

Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2014)

Novembre, 2015

Preparat per:



Crèdits del treball:

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



Contacte:

Telèfon: 937 532 915

info@ineditinnova.com

www.ineditinnova.com

Amb la col·laboració de:



ÍNDEX

Índex de taules.....	4
Índex de figures.....	5
Abreviatures	7
RESUM EXECUTIU.....	1
1. Introducció: residus i canvi climàtic.....	6
1.1. Eina de càlcul: CO ₂ ZW®	6
1.2. Objectius.....	7
2. Metodologia de càlcul – CO₂ZW®	8
3. Fases del projecte.....	12
3.1. Adaptació de la CO ₂ ZW® a Catalunya.....	12
3.2. Càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya	23
3.3. Càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya, per municipis.....	24
4. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya.....	29
4.1. Petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya (2014)	29
4.2. Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius.....	35
4.3. Anàlisi de sensibilitat: bossa tipus i factors de caracterització	38
4.4. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2014).....	40
5. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals a nivell de municipi i comarca....	46
5.1. Resultats a nivell de municipi (2014).....	46
5.2. Resultats per comarca (2014).....	52
6. Referències	56
A. Annex. Emissions de GEH generades i evitades de la gestió dels residus municipals, a escala municipal (2014)	58
B. Annex. Actualització dels factors d'emissió de GEH de l'oficina de canvi climàtic (OCCC) segons cada fracció de residus aplicant la metodologia recollida a la CO₂ZW®.	101

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Generació de residus per habitant a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.....	13
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.....	14
Taula 3. Recollida selectiva a Catalunya (t).....	15
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.	16
Taula 5. Impropis a la FORM a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.....	17
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.....	18
Taula 7. Vies de tractament de la FORM a Catalunya (anys 2012 i 2013) i comparació amb Espanya.....	19
Taula 8. Característiques dels ecoparcs –tractament de resta- (TMB2) a Catalunya i comparació amb les plantes TMB2 a Espanya.....	20
Taula 9. Destí del rebuig de TMB2 a Catalunya i comparació amb Espanya.....	20
Taula 10. Eficiència de les plantes de reciclatge a Catalunya i comparació amb la resta de països inclosos a la CO ₂ ZW® i mitjana europea.....	21
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.	22
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 (2014), en t de CO ₂ eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2013 (entre parèntesi, es mostra la diferència amb el resultat obtingut).	31
Taula 14. Variables per defecte considerades per al càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals (2013 i 2014).	38
Taula 15. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2014)	48
Taula 16. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (comparativa entre els anys 2013 i 2014)	50
Taula 17. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2014), en Kg de CO ₂ eq/hab.....	52

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Logo de l'eina CO ₂ ZW (marca comunitària registrada)	7
Figura 2. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya (2014)	30
Figura 3. Petjada de carboni de Catalunya (2014): impactes directes, indirectes i evitats.....	32
Figura 4. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2012) per flux de residus	33
Figura 5. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2012), per tipus d'impacte ..	33
Figura 6. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2014)	34
Figura 7. Emissions generades i evitades de la gestió dels residus municipals a Catalunya (2014): escenari base vs escenaris alternatius	36
Figura 8. Emissions generades i evitades (en milers de tones de CO ₂ eq) els anys 2013 i 2014, considerant diferents bosses tipus i factors de caracterització (indicats en el cercle: '2' correspon al 'Segon Informe de l'IPCC' i '4' correspon a 'Quart Informe de l'IPCC').	39
Figura 9. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2014)	40
Figura 10. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2014). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecànic-Biològic	41
Figura 11. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2014)	42
Figura 12. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals per tona de residu (Kg CO ₂ eq/tona)	43
Figura 13. Emissions de GEH de la gestió de residus municipals per tona de residu (Kg CO ₂ eq/tona).....	44
Figura 14. Emissions evitades dels Residus Municipals (Kg CO ₂ eq/tona).....	44
Figura 15. Petjada de Carboni dels residus municipals per habitant (Kg CO ₂ eq/habitant)	45
Figura 16. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi.....	47
Figura 17. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2014)	49
Figura 18. Models de regressió lineal de la petjada de carboni per habitant i la resta a dipòsit controlat, generació de residus i recollida selectiva, respectivament (2013).	51
Figura 20. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2014)	53
Figura 21. Diagrama de dispersió de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana per habitant i la quantitat de resta destinada a dipòsit controlat, a nivell comarcal (2014)	54

Figura 22. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2014). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la petjada de carboni de la gestió de residus municipals (Kg CO₂eq/hab·any) 55



ABREVIATURES

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

RESUM EXECUTIU

La gestió i tractament dels residus municipals contribueix a l'**escalfament global** degut a les emissions directes i indirectes de Gasos amb Efecte d'Hivernacle (GEH). No obstant, la valorització material i energètica dels residus també permet evitar emissions, ja que permet substituir diferents fonts energètiques i matèries primeres. La diferència entre les emissions generades i les evitades es coneix com a **Petjada de Carboni** i s'expressa en CO₂ equivalents. Aquesta **visió global** de les emissions associades a la gestió dels residus permet **definir polítiques i estratègies de gestió dels residus** encaminades a la mitigació del canvi climàtic.

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

Per al càlcul de la petjada de carboni dels residus es fa ús de l'eina CO₂ZW[®], desenvolupada pel grup de recerca en Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (Sostenipra, ICTA-IRTA-inèdit) i adaptada al context català de gestió de residus. Aquesta eina permet comptabilitzar les emissions associades a la gestió dels residus municipals (transport i tractament), des del seu origen fins a la darrera instal·lació de tractament (destí final). En el cas del càlcul de les emissions de l'any 2014, convé tenir en compte que s'ha considerat la nova composició de la bossa tipus així com els factors del Quart Informe de l'IPCC, alhora que s'han implementat millores a l'eina CO₂ZW[®]. Aquests elements són especialment rellevants a l'hora de comparar els resultats del present informe amb els obtinguts en edicions anteriors.

El present informe presenta els resultats de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya per l'any 2014, els quals es comparen amb els obtinguts en els anteriors anys (2012 i 2013), una vegada recalculats per tal de permetre la seva comparabilitat. Alhora, també es presenten els resultats a nivell municipal i comarcal per l'any 2014.

Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2014)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2014 és de 776.761 t CO₂eq, el qual representa una emissió de 103 Kg CO₂eq/habitant i de 213 Kg CO₂eq/tona de residu generat. La principal font d'emissions (70% de les emissions generades) són els **dipòsits controlats**, els quals emeten grans quantitats de metà tot i la captació de biogàs. No obstant, **la valorització material i energètica** dels residus permet contrarestar aproximadament la meitat de les emissions generades.

Els resultats obtinguts l'any 2014 representen una **reducció d'un 2% de la petjada** de carboni total, un 1,5% per habitant i d'un 3,6% per tona en relació a l'any 2013 (Figura A). Aquesta millora s'explica en gran mesura per la recuperació de la recollida selectiva i per la major recuperació de materials a les plantes de Tractament Mecànic-Biològic (TMB), el qual ha permès augmentar un 7,7% els impactes evitats. Per contra, una major generació de residus per habitant i un increment dels residus que es gestionen a través de dipòsit controlat ha fet augmentar les emissions generades en un 2,4%. En conjunt, l'evolució de la petjada de carboni és favorable.

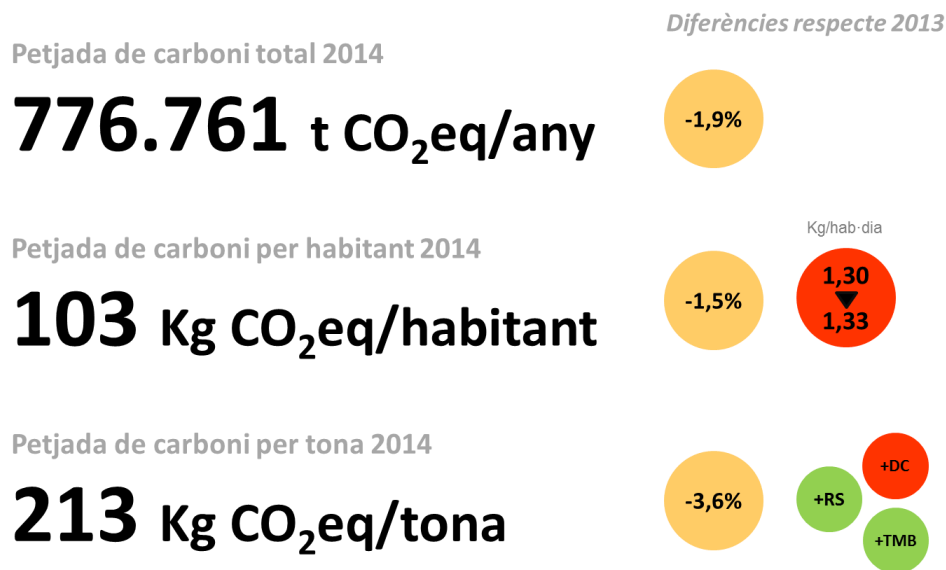


Figura A. Petjada de carboni total, per habitant i per tona (2014). Els cercles de color groc indiquen la diferència de petjada entre 2014 i 2013. Els cercles vermells indiquen aquells elements que han fet incrementar la petjada de carboni, mentre que els verds aquells que la redueixen.

Evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya en el període 2012-2014

Durant el període 2012-2014 s'observa un mínim de generació de residus i de recollida selectiva per l'any 2013, i una recuperació l'any 2014 que s'aproxima als valors de l'any 2012 (Figura B). Alhora, en el mateix període s'observa un increment gradual de la fracció resta gestionada a través de TMB (del 50 al 56%) i una disminució de la quantitat enviada directament a dipòsit controlat (del 38 al 33%).

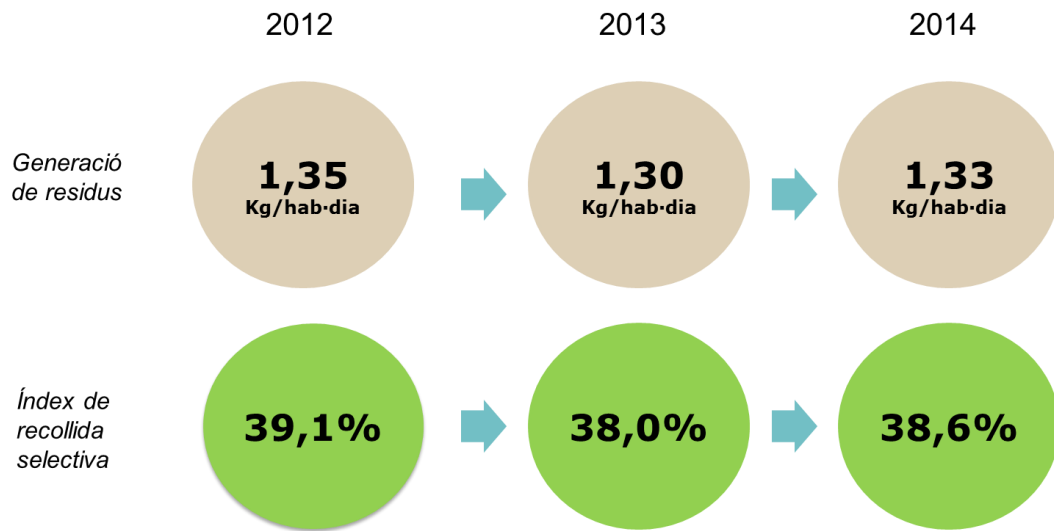


Figura B. Generació de residus per càpita i índex de recollida selectiva (2012-2014)

En conjunt, s'observa que **la petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals a Catalunya en el període 2012 – 2014 es redueix en un 3%** (Figura C). En aquest període, les emissions generades per tona han disminuït lleugerament (un 2%), degut principalment a la disminució de la fracció resta que es gestiona directament a tractament finalista (dipòsit controlat i valorització energètica). No obstant, també ho han fet les emissions evitades (en un 3%), degut a que la recuperació de la recollida selectiva de l'any 2014 no és suficient per recuperar els nivells de l'any 2012. En conjunt, la petjada de carboni per tona es redueix en un 0,7%.

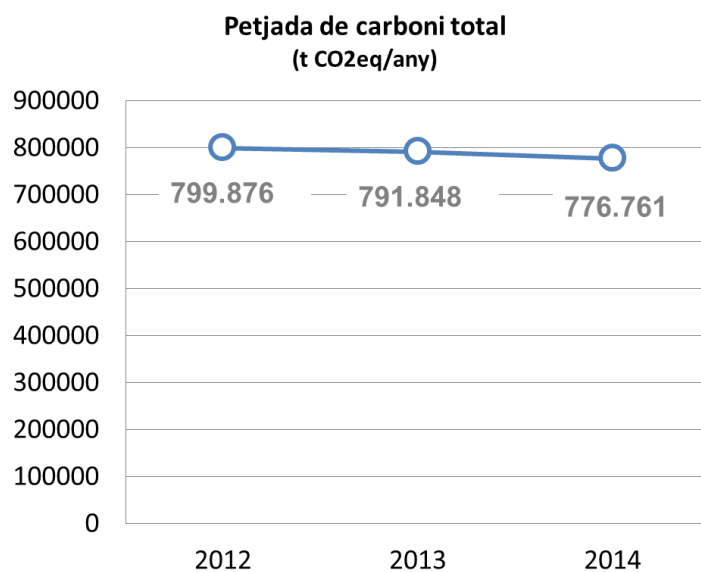


Figura C. Evolució de la petjada de carboni total en el període 2012-2014.

En el cas de la **petjada de carboni per habitant**, s'observa una **tendència a l'estabilització**, amb una lleugera disminució del 2% fruit de la davallada en la generació de residus (1,5%) i la disminució de les emissions per tona (Figura D).

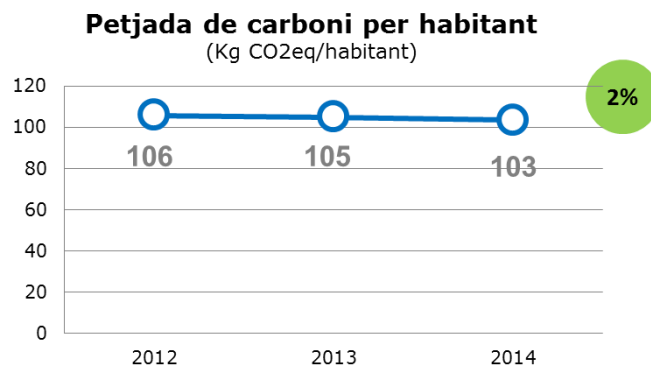


Figura D. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals per habitant (evolució 2012-2014).

Petjada de carboni dels residus municipals, per municipi i comarca (2014)

La meitat dels municipis catalans tenen una petjada de carboni entre 118 i 256 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 destinada a Dipòsit Controlat per habitant** ($R=0,872$, $p=0,000$), seguida de la **generació de residus per habitant** i l'índex de **recollida selectiva** (%).

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

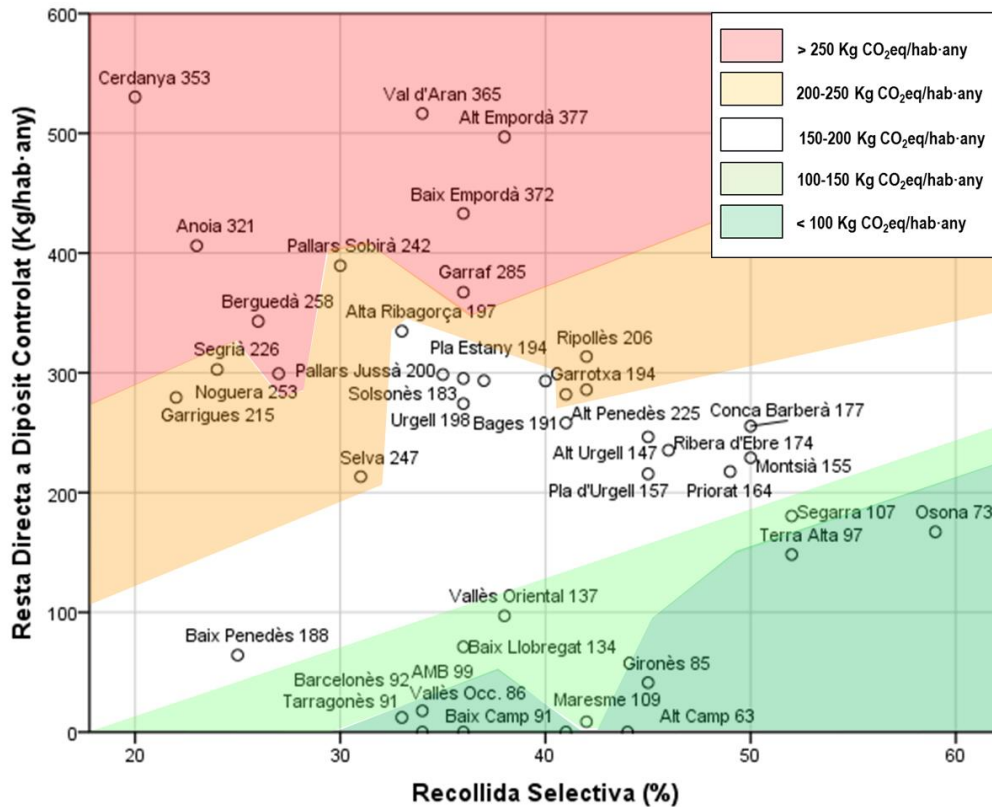


Figura E. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2014). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la petjada de carboni de la gestió de residus municipals (Kg CO₂eq/hab·any).

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 van representar el 6% de les emissions totals del país l'any 2012. L'activitat que més va contribuir a aquestes emissions va ser la deposició de residus als abocadors, responsable del 89% de les emissions en aquest sector. El gas majoritari en el sector dels residus va ser el metà (OCCC 2014).

Totes les pràctiques de gestió de residus generen GEH, tant de forma directa (per exemple, les emissions del procés de degradació biològica dels residus) com indirecta (per exemple, 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 com els estalvis indirectes. 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**. Per tant, una visió holística de la gestió dels residus permet entendre les conseqüències positives que té el sector pel que fa a les emissions de GEH de diferents sectors com l'energia, la 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.

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 2014) aplicant la CO₂ZW®.

Els objectius específics de la proposta de projecte, són:

- Adaptar la CO₂ZW® amb valors per defecte de la gestió actual (2014) dels residus municipals a Catalunya per tal de facilitar 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 2014.
- Quantificar la Petjada de Carboni associada a la gestió dels residus municipals per als municipis catalans (2014).
- Analitzar l'evolució de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya per al període 2012-2014.

2. METODOLOGIA DE CÀLCUL – CO₂ZW[®]

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

Principals característiques

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

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

Aspectes metodològics

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

- **Caracterització dels impactes**

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

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

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

- Els **impactes directes** fan referència a aquelles emissions que tenen lloc a les plantes de tractament de residus. En el cas de les emissions de la degradació biològica i de la combustió dels residus, s'utilitzen els valors de referència proposats per l'IPCC (IPCC 2006).

- Els **impactes indirectes** fan referència a aquelles emissions que tenen lloc fora de les plantes de tractament de residus però que estan associades a la seva operació (p.e. producció d'electricitat, fabricació de reactius, etc.) (emissions aigües amunt o *'upstream'*).

- Els **impactes evitats** fan referència a les emissions que s'eviten gràcies a la recuperació de materials i energia, la qual substitueix altres fonts energètiques o matèries primeres en diferents sectors de l'economia. Els valors per als crèdits evitats s'obtenen de diferents fonts d'informació internacionals i públiques (Boldrin et al. 2009; Prognos et al. 2008; Jungbluth 2007; Kellenberger et al. 2007; Nemecek et al. 2007; US EPA 2012; Smith et al. 2001; US EPA 2006).

- **Dades sobre generació de residus i composició**

La generació i composició dels residus són paràmetres rellevant 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 i vidre¹.
- *Tractament biològic* de la Fracció Orgànica dels Residus Municipals (FORM) i la Fracció Vegetal (FV). L'eina contempla els processos de compostatge (en piles i en túnel) i de digestió anaeròbica.
- *Tractament Mecànic-Biològic (TMB)* de la fracció resta (planta que combina processos mecànics i biològics per a l'estabilització de la resta i l'aprofitament de materials/energia).
- *Incineració*: es considera una Planta de Valorització Energètica (PVE) que incinera els residus i produeix calor i electricitat.
- *Dipòsit controlat (DC)*. Es considera que l'índex de captació de biogàs dels dipòsits controlats és variable i, per tant, l'usuari pot modificar el valor de referència establert 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).

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

Novetats de la versió actual CO2ZW®

Ahora, cal tenir en compte que la versió actual de la CO2ZW® presenta una sèrie de novetats respecte la versió anterior, utilitzada per al càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya per l'any 2013 i anteriors.

- **Recuperació de materials a les plantes de Tractament Mecànic-Biològic (TMB)**

La versió inicial considerava un factor agregat de recuperació de materials a TMB, sense distingir quins són els materials recuperats (metalls, plàstics, vidre, paper i cartró). La versió actual permet distingir quina quantitat de material de cada tipus es recupera, el qual permet fer estimacions més precises dels impactes evitats.

- **Modelització de les emissions als dipòsits controlats**

La modelització d'aquestes emissions es basa en el model de càlcul d'emissions de l'IPCC (IPCC, 2006), adaptat per tal de fer estimacions de les emissions futures. Pel que fa a les categories de residus considerades, cadascuna de les quals té assignat un potencial de generació de metà, s'ha modificat el factor assignat a la categoria 'altres'. Inicialment es plantejava que aquesta categoria era assimilable a 'cel·luloses' degut a l'alta proporció d'aquest material dins d'aquesta categoria. No obstant, hi ha incertesa sobre el contingut real de la categoria 'altres', especialment a mesura que els residus avancen en el sistema de gestió de residus (p.e. fracció resta o rebuig). Per aquest motiu, a l'hora de modelitzar les emissions als dipòsits controlats, no s'ha assignat cap factor per defecte a la categoria 'altres', sinó que se li assigna un factor variable equivalent a la mitjana ponderada del factor corresponent a les demés categories de residus dins d'aquell flux de residus (ja sigui o bé fracció resta o bé rebuig).

3. FASES DEL PROJECTE

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

3.1. Adaptació de la CO₂ZW® a Catalunya

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

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

En aquesta fase del treball s'actualitza la informació de referència de Catalunya per l'any 2014 a la calculadora, de manera que es pugui disposar de l'eina adaptada al context actual de gestió dels residus municipals a Catalunya. Amb aquestes dades introduïdes a la calculadora, hom pot calcular la petjada de carboni total de Catalunya. Alhora, un municipi que no disposés de dades locals pot estimar la seva petjada de carboni coneixent només la seva població gràcies a les dades per defecte introduïdes de Catalunya.

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

Dades a nivell de Catalunya

A continuació es mostren les dades per defecte considerades per a Catalunya per a l'any 2014, així com per els anys 2012 i 2013 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 2014 ascendeix a 7.518.903 habitants i la generació total de residus municipals és de 3.650.849 tones.

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

País	Generació de residus (Kg/habitant·dia)
Catalunya (2014)	1,33
Catalunya (2013)	1,30
Catalunya (2012)	1,35
Espanya	1,69
Grècia	1,43
Itàlia	1,55
Eslovènia	1,11
Mitjana europea	1,42

- **Composició de la bossa tipus**

La bossa tipus fa referència al conjunt de residus municipals generats, caracteritzada prèviament a qualsevol tipus de recollida selectiva. Recentment s'ha publicat les dades de la nova 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)	Catalunya (2012 i 2013) ¹	Espanya	Grècia	Itàlia	Eslovènia	Mitjana europea
Matèria orgànica	37,3%	36,0%	44,0%	43%	32,8%	37,0%	31,0%
Paper & cartró	11,7%	18,0%	21,2%	23%	23,9%	20,5%	18,0%
Plàstic	10,3%	10,2%	10,6%	13%	11,8%	10,0%	12,0%
Vidre	7,7%	7,0%	6,9%	3,8%	6,4%	7,0%	5,0%
Metalls	2,4%	6,4%	4,1%	4,3%	2,3%	5,6%	3,0%
Fusta	6,2%	2,5%	1,0%	1,3%	1,6%	4,2%	3,3%
Tèxtils	4,1%	4,0%	4,8%	2,3%	3,0%	6,8%	4,0%
Cautxú i cuir	0,0%	3,9%	6,2%	0,1%	0,0%	0,5%	3,3%
Altres	20,2%	12,0%	6,2%	5,7%	18,0%	8,4%	20,3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

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

- **Recollida selectiva**

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

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

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

Taula 3. Recollida selectiva a Catalunya (t).

País	Total (t)	Vidre (t)	Plàstic (t)	Metall (t)	Paper i cartró (t)	Matèria orgànica (t)	Altres (t)
Catalunya 2014	1.400.001	162.447	97.324 ¹	29.449 ²	280.082 ³	484.433 ⁴	346.264
Catalunya 2013	1.362.513	158.241	95.540 ¹	28.875 ²	270.924 ³	481.894 ⁴	387.841
Catalunya 2012	1.457.764	169.117	101.319 ¹	31.185 ²	327.031 ³	488.428 ⁴	340.685

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

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

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

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

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

La Taula 4 mostra els índex de recollida selectiva (en proporció a la quantitat total de materials generats de cada fracció, segons la composició de la bossa tipus), comparats amb la resta de països. Els canvis en els índexs de l'any 2014 en relació als anteriors es deuen principalment a la nova bossa tipus, ja que el percentatge que es mostra és el ratio 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 (%)	Altres (%)
Catalunya 2014	38,4	57,9	26,0	34,2	65,4	35,6	30,9
Catalunya 2013	38,0	63,0	26,2	12,5	41,9	37,3	40,7
Catalunya 2012	39,1	64,7	26,7	13,0	48,7	36,4	40,7
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 2014	13
Catalunya 2013	14
Catalunya 2012	15
Espanya	20
Grècia	15
Itàlia	10
Eslovènia	10
Mitjana europea	7

- **Vies de tractament de la fracció resta**

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

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

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

¹Una part es gestiona per via de digestió anaeròbia (35,5%) i l'altra per compostatge (64,5%)

- **Vies de tractament de la FORM**

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

Taula 7. Vies de tractament de la FORM a Catalunya (anys 2012 i 2013) i comparació amb Espanya.

País	Planta compostatge piles (%)	Planta compostatge túnel (%)	Compostatge ecoparc (%)	Biometanització ecoparc (%)	Planta biometanització (%)
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

- **Eficiència de les plantes de tractament de residus i reciclatge**

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

En el cas de Catalunya, els ecoparcs i plantes TMB s'assimilen a l'opció TMB2 de l'eina CO₂ZW[®] (Taula 8). El rebuig generat en aquestes instal·lacions pot seguir tres vies: dipòsit controlat, incineració i preparació de combustibles derivats de residus (CDR), d'acord amb la Taula 9.

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

País	Recuperació (%)					Desviació matèria orgànica ¹ (%)	Recuperació matèria orgànica ² (%)	Rebuig ³ (%)
	P/C	Metall	Vidre	Plàstic	Total			
Catalunya 2014	2,2	2,3	0,4	3,2	8,1	83,4	4,3	70,4
Catalunya 2013	2,0	2,0	0,4	2,7	7,1	85,0	8,5	63,6
Catalunya 2012	1,8	2,0	0,3	3,2	7,3	84,6	0,0	69,4
Espanya					4,5	85,0	7,4	57,0

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

²Quantitat de bioestabilitzat en relació a les entrades totals.

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

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

País	Dipòsit Controlat (%)	Valorització energètica - incineració (%)	Combustible Derivat de Residus (%)
Catalunya 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.

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 CO₂/KWh)	Captació biogàs dipòsits controlats(%)
Catalunya 2014	0,267 ¹	30,0 ²
Catalunya 2013	0,248	30,0 ²
Catalunya 2012	0,300	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 2015, OCCC, 2013; OCCC, 2014)

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

3.2. Càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya

Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2014)

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.

Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius

Amb ànim d'interpretar els resultats, posteriorment es compara l'escenari 2014 amb altres escenaris alternatius de gestió dels residus municipals a Catalunya i/o amb altres metodologies de càlcul i comptabilitat de la petjada de carboni:

- **Escenari A / Destí de la resta**
 - **/A1/** 100% a dipòsit controlat
 - **/A2/** 0% a dipòsit controlat (s'assumeix que la resta que el 2013 va a dipòsit controlat es passa a gestionar a través de TMB2 i PVE, de manera proporcional a les quantitats tractades l'any base)
- **Escenari B / Recollida selectiva**
 - **/B1/** Sense recollida selectiva
- **Escenari C / Captació de biogàs en dipòsits controlats**
 - **/C1/** Sense captació (0%)
 - **/C2/** Captació del 50%
 - **/C3/** Captació del 100%
- **Escenari D / Comptabilitat segons els Inventaris Nacionals d'Emissions (IPCC, 2006)**
 - **/D1/** No comptabilització de crèdits
 - **/D2/** Emissions actuals –en l'any en curs- dels dipòsits controlats
 - **/D3/** Plantes de valorització energètica no incloses al capítol de residus
 - **/D4/** Escenaris D1+D2+D3

Anàlisi de sensibilitat: bossa tipus i factors de caracterització

En l'exercici de càlcul de l'any 2014 es presenten diferents novetats (veure Apartat 2 per a més detalls):

- (1) Es disposa d'informació de la nova bossa tipus.
- (2) S'utilitzen els factors de caracterització del Quart Informe de l'IPCC, enlloc dels factors del Segon informe.
- (3) L'eina CO2ZW presenta novetats metodològiques en relació a les emissions dels dipòsits controlats i la recuperació de materials a les plantes TMB.

Per aquest motiu, es fa un anàlisi de sensibilitat en el que es recalcula la petjada de carboni de l'any 2014 en funció de les diferents opcions pel que fa a la bossa tipus i els factors de caracterització, i es compara amb els resultats de l'any 2013.

Evolució de la petjada de carboni 2012-2014

Finalment, s'analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals catalans en el període 2012-2014, per tal d'analitzar les tendències principals.

3.3. Càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya, per municipis

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
- 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
- Vies de tractament del rebuig de TMB
- Captació de biogàs als dipòsits controlats

- Factor d'emissió de GEH de l'electricitat
- Eficiència de les instal·lacions de tractament de residus (instal·lacions de triatge i reciclatge, plantes de compostatge, ecoparcs, PVE)

- **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 vidre

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.

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
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

- **Interpretació dels resultats de petjada de de carboni dels municipis**

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

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

Aquesta secció presenta les dades de petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals a Catalunya per l'any 2014, així com diferents anàlisis de sensibilitat i la comparativa amb els resultats dels anys anteriors.

4.1. Petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya (2014)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2014 és de 776.761 t CO₂eq, el qual representa una emissió de 103 Kg CO₂eq/habitant i de 213 Kg CO₂eq/tona de residu generat (Figura 2). Aquests valors representen una reducció d'un 1,9% de la petjada de carboni total, un 1,5% per habitant i d'un 3,6% per tona en relació a l'any 2013⁴, respectivament. La reducció de la petjada s'explica degut a l'increment de la recollida selectiva i de la recuperació de materials a les plantes TMB. No obstant, els efectes positius d'aquestes tendències es veuen parcialment contraposats per l'increment de residus totals gestionats als dipòsits controlats (tot i disminuir un 9% la resta que entra directa a dipòsit controlat, augmenta un 31% la quantitat de rebuig de TMB que hi arriba).

⁴ La petjada de carboni de l'any 2013 s'ha recalculat per tal de permetre la comparabilitat amb els resultats de 2014. El recàlcul ha consistit en actualitzar la bossa tipus, utilitzar els factors del Quart Informe de l'IPCC i actualitzar la metodologia de l'eina CO2ZW d'acord amb les indicacions de l'apartat 2.

Emissions generades totals 2014

1.462.382 t CO₂eq/any

Emissions evitades total 2014

-685.621 t CO₂ eq/any

Petjada de carboni total 2014

776.761 t CO₂ eq/any considerant emissions evitades

Emissions generades per habitant 2014

194 Kg CO₂eq/habitant·any

Emissions evitades per habitant total 2014

-91 Kg CO₂ eq/habitant·any

Petjada de carboni per habitant 2014

103 Kg CO₂ eq/habitant·any considerant emissions evitades

Emissions generades per tona 2014

401 Kg CO₂eq/tona·any

Emissions evitades per tona 2014

-188 Kg CO₂ eq/tona·any

Petjada de carboni per tona 2014

213 Kg CO₂ eq/tona·any considerant emissions evitades

Figura 2. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya (2014)

La Taula 13 mostra el detall de la petjada de carboni del **tractament** dels residus l'any 2014, diferenciant la contribució de les diferents tipologies d'instal·lacions així com els impactes directes, indirectes i evitats. S'observa com l'impacte evitat per la recollida selectiva l'any 2014 és major que l'any 2013, el qual s'explica per l'augment de la recollida selectiva en un 2,8%. Pel que fa a la resta tractada a través de TMB, s'observa una disminució de la petjada de carboni, el qual s'explica per l'increment de residus gestionats en aquest tipus de plantes (+8,5% de residus gestionats entre 2013 i 2014) i per l'increment dels índex de valorització material a TMB (veure Taula 8). En el cas de la resta enviada a PVE, la petjada de carboni es manté relativament estable. Finalment, la petjada corresponent als dipòsits augmenta lleugerament, degut a l'increment de rebuig d'entrada (+31% en relació a 2013), tot i la disminució de resta directa (-9% en relació a 2013).

