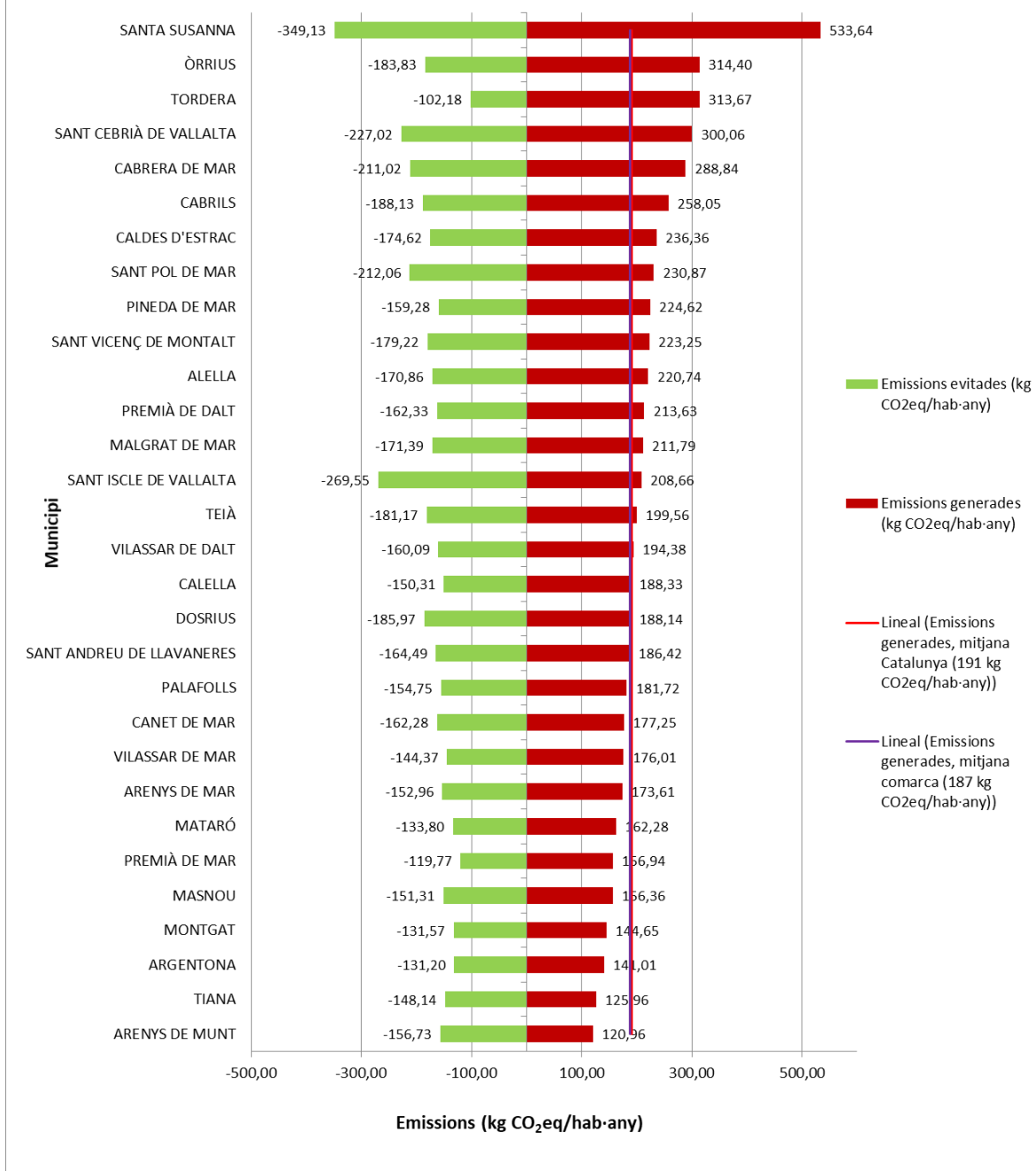
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garrotxa, 2020)



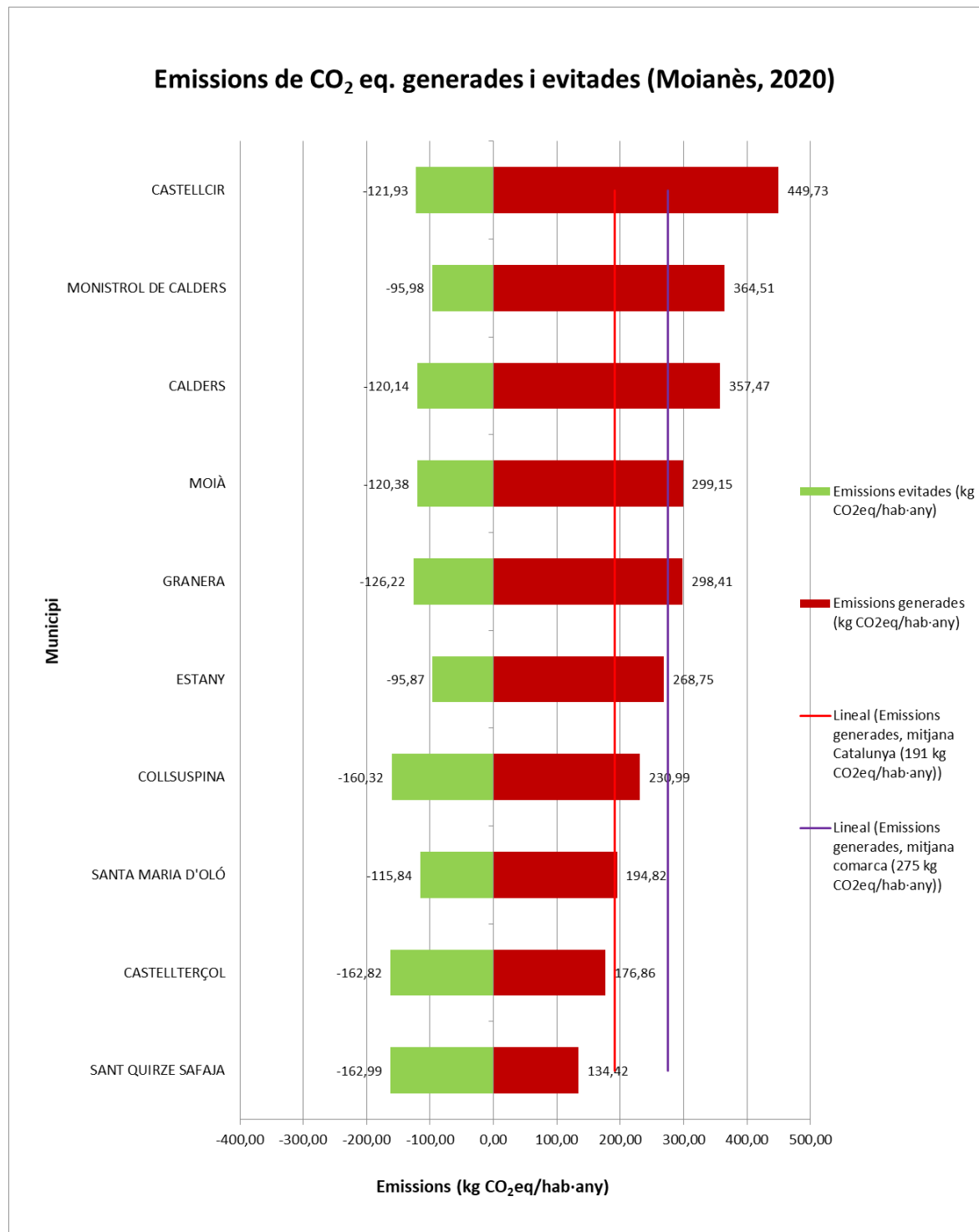
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Gironès, 2020)



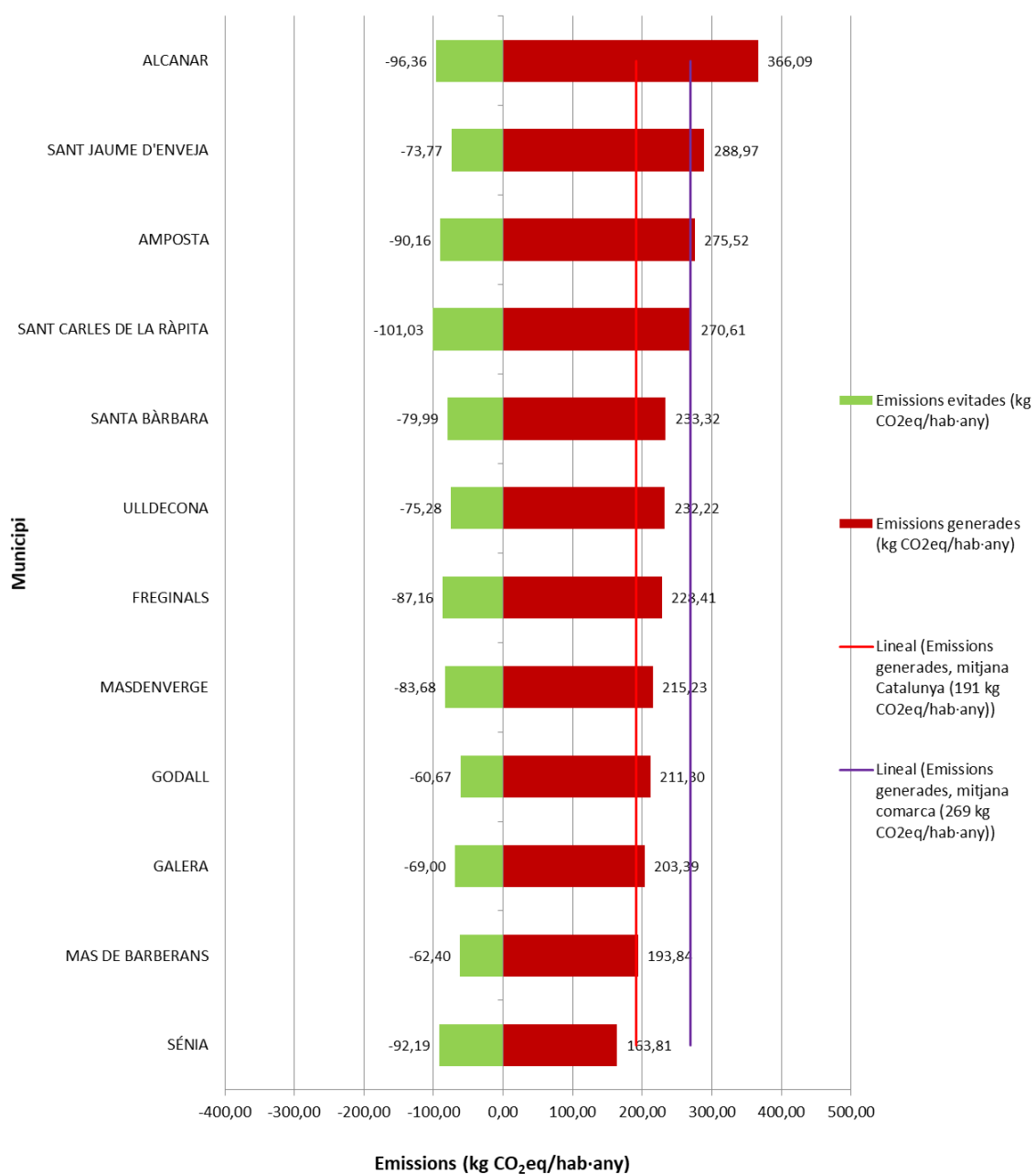
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Maresme, 2020)



