

Impacto de la fertilización en la huella de carbono de diferentes cultivos energéticos

Carmen Lago y Yolanda Lechón

CIEMAT

Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos



III Jornada Online RUENA:
La huella de C de la fertilización
13 de diciembre 2024



Contenido

- ▶ Introducción y contexto
- ▶ Metodología general de cálculo de emisiones de GEI
- ▶ Emisiones procedentes de la fabricación de fertilizantes
- ▶ Emisiones procedentes de la acidificación
- ▶ Emisiones desde el suelo
 - ▶ Emisiones de óxido nitroso
 - ▶ Emisiones de CO₂ de la aplicación de la urea
- ▶ Resultados por cultivo y etapa
- ▶ Conclusiones

Introducción y contexto

- ▶ Criterios de sostenibilidad de biocarburantes: artículo 29 (10) de la Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

10. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero derivada del uso de biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa que se tenga en cuenta para los fines mencionados en el apartado 1 será:
- a) del 50 % como mínimo en el caso de los biocarburantes, biogás consumido en el sector del transporte y biolíquidos producidos en instalaciones en funcionamiento el 5 de octubre de 2015 o con anterioridad a dicha fecha;
 - b) del 60 % como mínimo en el caso de los biocarburantes, biogás empleado en el sector del transporte y biolíquidos producidos en instalaciones que hayan entrado en funcionamiento desde el 6 de octubre de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2020;
 - c) del 65 % como mínimo en el caso de los biocarburantes, biogás consumido en el sector del transporte y biolíquidos producidos en instalaciones que hayan entrado en funcionamiento a partir del 1 de enero de 2021;

Introducción y contexto

- Cálculo del efecto de los biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa en las emisiones de gases de efecto invernadero: artículo 31 (1) de la Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

Artículo 31

Cálculo del efecto de los biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa en las emisiones de gases de efecto invernadero

1. A los efectos del artículo 29, apartado 10, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero resultante del uso de biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa se calculará de alguno de los modos siguientes:
 - a) si se establece un **valor por defecto** para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para el proceso de producción en el anexo V, parte A o B, respecto a los biocarburantes y biolíquidos y, en el anexo VI, parte A, respecto a los combustibles de biomasa, si el valor de e_i para los biocarburantes o biolíquidos calculado de conformidad con el anexo V, parte C, punto 7, y para los combustibles de biomasa calculado de conformidad con el anexo VI, parte B, punto 7, es igual o menor de cero, utilizando este valor por defecto;
 - b) utilizando un **valor real** calculado de conformidad con la metodología establecida en el anexo V, parte C, para los biocarburantes y biolíquidos, y en el anexo VI, parte B, para los combustibles de biomasa;
 - c) utilizando un valor calculado correspondiente a la **suma** de los factores de las fórmulas enunciadas en el anexo V, parte C, punto 1, para lo que los **valores por defecto desagregados** del anexo V, partes D o E, pueden utilizarse para algunos factores, y usando **valores reales calculados** de conformidad con el método establecido en el anexo V, parte C, para todos los demás factores;
 - d) utilizando un valor calculado como suma de los factores de las fórmulas enunciadas en el anexo VI, parte B, punto 1, para lo que se pueden utilizar los valores por defecto desagregados del anexo VI, parte C, para algunos factores, y valores reales calculados de conformidad con el método establecido en el anexo VI, parte B, para todos los demás factores.

NUTs Nivel 2 España

NUTS code	Region
ES11	Galicia
ES12	Principality of Asturias
ES13	Cantabria
ES21	Basque Community
ES22	Navarre
ES23	La Rioja
ES24	Aragon
ES30	Madrid
ES41	Castile-Leon
ES42	Castile-La Mancha
ES43	Extremadura
ES51	Catalonia
ES52	Valencian Community
ES53	Balearic Islands
ES61	Andalusia
ES62	Region of Murcia
ES63	Ceuta
ES64	Melilla
ES70	Canary Islands

Artículo 31

Cálculo del efecto de los biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa en las emisiones de gases de efecto invernadero

2. Los Estados miembros podrán presentar a la Comisión informes que incluyan información sobre las emisiones típicas de gases de efecto invernadero procedentes del cultivo de materias primas agrícolas en las zonas de su territorio clasificadas en el nivel 2 en la nomenclatura común de unidades territoriales estadísticas (en lo sucesivo, «NUTS»), o en un nivel NUTS más desagregado de conformidad con el Reglamento (CE) n.º 1059/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo (*). Dichos informes irán acompañados de una descripción del método y de las fuentes de datos empleadas para calcular el nivel de las emisiones. Dicho método tendrá en cuenta las características del suelo, el clima y el rendimiento previsto de las materias primas.

3. En el caso de los territorios situados fuera de la Unión, podrán enviarse a la Comisión informes equivalentes a aquellos mencionados en el apartado 2 y elaborados por los organismos competentes.

4. La Comisión podrá decidir, mediante actos de ejecución, que los informes mencionados en los apartados 2 y 3 del presente artículo contienen datos exactos a los efectos de las mediciones de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al cultivo de materias primas de la biomasa agrícola producidas en las zonas incluidas en dichos informes a efectos del artículo 29, apartado 10. Dichos actos de ejecución se adoptarán de conformidad con el procedimiento de examen a que se refiere el artículo 34, apartado 3.