Taula 13. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals de Catalunya (2014), en t de CO₂eq, i comparació amb els resultats obtinguts per l'any 2013 (entre parèntesi, es mostra la diferència amb el resultat obtingut).

Flux de residus	Impacte directe	Impacte indirecte	Impacte evitat	Petjada de carboni total ¹
Recollida Selectiva	54.018	8.085	-393.786	-331.683 (-7.911)
Rest a TMB	74.422	30.566	-168.873	-63.884 (-21.113)
Residu a PVE	281.661	12.106	-105.716	188.051 (-2.085)
Residu a Dipòsit	980.622	10.570	-17.247	973.945 (+15.912)
TOTAL¹	1.390.723 (+27.155)	61.328 (+6.406)	-685.621 (-48.757)	766.429 (-15.197)

¹Entre parèntesi es mostra la diferència entre la petjada de carboni de 2014 i 2013.

La Figura 3 mostra la contribució dels impactes directes, indirectes i evitats. Es pot observar com quasi la meitat dels impactes generats (directes i indirectes) són contrarestats pels impactes evitats.

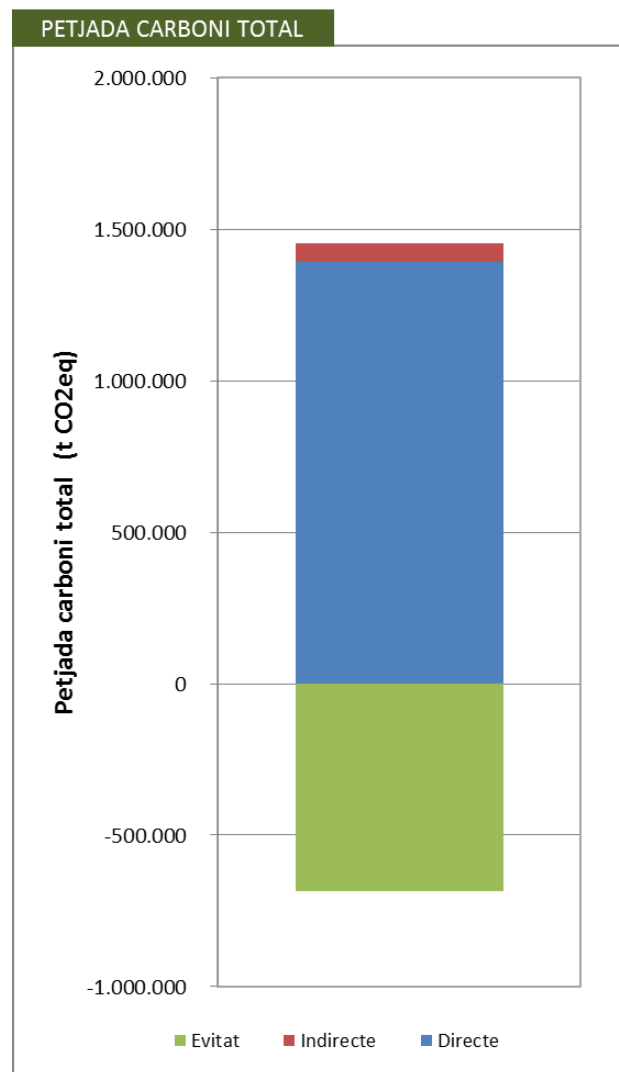


Figura 3. Petjada de carboni de Catalunya (2014): impactes directes, indirectes i evitats

La Figura 4 i la Figura 5 mostren la petjada de carboni per cada flux de residus i per cada tipus d'impacte. 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 un 70% dels impactes directes del tractament de residus sòlids municipals. En segon lloc, les emissions de la PVE dels residus contribueixen aproximadament a una cinquena part dels impactes directes. Per altra banda, la recollida selectiva de paper i cartró, envasos lleugers i vidre contribueix a evitar una part important de la petjada de carboni.

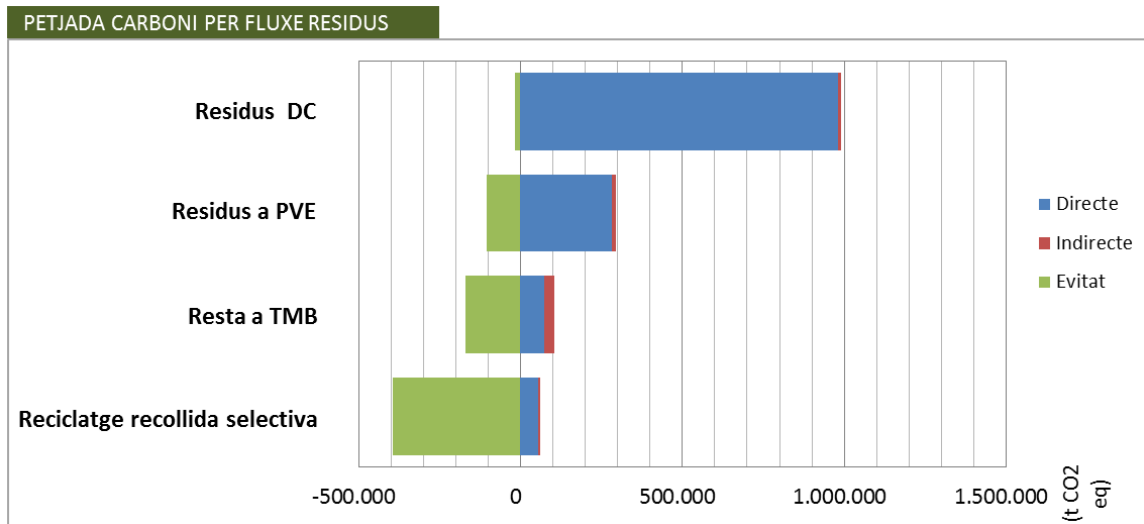


Figura 4. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2012) per flux de residus

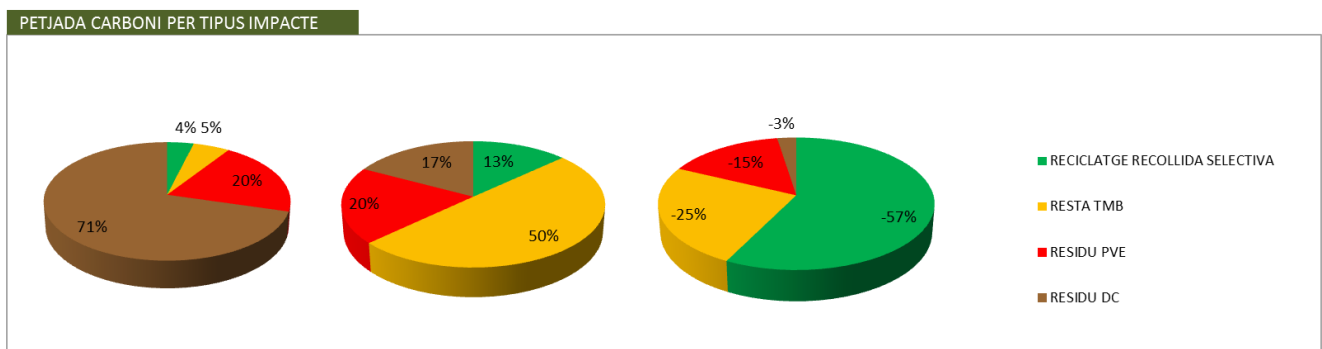


Figura 5. Petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2012), per tipus d'impacte

Per altra banda, la petjada de carboni del transport interurbà de residus (del municipi a la planta de tractament) ascendeix a 10.331 tones de CO₂eq, el qual representa menys d'un 1% del total d'impactes generats pel tractament (Figura 6). Cal tenir en compte que no s'ha pogut estimar l'impacte de la recollida municipal de residus per manca de dades fiables.

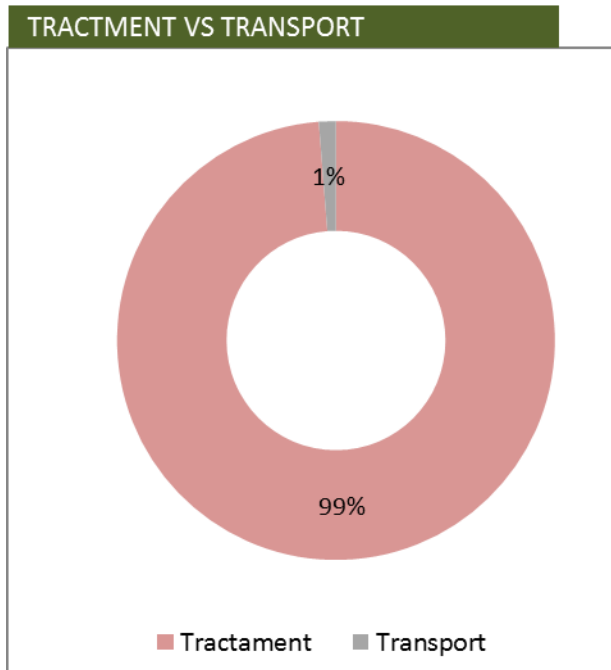


Figura 6. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2014)

4.2. Anàlisi de sensibilitat: escenaris alternatius

La Figura 7 mostra la petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2014, en comparació amb la petjada de carboni que correspondria als diferents escenaris indicats a l'apartat 3.2:

- **Escenari A / Destí de la resta**
 - **/A1/** 100% a dipòsit controlat
 - **/A2/** 0% a dipòsit controlat
- **Escenari B / Recollida selectiva**
 - **/B1/** Sense recollida selectiva
- **Escenari C / Captació de biogàs en dipòsits controlats**
 - **/C1/** Sense captació (0%)
 - **/C2/** Captació del 50%
 - **/C3/** Captació del 100%
- **Escenari D / Comptabilitat segons els Inventaris Nacionals d'Emissions**
 - **/D1/** No comptabilització de crèdits
 - **/D2/** Emissions actuals –en l'any en curs- dels dipòsits controlats⁵
 - **/D3/** Plantes de valorització energètica no incloses al capítol de residus
 - **/D4/** Escenaris D1+D2+D3

⁵ Els inventaris nacionals d'emissions, d'acord amb les directrius de l'IPCC, indiquen que per a cada any s'han de comptabilitzar les emissions de l'any en curs procedents dels dipòsits controlats. Això implica que s'han de comptabilitzar les emissions del residu depositat l'any en curs així com dels residus que s'han anat abocant en els anys anteriors (es recomana una sèrie temporal de 50 anys) però que es degraden encara en l'any en curs. Aquest enfocament difereix de l'aplicat en el present projecte, en què s'han considerat les emissions futures (en els propers 50 anys) dels residus depositats en l'any en curs. No obstant, pel que fa a l'escenari D2, s'han considerat les emissions de l'any en curs dels residus abocats en el passat, d'acord amb les dades facilitades per l'inventari d'emissions de Catalunya per a l'any 2012 (dada més recent disponible públicament) (http://canviclimatic.gencat.cat/web/sites/canviclimatic/.content/home/politiques/politiques_catalanes/la_mitigacio_del_canvi_climatic/inventaris_demissions_a_catalunya/Cataluna_90-2012v14.xls)

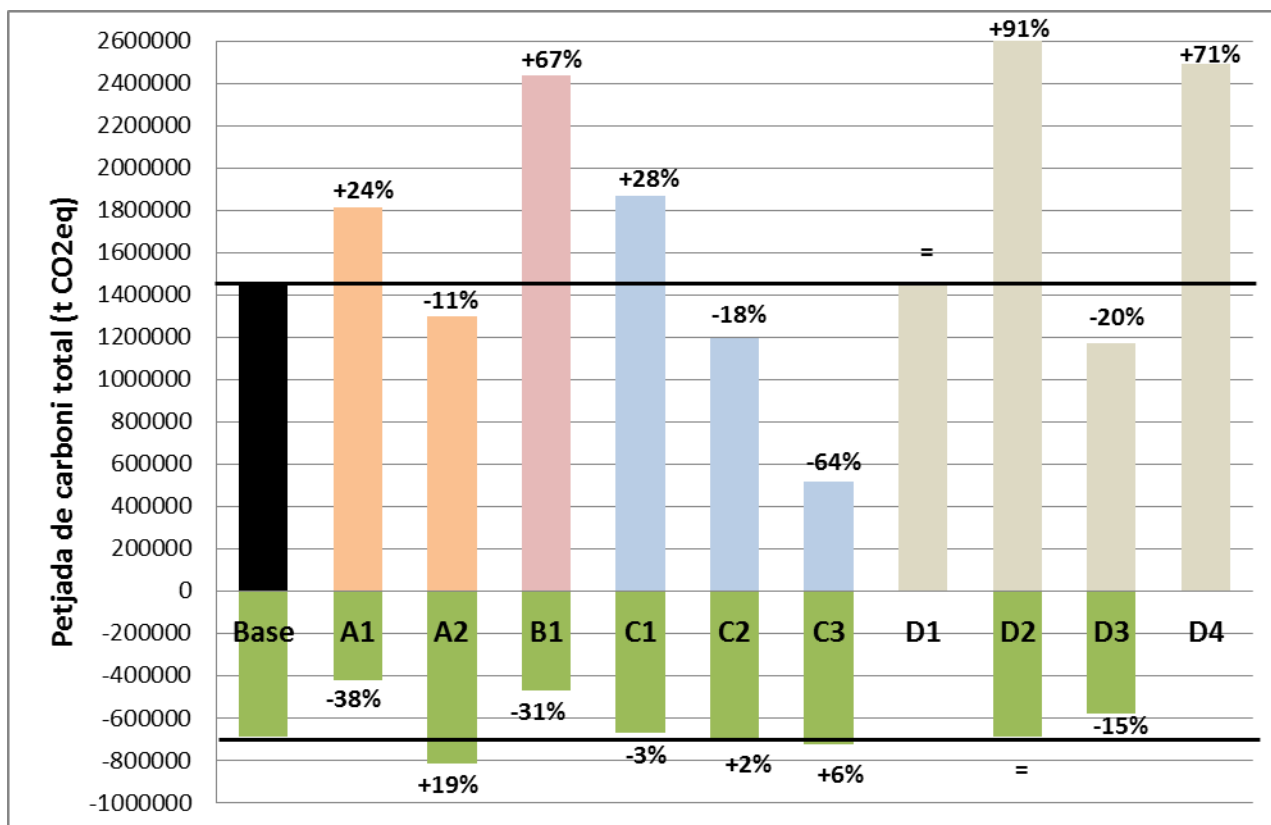


Figura 7. Emissions generades i evitades de la gestió dels residus municipals a Catalunya (2014): escenari base vs escenaris alternatius

L'**escenari A1** permet observar com el fet de destinar el 100% de la fracció resta a dipòsit controlat suposaria un increment de les emissions generades del 24% i una reducció de les evitades del 38%, mentre que en l'**escenari A2** el fet d'evitar l'entrada de fracció resta a dipòsit controlat (a costa de gestionar-ho a través d'altres alternatives: TMB i PVE), suposaria una reducció de les emissions generades de l'11% i un increment de les evitades del 19%. El fet de deixar de gestionar la resta a través de dipòsit controlat (escenari A2) permet en conjunt una reducció d'aproximadament d'un 38% de la petjada de carboni (emissions generades menys evitades).

Per altra banda, l'**escenari B1** mostra l'efecte de l'índex de recollida selectiva sobre les emissions generades i evitades. En l'escenari B1, en què no hi hauria recollida selectiva, s'observa com les emissions generades s'incrementarien un 67% i les evitades es reduirien un 31%.

Els **escenaris C1, C2 i C3** mostren la importància de la captació de biogàs als dipòsits controlats. Aquest paràmetre té una elevada incertesa degut a la complexitat en l'obtenció de dades experimentals fiables i representatives. S'observa com el fet de considerar l'absència de captació de biogàs (0%) o un índex de captació del 100% faria oscil·lar les emissions generades

entre +28% i -64% respecte a l'escenari base. No obstant, cal considerar que l'escenari C3 és tècnicament inviable, degut a la complexitat d'assolir taxes de captació tan elevades.

Els **escenaris D1, D2, D3 i D4** mostren els valors d'emissions generades i evitades que s'obtidrien si s'apliquessin algunes de les directrius per al càlcul de les emissions de GEH dels inventaris nacionals (IPCC 2006) a la metodologia de càlcul. L'escenari D1, sense comptabilització dels crèdits, suposaria el mateix valor d'emissions generades que a l'escenari base però la supressió de totes les emissions evitades. Pel que fa a l'escenari D2, en què es consideren les emissions actuals (de l'any en curs) dels dipòsits controlats, les emissions generades augmentarien un 91% (considerant el valor d'emissions indicat als inventaris nacionals per l'any 2012). L'escenari D3, en què els residus gestionats a través de PVE no entrarien al capítol de residus sinó que anirien al capítol d'energia, suposa una reducció d'un 20% de les emissions generades (el qual s'explica pel fet de no comptabilitzar els impactes dels residus incinerats). La combinació dels tres factors suposaria un increment de les emissions generades del 71% i la supressió de la comptabilització de les emissions evitades obtingudes de la valorització de materials i energia.

4.3. Anàlisi de sensibilitat: bossa tipus i factors de caracterització

Tal i com s'ha indicat anteriorment, l'escenari base de càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya de l'any 2014 considera la bossa tipus de 2014 així com els factors de caracterització del Quart Informe de l'IPCC. Això contrasta amb el càlcul per l'any 2013 realitzat l'any 2014, per al qual es va considerar la bossa tipus de 2006 i els factors de caracterització del Segon Informe de l'IPCC (veure Taula 14).

Taula 14. Variables per defecte considerades per al càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals (2013 i 2014).

Variable	Càlcul base 2013	Càlcul base 2014
Bossa tipus	2006	2014
Factors de caracterització	Segon informe IPCC	Quart Informe IPCC

Per tal de permetre la comparabilitat entre els resultats de 2013 i 2014, s'ha calculat la petjada de carboni d'ambdós anys combinant les dues variables, el qual dóna lloc a un total de 8 escenaris (Figura 8). Per tal de comparar l'evolució entre els dos anys, és necessari tenir en compte les mateixes variables. En ambdós casos, s'ha considerat els canvis metodològics proposats a la CO2ZW® en la versió més recent.

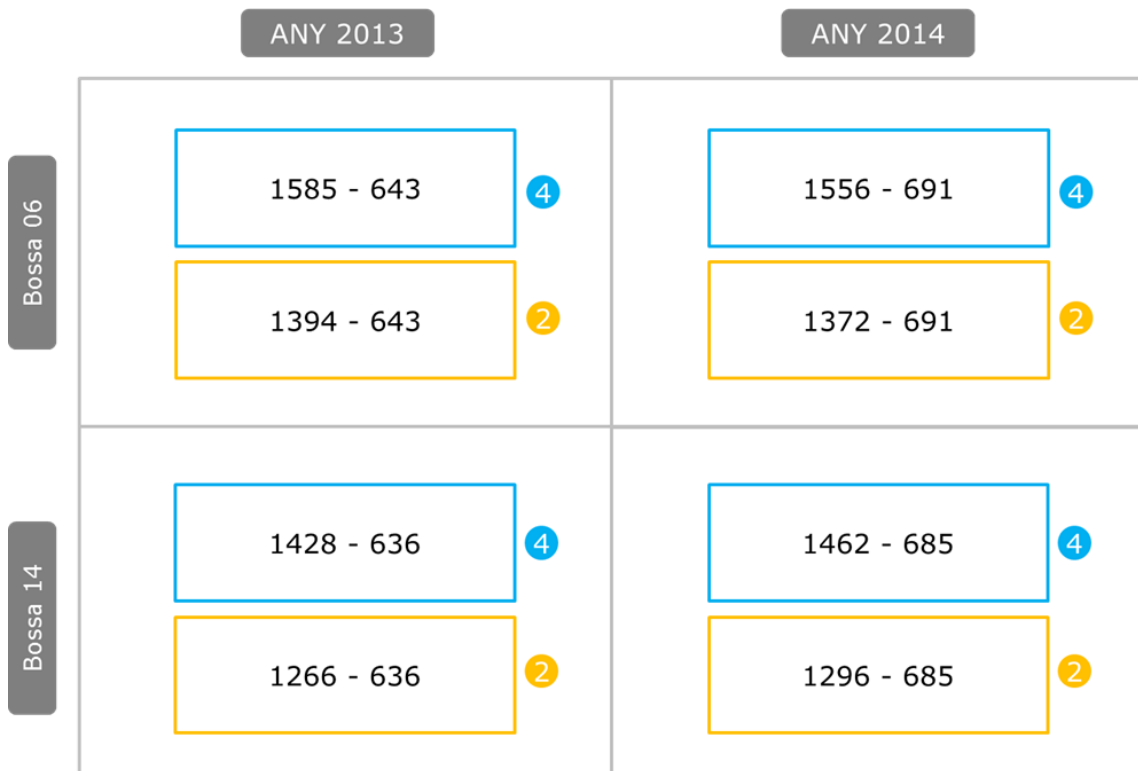


Figura 8. Emissions generades i evitades (en milers de tones de CO₂eq) els anys 2013 i 2014, considerant diferents bosses tipus i factors de caracterització (indicats en el cercle: '2' correspon al 'Segon Informe de l'IPCC' i '4' correspon a 'Quart Informe de l'IPCC').

Els resultats obtinguts indiquen que:

- La consideració dels factors del Quart Informe de l'IPCC fa augmentar les emissions generades en aproximadament un 13% en tots els escenaris. Això s'explica perquè el factor d'impacte assignat al metà augmenta substancialment (passa de 21 a 25). Aquest fet implica que les emissions de metà (principalment generades als dipòsits controlats) augmentin la seva contribució a la petjada de carboni.
- La consideració de la nova bossa tipus fa que les emissions generades disminueixin entre un 5 i un 10% (en funció de l'escenari). La composició de la bossa tipus té efectes en les emissions de la degradació biològica i combustió dels residus.

4.4. Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals (2012-2014)

Aquest apartat analitza l'evolució de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya en els darrers tres anys (2012, 2013 i 2014)⁶.

Evolució del model de gestió

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

En el període 2012-2014 la generació de residus per habitant i la recollida selectiva s'han mantingut relativament estables, amb un mínim per ambdues variables per l'any 2013 i una recuperació l'any 2014 que no arriba als valors de l'any 2012 (Figura 9).

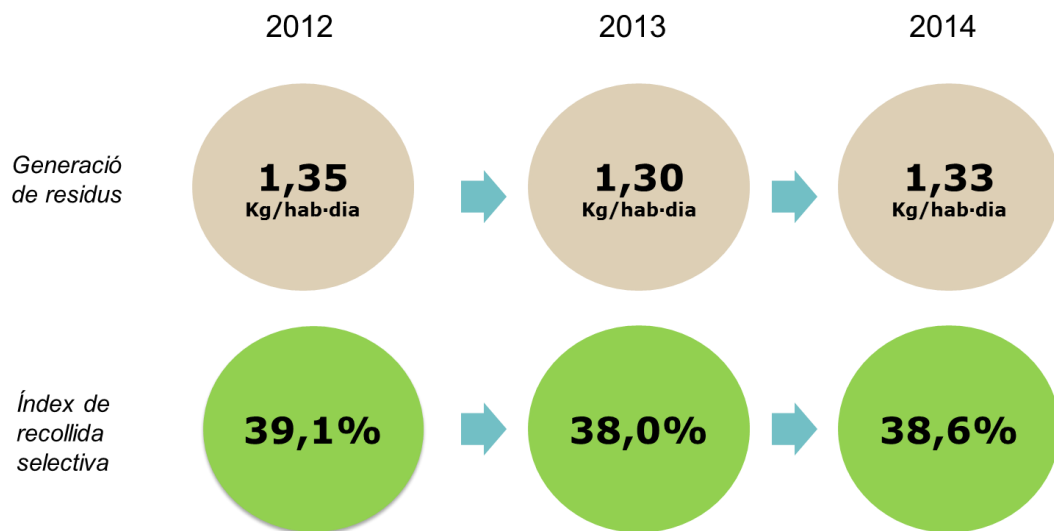


Figura 9. Generació de residus i índex de recollida selectiva (2012-2014)

⁶ Les dades relatives als escenaris 2012 i 2013 s'han recalculat per tal de tenir en compte la nova bossa tipus, els factors d'emissió del Quart informe i els canvis metodològics a l'eina CO2ZW en relació a les emissions de la degradació als dipòsits controlats i la recuperació de materials als TMB.

Per la seva banda, la Figura 10 mostra quines són les principals vies de tractament de la fracció resta generada. Es pot observar una clara tendència en la reducció de la resta gestionada directament a través de dipòsit controlat (que passa de 38 a 33%) i l'augment de la resta gestionada a través de TMB (que passa de 50 a 56%).

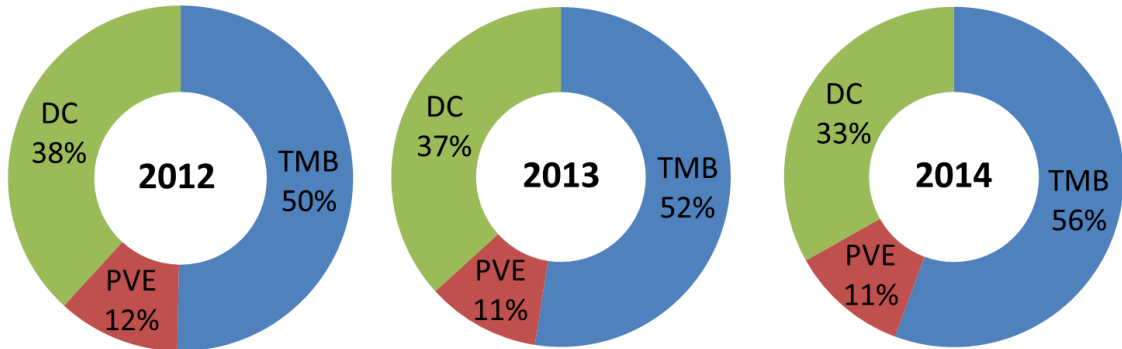


Figura 10. Destí de la fracció Resta a Catalunya (2012-2014). Nota: DC: Dipòsit Controlat, PVE: Planta Valorització Energètica; TMB: Tractament Mecànic-Biològic

Per la seva banda, la Figura 11 mostra un detall de les principals variables relacionades amb el rebuig dels TMBs així com la recuperació de materials. En particular, es mostra la generació de rebuig (% en relació a la resta d'entrada), destí del rebuig (% que s'envia a dipòsit controlat) i quantitat total de rebuig enviat a dipòsit controlat (Kg per tona de resta entrada a TMB). S'observa com la quantitat de rebuig que surt dels TMBs i es destina a dipòsit controlat disminueix un 12% entre 2012 i 2013 però augmenta un 31% entre 2013 i 2014. L'evolució global per al període 2012-2014 suposa un augment d'un 9% entre 2012 i 2014. Pel que fa a la recuperació de materials (destí valorització material), s'observa un increment l'any 2014 que supera els dos anys anteriors.

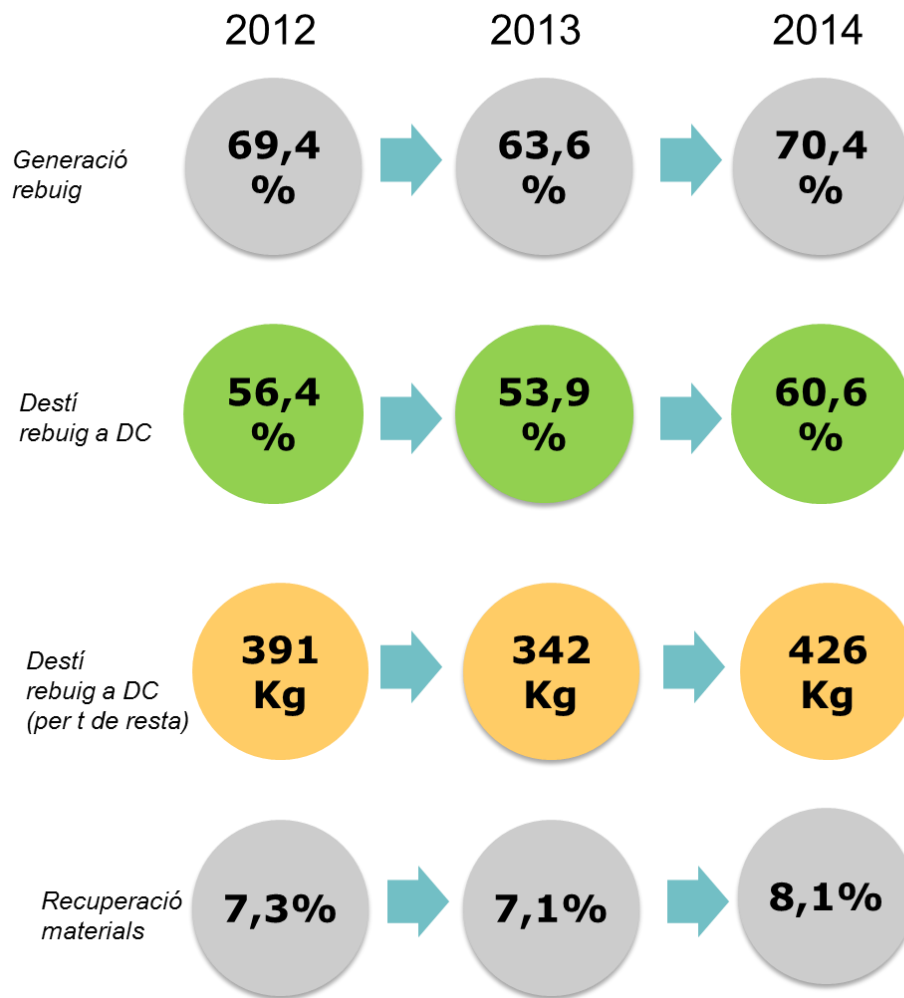


Figura 11. Evolució de les plantes de TMB de Catalunya (2012-2014)

Evolució de la petjada de carboni dels residus municipals

La petjada de carboni per tona s'ha estabilitzat entre 2012 i 2014, després d'un lleuger repunt l'any 2013 lligat a una menor recollida selectiva i menor recuperació de materials a TMB per l'esmentat any (Figura 12).

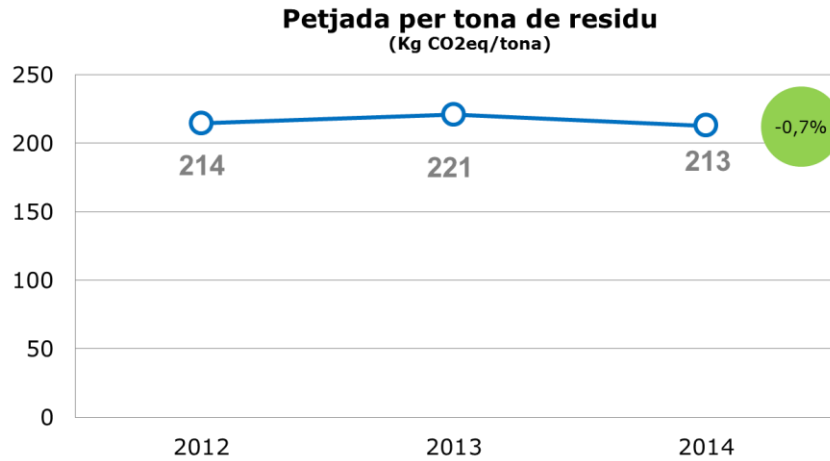


Figura 12. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals per tona de residu (Kg CO₂eq/tona)

L'evolució de la petjada de carboni per tona és pot explicar a través de dos components:

- Les **emissions generades per tona han disminuït lleugerament en aquest període (2%)** (Figura 13), degut principalment a la disminució de la fracció resta que es gestiona directament a tractament finalista (dipòsit controlat i valorització energètica). Això fa que els impactes generats per la fracció resta 'directa' en aquestes instal·lacions disminueixi. No obstant, s'ha de tenir en compte que aquesta fracció resta passa a gestionar-se a través de TMB, el qual genera també emissions de GEH i una quantitat rellevant de rebuig (al voltant del 70% pels anys 2012 i 2014). La via de gestió majoritària d'aquest rebuig és el dipòsit controlat (Figura 10), el qual contribueix a les emissions directes. En conjunt, les emissions generades han davallat lleugerament.
- Les **emissions evitades per tona s'han reduït un 3% en aquest període** (Figura 14), degut principalment a que tot i l'augment de la recollida selectiva de l'any 2014, encara no s'han assolit els nivells de l'any 2012.