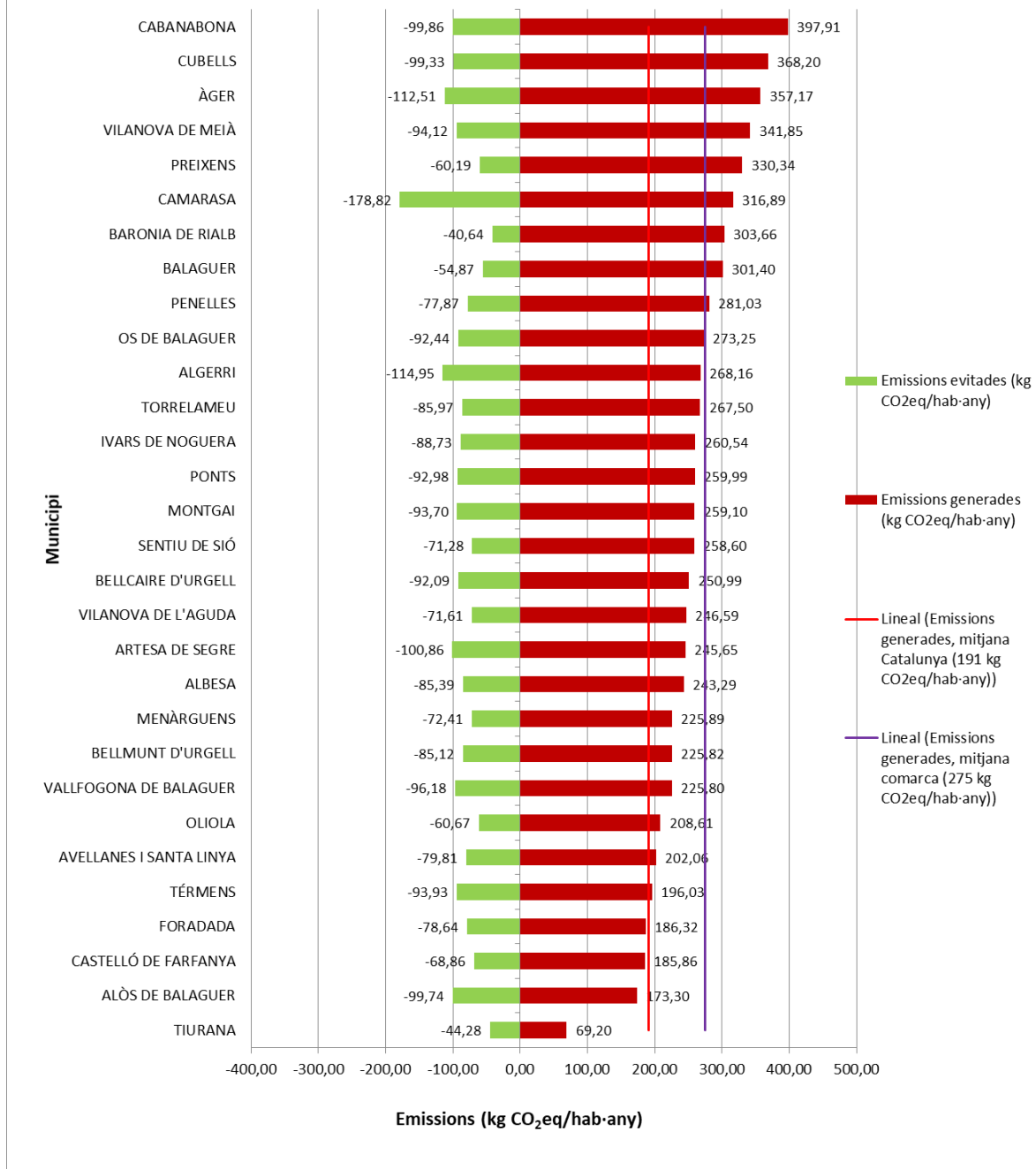
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Moianès, 2020)

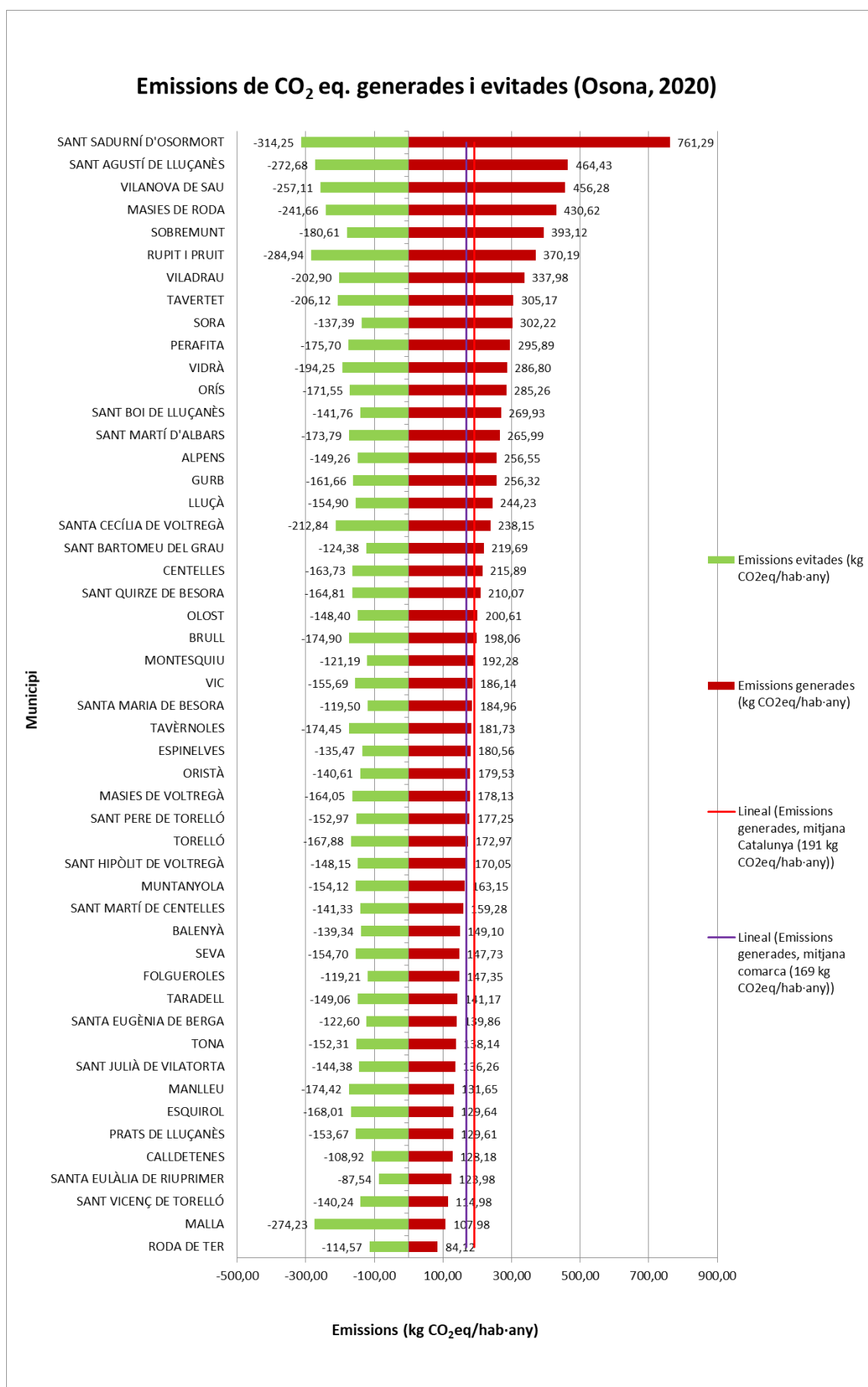


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Montsià, 2020)

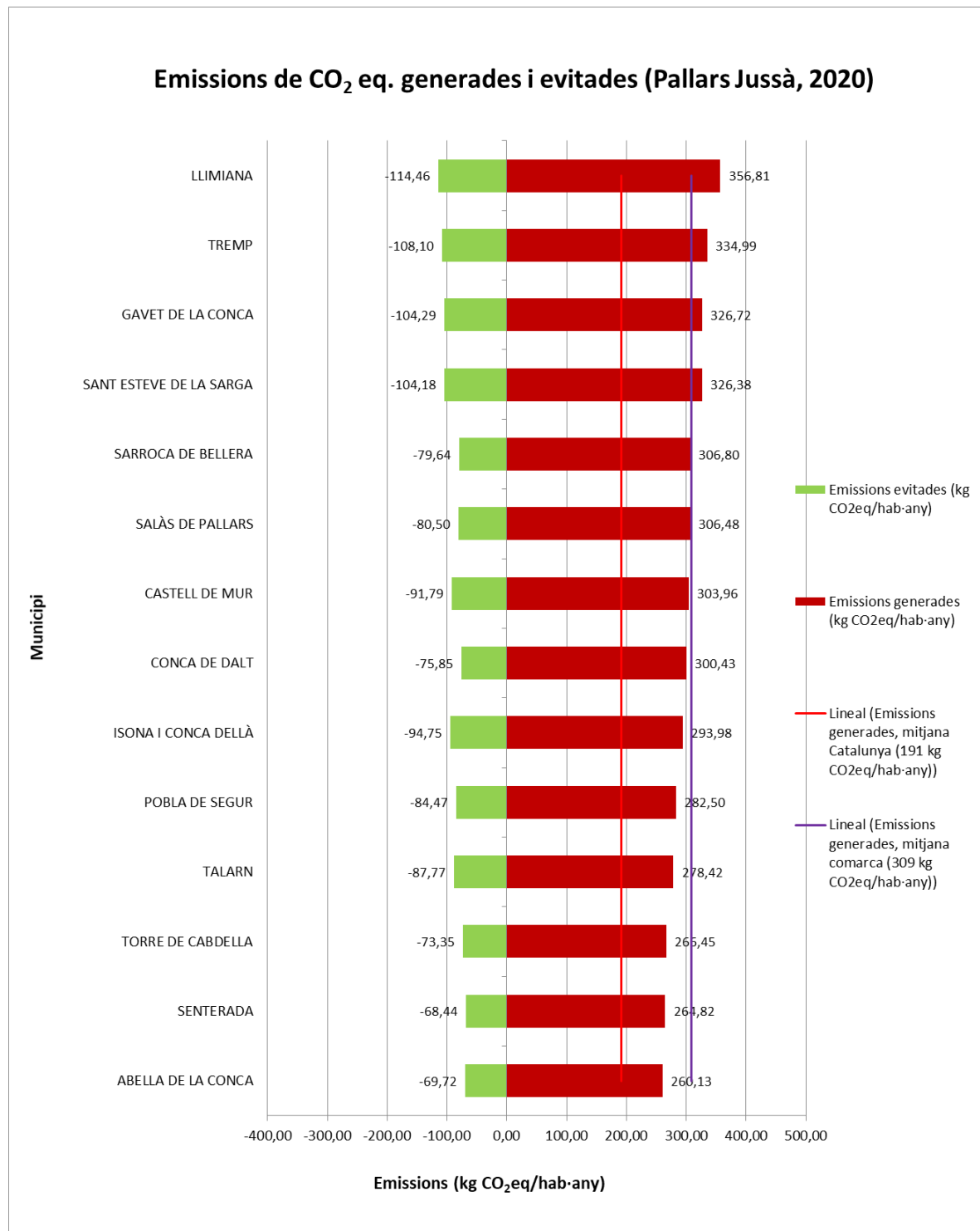


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Noguera, 2020)