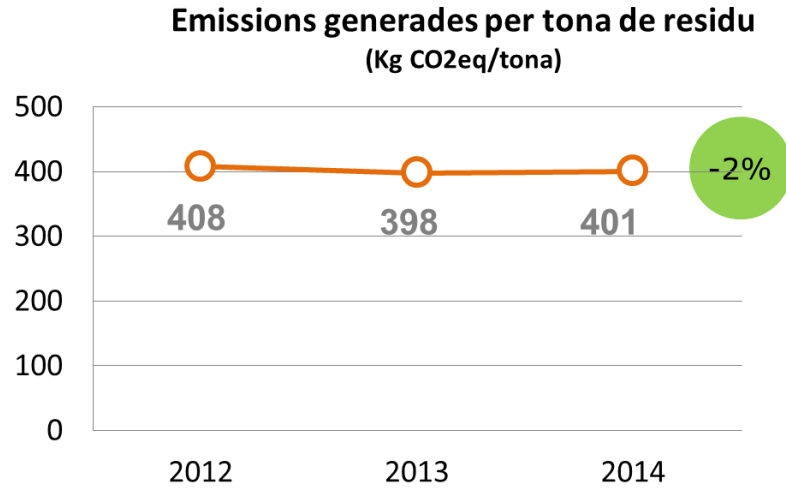


Figura 13. Emissions de GEH de la gestió de residus municipals per tona de residu (Kg CO₂eq/tona).

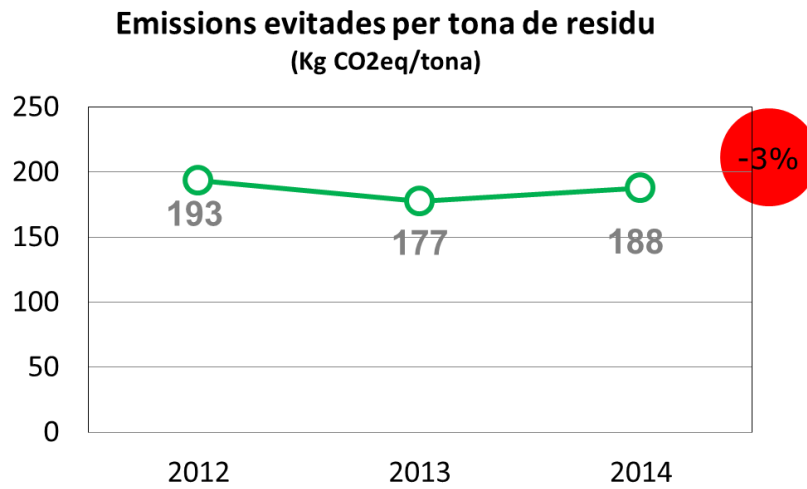


Figura 14. Emissions evitades dels Residus Municipals (Kg CO₂eq/tona)

En el cas de la **petjada de carboni per habitant**, s'observa un comportament similar a la petjada de carboni per tona. D'aquesta manera, **en el període 2012-2014 s'observa una lleugera disminució del 2%**, fruit de la davallada en la generació de residus (1,5%) i la disminució de les emissions per tona de residu gestionat (0,7%), tal com s'ha descrit anteriorment (Figura 15).

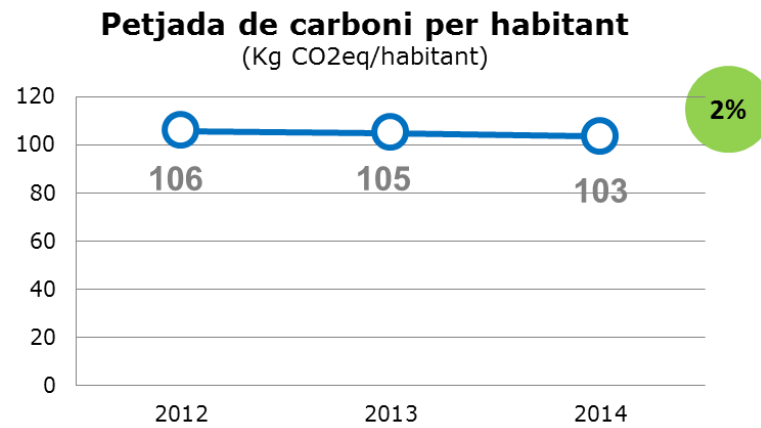


Figura 15. Petjada de Carboni dels residus municipals per habitant (Kg CO₂eq/habitant)

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

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

5.1. Resultats a nivell de municipi (2014)

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

PETJADA DE CARBONI DELS RESIDUS

RESULTATS segons el model CO2ZW



RESULTATS PER VERDÚ D'ACORD AMB LES DADES DE L'AGÈNCIA DE RESIDUS DE CATALUNYA PER L'ANY 2013

	TOTALS (t CO2eq/any)	per habitant (Kg CO2eq/hab.any)	per tona (Kg CO2eq/tona.any)
EMISSIONS GENERADES	137	137	380
EMISSIONS EVITADES	-67	-67	-185

Taula de resultats

FLUXOS DE RESIDUS	Quantitat de residus (t/any)	Resultats expressats en t CO2 eq				Emissions segregades (informatiu)
		Impacte DIRECTE (A)	Impacte INDIRECTE (B)	Impacte EVITAT (C)	(A+B+C)	
RECICLATGE DE LA RECOLLIDA SELECTIVA						
Paper i Cartró, Plàstics, Vidre i Metalls	83	0	1	-64	-63	0
Matèria orgànica destinada a produir compost	89	17	0	-1	16	0
Matèria orgànica destinada a biometanització	0	0	0	0	0	0
FRACCIÓ RESTA A TRACTAMENT MECÀNIC BIOLÒGIC (TMB)						
Rest total processada a TMB	0	0	0	0	0	0
Sortides de TMB						
Crèdits per la recuperació de materials i energia (sense CDR)				0	0	0
Combustibles Derivats de Residus (CDR)			0	0	0	0
FRACCIÓ RESTA A VALORITZACIÓ ENERGÈTICA (PVE)						
Planta de Valorització Energètica	0	0	0	0	0	0
FRACCIÓ RESTA A DIPÒSIT CONTROLAT (DC)						
Dipòsit controlat	177	117	1	-2	116	-53
TOTAL		135	2	-67	70	-53

Transport	1
-----------	---

PETJADA DE CARBONI DELS RESIDUS

RESULTATS segons el model CO2ZW



RESULTATS PER VERDÚ D'ACORD AMB LES DADES DE L'AGÈNCIA DE RESIDUS DE CATALUNYA PER L'ANY 2013

Representació dels resultats

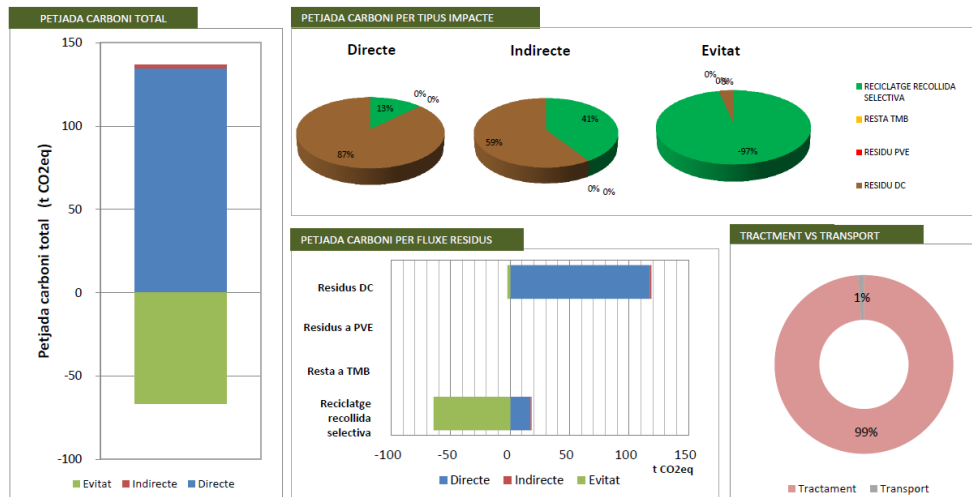


Figura 16. Exemple de fitxa de resultats de la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per a cada municipi

Dades estadístiques descriptives

La Taula 15 mostra els descriptius estadístics de la petjada de carboni dels municipis catalans per l'any 2014. D'acord amb aquests resultats, s'observa que el 50% dels municipis tenen una petjada de carboni entre 118 i 256 Kg CO₂eq/habitant⁷.

Taula 15. Estadística descriptiva de la petjada de carboni dels municipis catalans (2014)

Descriptiu	Any 2014 (Kg CO ₂ eq/hab)
Mitjana	206
Mínim	-33
Percentil 25 (P25)	118
Percentil 50 (P50)	194
Percentil 75 (P75)	256
Màxim	948

La Figura 17 mostra l'histograma de les dades de petjada de carboni dels municipis per l'any 2014, on s'aprecien el nombre d'ocurrències de cada grup en el diagrama de barres verticals, segons una distribució normal.

⁷ Aquest càlcul inclou no les dades de recollida selectiva no territorialitzable, és a dir, que no es pot assignar a cap municipi en concret.

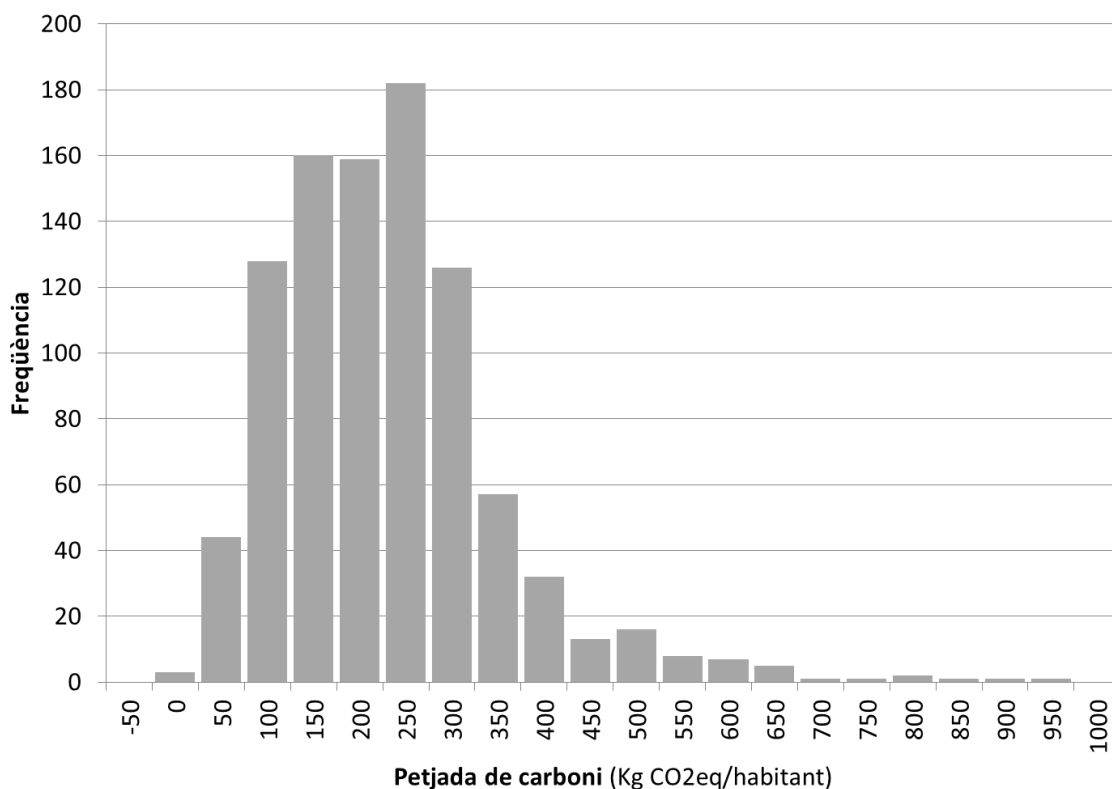


Figura 17. Histograma de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals dels municipis catalans (2014)

Interpretació dels resultats

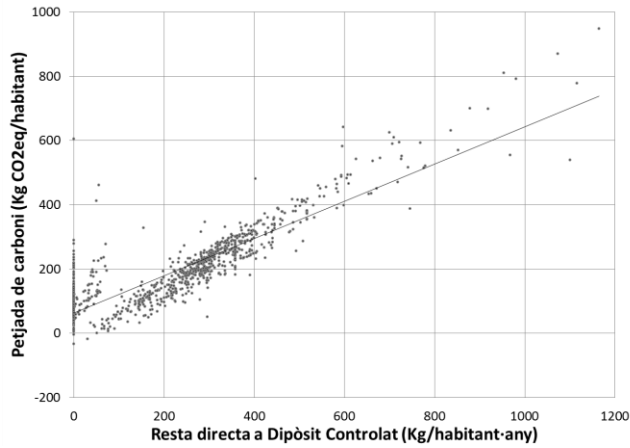
S'ha realitzat un anàlisi de correlacions de Pearson per tal de determinar quines variables estan més relacionades amb els resultats de petjada de carboni (Taula 16). Els resultats obtinguts són similars als dels anys anteriors (a la taula es mostren els resultats per als dos anys). S'observa com la variable que presenta una major correlació amb la petjada de carboni per habitant és la quantitat de **resta destinada a dipòsit controlat per habitant** ($R=0,872$, $p=0,000$). Per tant, aquells municipis que enviïn més resta a dipòsit controlat per habitant, són els que tenen una major petjada de carboni per habitant. En segon lloc, la **generació de residus per habitant** i l'índex de **recollida selectiva (%)** presenten també una correlació significativa amb la petjada de carboni per habitant.

Taula 16. Coeficient de correlació de Pearson entre la petjada de carboni per habitant i altres variables (comparativa entre els anys 2013 i 2014)

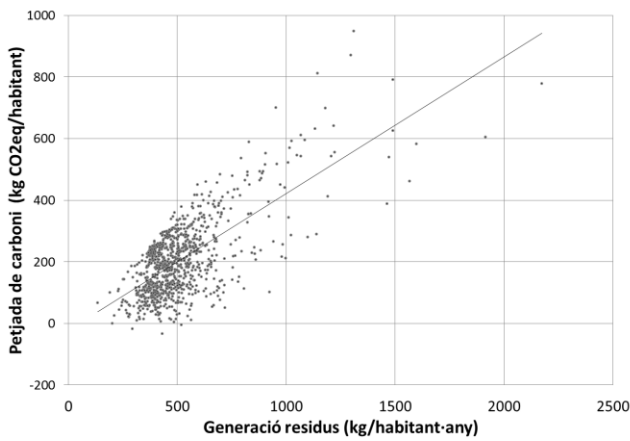
Variable	Generació de residus (Kg/hab)	Resta a Dipòsit (Kg/hab)	Índex Recollida Selectiva (%)
Petjada de carboni 2014 (Kg CO ₂ eq/hab)	0,692**	0,872**	-0,548**
Petjada de carboni 2013 (Kg CO ₂ eq/hab)	0,655**	0,918**	-0,551**

**Correlació significativa (p=0,000)

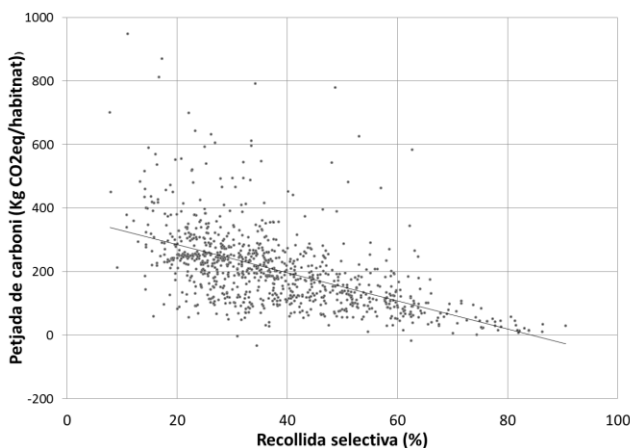
La Figura 18 mostra els **models de regressió lineals** entre la petjada de carboni per habitant dels municipis i les variables amb major correlació. S'observa com la resta destinada a dipòsit controlat (DC) és la variable que presenta una millor relació amb la petjada de carboni per habitant, amb un $R^2=0,76$. Això indica que un 76% dels canvis en la petjada de carboni per habitant es podrien explicar per les diferències en la quantitat de resta destinada a dipòsit controlat. En el cas de la generació de residus i l'índex de recollida selectiva, ambdues variables poden explicar, per si soles, aproximadament un 48% i un 30%, respectivament, de la variació en la petjada de carboni per habitant dels municipis catalans.



$PC = 0,58 \text{ Resta a DC} + 63,69$
 $R^2 = 0,76$; Error = 60,0
 PC = Petjada de carboni (Kg CO₂eq/hab·any)
 Resta a DC = Resta directa a dipòsit controlat (Kg/hab·any)



$PC = 0,44 \text{ Generacio} - 21,29$
 $R^2 = 0,48$; Error = 88,7
 PC = Petjada de carboni (Kg CO₂eq/hab·any)
 Generacio = Generació de residus (Kg/hab·any)



$PC = 373,58 - 4,43 \text{ RS}$
 $R^2 = 0,30$; Error = 102,7
 PC = Petjada de carboni (Kg CO₂eq/hab·any)
 RS = Recollida selectiva (%)

Figura 18. Models de regressió lineal de la petjada de carboni per habitant i la resta a dipòsit controlat, generació de residus i recollida selectiva, respectivament (2013).

5.2. Resultats per comarca (2014)

La Taula 17 mostra la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana per habitant de cada comarca⁸, on es pot observar un rang variable entre 63 i 377 Kg CO₂eq/habitant·any.

Taula 17. Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana de les comarques de Catalunya (2014), en Kg de CO₂eq/hab

Comarca	Petjada de carboni (Kg CO ₂ eq/hab·any)	Comarca	Petjada de carboni (Kg CO ₂ eq/hab·any)
Alt Camp	63	Maresme	109
Alt Empordà	377	Montsià	155
Alt Penedès	225	Noguera	253
Alt Urgell	147	Osona	73
Alta Ribagorça	197	Pallars Jussà	200
AMB	99	Pallars Sobirà	242
Anoia	321	Pla de l'Estany	194
Bages	191	Pla d'Urgell	157
Baix Camp	91	Priorat	164
Baix Ebre	217	Ribera d'Ebre	174
Baix Empordà	372	Ripollès	206
Baix Llobregat	134	Segarra	107
Baix Penedès	188	Segrià	226
Barcelonès	92	Selva	247
Berguedà	258	Solsonès	183
Cerdanya	353	Tarragonès	91
Conca de Barberà	177	Terra Alta	97
Garraf	285	Urgell	198
Garrigues	215	Val d'Aran	365
Garrotxa	194	Vallès Occidental	86
Gironès	85	Vallès Oriental	137
		Catalunya	103

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

La Figura 19 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 2014 (Figura 19).

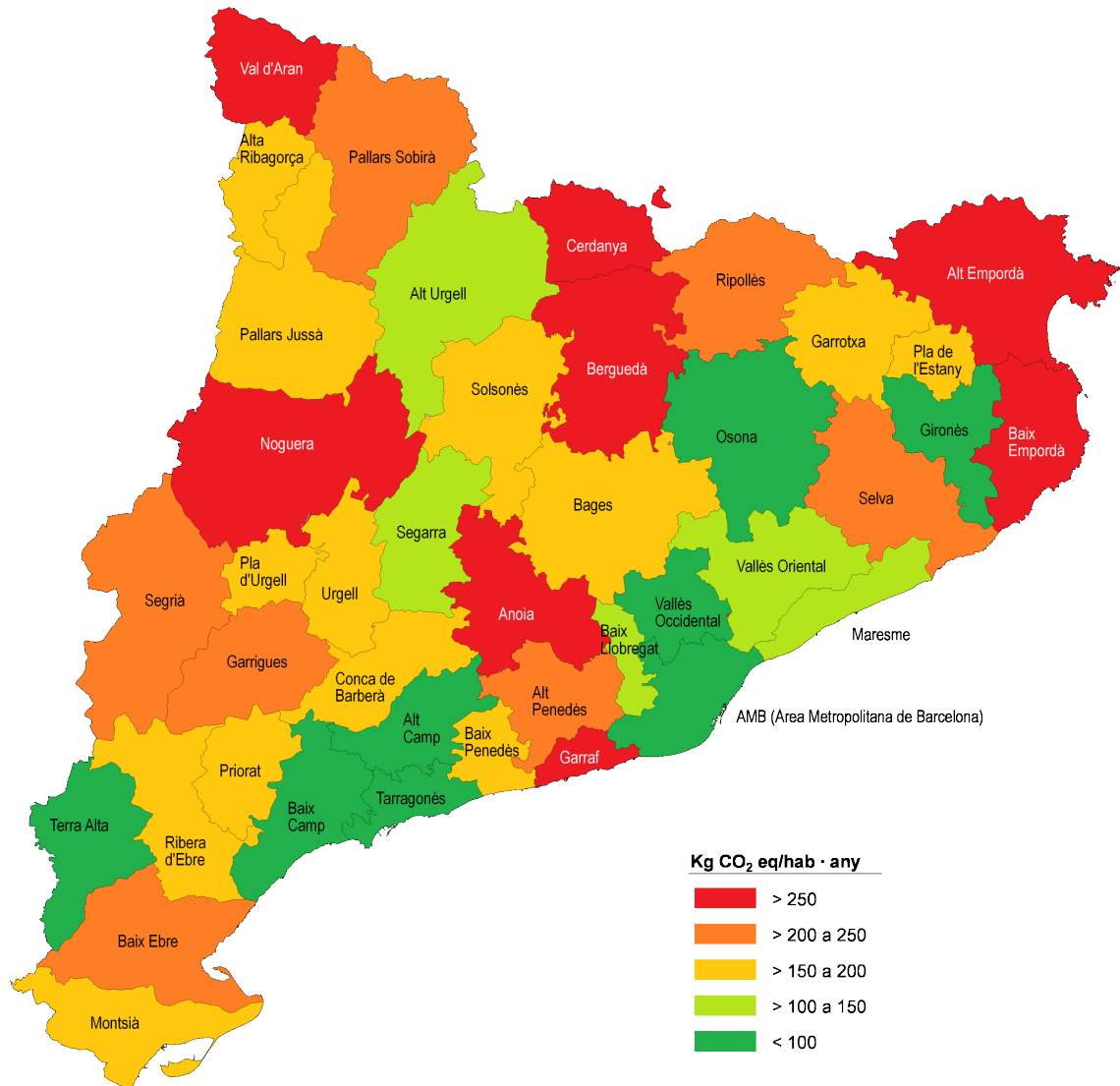


Figura 19. Petjada de carboni de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2014)

Tal i com s'ha explicat anteriorment, la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals per habitant està directament relacionada amb la quantitat de resta destinada a dipòsit controlat. La Figura 20 mostra aquesta relació a nivell comarcal per a l'any 2014.

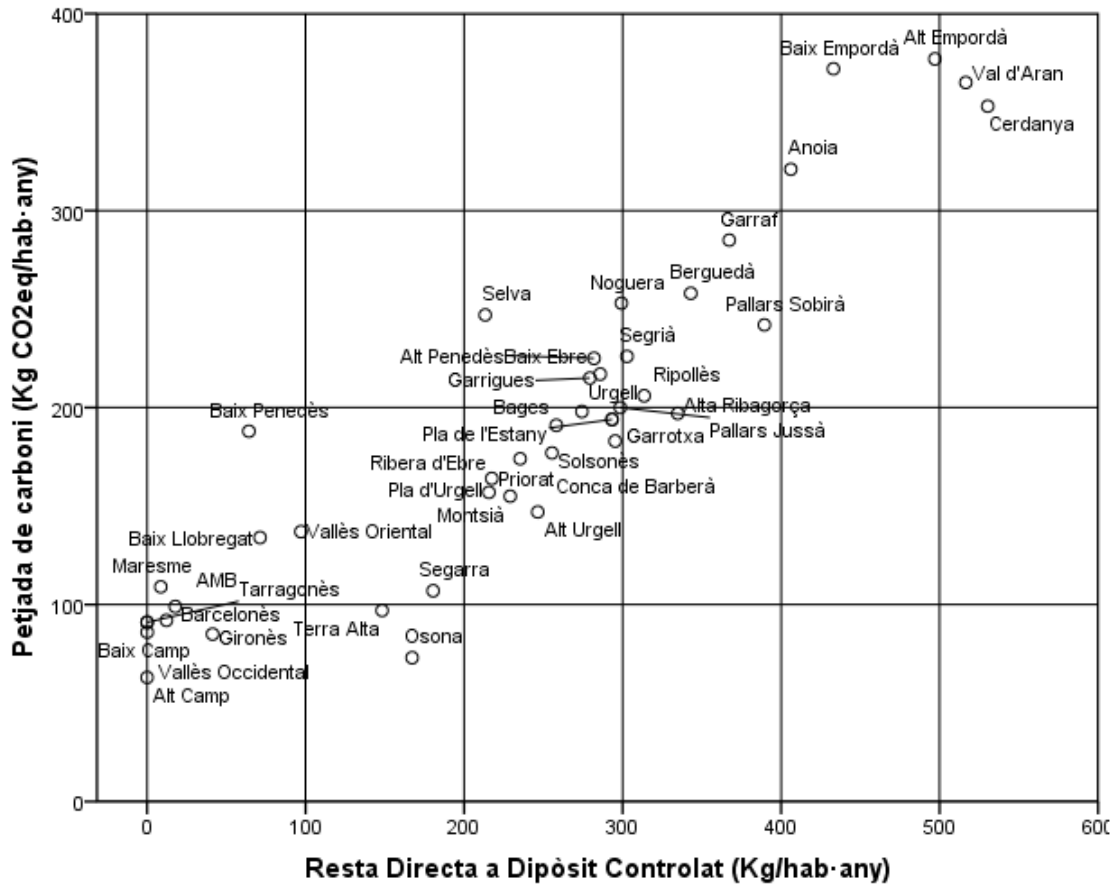


Figura 20. Diagrama de dispersió de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals mitjana per habitant i la quantitat de resta destinada a dipòsit controlat, a nivell comarcal (2014)

Finalment, la Figura 21 representa gràficament les comarques en un diagrama de dispersió per a les variables 'resta a Dipòsit Controlat' i 'índex de recollida selectiva'. Tal i com és d'esperar, a la part inferior dreta s'ubiquen les comarques amb menor petjada de carboni (per sota de 100 Kg CO₂eq/hab·any) i a la meitat superior esquerra aquelles comarques amb una petjada de carboni major (per sobre de 250 Kg CO₂eq/hab·any).

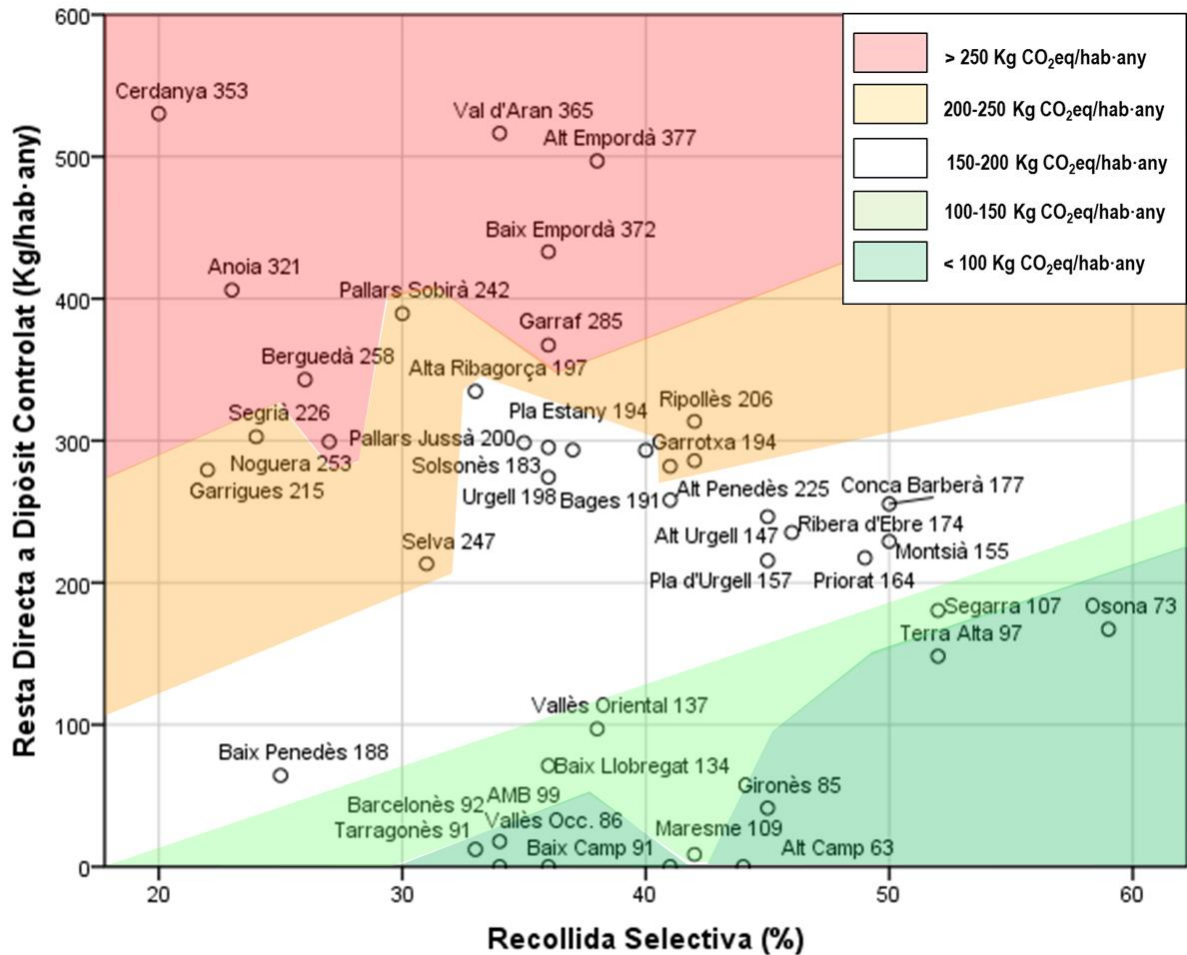


Figura 21. Diagrama de dispersió de la recollida selectiva i de la resta enviada a dipòsit controlat per habitant, per comarca (2014). El número que acompanya el nom de la comarca correspon a la petjada de carboni de la gestió de residus municipals (Kg CO₂eq/hab·any)

6. REFERÈNCIES

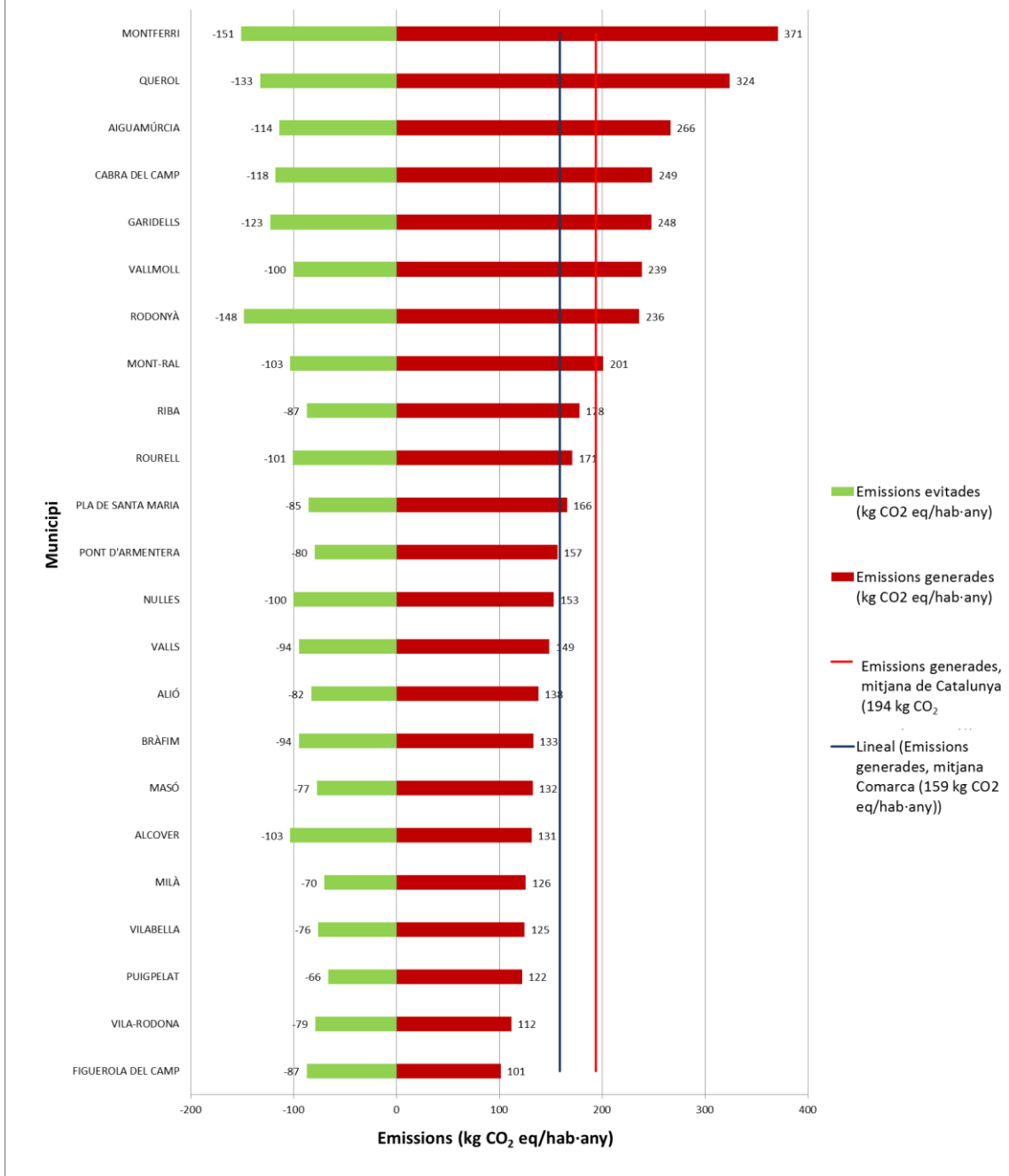
- Boldrin A, Andersen JK, Moller J, Christensen TH, Favoino E. 2009. "Composting and Compost Utilization: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contributions." *Waste Management & Research* 27: 800–812.
- Cleary, J. 2009. "Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management Systems: a Comparative Peer-reviewed Literature." *Environment International* 35 (8): 1256–1266.
- Comissió Europea. 2011. "Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A Technical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for Waste Experts and LCA Practitioners". JRC Scientific and Technical Reports. Disponible a: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/22582/1/reqno_jrc65850_lb-na-24916-en-n%20_pdf.pdf (darrer accés: octubre 2015)
- Farreny R, Colman S, Gasol CM, Rieradevall J, Seigné-Itoiz E, Gabarrell X. 2012. "CO2ZW User Guide."
- Font D, Puig I, Gabarrell X. 2012. "Building Waste Management Core Indicators through Spatial Material Flow Analysis: Net Recovery and Transport Intensity Indexes." *Waste Management* 32: 2496–2510.
- Generalitat de Catalunya. "Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya, PROGREMIC 2007-2012." www.progremic.cat .
- Inèdit 2013, "Petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals de Catalunya (2011-2012)", ARC. http://www20.gencat.cat/docs/arc/Home/Consultes%20i%20tr%C3%A0mits%20-%20nou/Estadistiques/Estadistiques%20de%20residus%20municipals/petjada_carboni_2011_2012.pdf
- IPCC. 2006. "Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero." Disponible a: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/> (darrer accés: octubre 2015)
- Jungbluth N. 2007. "Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen Für Den Ökologischen Vergleich von Energiesystemen Und Den Einbezug von Energiesystemene in Ökobilanzen Für Die Schweiz (Ed. Dones R.) Ecoinvent Report No. 6-IV." Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Kellenberger D, Althaus HJ, Jungbluth N, Künniger T, Lehmann A, Thalmann O. 2007. "Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report Ecoinvent Data V2.0. No. 7." EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Nemecek T, Kägi T, Blaser S. 2007. "Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems." Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- OCCC. 2014. "Cinquè Informe de Progrés a Catalunya Sobre Els Objectius de Kyoto." Disponible a: <http://canvclimatic.gencat.cat/web/.content/home/actualitat/docs/Cinque-Informe-de-Progres-Final-amb-tapa.pdf> (darrer accés: octubre 2015).
- OCCC. 2015. "Nota informativa sobre la metodologia d'estimació del mix elèctric per part de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC)". Disponible a: (darrer accés:

http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/reduex_emissions/factors_emissio_associats_energia/150213_Nota-metodologica-mix_cat.pdf octubre 2015).

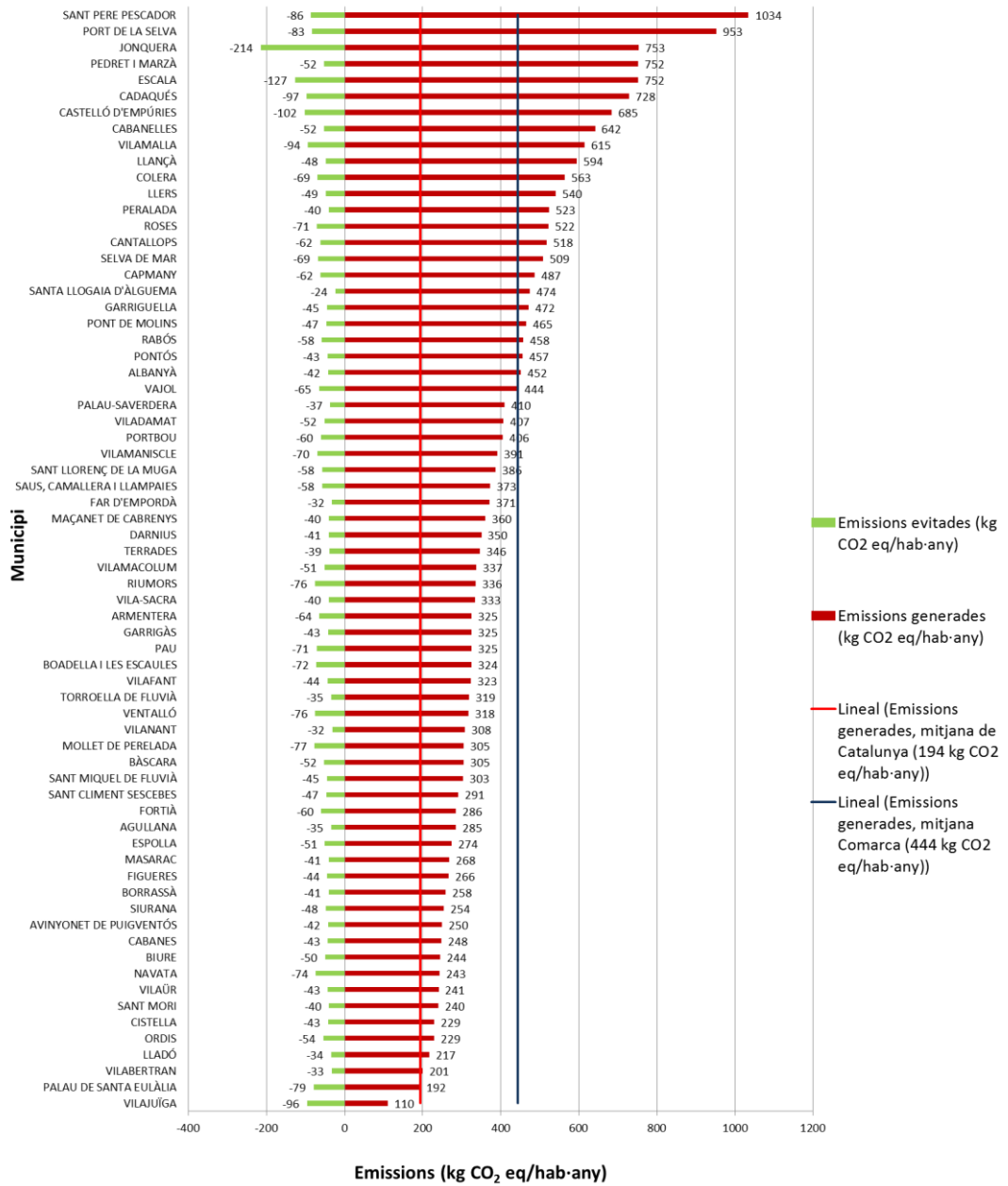
- Prognos, Ifeu, INFU. 2008. "Resource Savings and CO2 Reduction Potential in Waste Management in Europe and the Possible Contribution to the CO2 Reduction Target in 2020." http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/Results_CO2_wasteproject.pdf.
- Seigné-Itoiz, E, CM Gasol, R Farreny, X Gabarrell,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

A. ANNEX. Emissions de GEH generades i evitades de la gestió dels residus municipals, a escala municipal (2014)

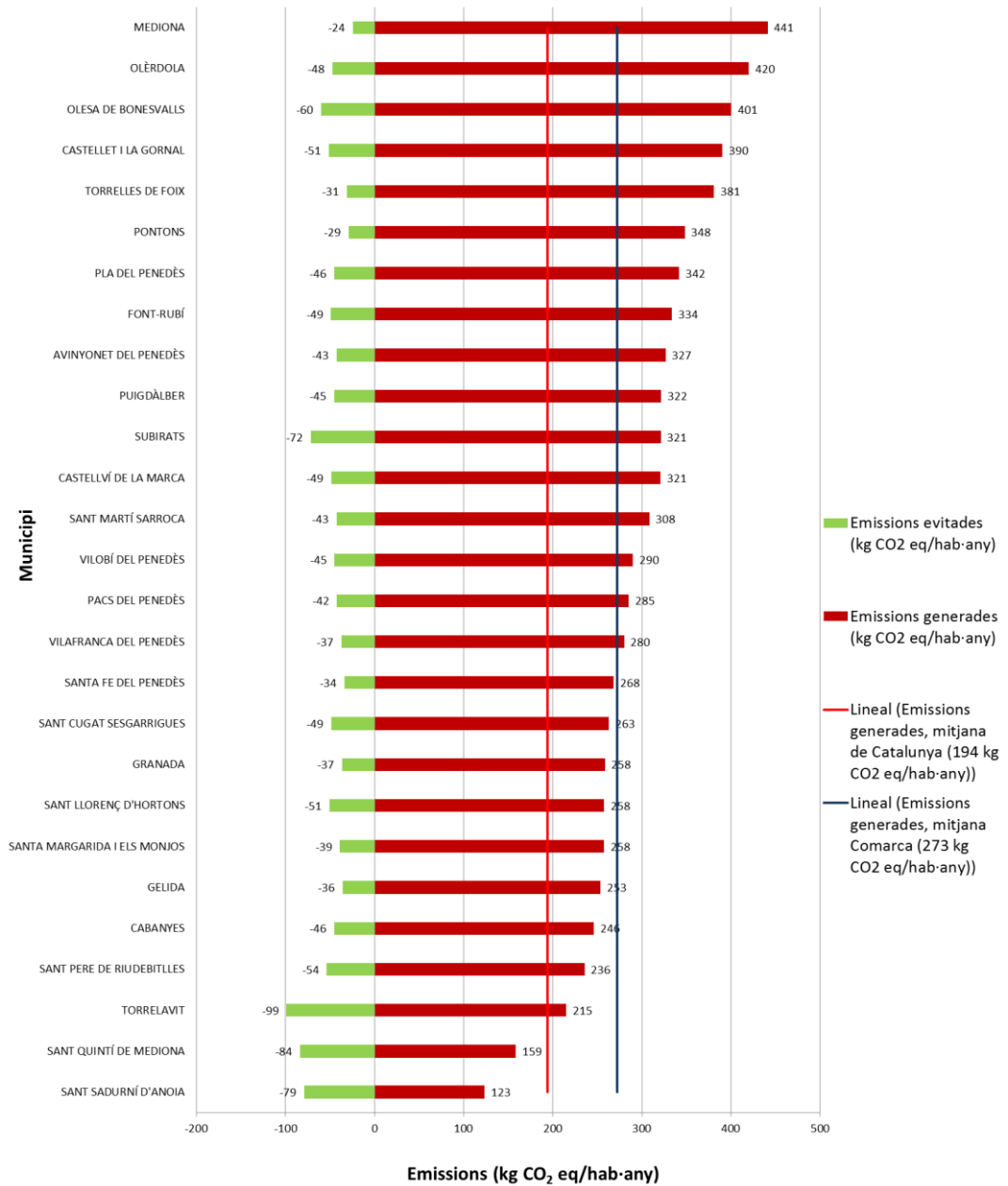
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Camp, 2014)



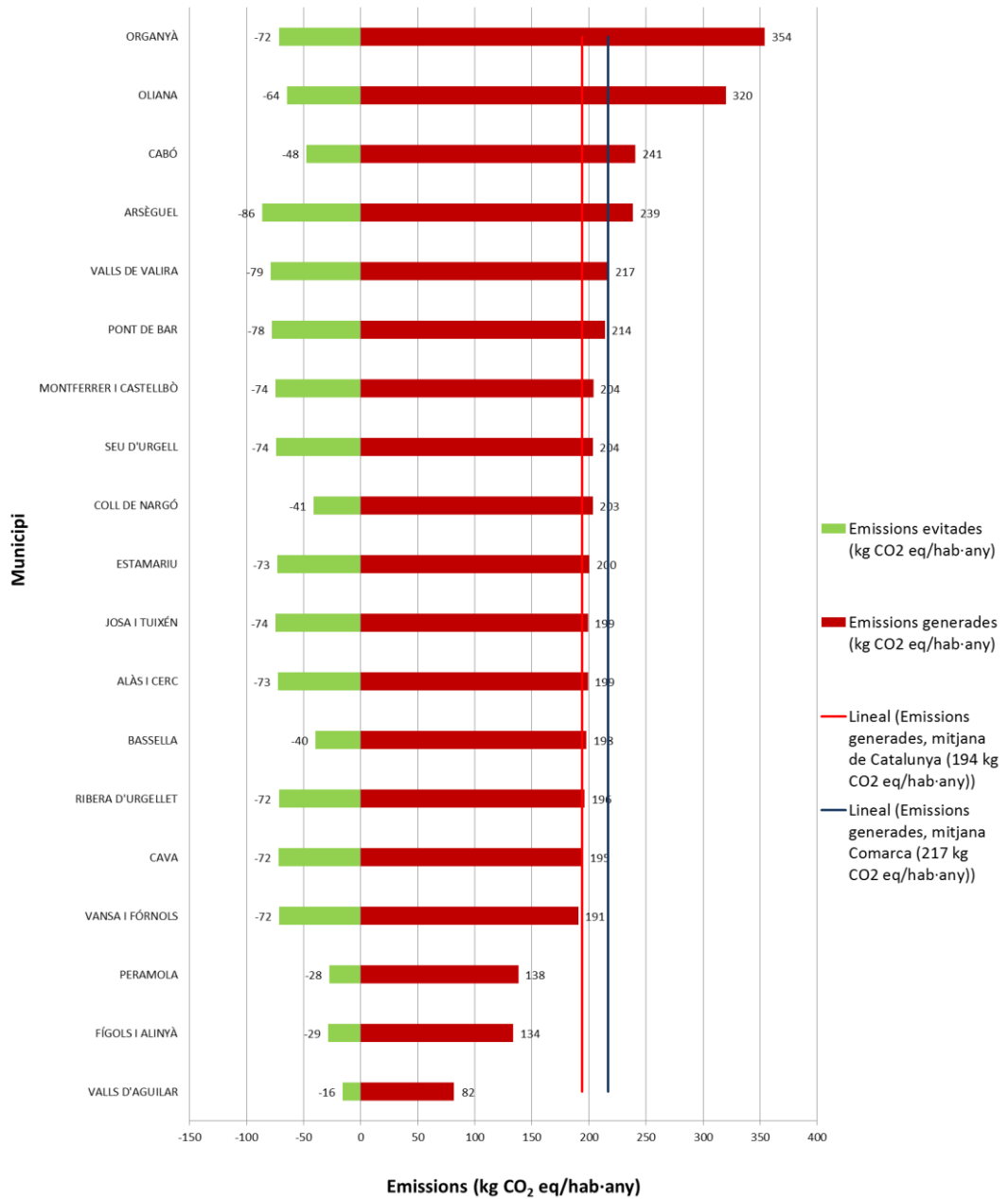
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Empordà, 2014)



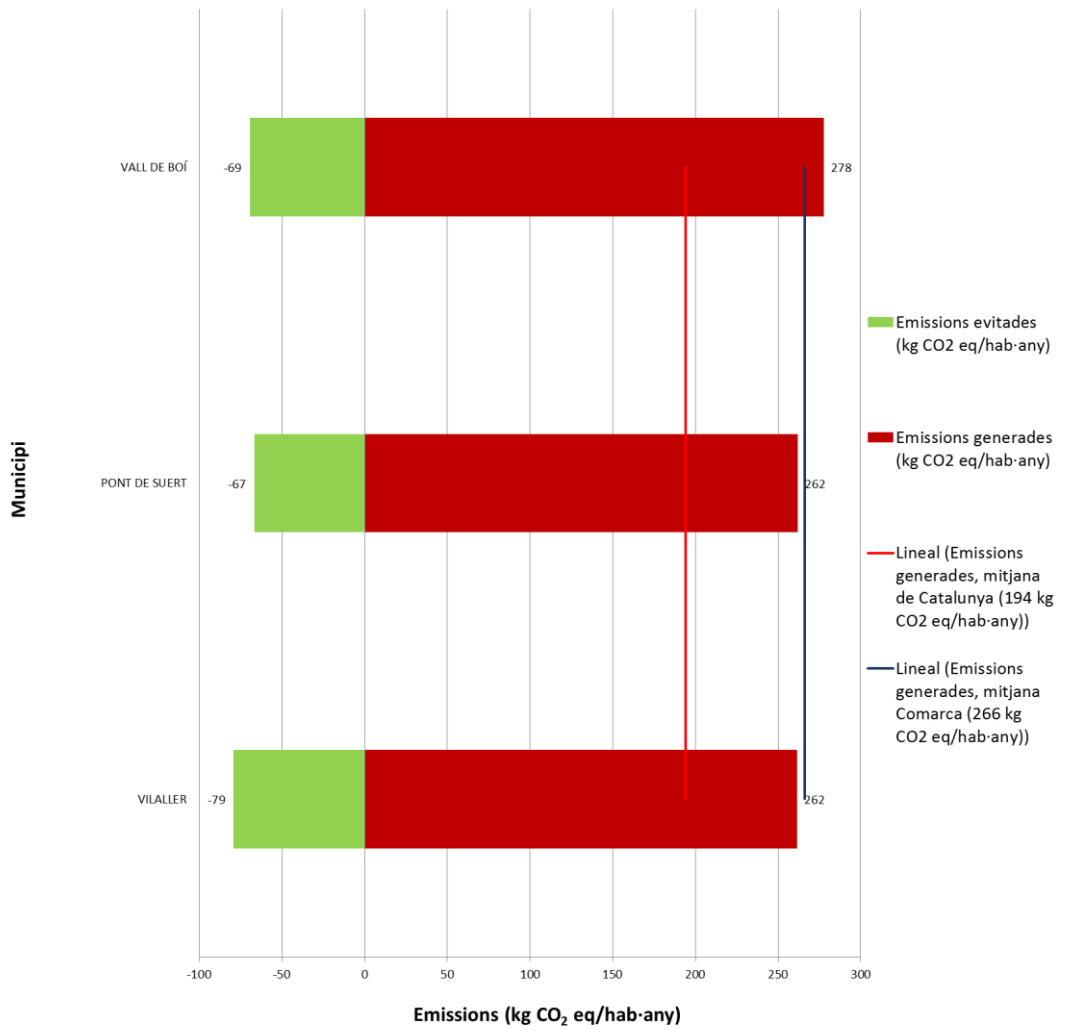
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Penedès, 2014)



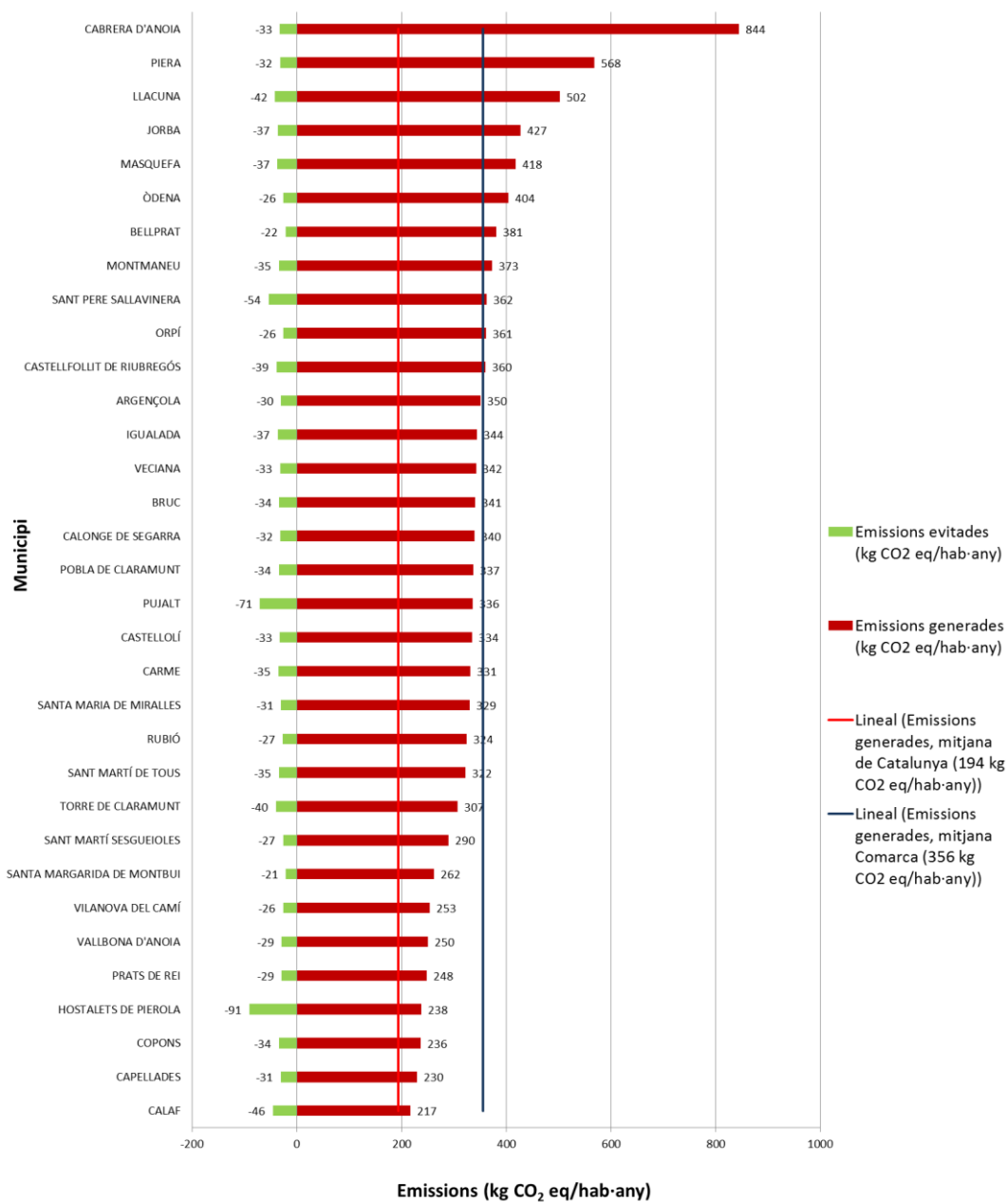
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alt Urgell, 2014)



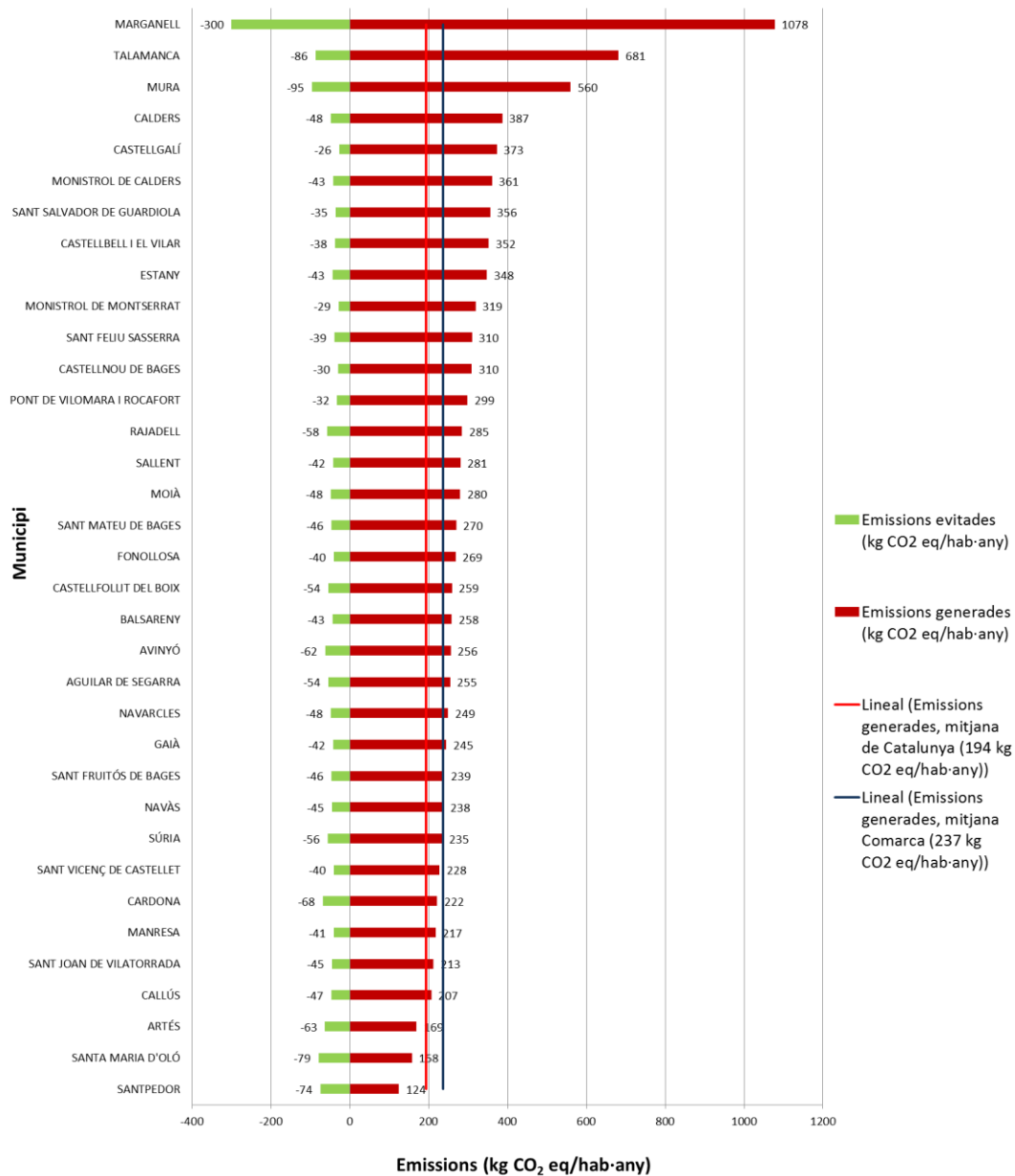
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Alta Ribagorça, 2014)



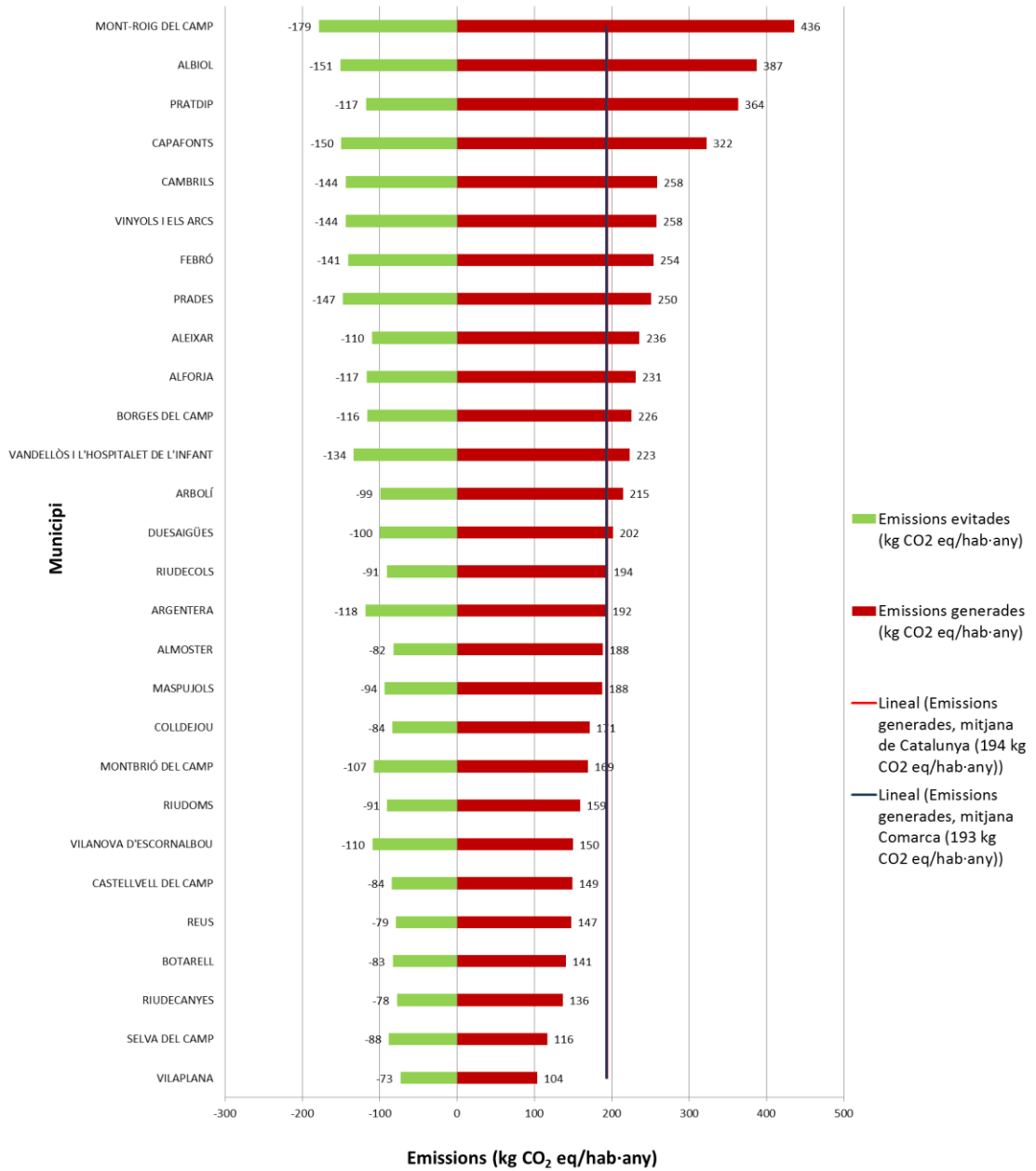
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Anoia, 2014)



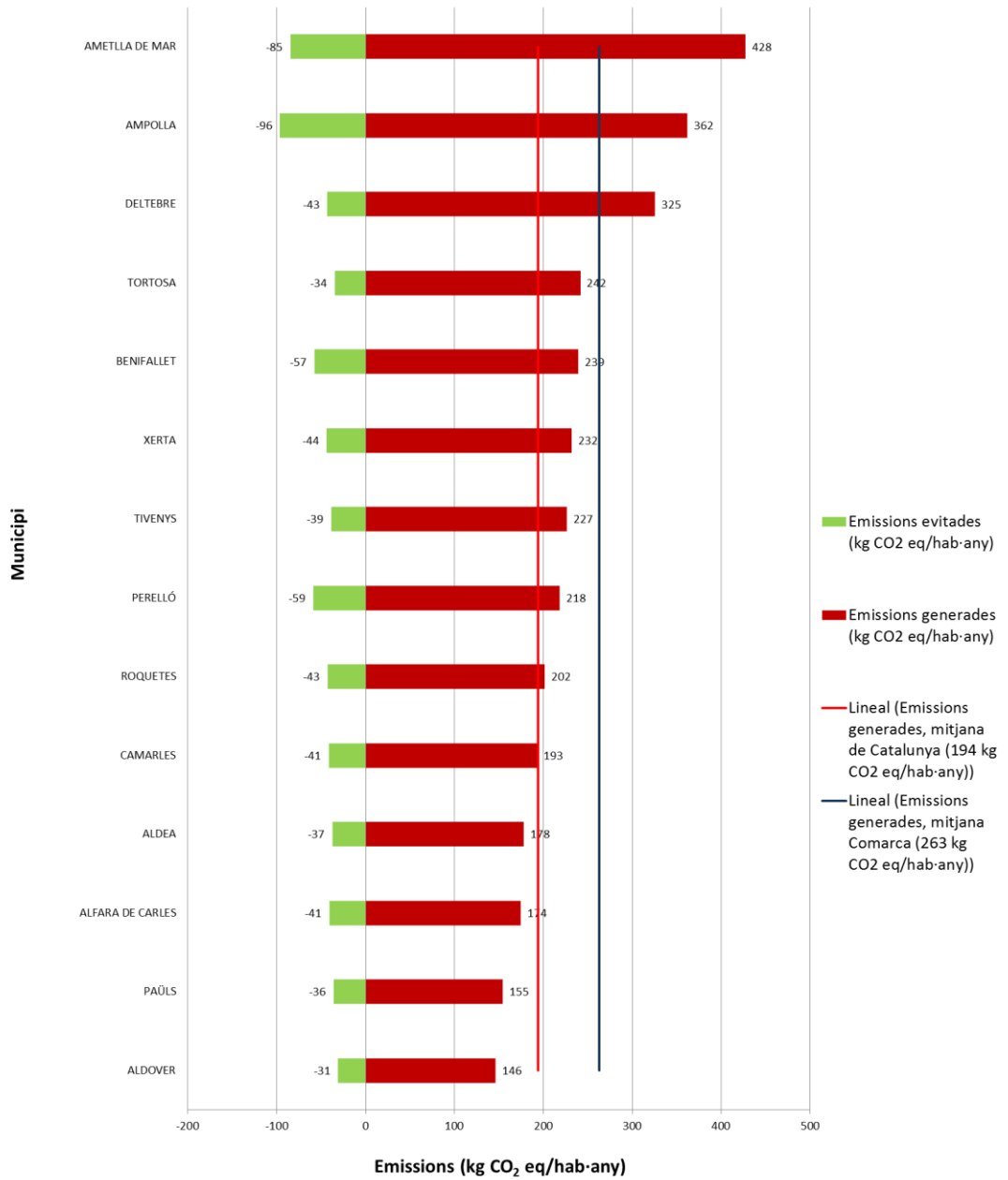
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Bages, 2014)