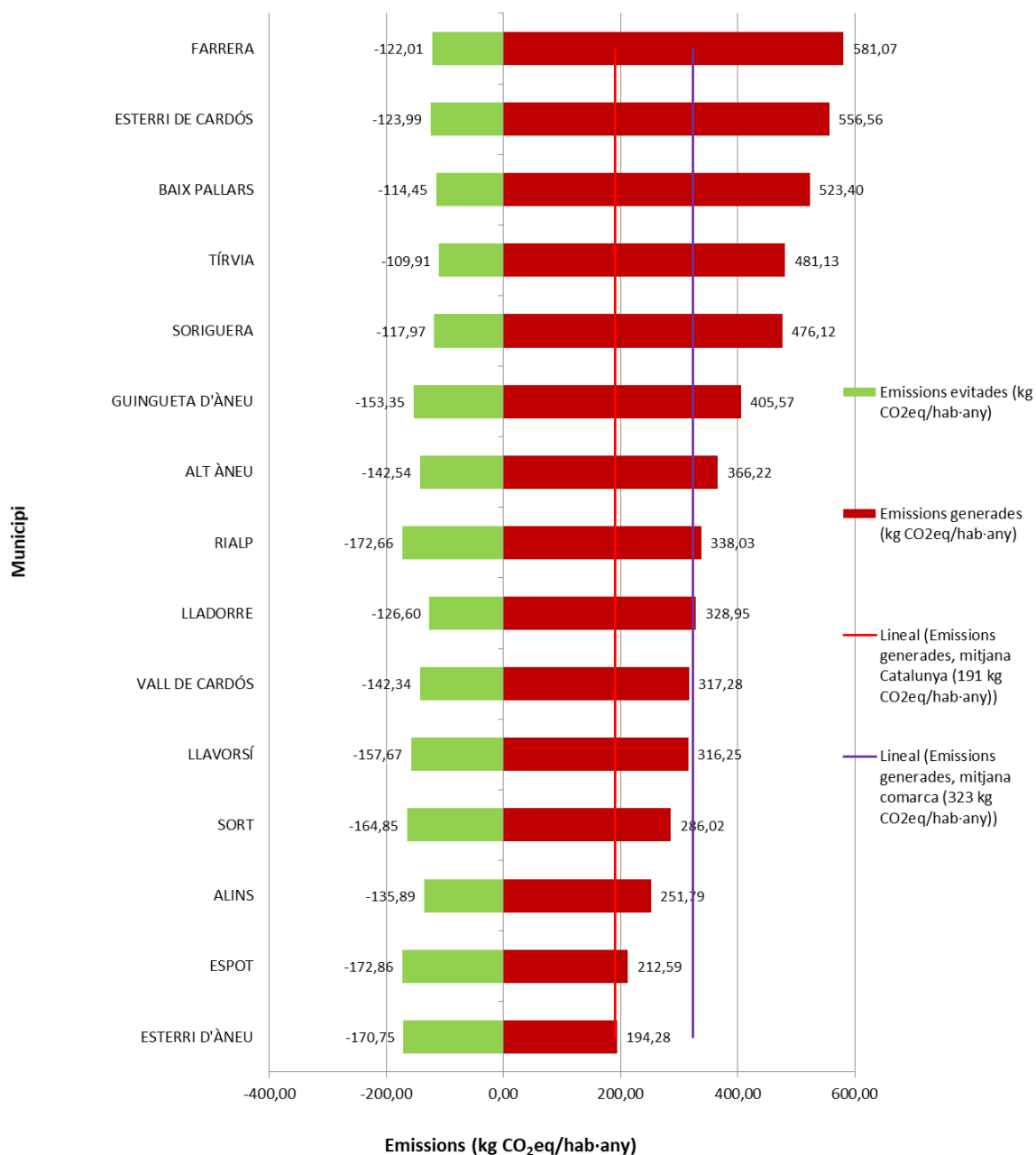




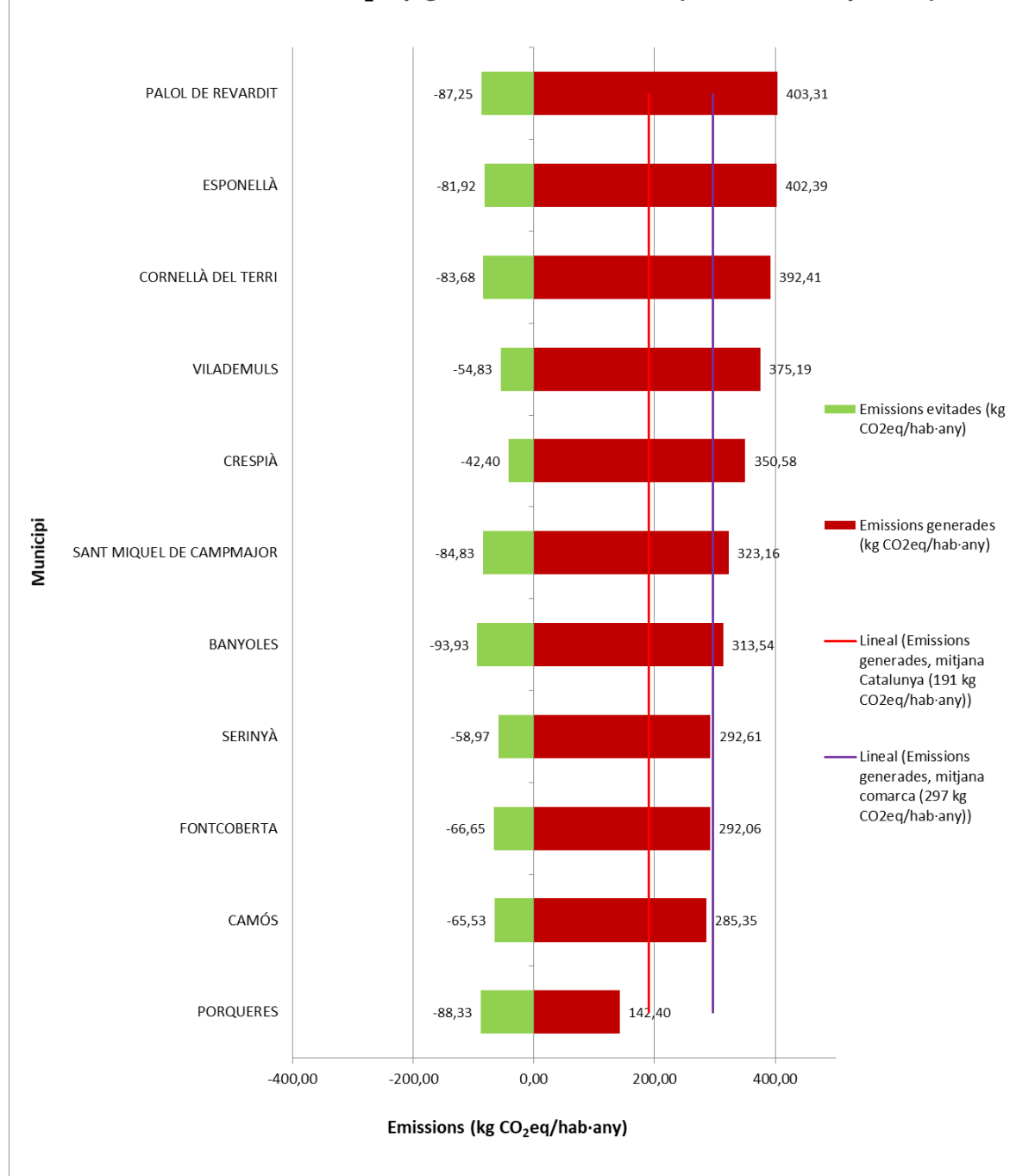
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Jussà, 2020)



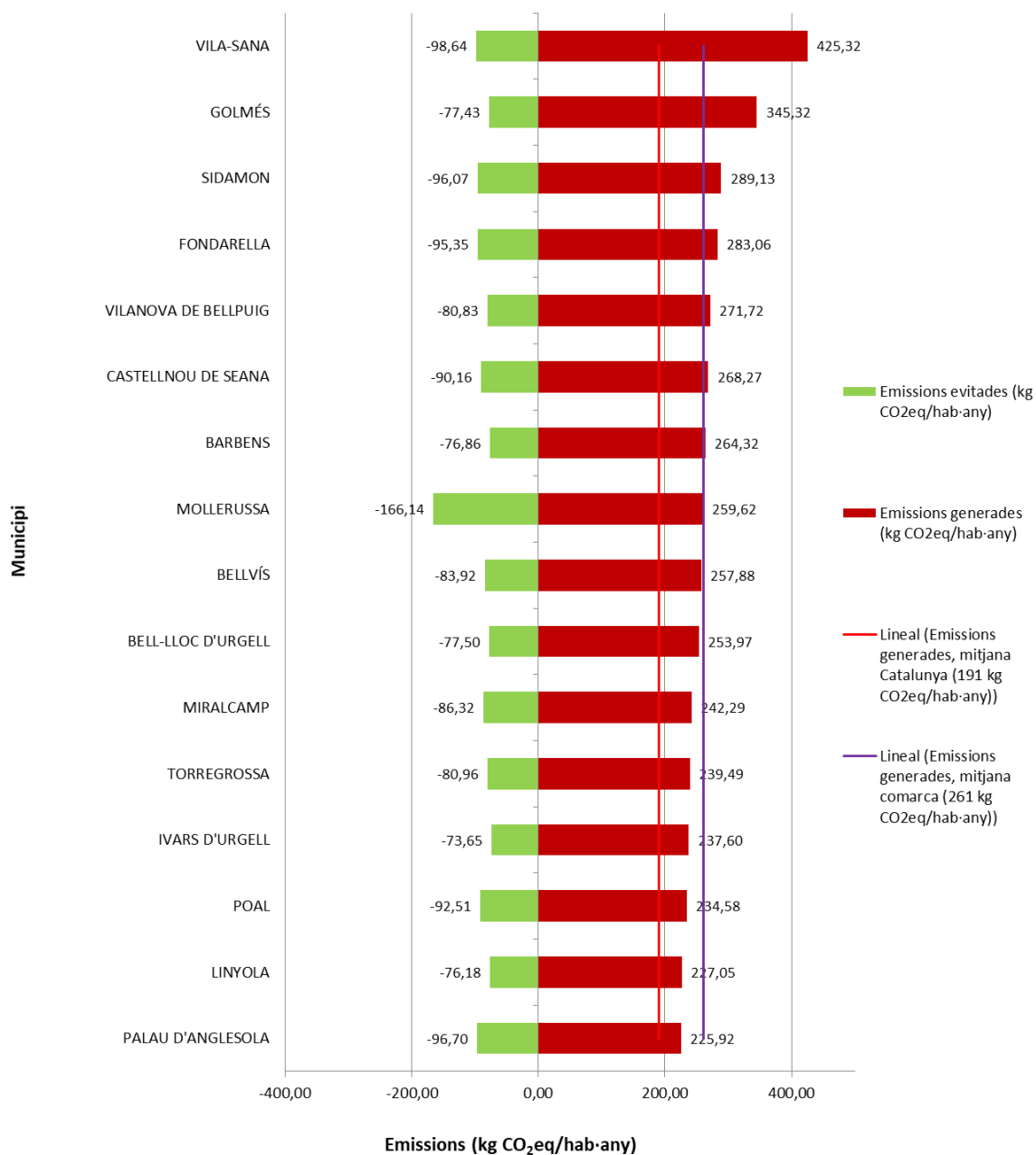
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Sobirà, 2020)