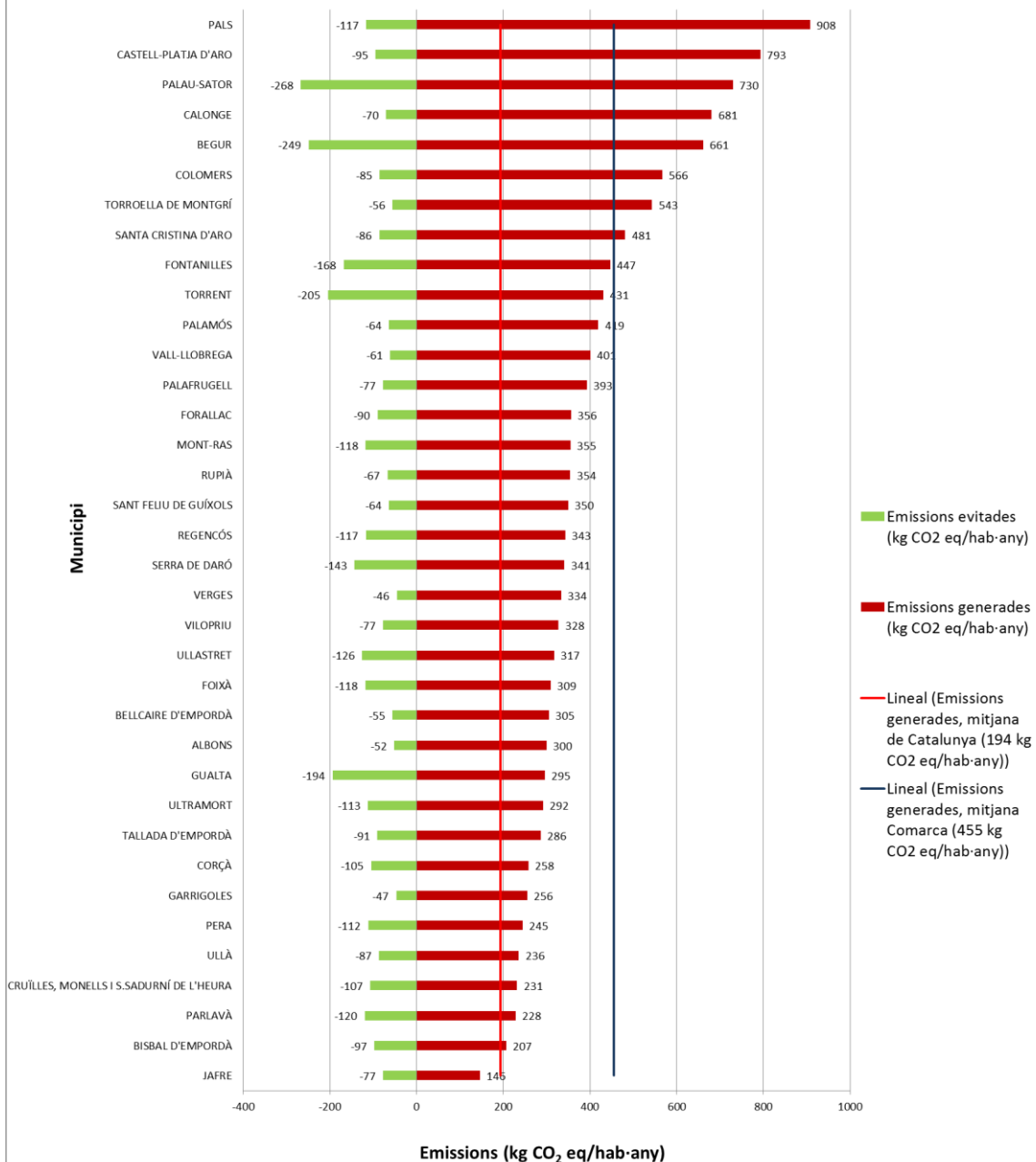
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Camp, 2014)



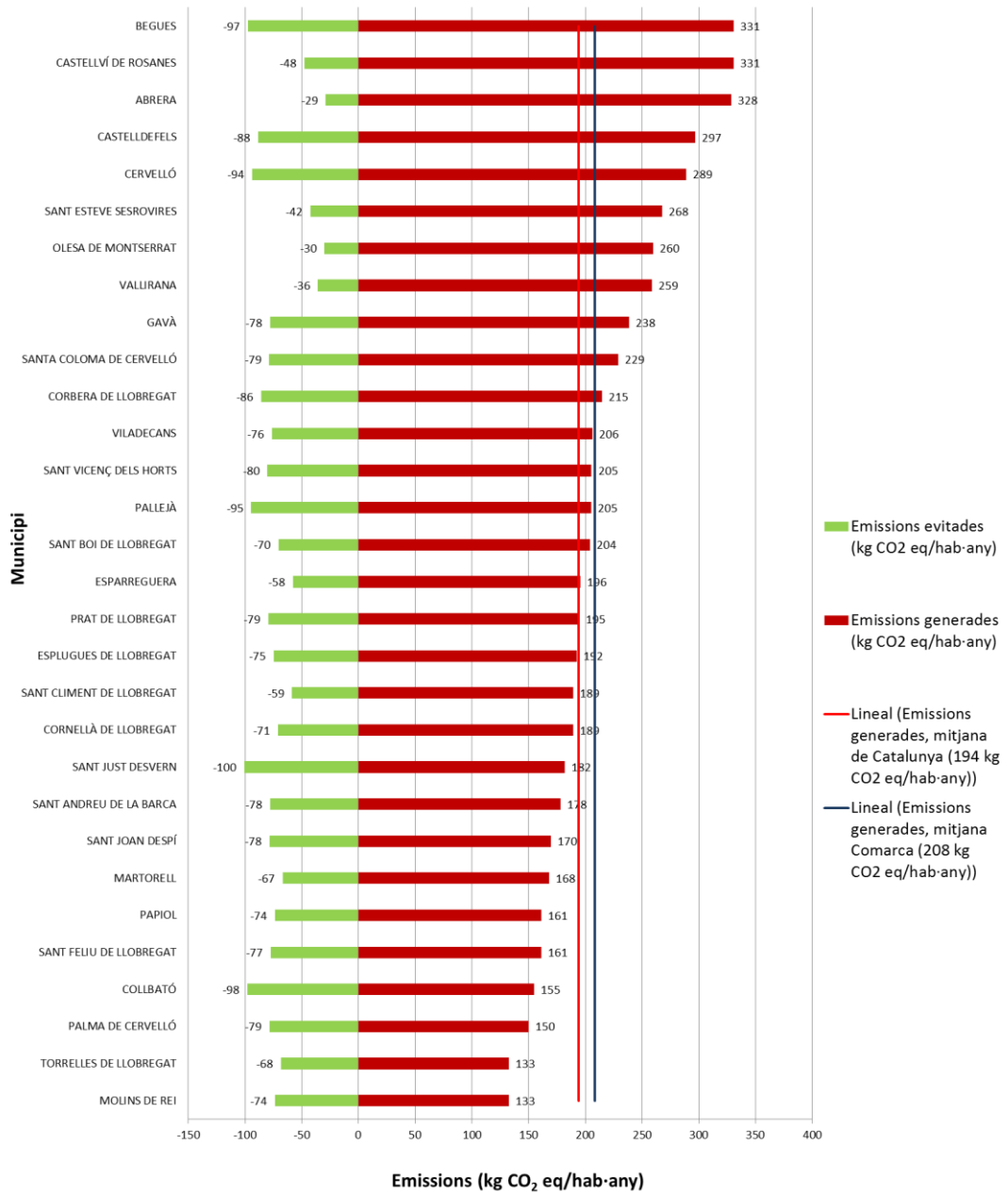
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Ebre, 2014)



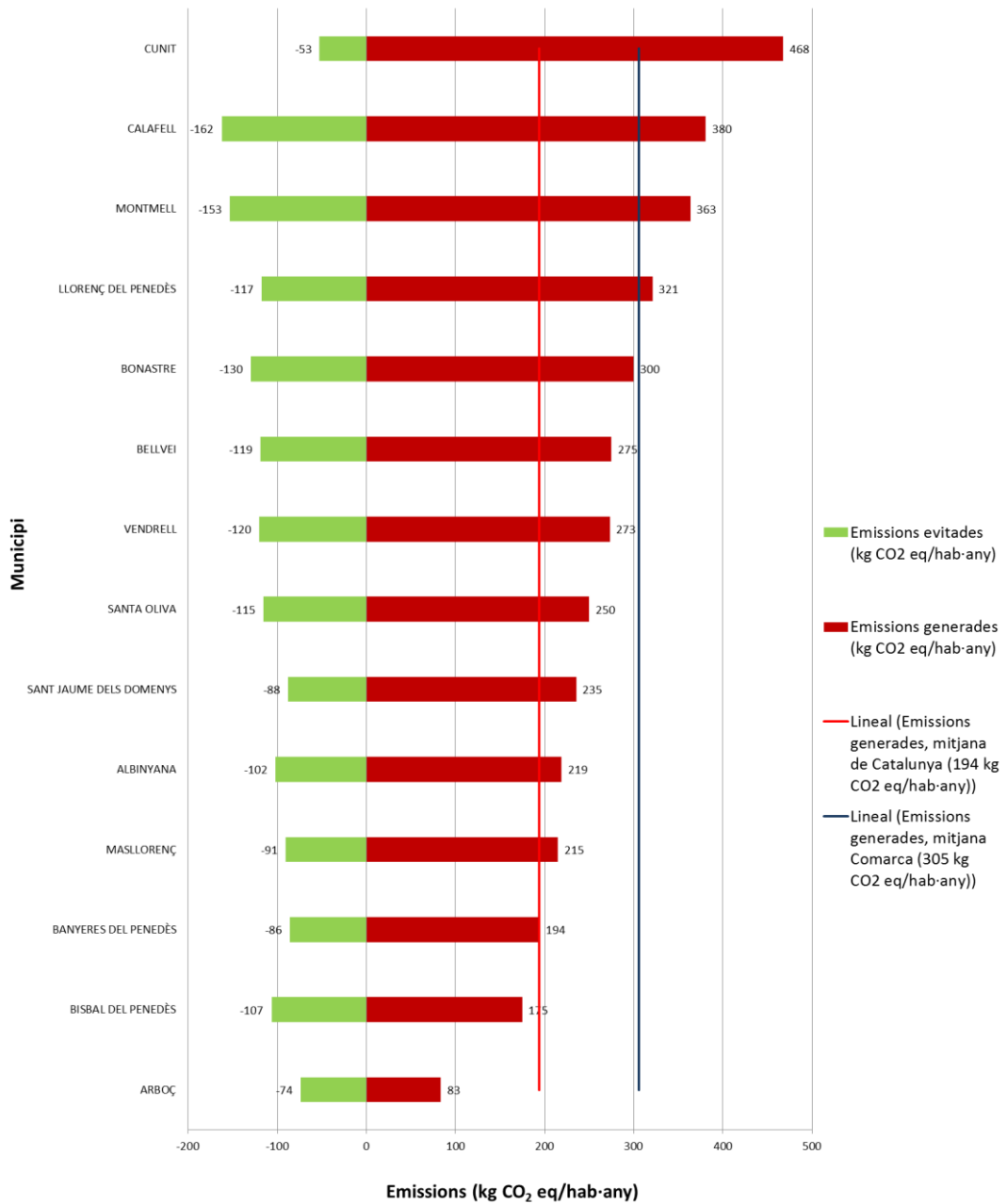
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Empordà, 2014)



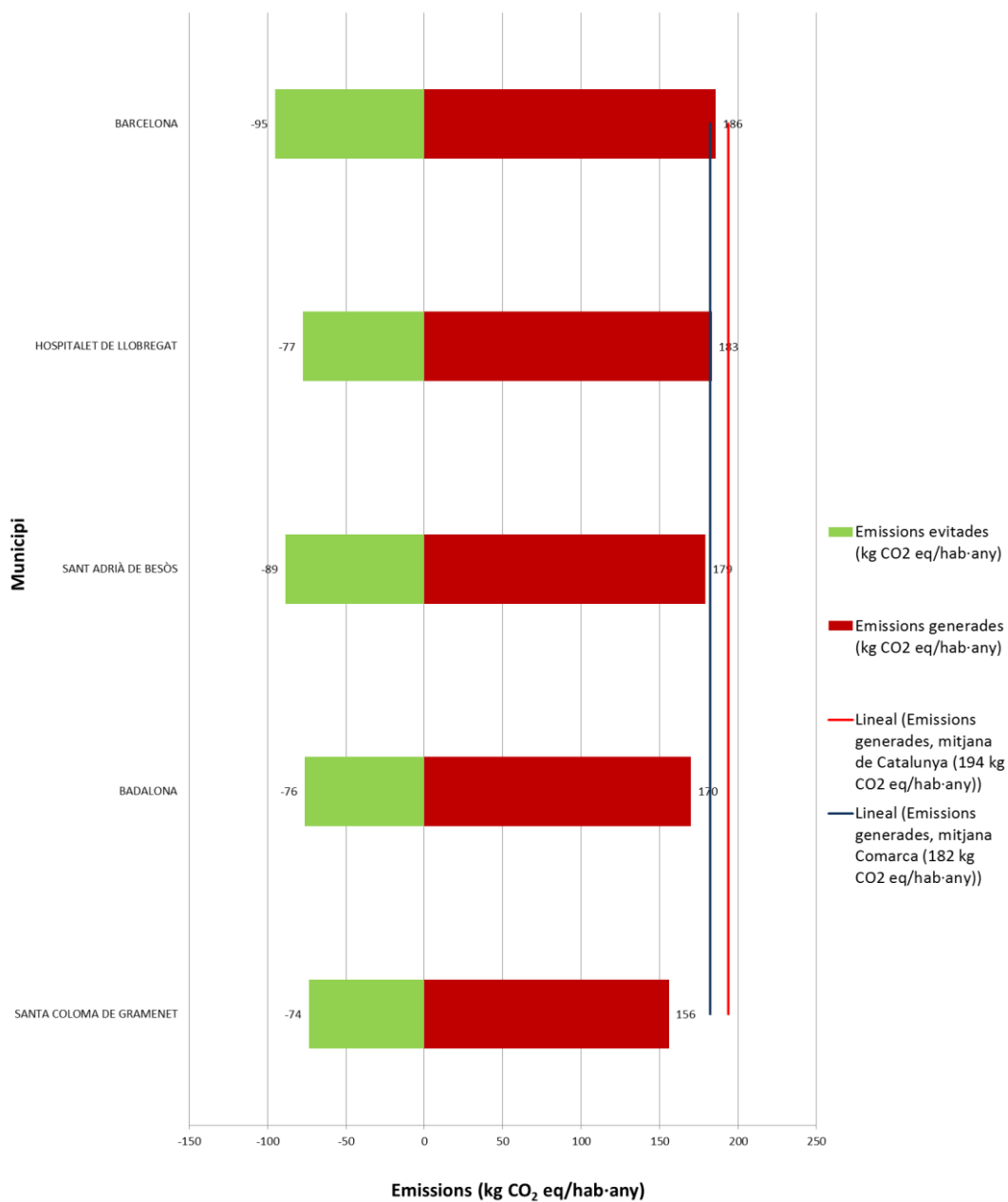
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Llobregat, 2014)



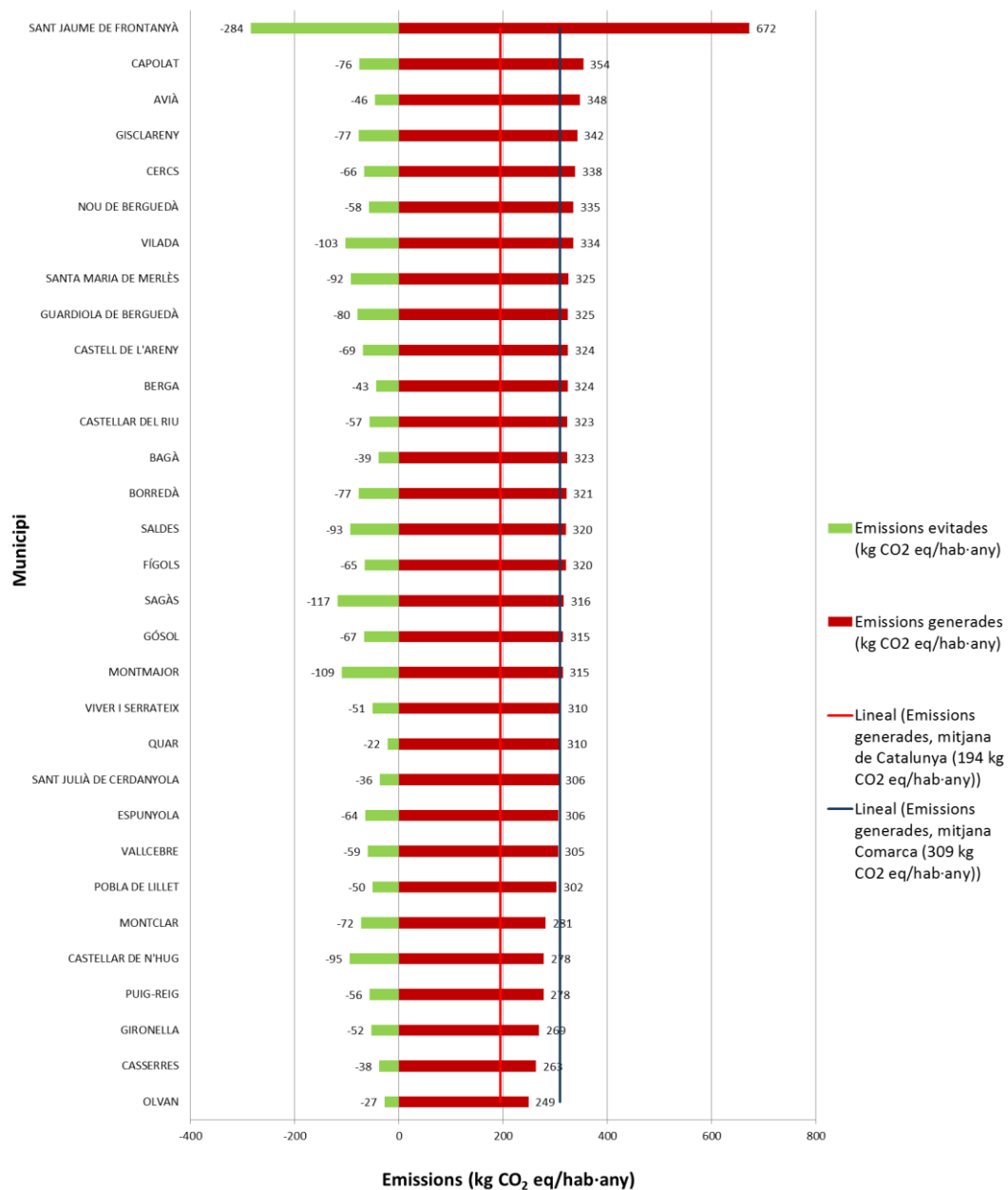
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Baix Penedès, 2014)



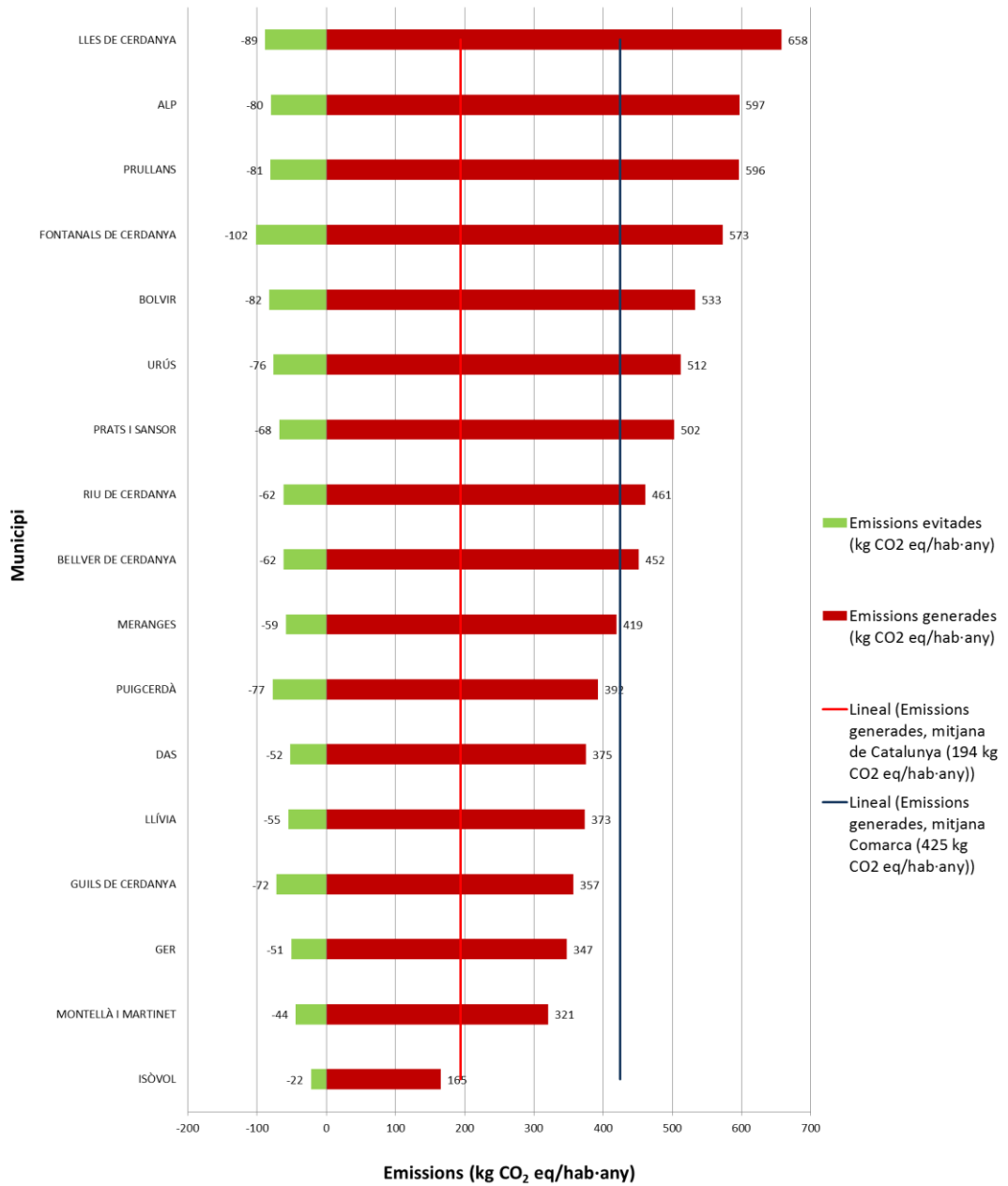
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Barcelonès, 2014)



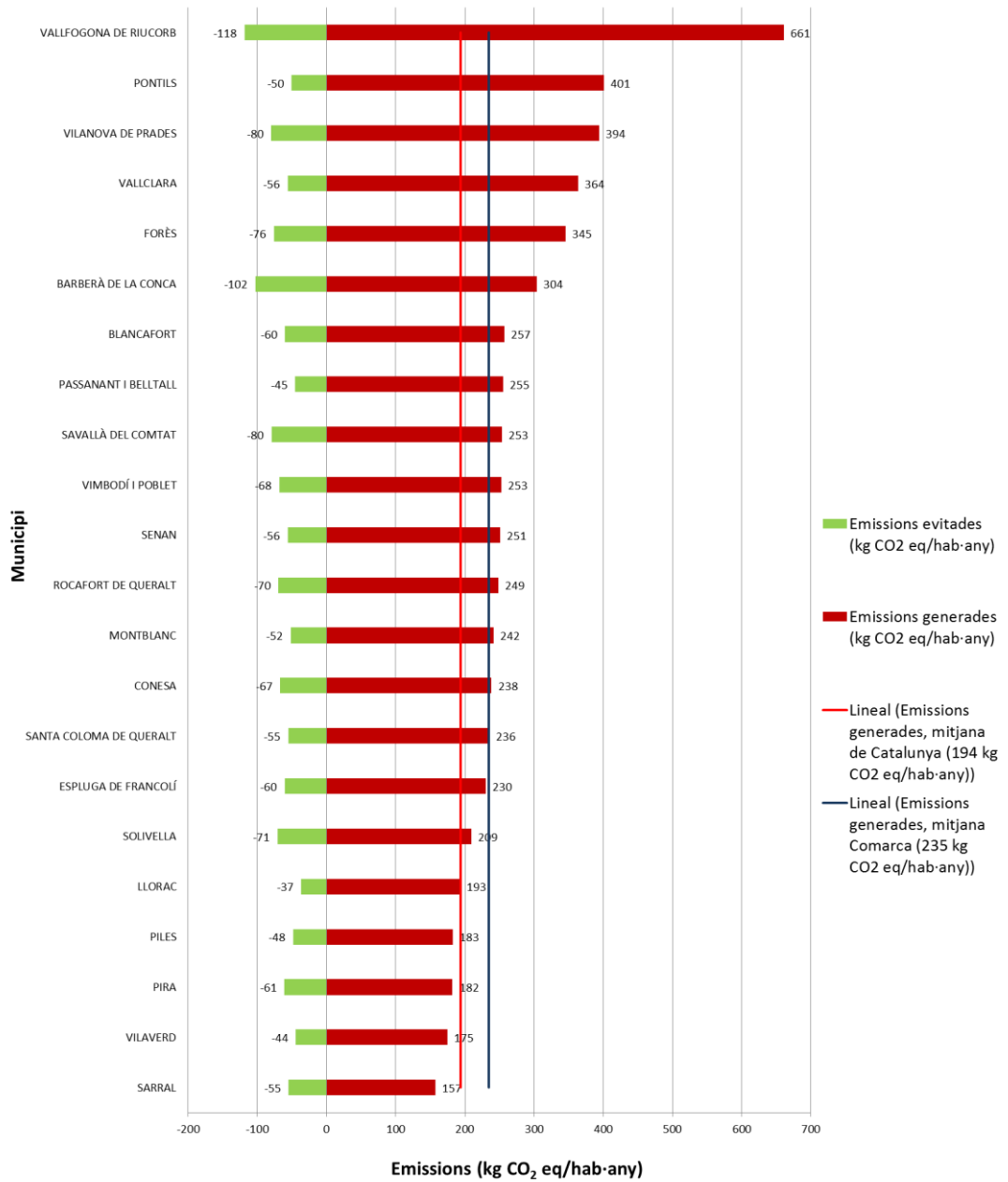
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Berguedà, 2014)



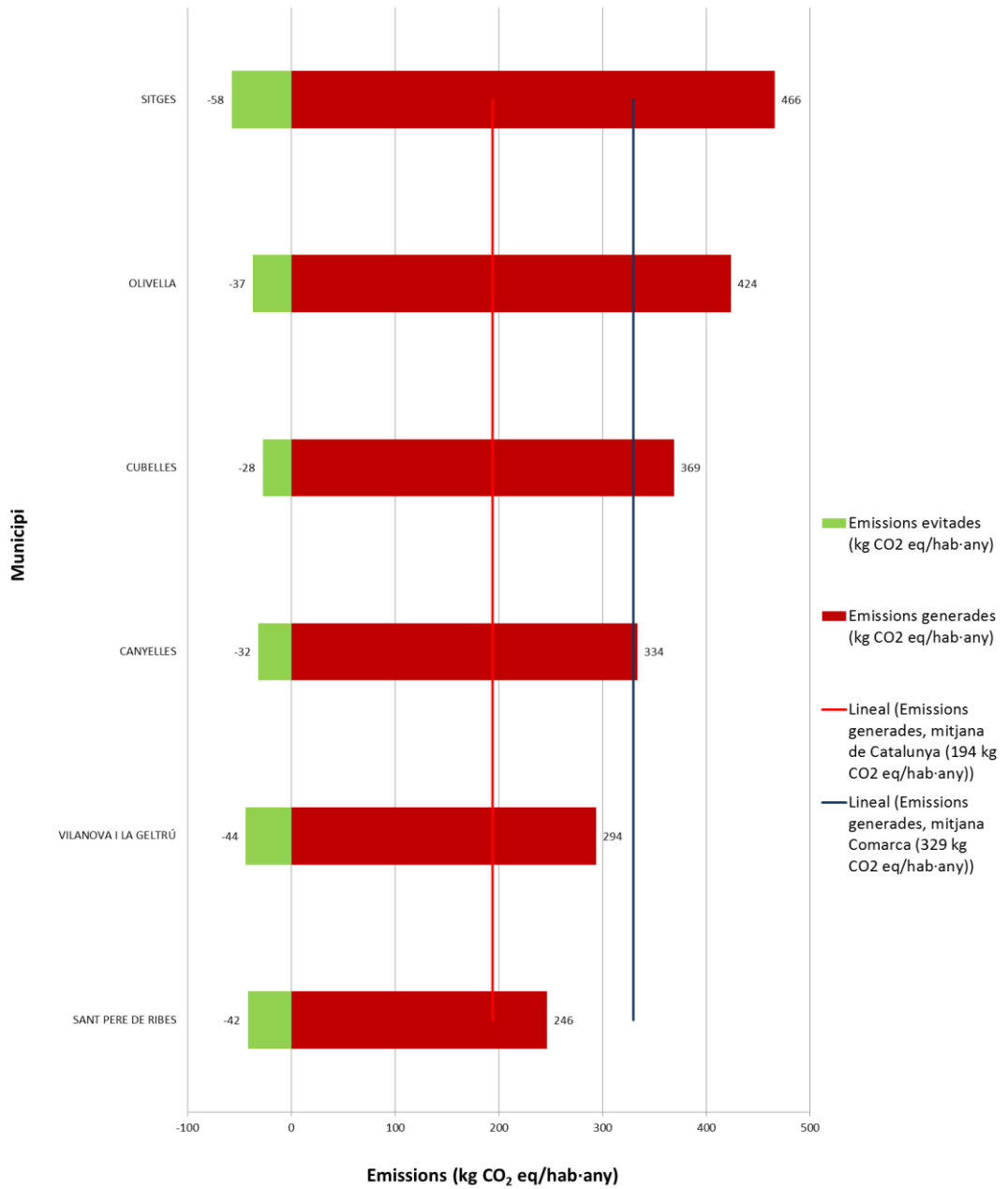
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Cerdanya, 2014)