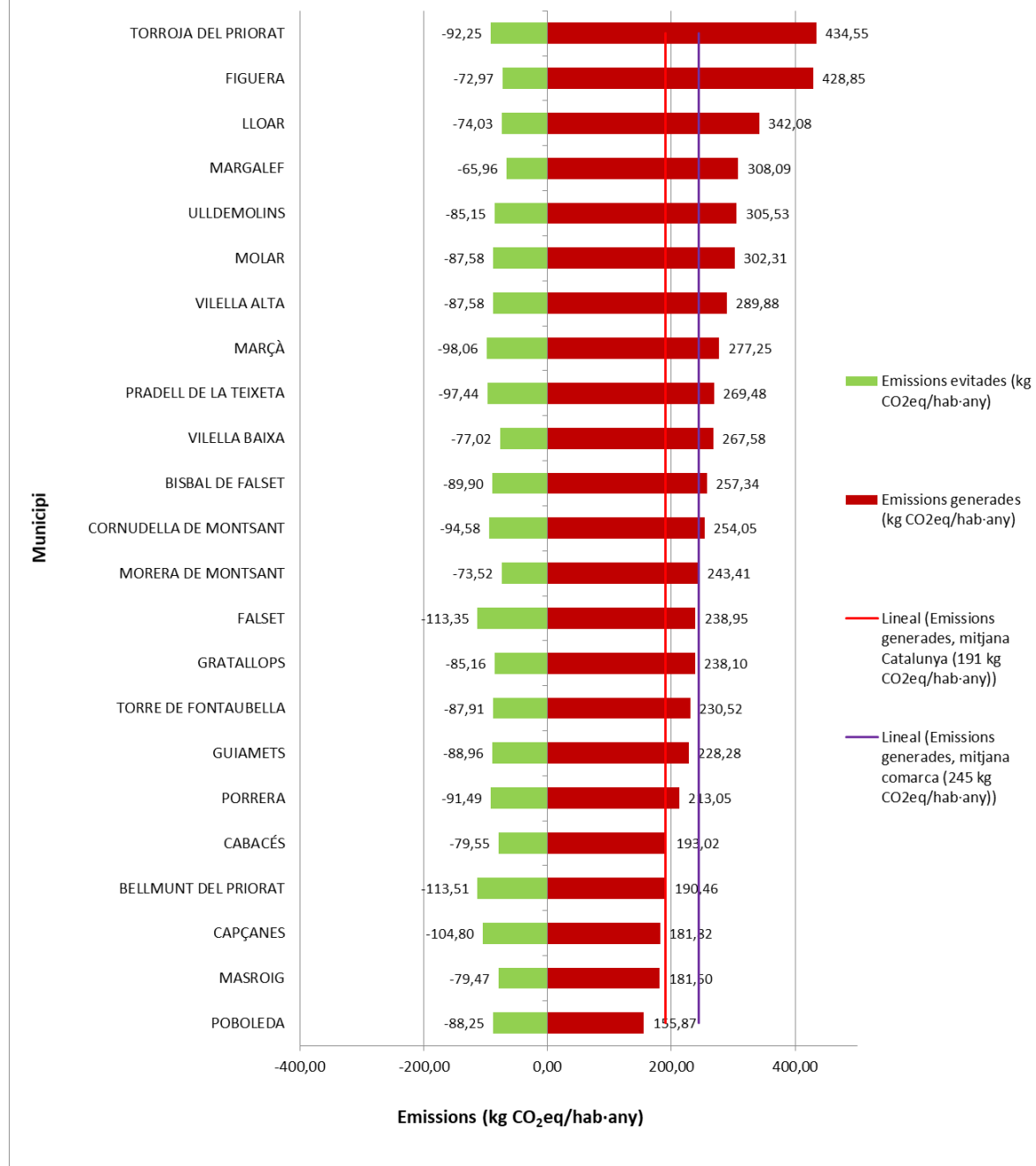
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla de l'Estany, 2020)



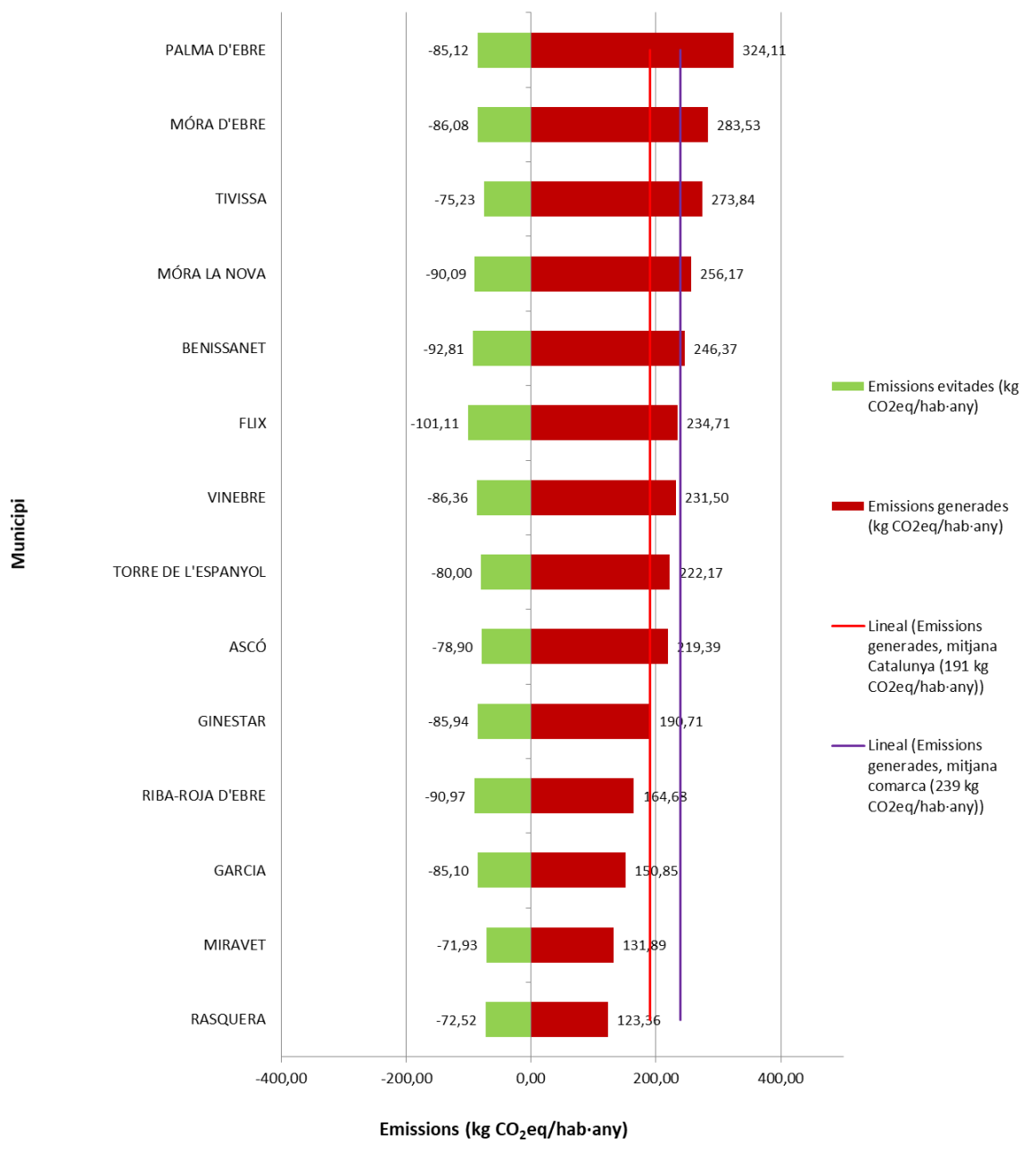
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla d'Urgell, 2020)



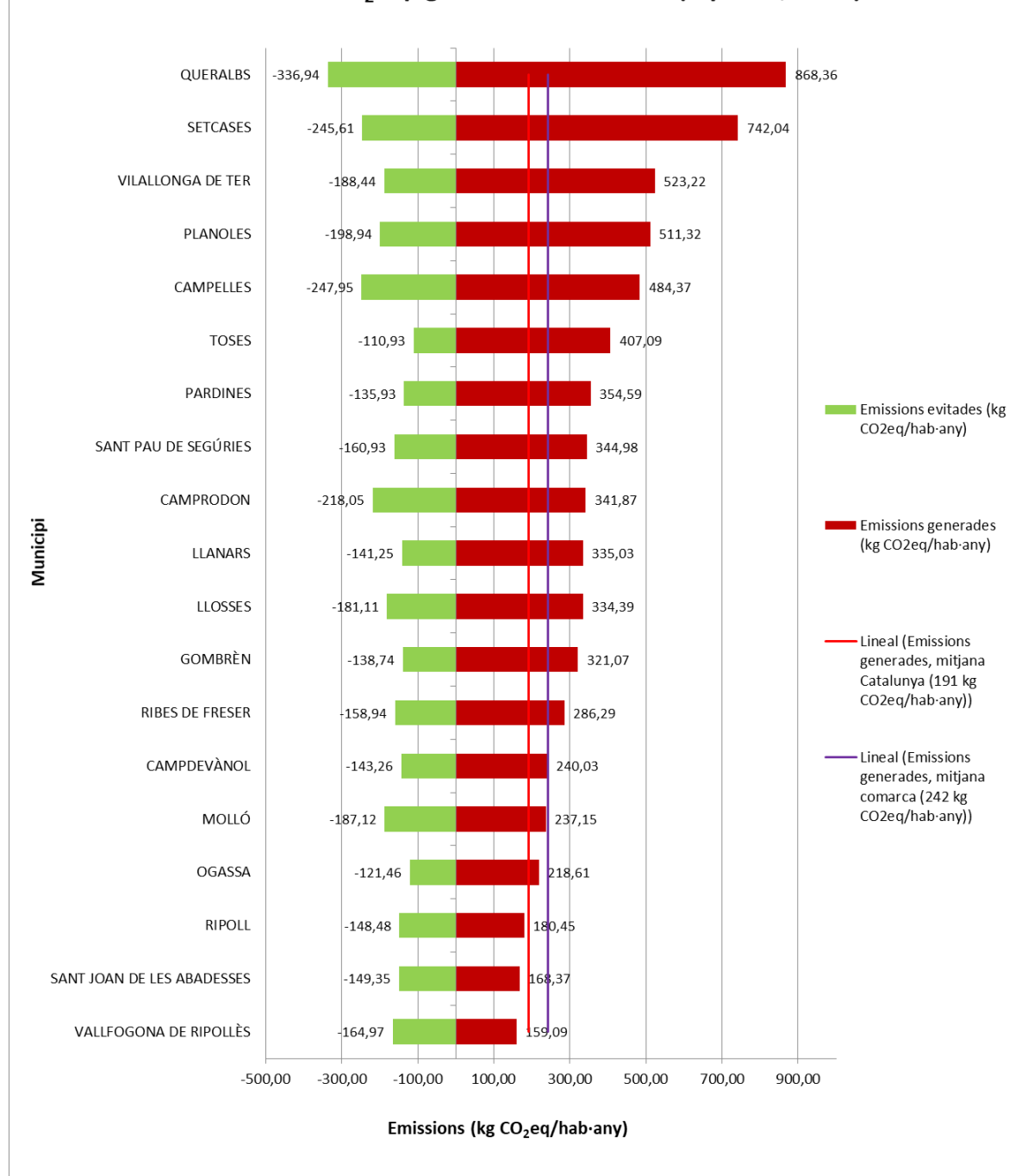
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Priorat, 2020)



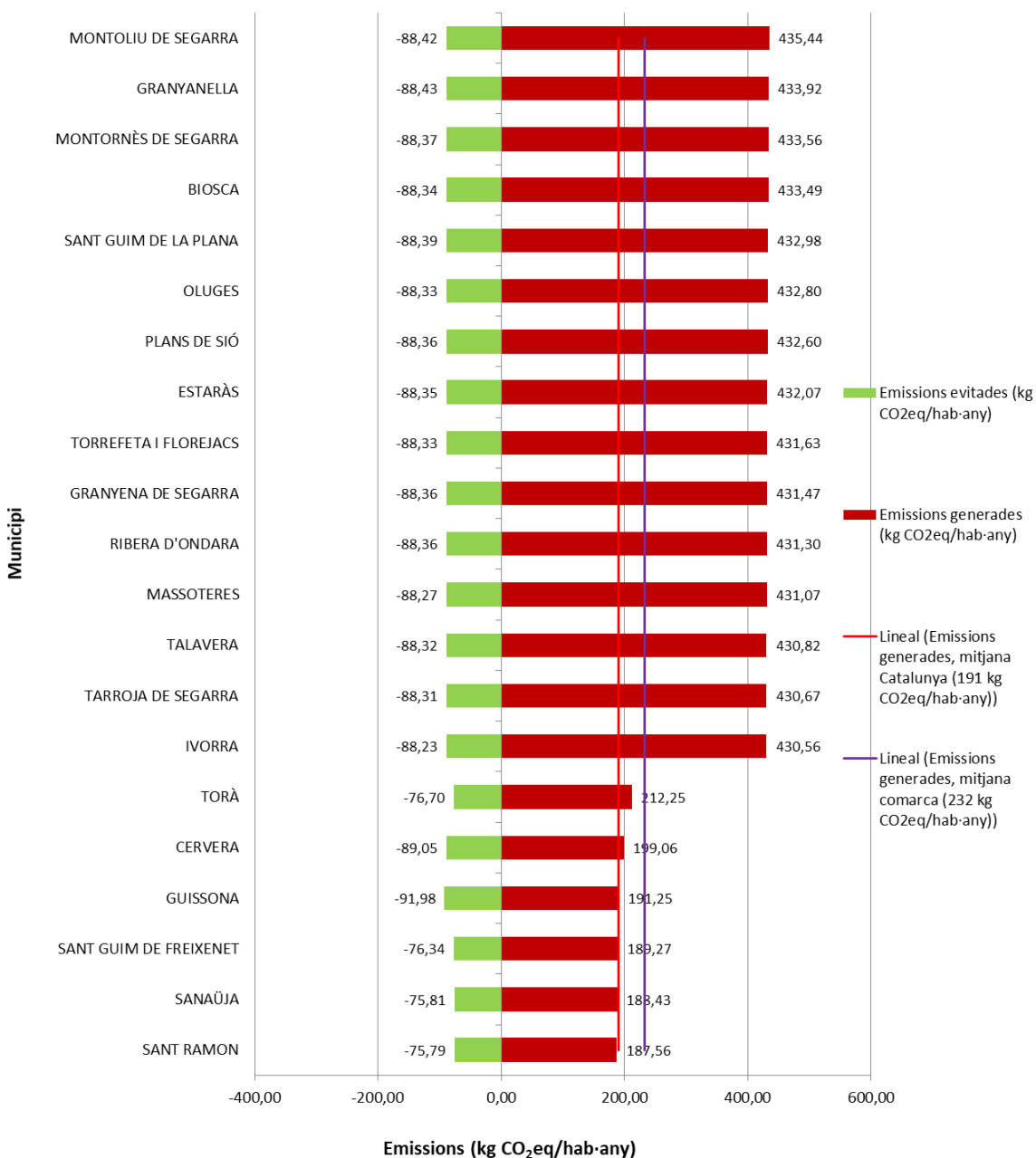
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ribera d'Ebre, 2020)



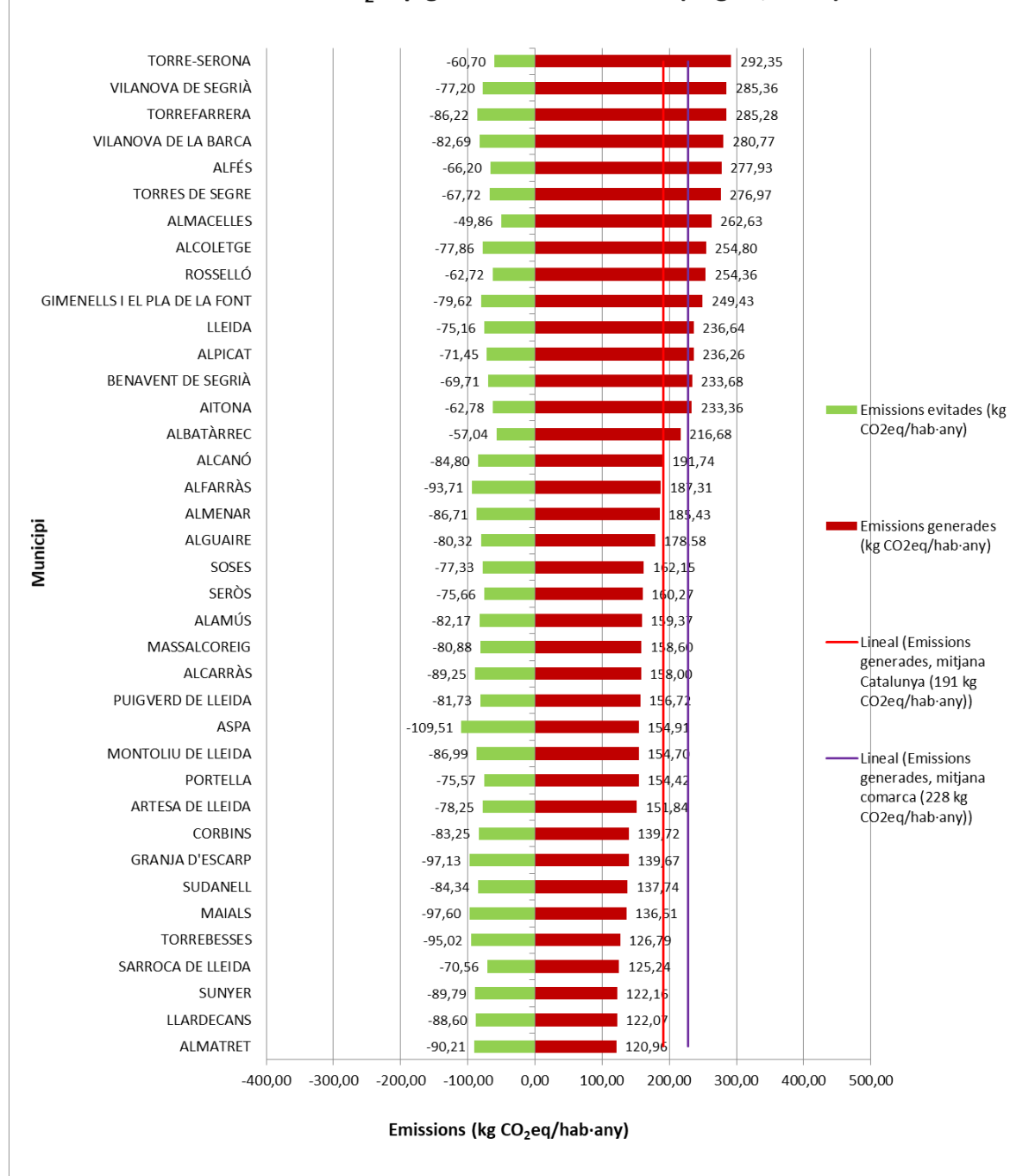
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ripollès, 2020)



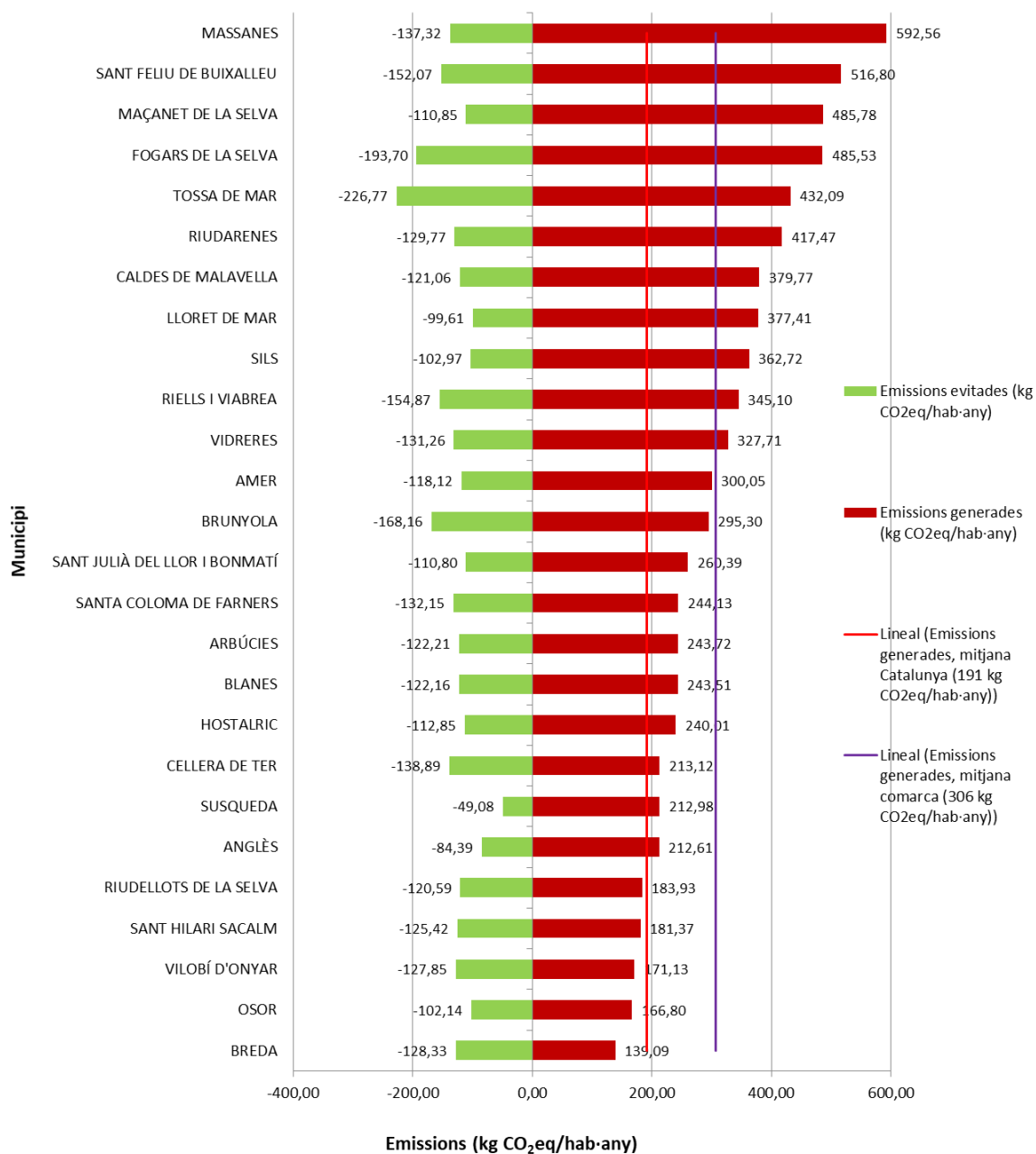
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Segarra, 2020)