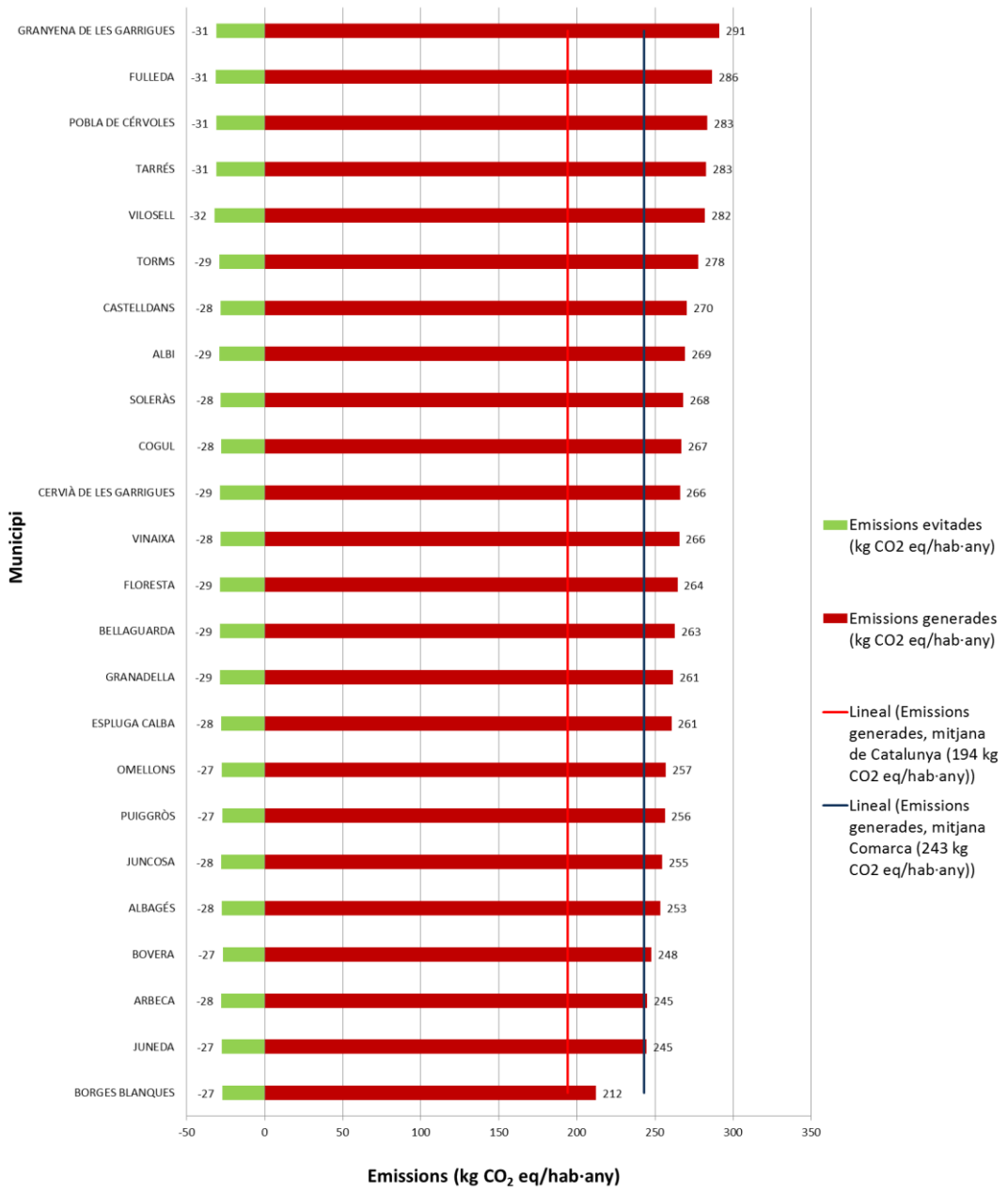
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Conca de Barberà, 2014)



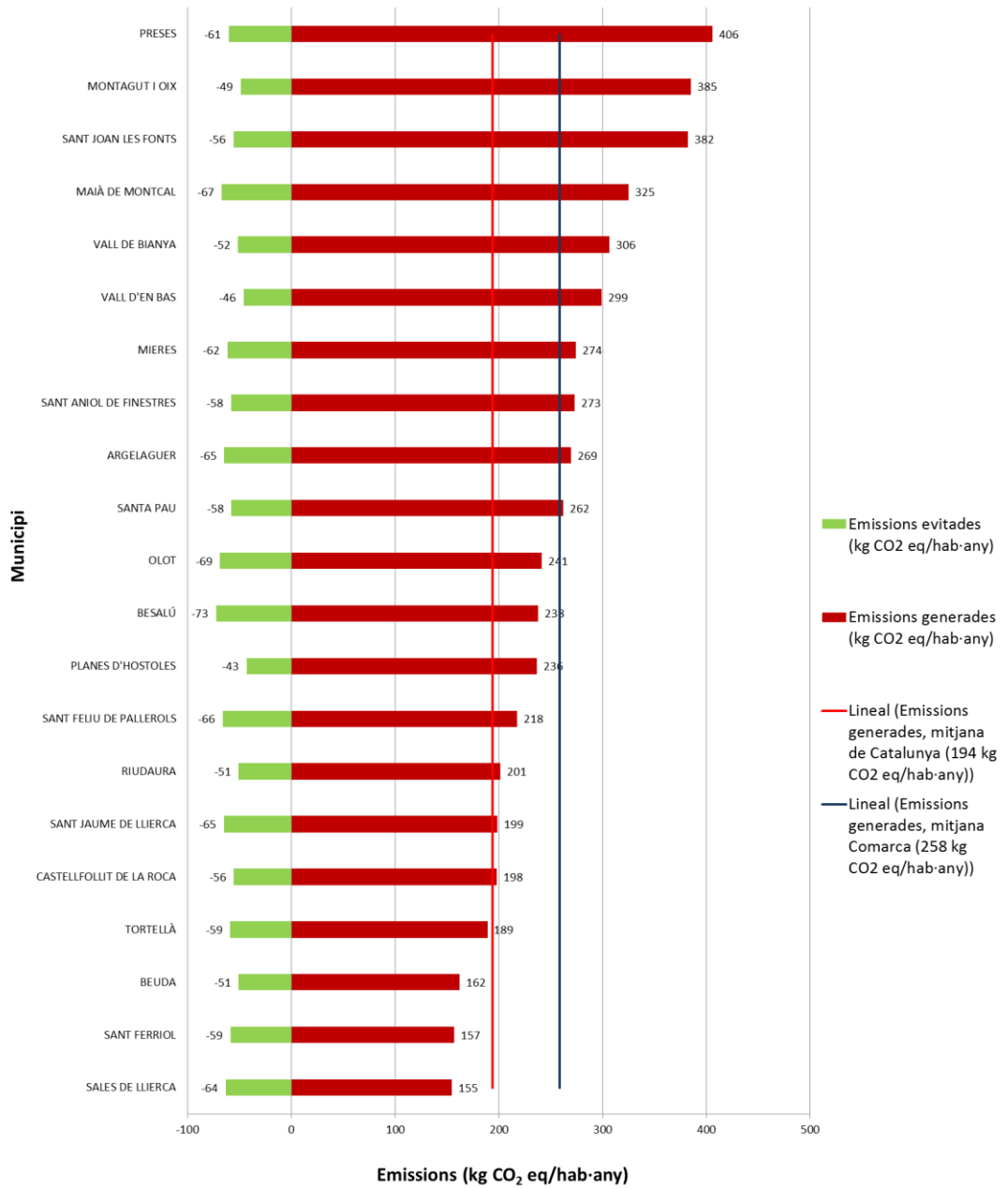
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garraf, 2014)



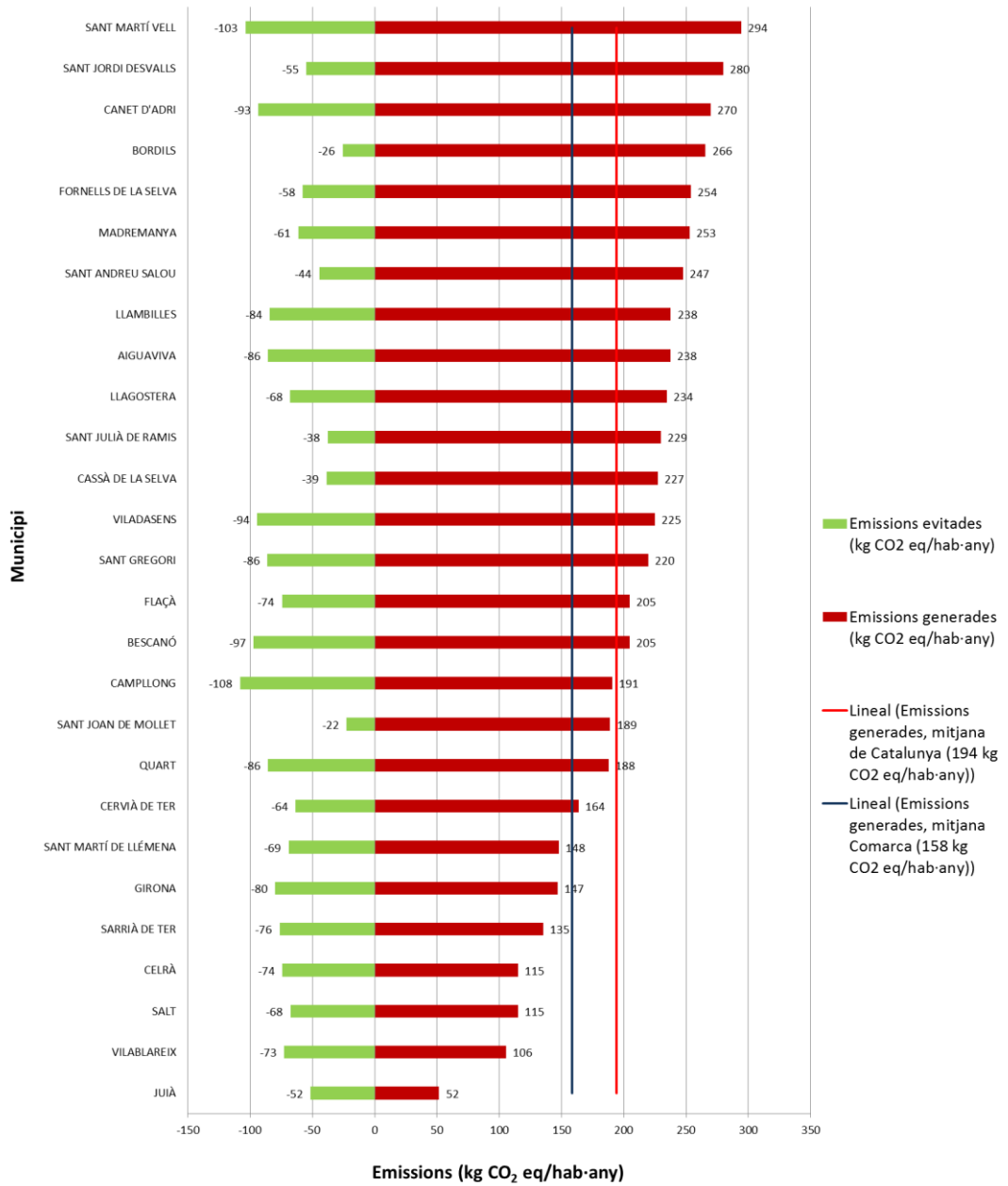
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garrigues, 2014)



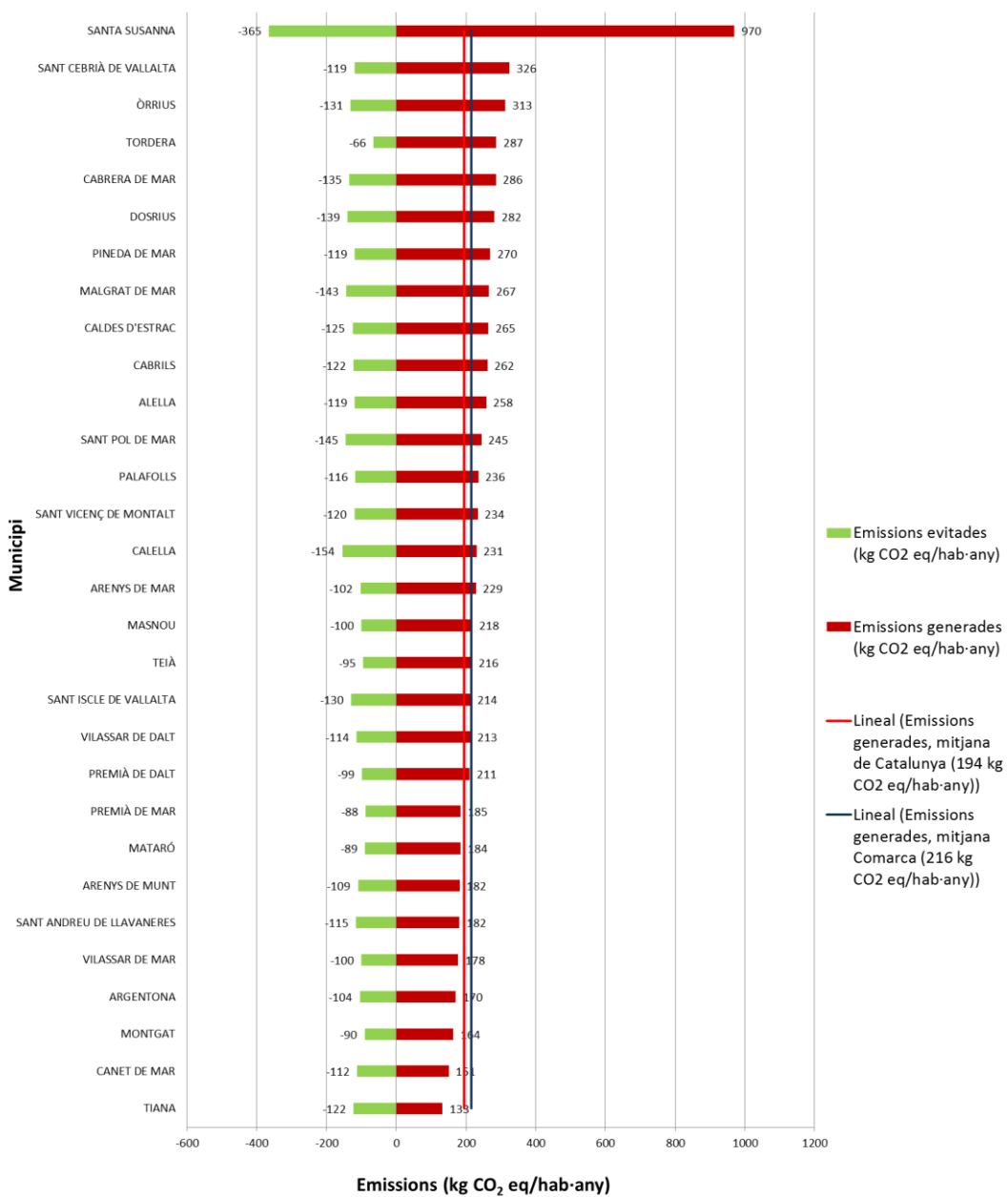
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Garrotxa, 2014)



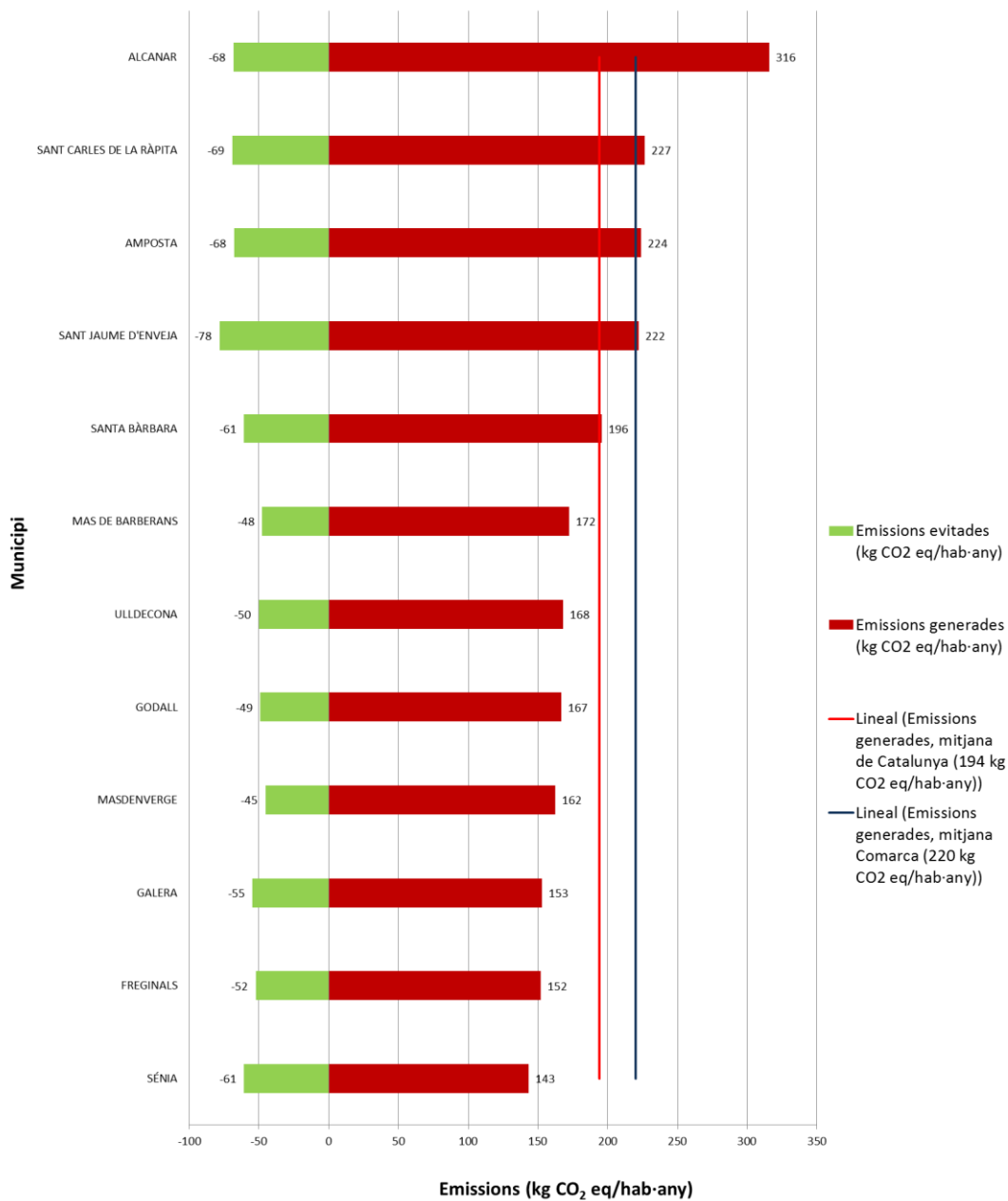
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Gironès, 2014)



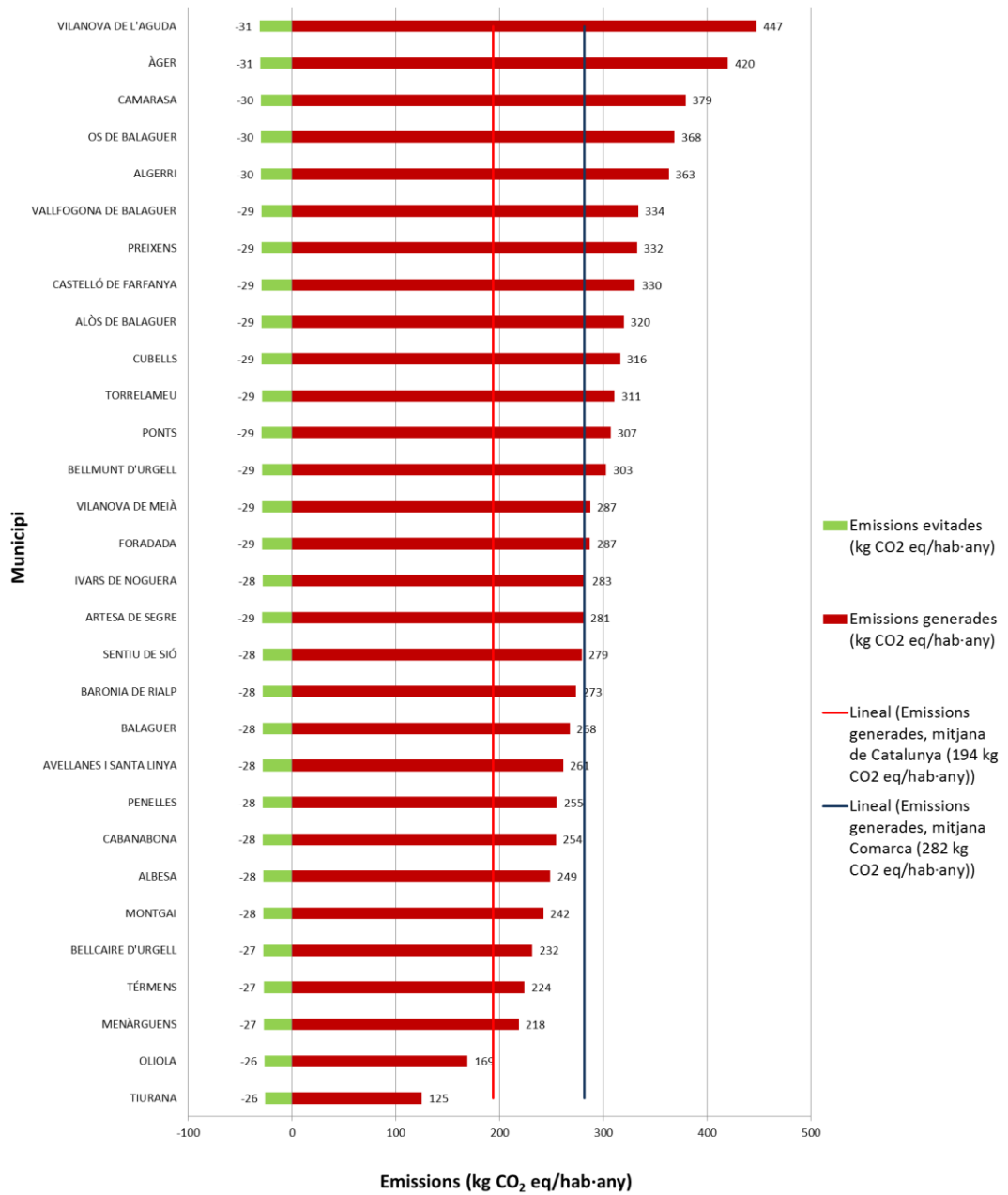
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Maresme, 2014)



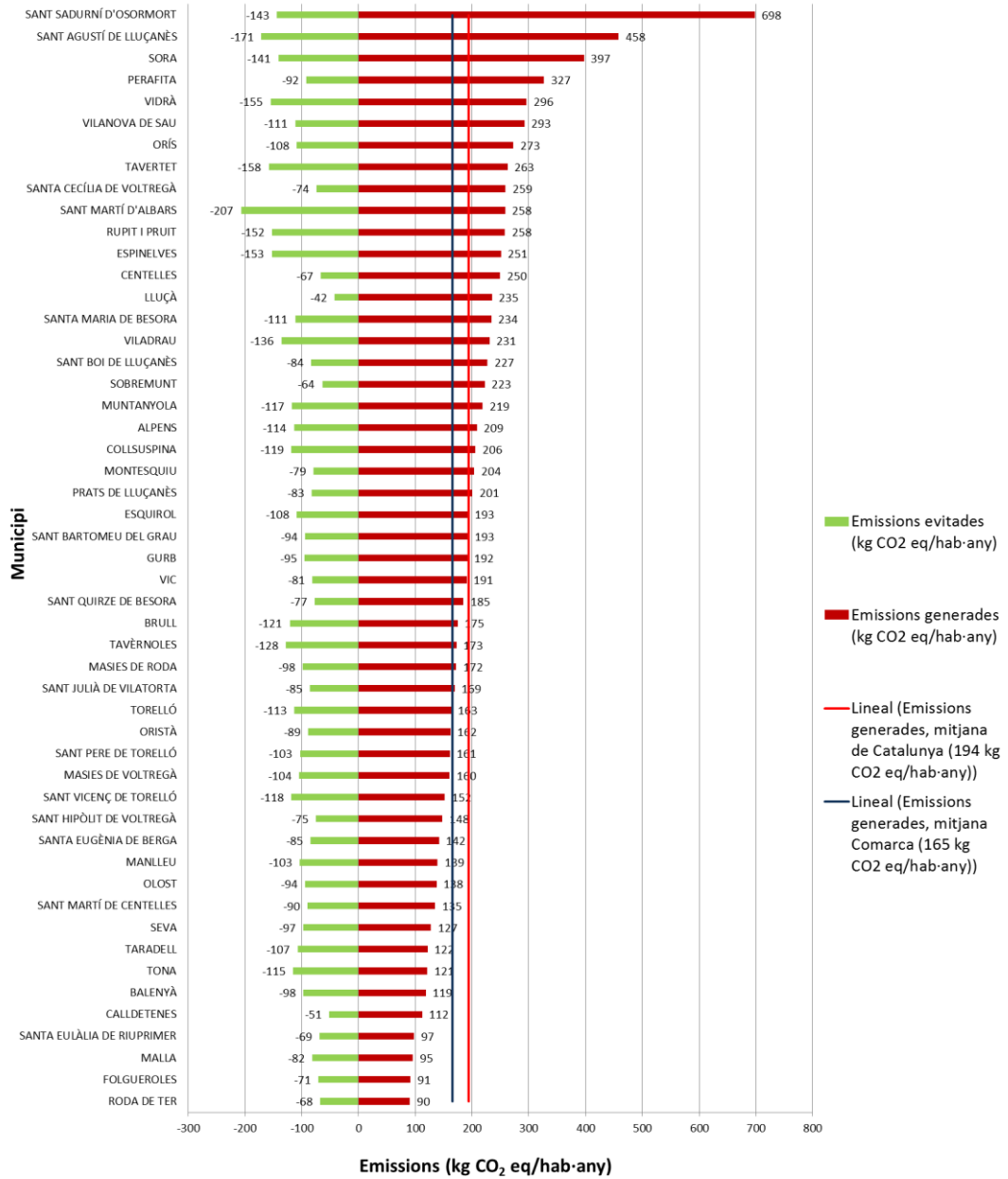
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Montsià, 2014)



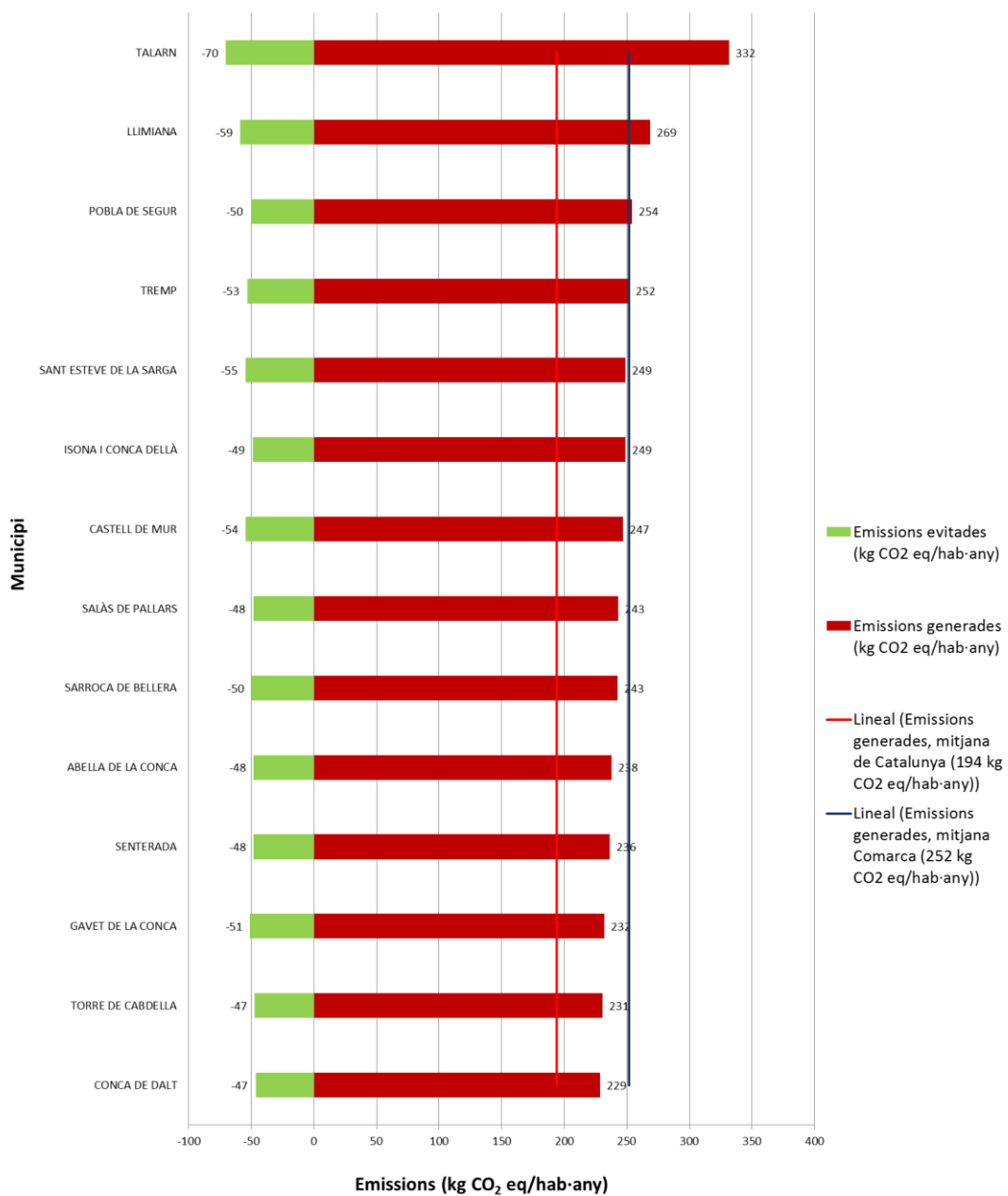
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Noguera, 2014)



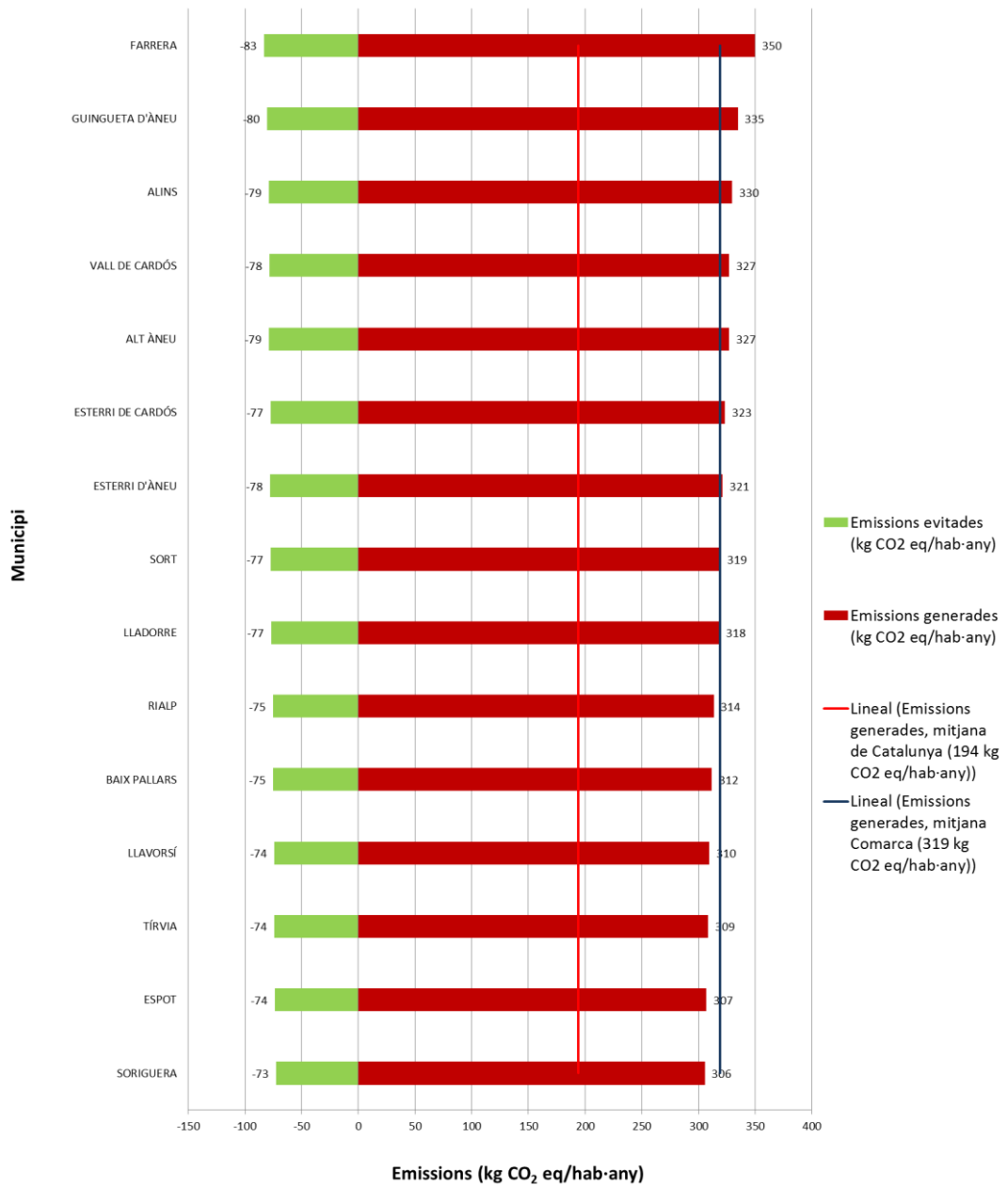
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Osona, 2014)