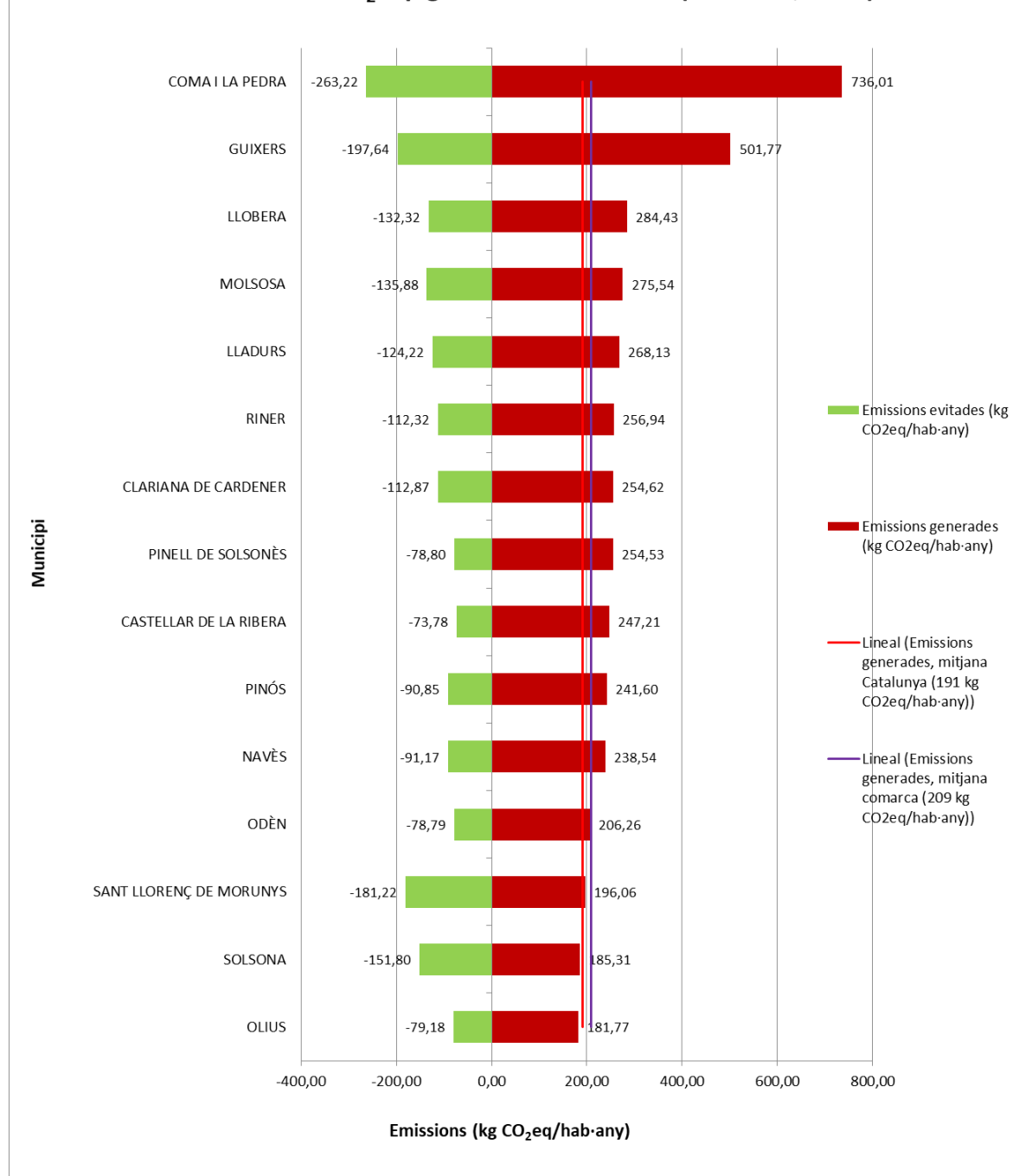
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Segrià, 2020)



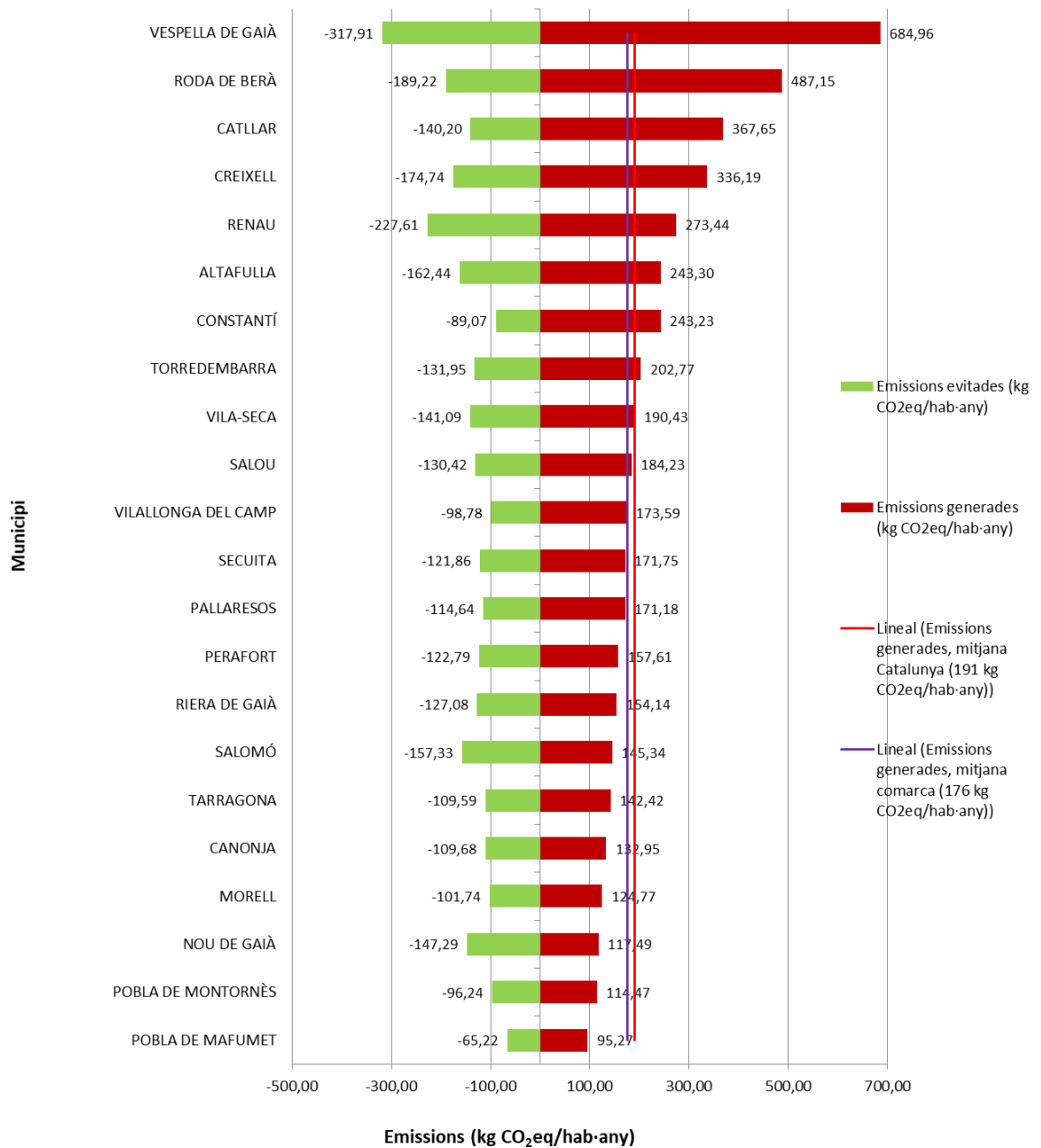
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Selva, 2020)

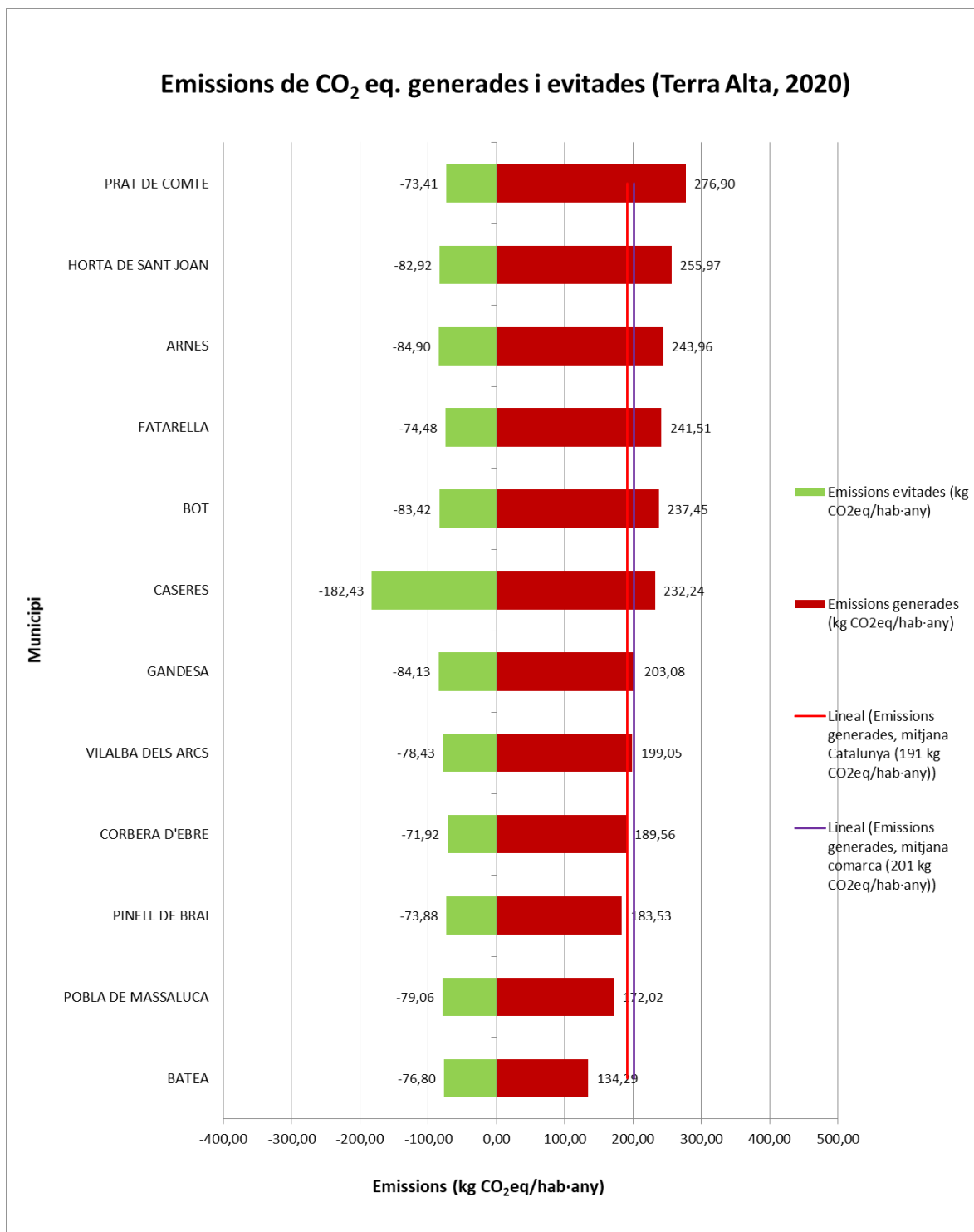


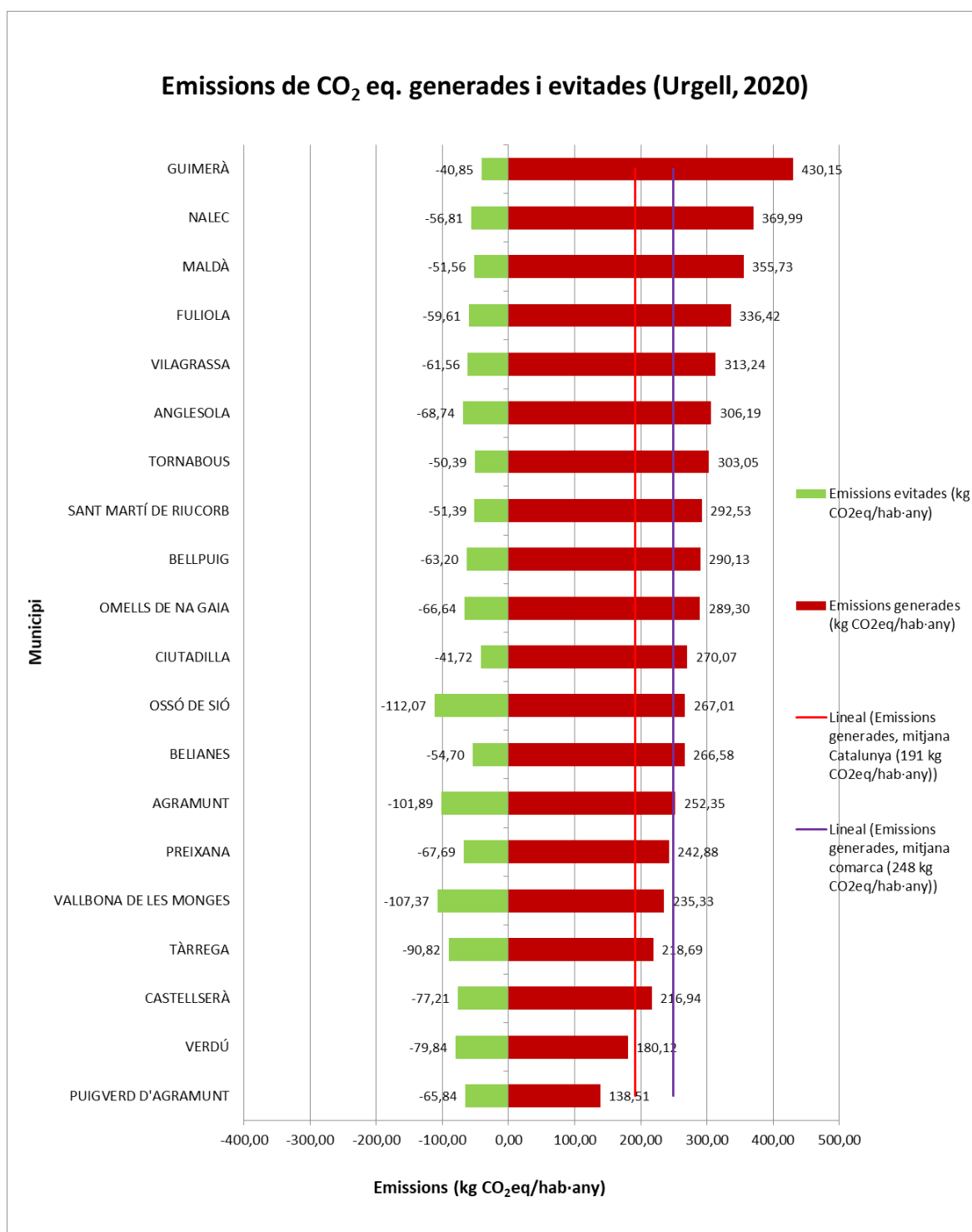
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Solsonès, 2020)



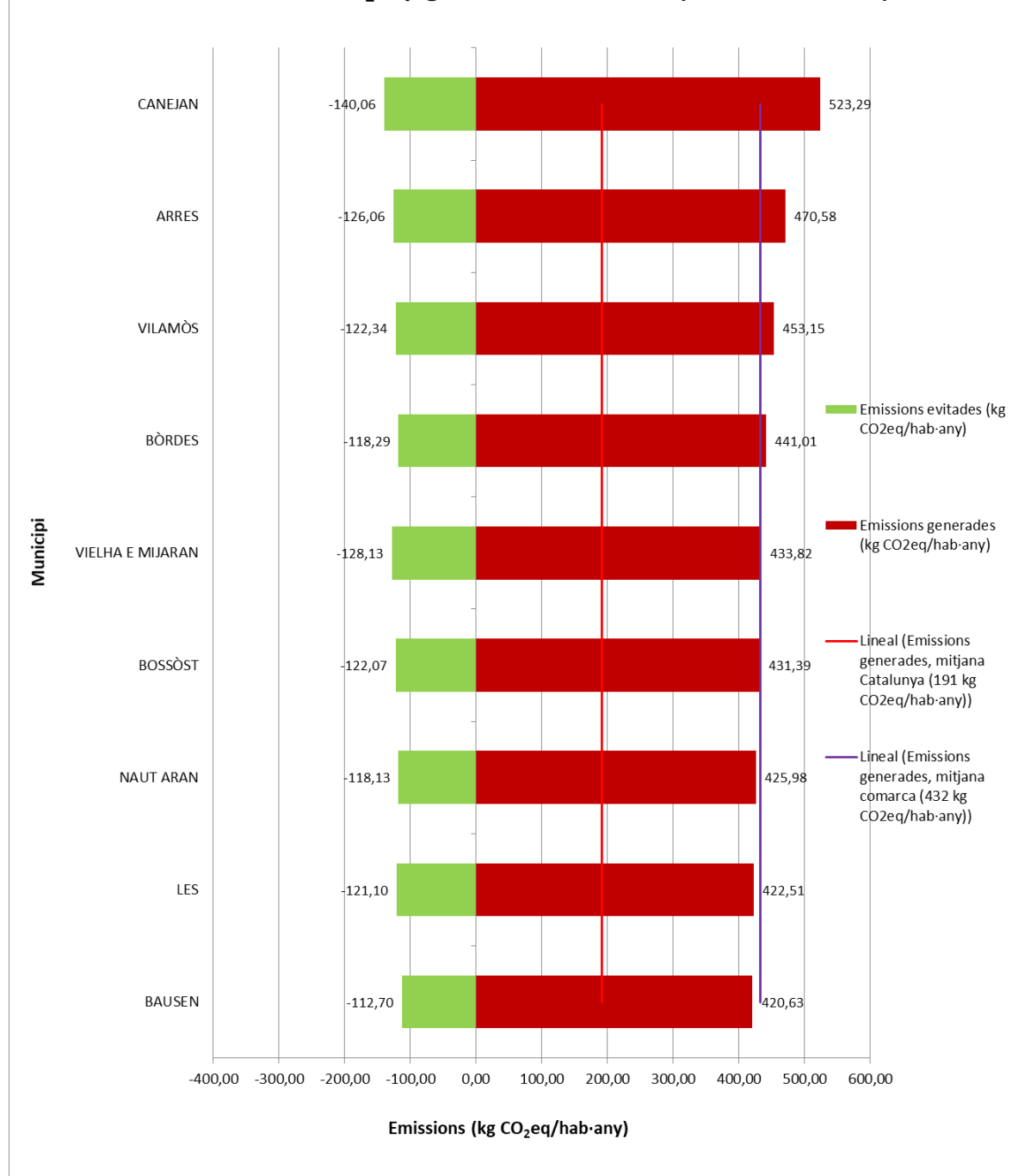
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Tarragonès, 2020)