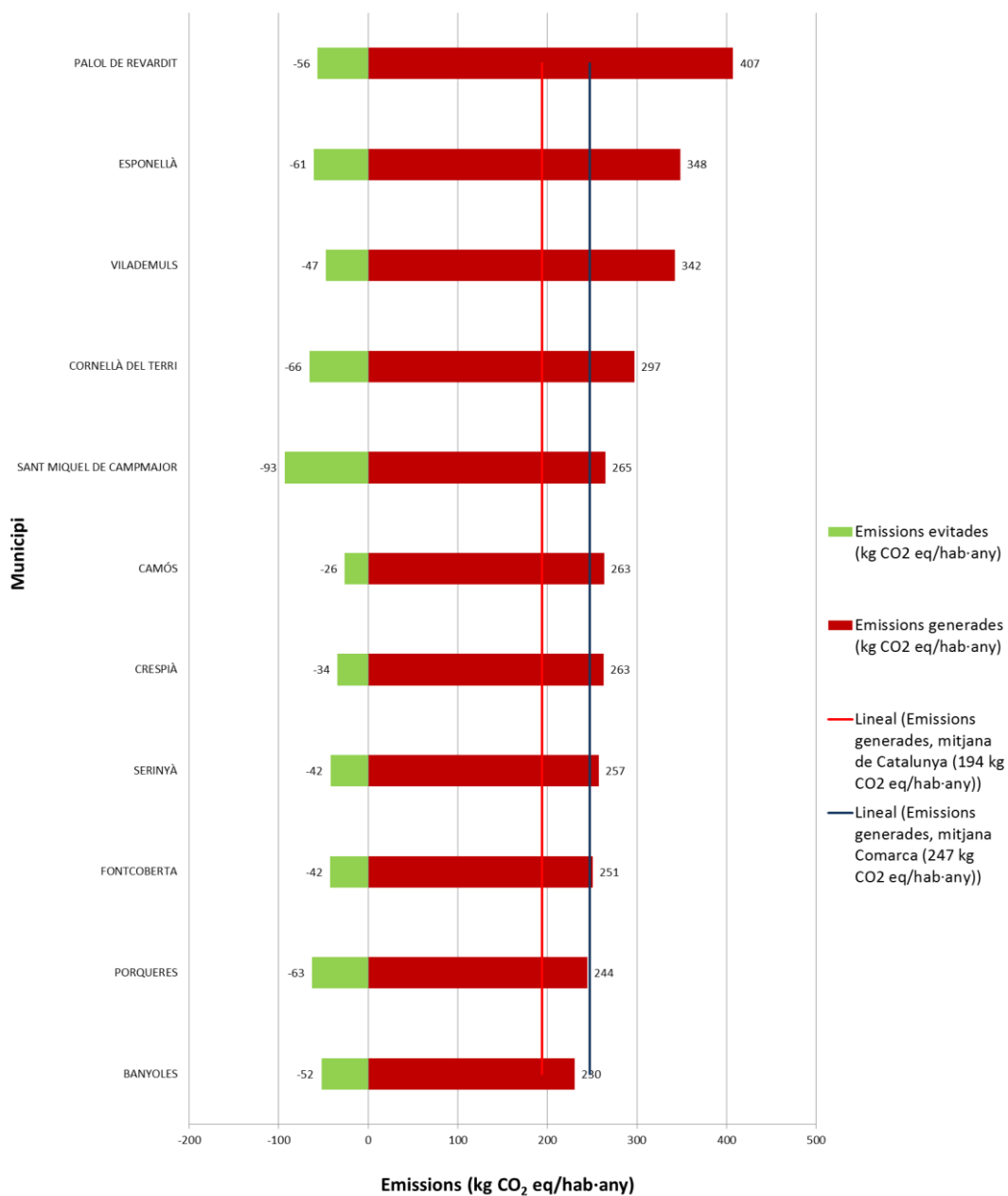
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Jussà, 2014)



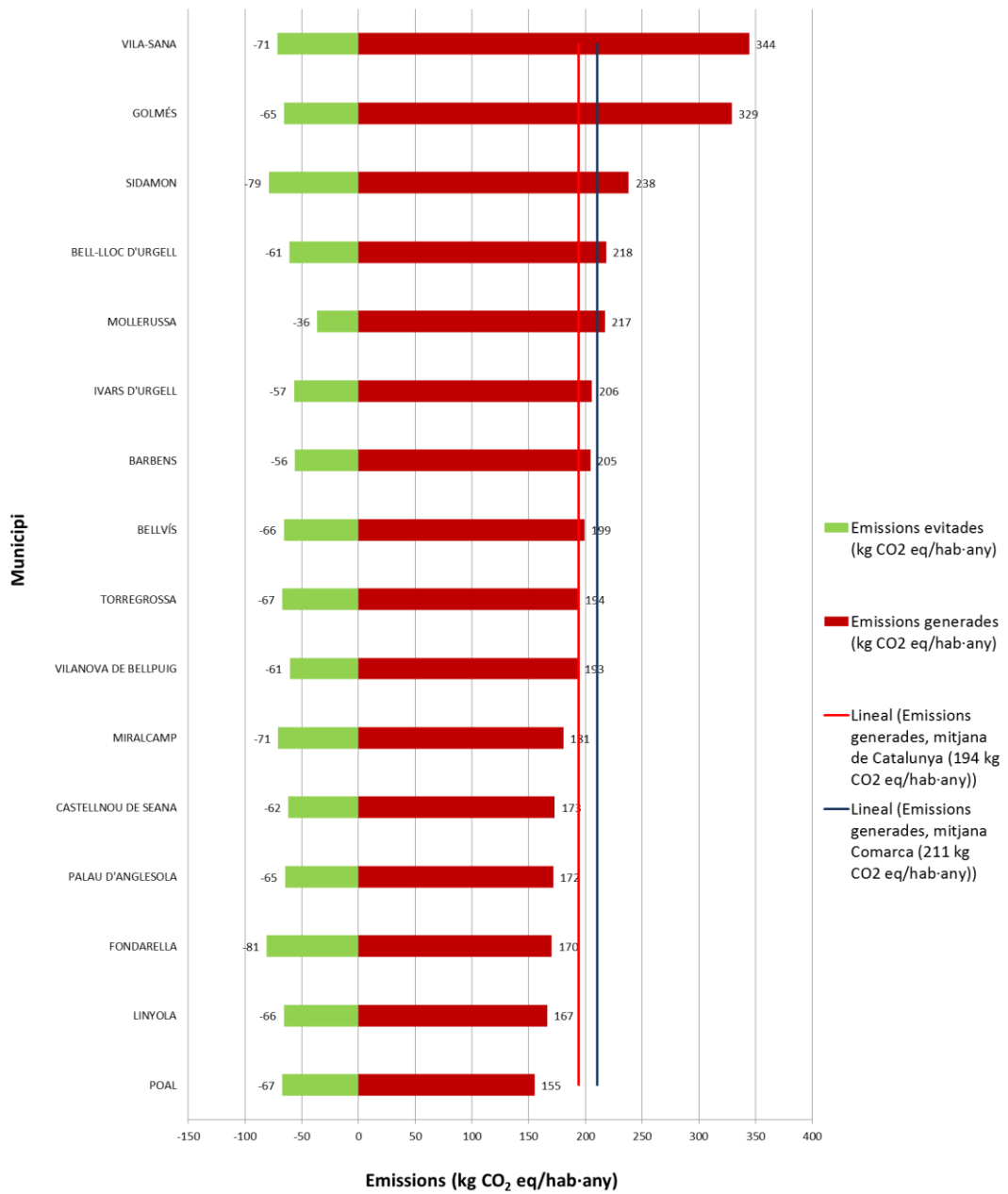
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pallars Sobirà, 2014)



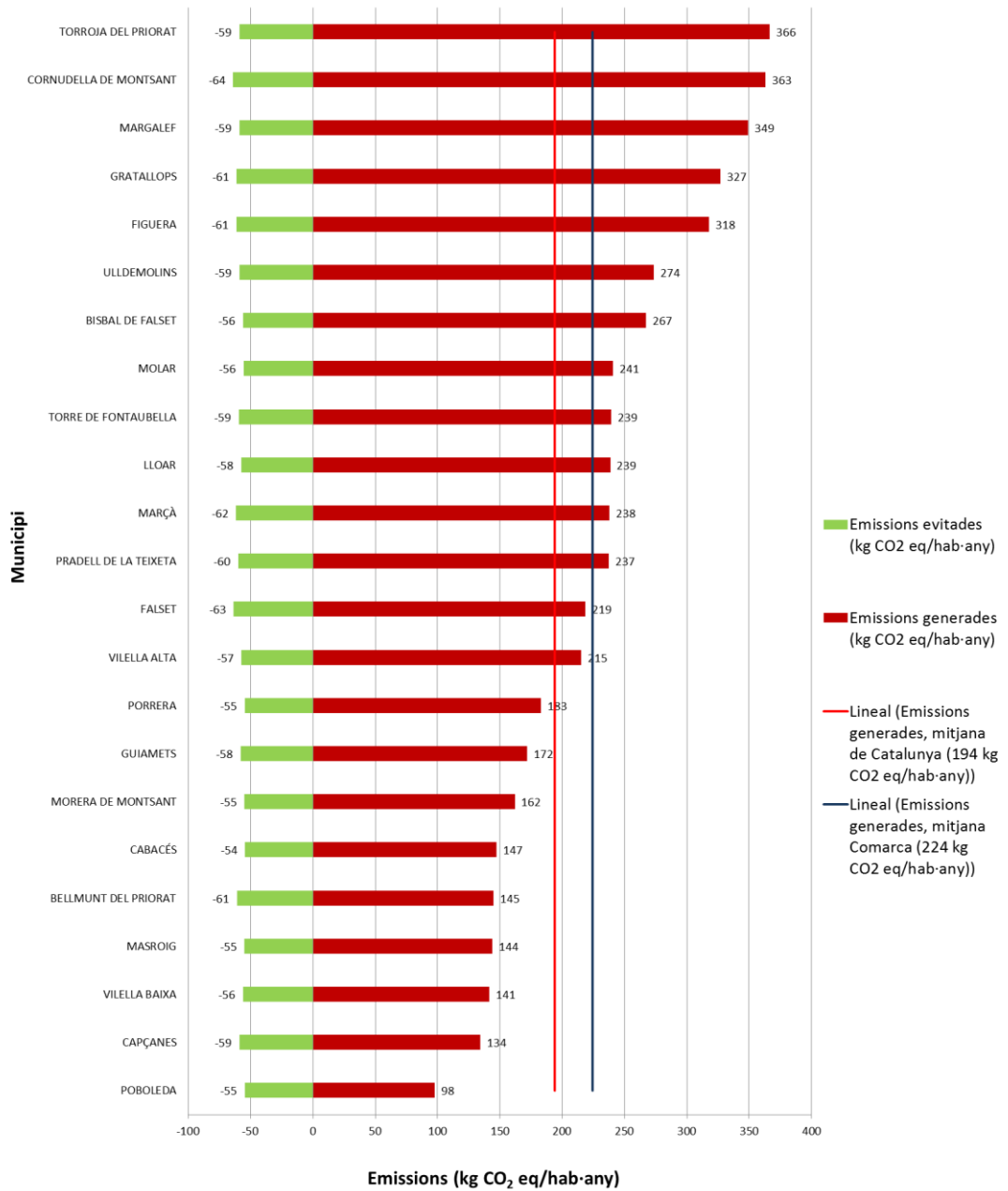
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla de l'Estany, 2014)



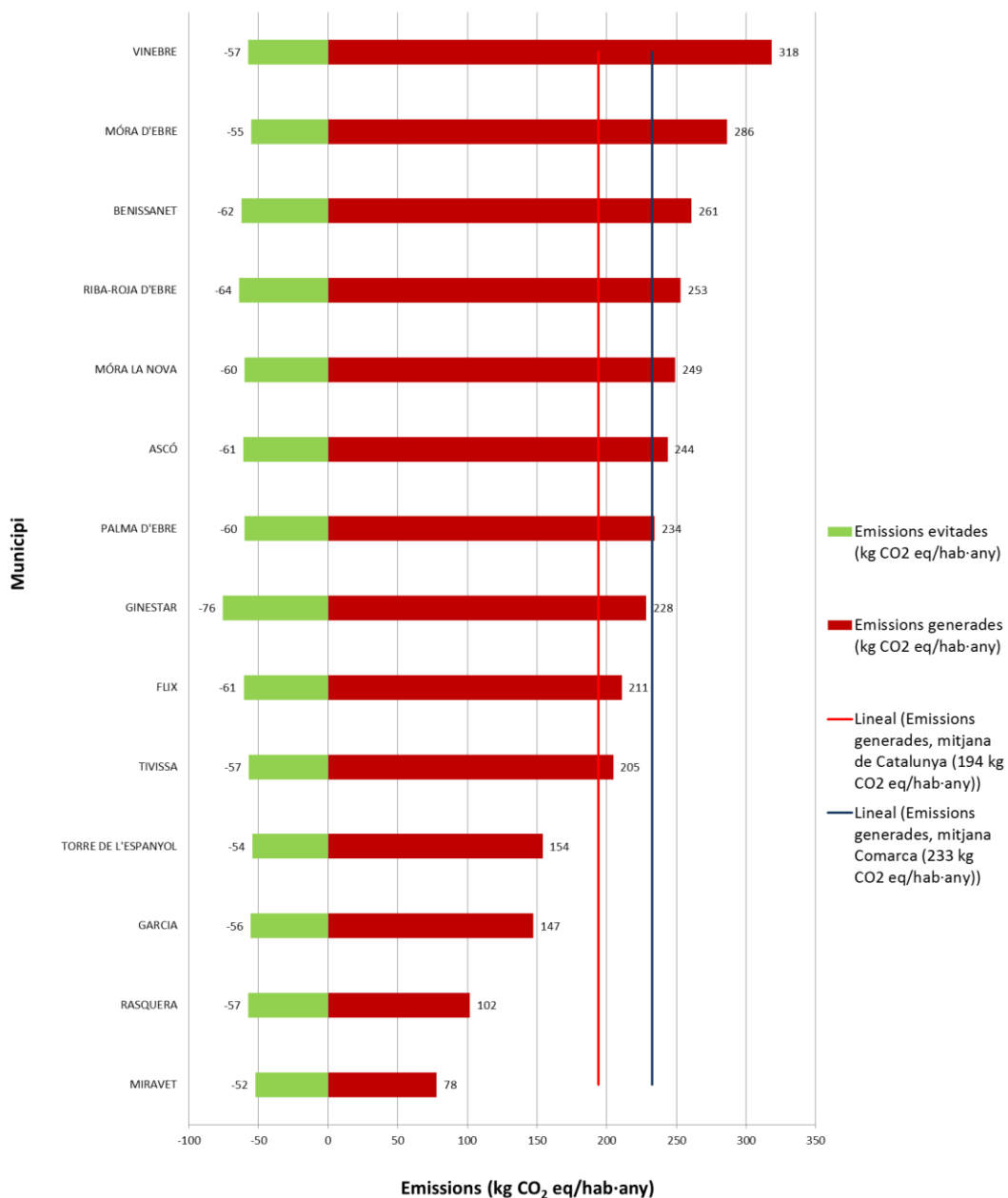
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Pla Urgell, 2014)



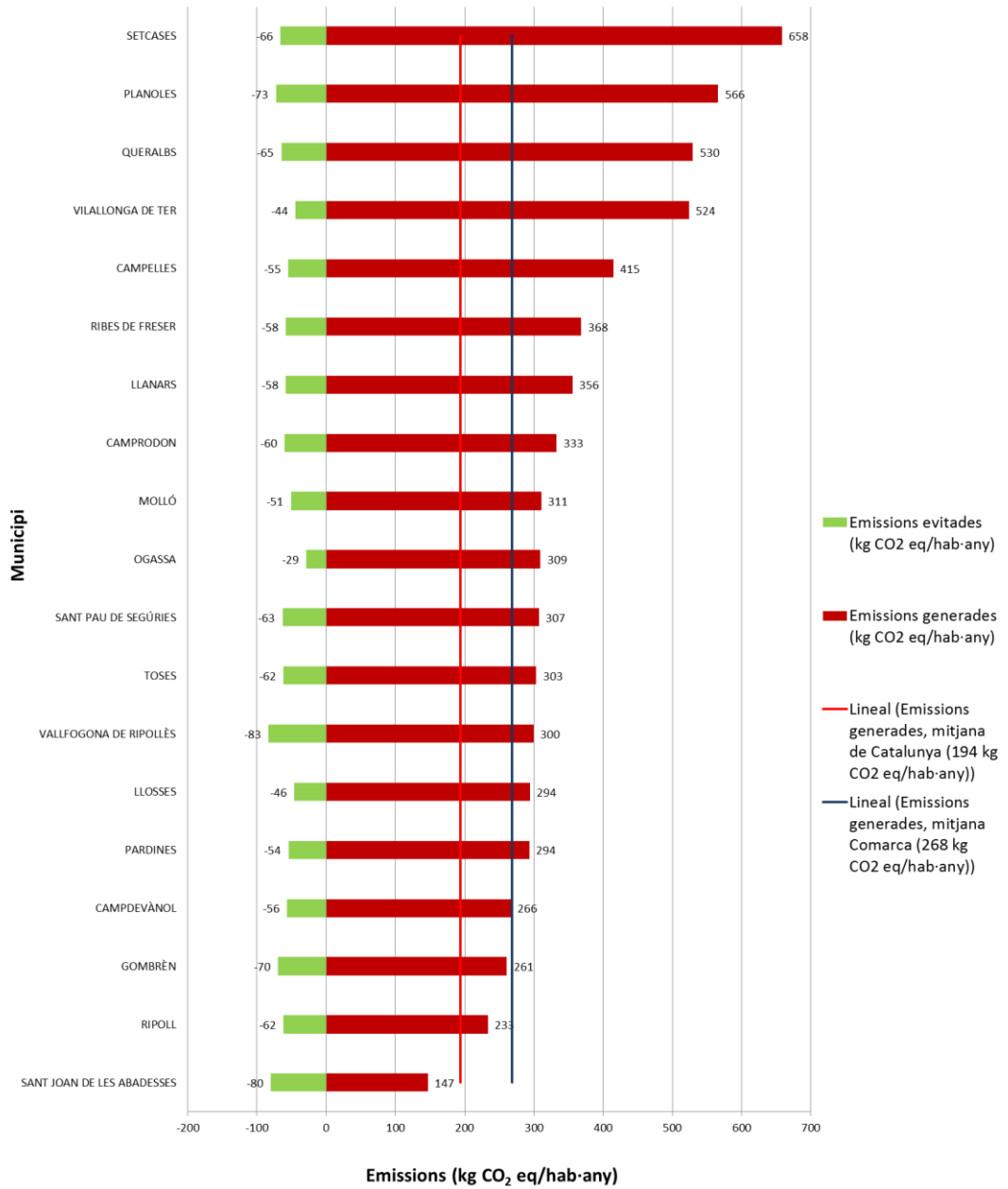
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Priorat, 2014)



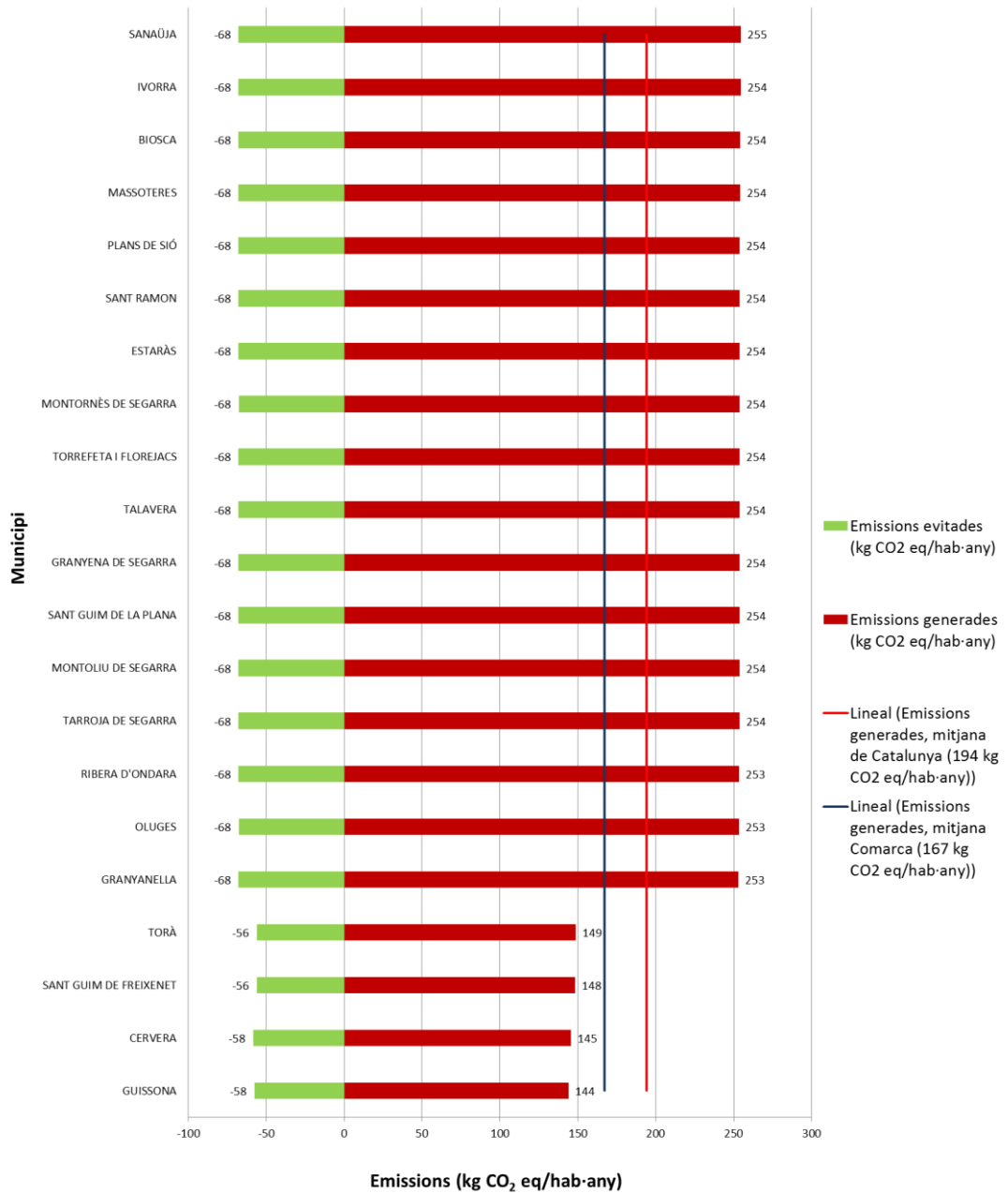
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ribera d'Ebre, 2014)



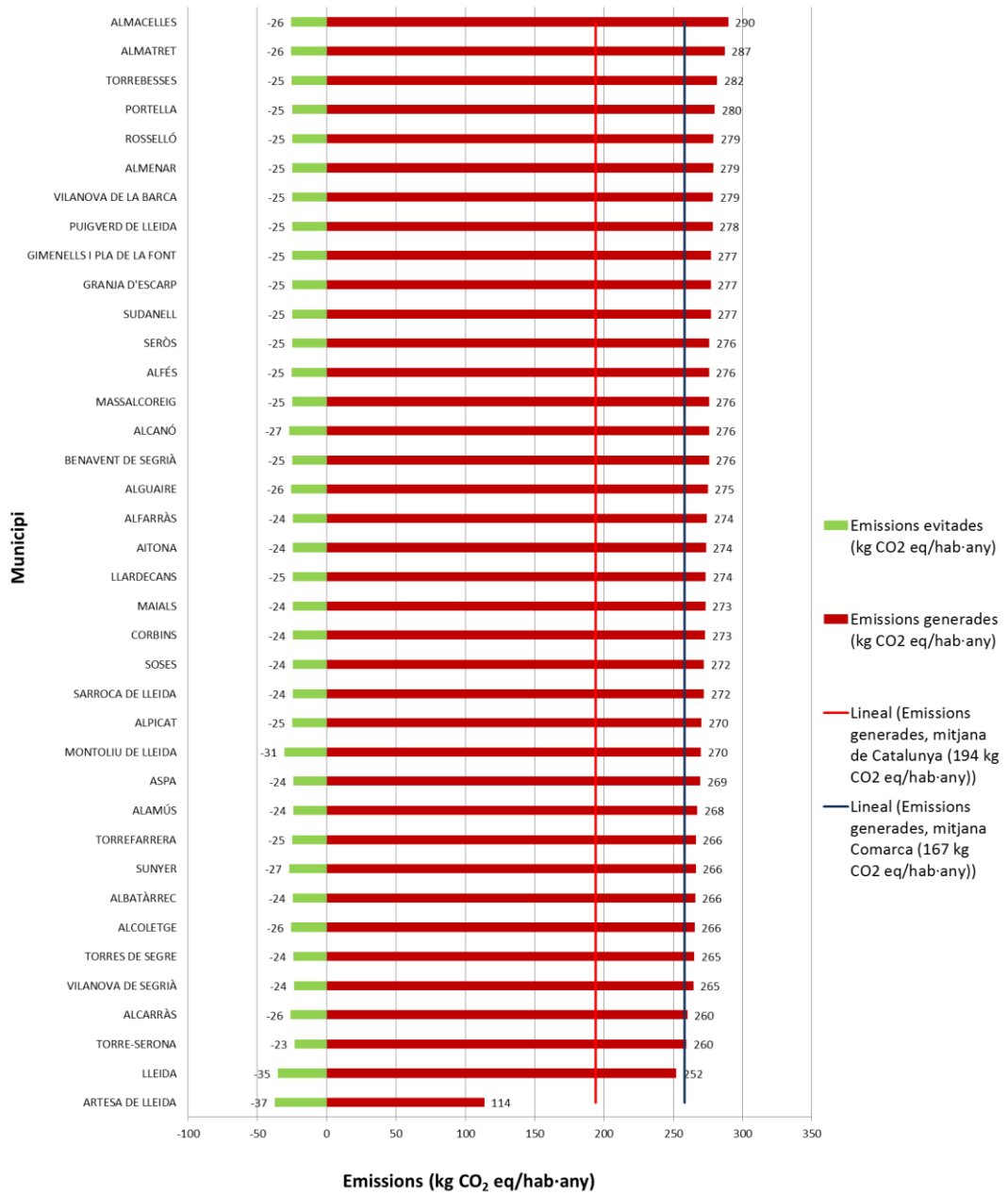
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Ripollès, 2014)



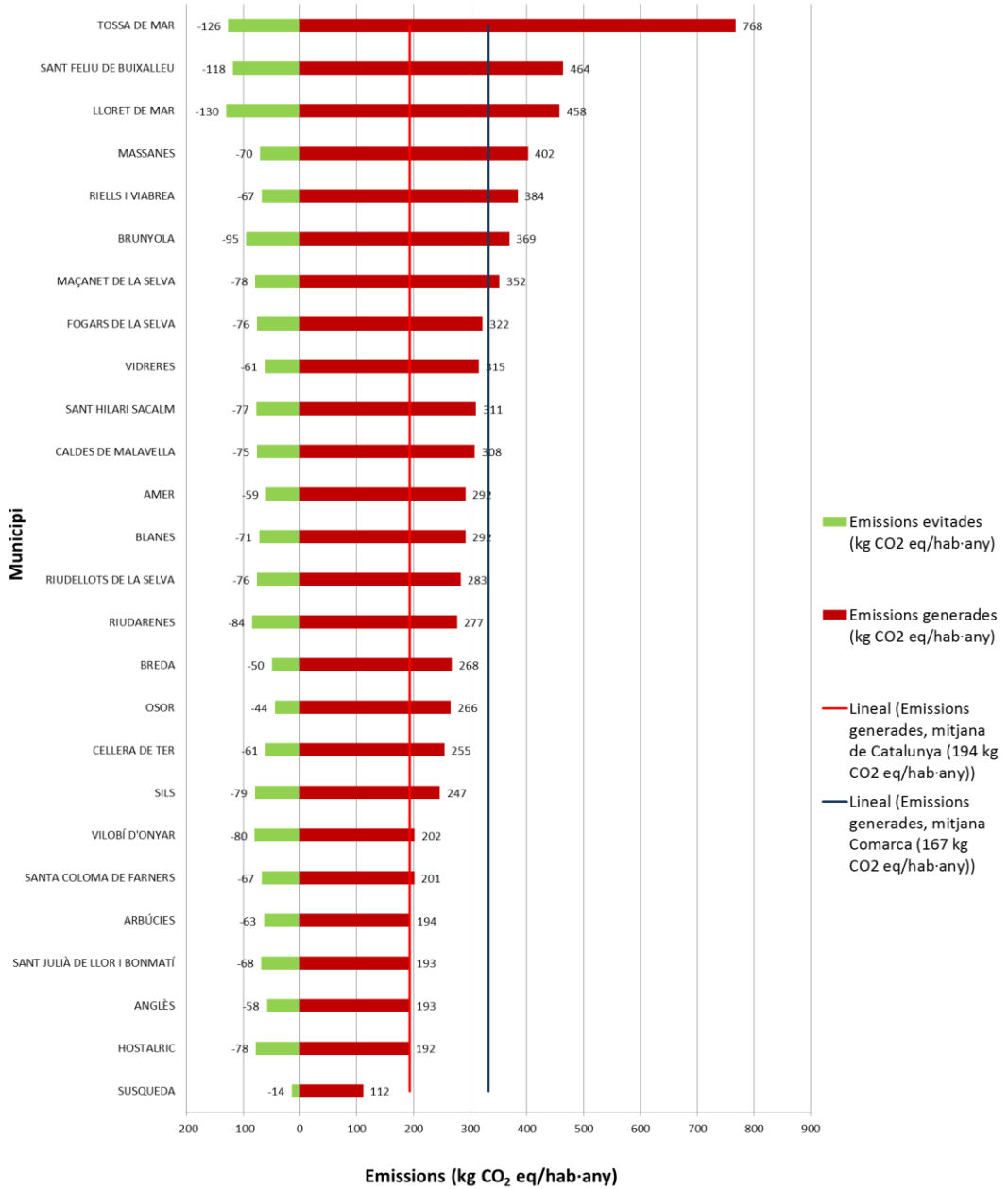
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Segarra, 2014)



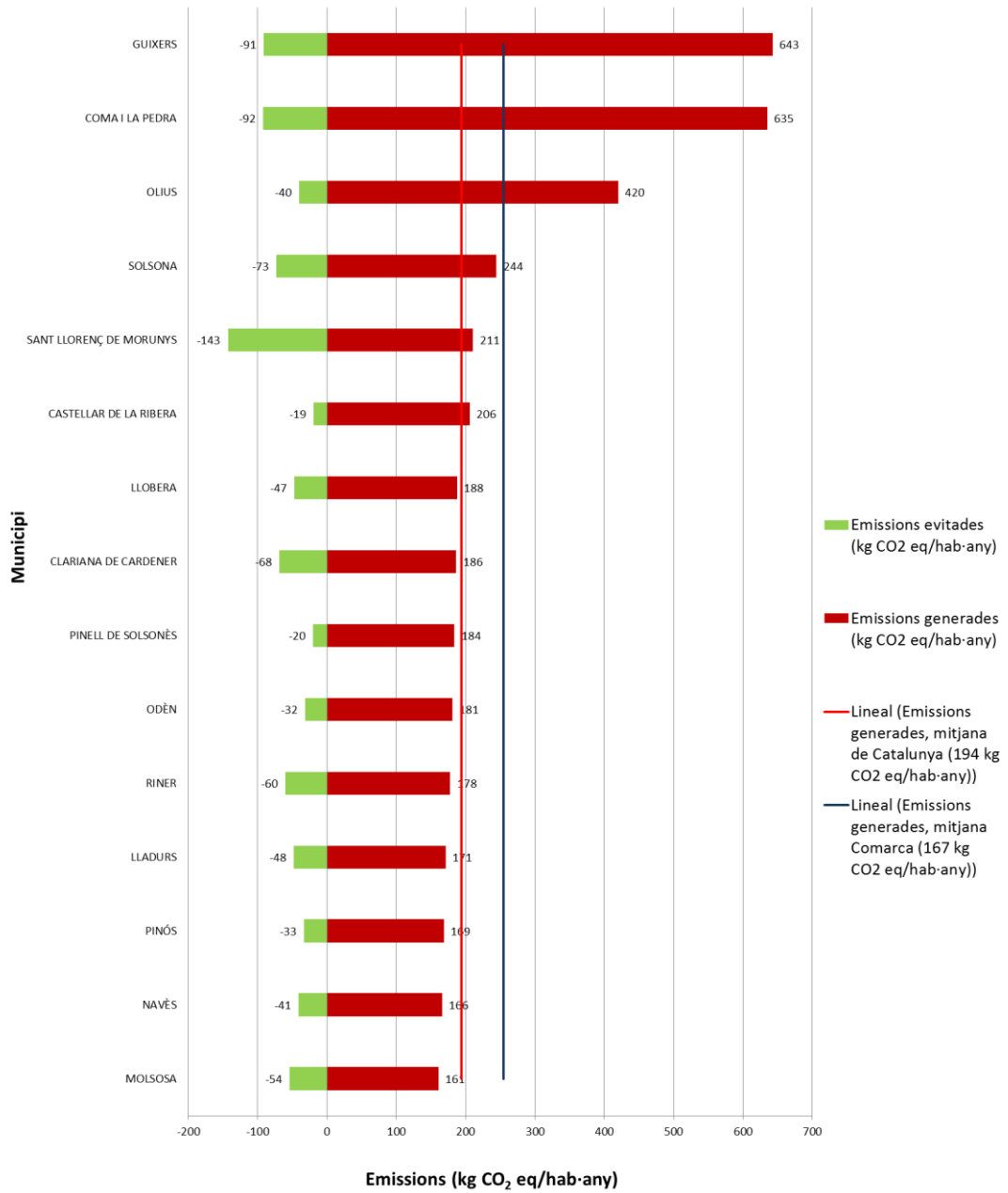
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Segrià, 2014)