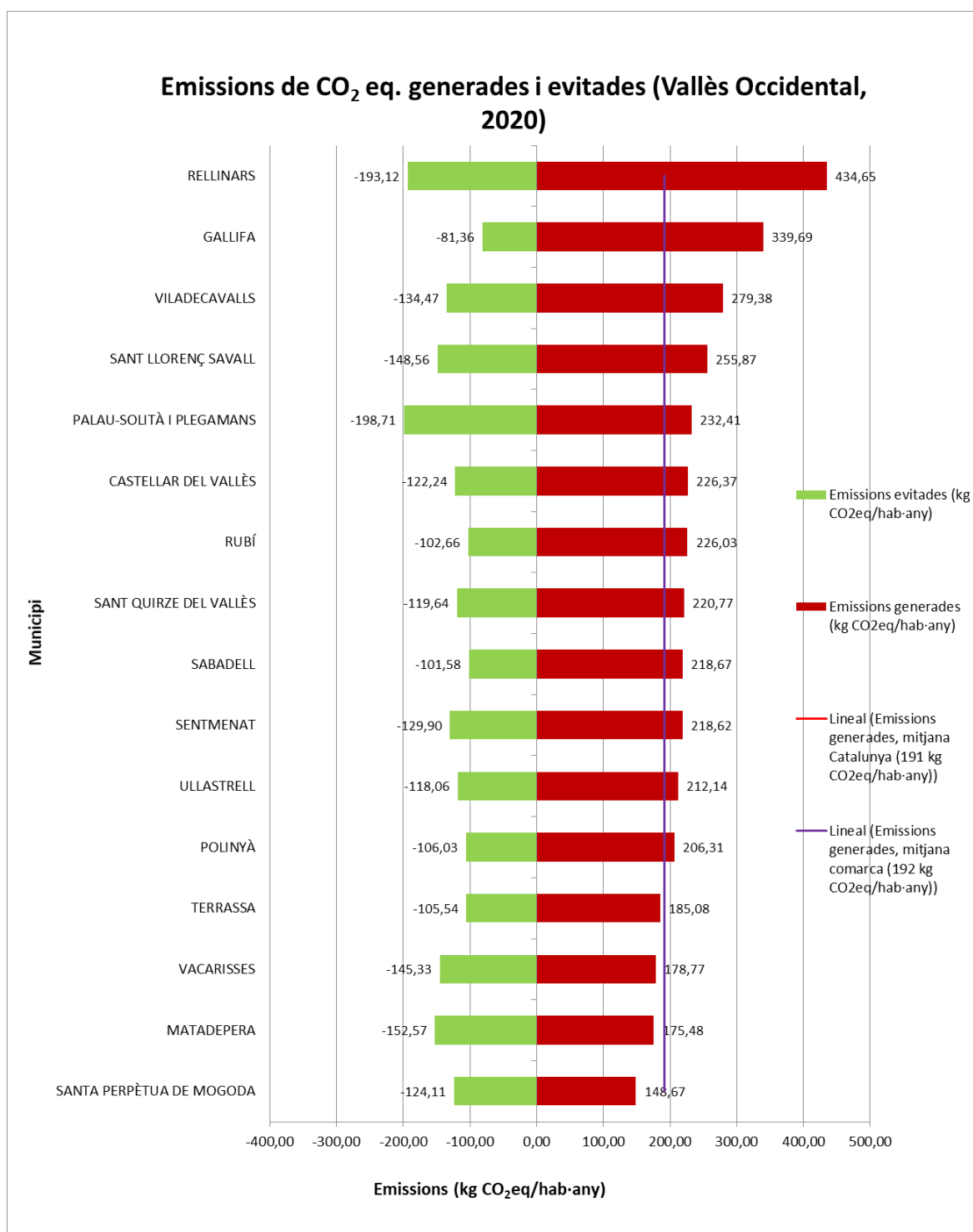




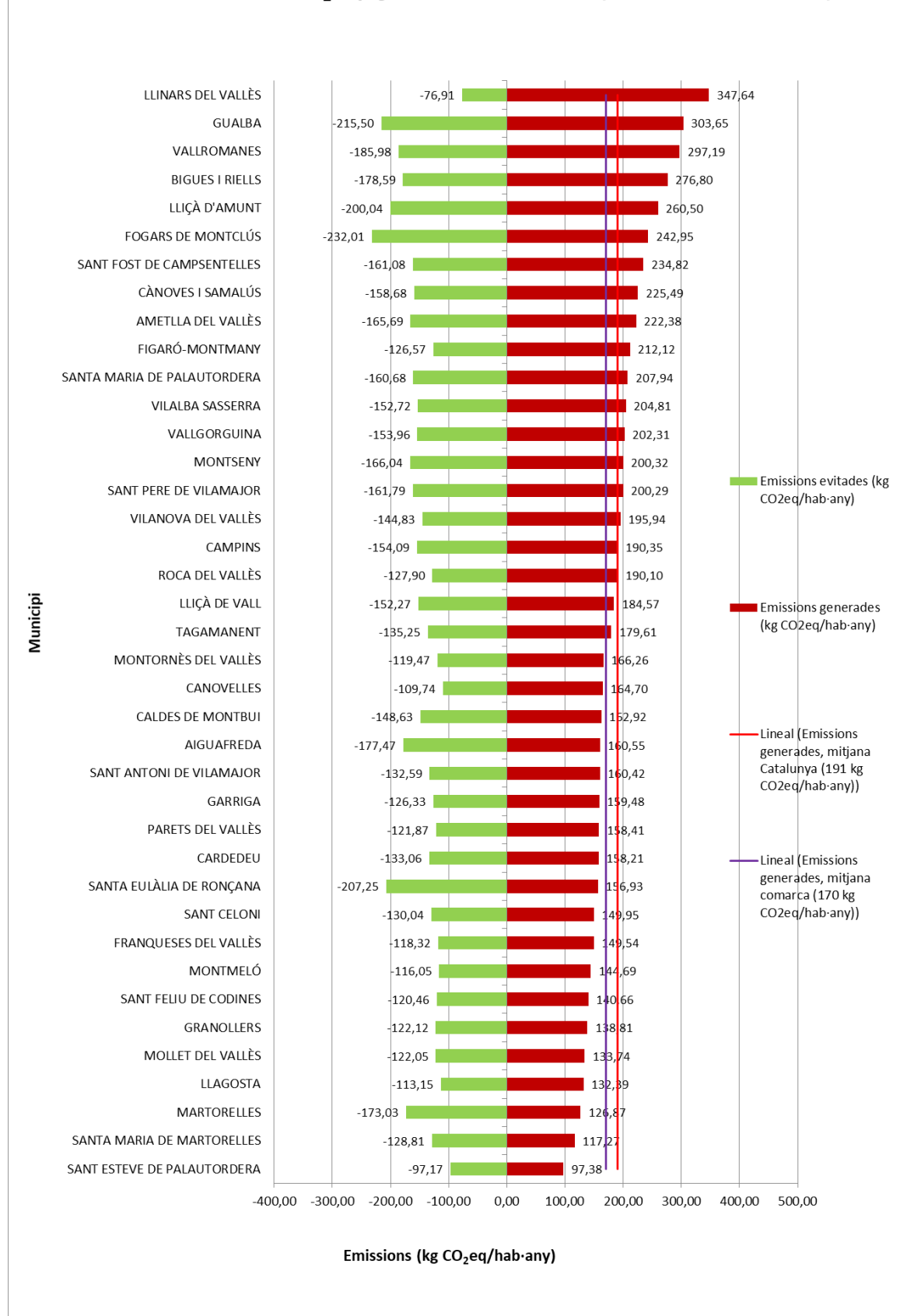


Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Val d'Aran, 2020)





Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Vallès Oriental, 2020)



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 2020 (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.

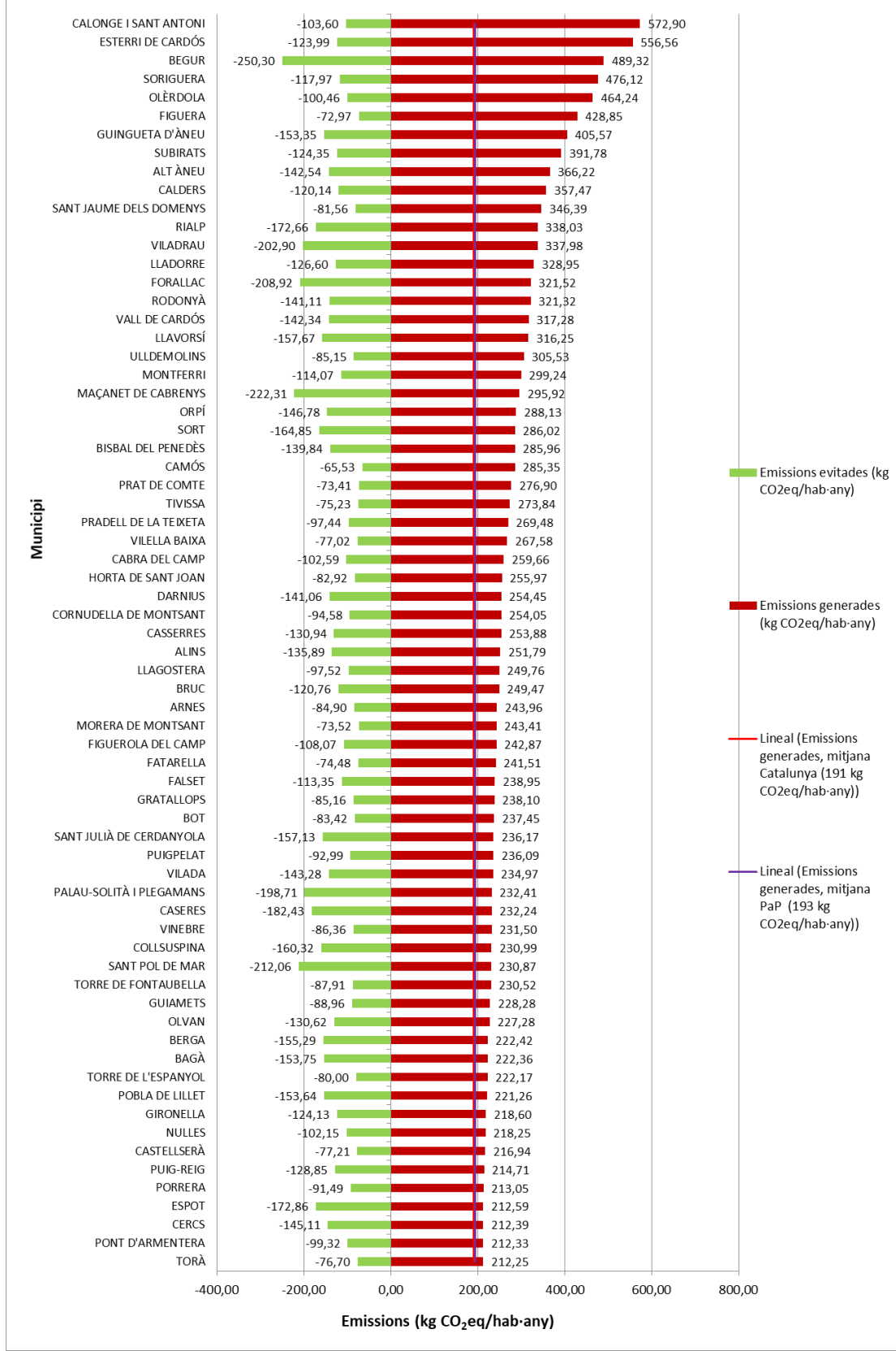
La Taula B1 mostra els resultats de l'anàlisi comparatiu entre els dos grups de municipis.

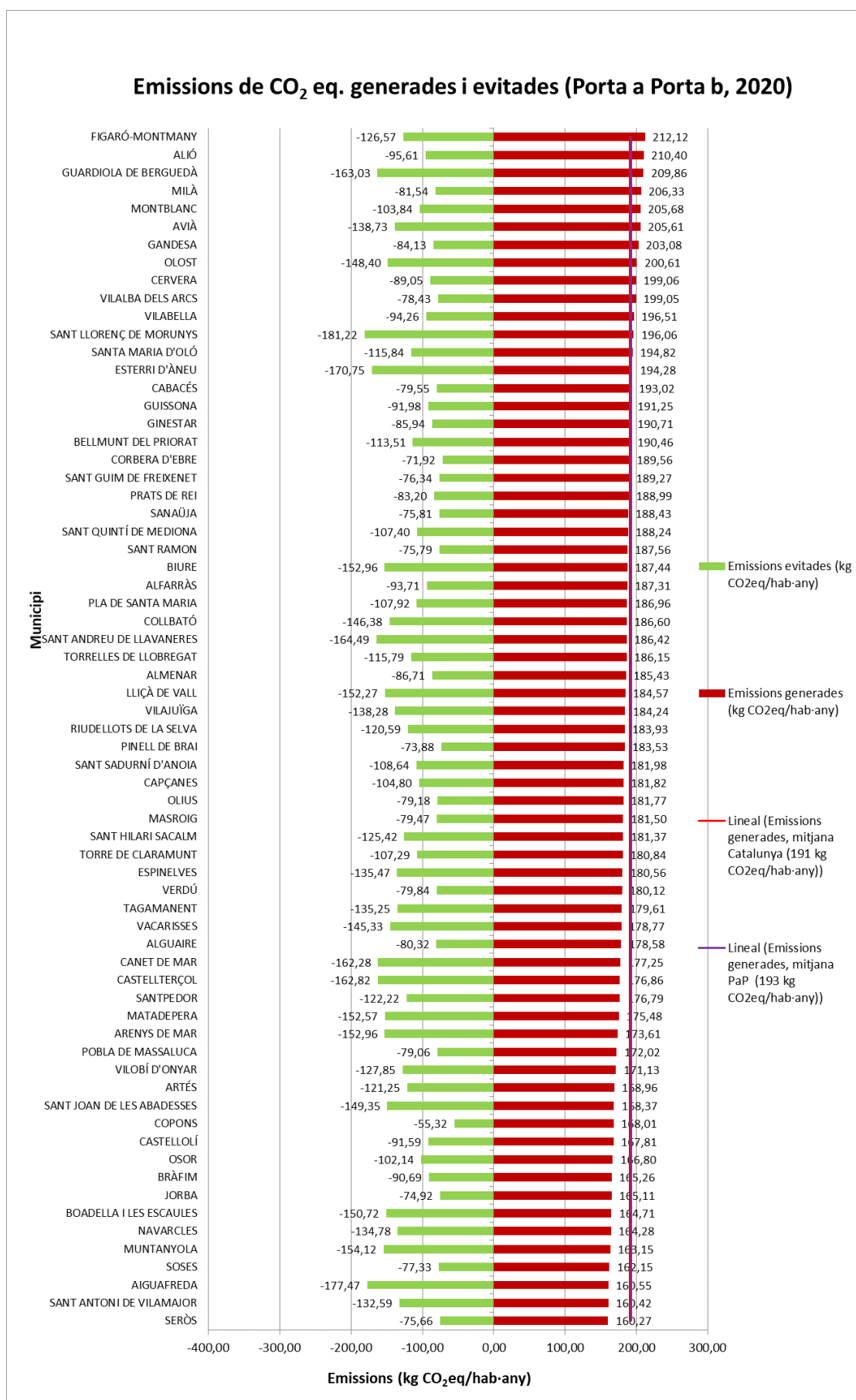
Taula B1. Comparativa entre els municipis amb recollida PaP i la resta de municipis catalans (2020)

Variable	Municipis PaP	Municipis sense PaP
Població acumulada (habitants)	507.799	7.272.680
Mostra (nombre de municipis)	202	745
Generació /habitant (kg/hab·dia) (Sense 'no territorialitzables')	1,36	1,34
Recollida selectiva (%)	72	41
Emissió generada de GEH (kg CO ₂ eq/hab·any)	193	217
Emissió evitada de GEH (kg CO ₂ eq/hab·any)	-130	-110
Petjada de carboni (kg CO ₂ eq/hab·any)	62	107

Els municipis amb recollida Porta a Porta tenen una petjada de carboni de la gestió dels residus municipals inferior a la mitjana catalana, un 42% inferior a la que tenen el municipis sense aquest sistema. La següents figures presenten les emissions generades i evitades de tots els municipis catalans amb recollida PaP.

Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Porta a Porta a, 2020)





Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Porta a Porta c, 2020)