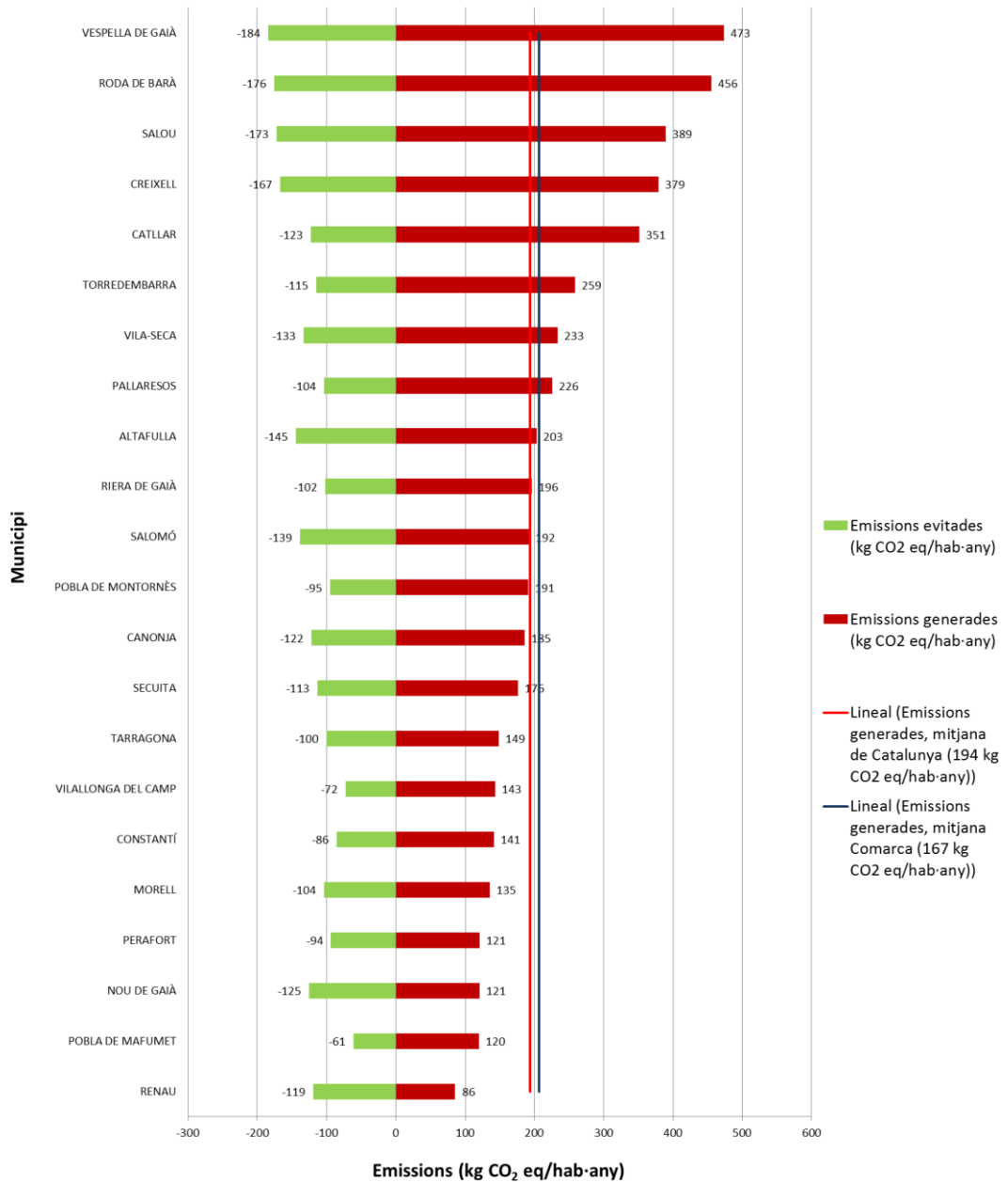
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Selva, 2014)



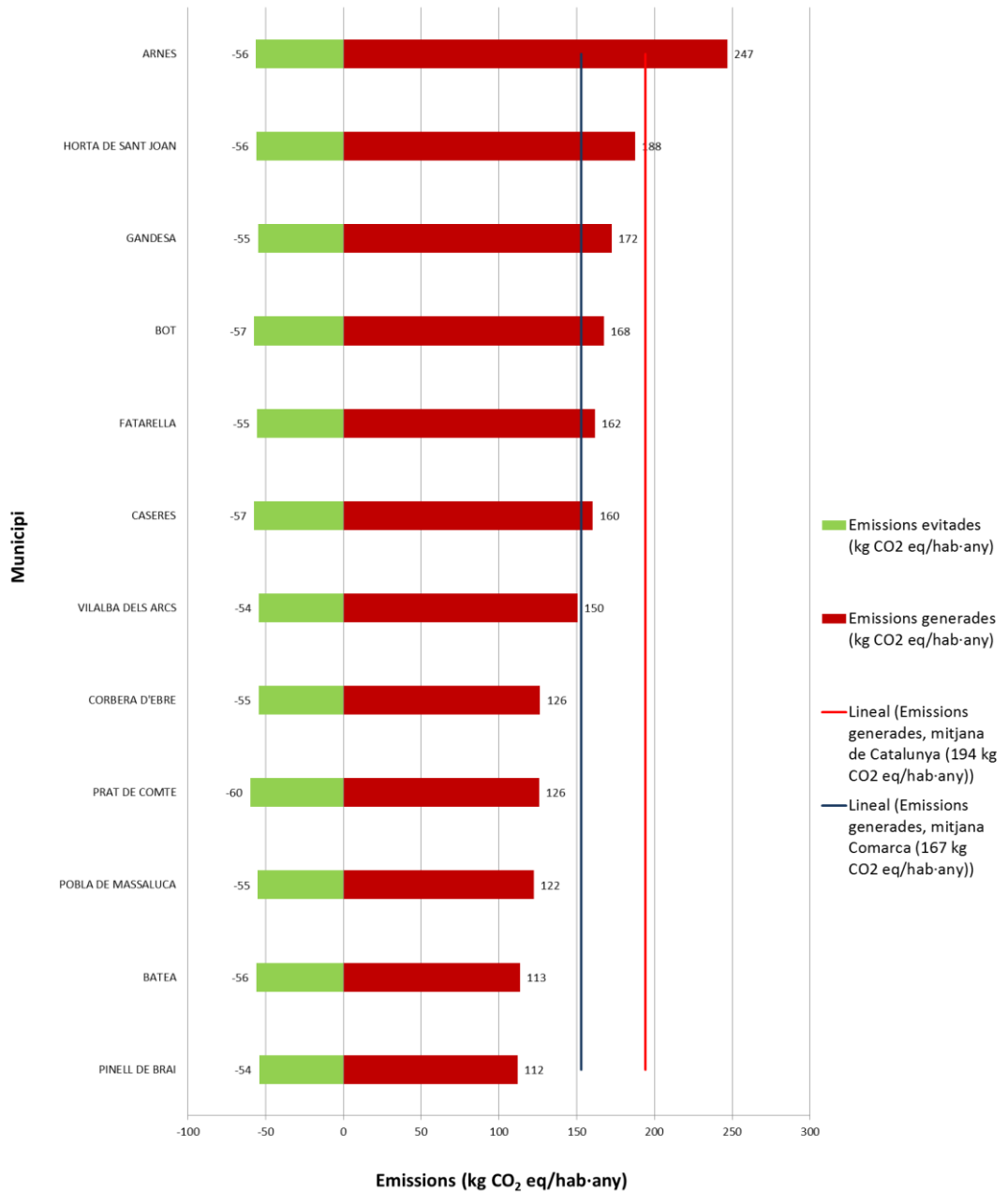
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Solsonès, 2014)



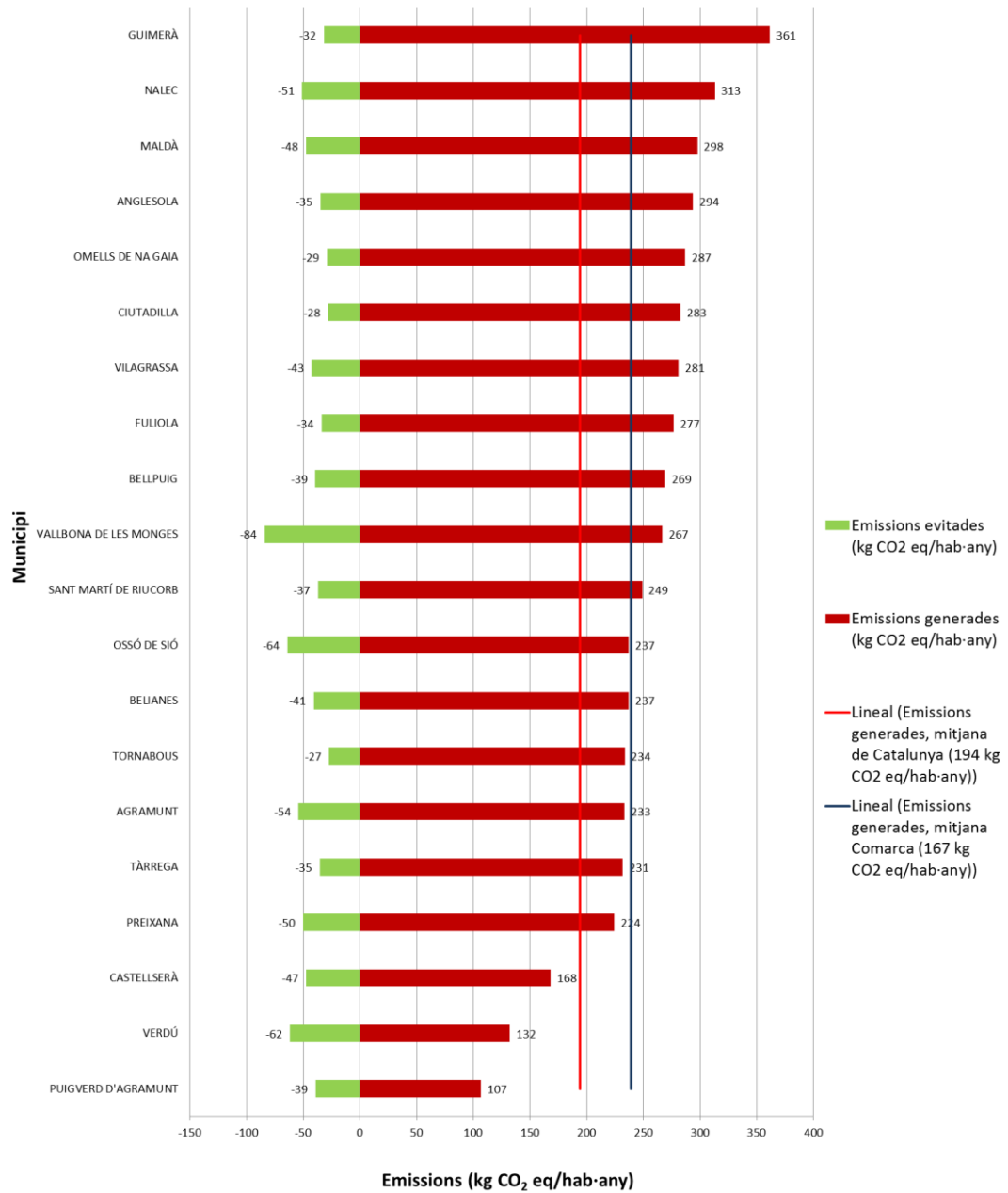
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Tarragonès, 2014)



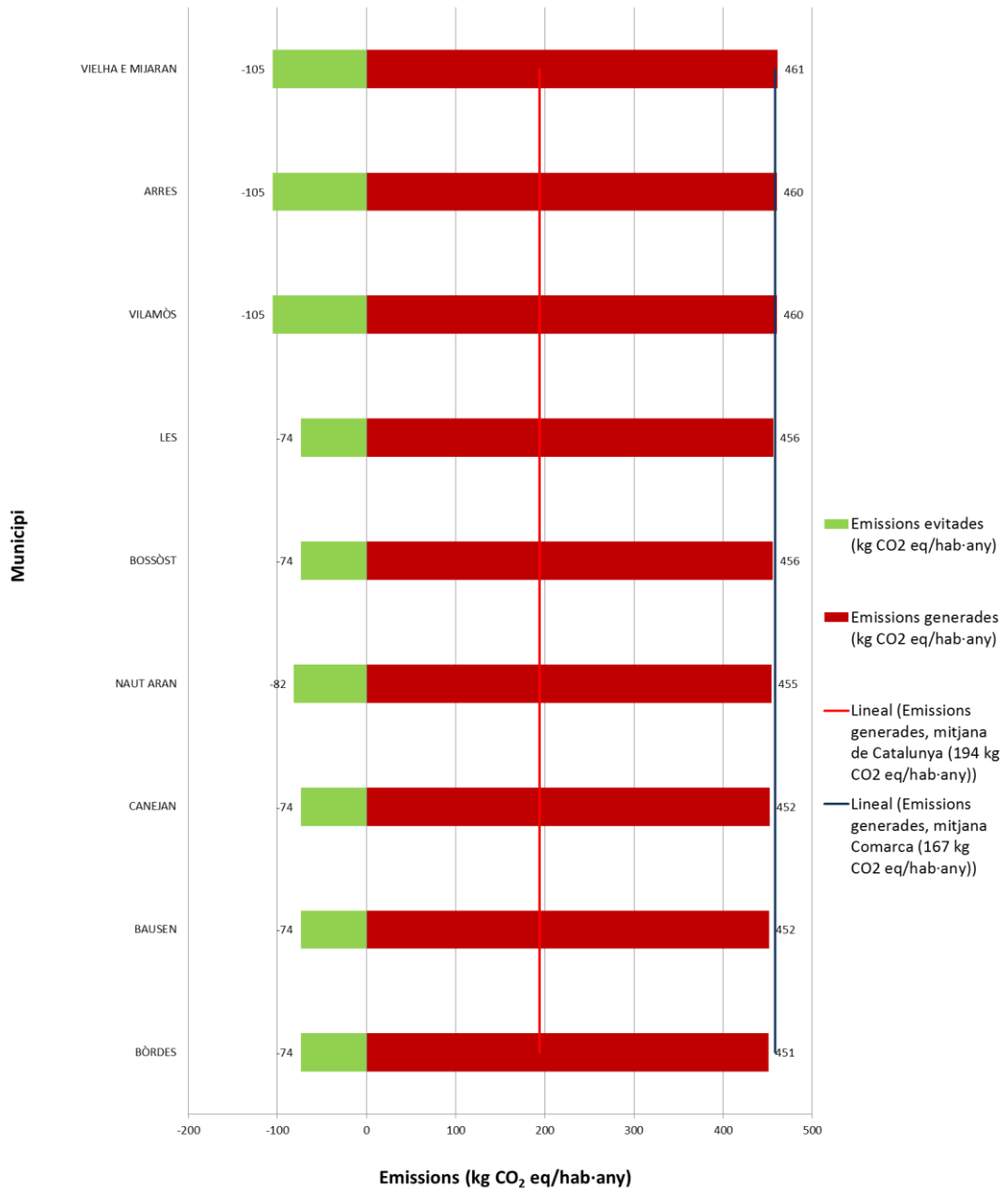
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Terra Alta, 2014)



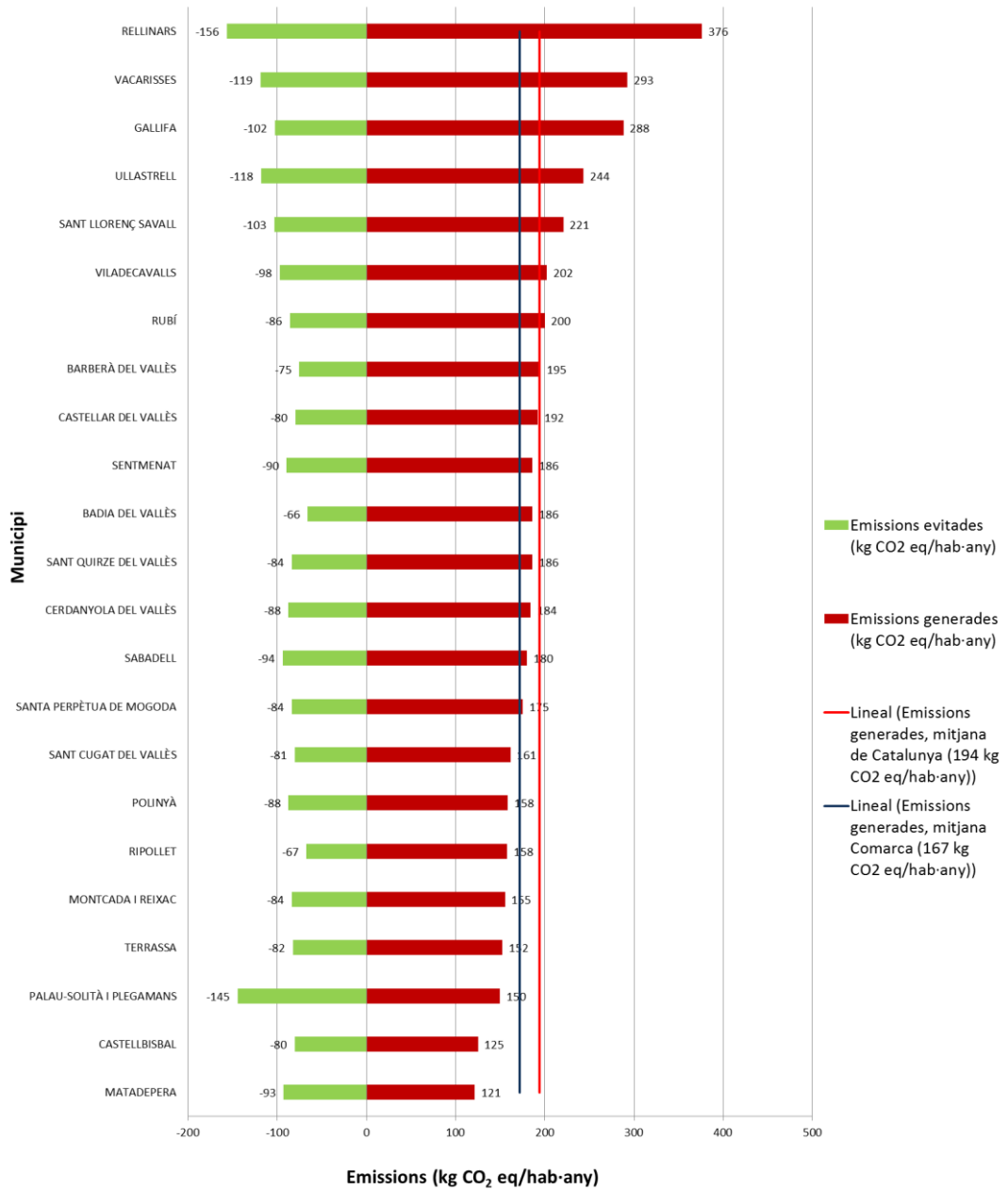
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Urgell, 2014)



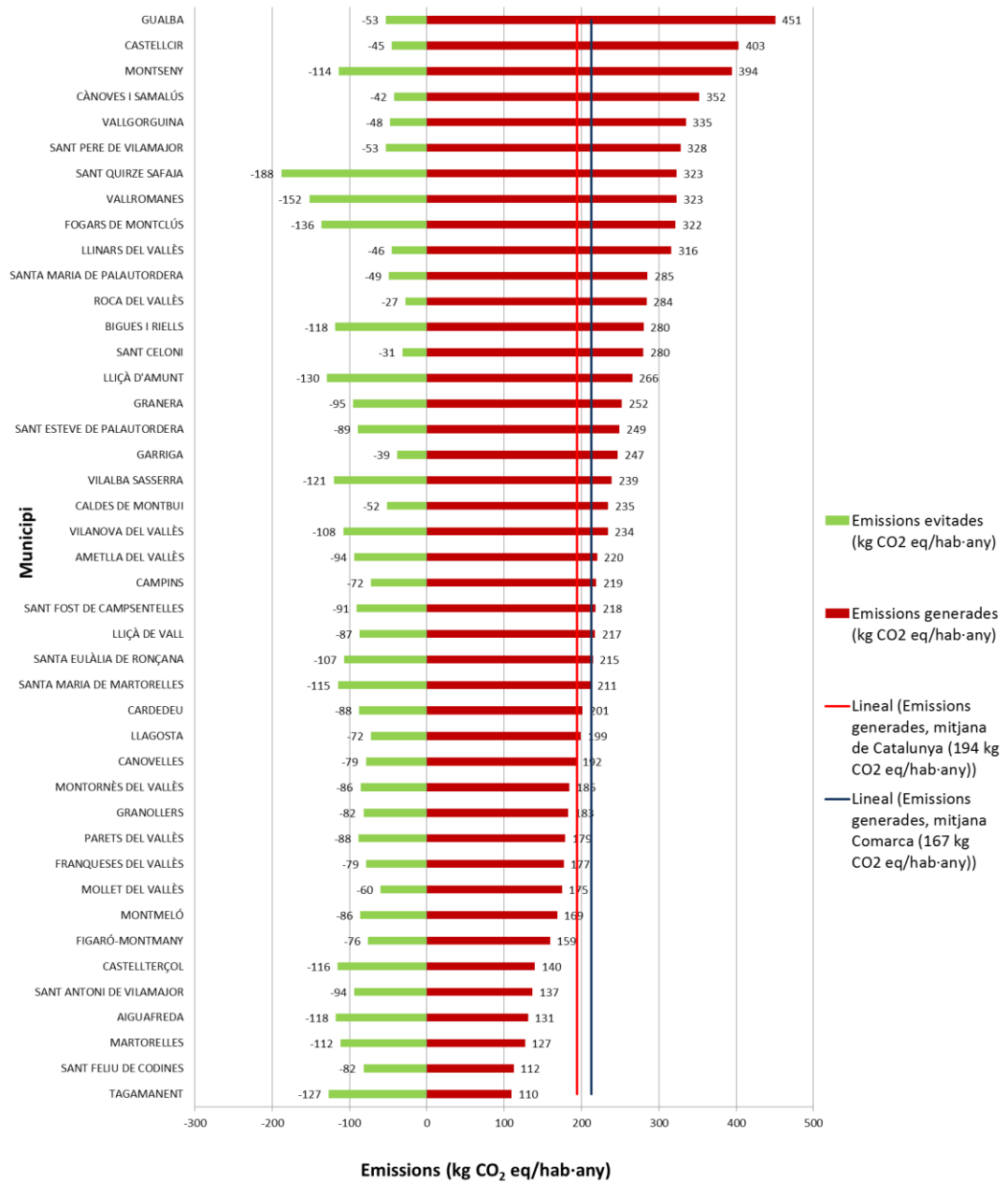
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Val d'Aran, 2014)



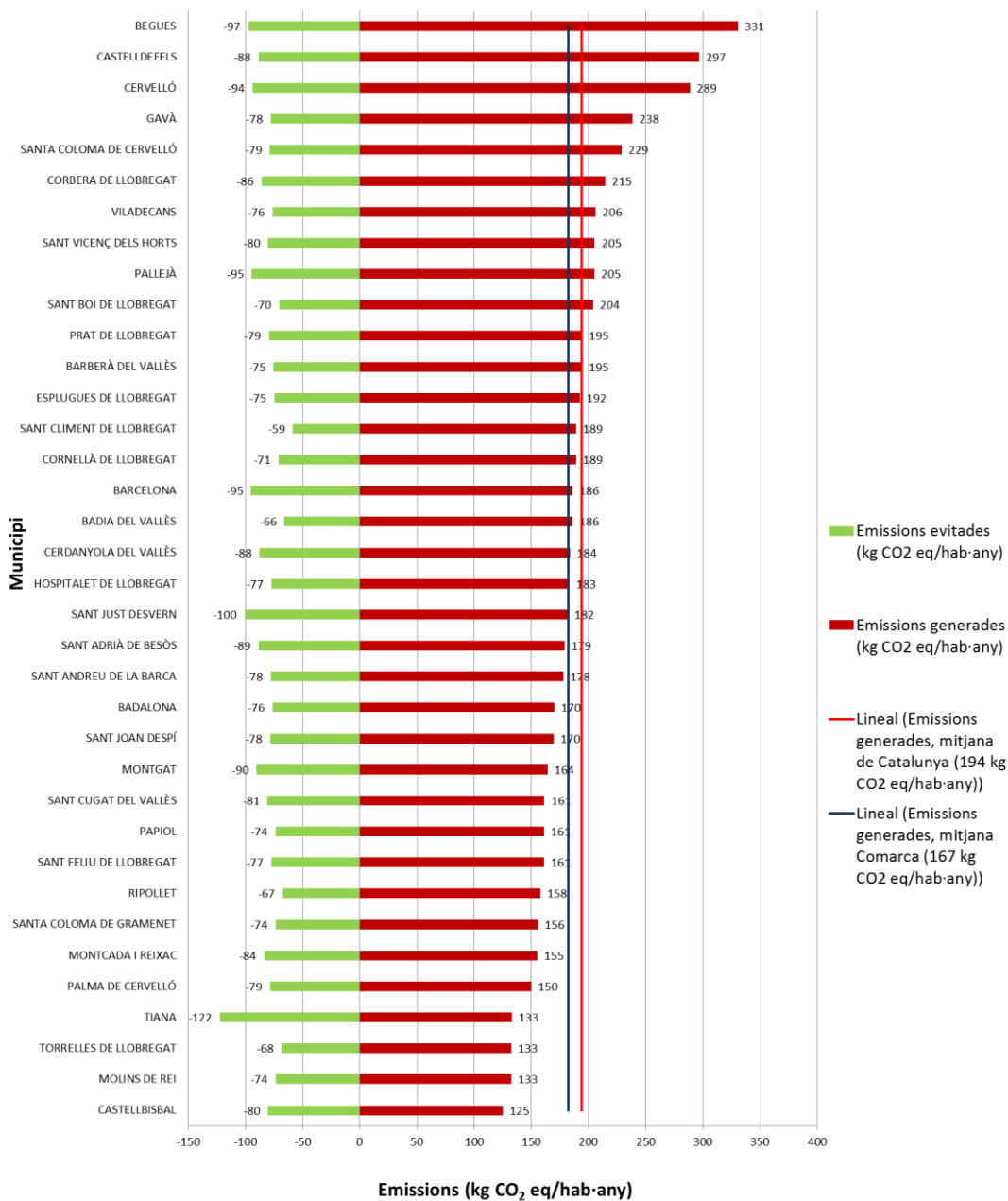
Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Vallès Occidental, 2014)



Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (Vallès Oriental, 2014)



Emissions de CO₂ eq. generades i evitades (AMB, 2014)



B. ANNEX. ACTUALITZACIÓ DELS FACTORS D'EMISSIÓ DE GEH DE L'OFICINA DE CANVI CLIMÀTIC (OCCC) SEGONS CADA FRACCIÓ DE RESIDUS APLICANT LA METODOLOGIA RECOLLIDA A LA CO2ZW®.

L'objectiu principal d'aquest **annex B** és presentar els **factors d'emissió mitjans per a cada fracció de residus i via de tractament a Catalunya l'any 2014**, generats de l'aplicació CO₂ZW® adaptada a Catalunya per l'any 2014 i les dades de gestió i tractament del mateix any facilitades per l'ARC en el context de l'actual projecte.

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

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

A continuació es presenten els factors d'emissió mitjans obtinguts per l'any 2014 a Catalunya del **tractament** dels residus sòlids municipals. Els resultats presentats consideren l'impacte directe a les instal·lacions i l'impacte de l'obtenció de l'electricitat. Per altra banda, no inclouen el transport ni les emissions evitades.

Les taules B1, B2 i B3 presenten l'impacte del tractament del flux primari de les diferents fraccions de residus a cada una de les instal·lacions on es gestionen. Per flux primari s'entén el tractament a la primera instal·lació on es tracta el residu i, per tant, no inclou l'impacte del rebuig, altrament considerat flux secundari.

La taula B4 presenta l'impacte del tractament del flux de rebuig que arriba a valorització energètica / dipòsit controlat, procedent principalment del tractament de la resta a TMB.

La taula B5 presenta els **factors d'emissió mitjans globals** considerant tant l'impacte del flux primari com dels rebuigs que en deriven, d'acord amb les dades de context de la gestió dels residus de Catalunya per a l'any 2014 (quantitat de residus gestionats per cada una de les vies de tractament, així com generació de rebuig a cada tipus d'instal·lació), per tal d'obtenir valors mitjans catalans. D'aquesta manera, si una organització coneix la quantitat de residus generats de les diferents fraccions de residus, pot utilitzar els factors d'emissió de la taula B5 per

estimar l'impacte del tractament dels seus residus, incloent l'impacte de tots els fluxos de residus (primaris i secundaris) que en deriven.

Taula B1. Factors d'emissió mitjans del tractament de la fracció resta a Catalunya (2014). S'inclouen els impactes directes (abast 1) així com l'impacte de l'obtenció de l'electricitat (abast 2) del tractament del flux primari (sense considerar el tractament del rebuig)

Fraccions de residus	Digestió anaeròbica TMB2	Compostatge TMB2	Valorització energètica	Deposició controlada
	<i>Kg CO₂ eq. / tona de residu (any 2014)</i>			
Resta	38	109	451	714

Citar com: CO₂ZW[®] adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2014. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2015.

Taula B2. Factors d'emissió mitjans del tractament de FORM a Catalunya (2014). S'inclouen els impactes directes (abast 1) així com l'impacte de l'obtenció de l'electricitat (abast 2) del tractament del flux primari (sense considerar el tractament del rebuig)

Fraccions de residus	Digestió anaeròbica		Compostatge		
	Planta bio-metanització	TMB	TMB	Planta compostatge	
				Túnel	Piles
<i>Kg CO₂ eq. / tona de residu (any 2014)</i>					
FORM	32	47	191	175	181

Citar com: CO₂ZW[®] adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2014. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2015.

Taula B3. Factors d'emissió mitjans del tractament de les fraccions vidre, envasos & paper i cartró a Catalunya (2014). S'inclouen els impactes directes (abast 1) així com l'impacte de l'obtenció de l'electricitat (abast 2) del tractament del flux primari (sense considerar el tractament del rebuig)

Fraccions de residus	Plantes de recuperació
	<i>Kg CO₂ eq. / tona de residu (any 2014)</i>
Vidre	1
Envasos	26
Paper i cartró	2

Citar com: CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2014. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2015.

Taula B4. Factors d'emissió mitjans del tractament del rebuig a Catalunya (2014). S'inclouen els impactes directes (abast 1) així com l'impacte de l'obtenció de l'electricitat (abast 2) del tractament del flux primari (sense considerar el tractament del rebuig)

Fraccions de residus	Valorització energètica	Deposició controlada
	<i>Kg CO₂ eq. / tona de residu (any 2014)</i>	
Rebuig	521	617

Citar com: CO₂ZW® adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2014. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2015.

Taula B5. Factors d'emissió globals considerant alhora el tractament primari i secundari (gestió dels rebuigs) per a Catalunya (2014). S'inclouen els impactes directes (abast 1) així com l'impacte de l'obtenció de l'electricitat (abast 2). En gris, es mostren els factors d'emissió mitjans catalans de les 5 fraccions del model de recollida 5 fraccions

Fraccions de residus	EMISSIÓ TOTAL DE CADA FLUX DE RESIDUS (inclou gestió dels rebuigs)
	<i>Kg CO₂ eq. / tona de residu (any 2014)</i>
RESTA a Ecoparc (TMB2)	491
RESTA a Incineració	451
RESTA a Dipòsit Controlat	714
RESTA (mitjana ponderada)	560
FORM a compostatge	299
FORM a digestió anaeròbia	227
FORM (mitjana ponderada)	267
Paper i Cartró	2
Envasos Lleugers	26
Vidre	1

Citar com: CO₂ZW[®] adaptada a la gestió i tractament de RSM a Catalunya 2014. Sostenipra (ICTA-Inèdit), 2015.