Cálculo de los valores típicos de emisiones de gases de efecto invernadero del cultivo de materias primas agrícolas para la producción de biocarburantes de acuerdo al artículo 31 (2)-(4) de la Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

Metodología general de cálculo de emisiones de GEI para biocarburantes

► Anexo V.C de la Directiva (UE) 2018/2001

C. METODOLOGÍA

1. Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción y el uso de combustibles para transporte, biocarburantes y biolíquidos se calcularán con las fórmulas siguientes:
 - a) Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción y el uso de biocarburantes se calcularán con la fórmula siguiente:

$$E = e_{cc} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$$

siendo:

E	=	las emisiones totales procedentes del uso del combustible,
e_{cc}	=	las emisiones procedentes de la extracción o del cultivo de las materias primas,
e_l	=	las emisiones anualizadas procedentes de las modificaciones en las reservas de carbono causadas por el cambio en el uso de la tierra,
e_p	=	las emisiones procedentes de la transformación,
e_{td}	=	las emisiones procedentes del transporte y la distribución,
e_u	=	las emisiones procedentes del combustible durante su consumo,
e_{sca}	=	la reducción de emisiones derivada de la acumulación de carbono en el suelo mediante una mejora de la gestión agrícola,
e_{ccs}	=	la reducción de emisiones derivada de la captura y el almacenamiento geológico del CO ₂ , y
e_{ccr}	=	la reducción de emisiones derivada de la captura y sustitución del CO ₂ .

Metodología general de cálculo de emisiones de GEI para biocarburantes

- ▶ Reglamento de Ejecución (UE) 2022/996 de la Comisión relativo a las normas para verificar los criterios de sostenibilidad y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y los criterios de bajo riesgo de provocar un cambio indirecto del uso de la tierra. Anexo VII.
 - ▶ Uso de combustible (gasóleo, gasolina, fuelóleo pesado, biocarburantes u otros combustibles) para maquinaria agrícola
 - ▶ **Fertilizantes** y plaguicidas químicos
 - ▶ Material de siembra
 - ▶ Emisiones procedentes de la **acidificación de fertilizantes** y la aplicación de enmienda caliza
 - ▶ Emisiones (**óxido nítrico y CO₂**) de los suelos procedentes del cultivo
 - ▶ Emisiones de la recogida, el secado y el almacenamiento de las materias primas
 - ▶ Emisiones de la electricidad utilizada en las explotaciones agrícolas
- ▶ Valores estándar de los factores de emisión

Emisiones procedentes de la fabricación de fertilizantes. Valores estándar

- ▶ Si el operador económico conoce la fábrica que produce el fertilizante y esta entra en el ámbito de aplicación del régimen de comercio de derechos de emisión (RCDE) de la UE, podrá utilizar las emisiones de producción declaradas en el RCDE, a las que sumará las emisiones anteriores correspondientes al gas natural, etc. También se incluirá el transporte de los fertilizantes, utilizando las emisiones de los modos de transporte que figuran en el anexo IX.
- ▶ Si el operador económico no conoce la fábrica que suministra el fertilizante, deberá utilizar los valores estándar previstos en el anexo IX

	parámetro:	Coeficiente de emisión de GEI				
	unidad:	gCO _{2,eq} /g	gCO ₂ /kg	gCH ₄ /kg	gN ₂ O/kg	gCO _{2,eq} /kg
Fertilizante nitrogenado (kg N)						
	Nitrato amónico (NA)		2 671	6,9	2,1	3 469
	Sulfato amónico (SA)		2 560	6,5	0,0	2 724
	Nitrosulfato amónico (SNA)		2 561	8,9	1,3	3 162
	Amoníaco anhidro		2 662	6,8	0,0	2 832
	Nitrato amónico cálcico (NAC)		2 863	7,3	2,1	3 670
	Nitrato cálcico (NC)		2 653	7,0	5,1	4 348
	Urea		1 703	9,3	0,0	1 935
	Urea nitrato amónico (UNA)		2 182	7,5	1,1	2 693
Fertilizante P₂O₅ (kg P₂O₅)						
	Superfosfato triple (SFT)		517	0,9	0,0	544
	Fosforita 21 % P ₂ O ₅ , 23 % SO ₃		95	0,0	0,0	95
	Fosfato monoamónico (MAP) 11 % N 52 % P ₂ O ₅		967	2,5	0,0	1 029
	Fosfato amónico dibásico (DAP) 18 % N 46 % P ₂ O ₅		1 459	3,7	0,0	1 552
Fertilizante K₂O (kg K₂O)						
	Cloruro de potasio (MOP) 60 % K ₂ O		409	0,17	0,0	413
Otros fertilizantes						
	NPK 15-15-15		4 261	10,0	1,7	5 013
	MgO (kg MgO)		769	0,0	0,0	769
	Fertilizante de sodio (Na) (kg Na)		1 620	0,0	0,0	1 620

Emisiones procedentes de la acidificación de fertilizantes

- ▶ Los fertilizantes generan acidez cuando son aplicados al suelo al ser oxidados por las bacterias del suelo. Esta acidez reacciona con los carbonatos presentes en el suelo y se generan emisiones de CO₂ atribuibles a la fertilización.
 - ▶ En el caso de los fertilizantes a base de nitrato, las emisiones procedentes de la neutralización de fertilizantes nitrogenados en el suelo serán de **0,783 kg CO₂/kg N**;
 - ▶ en el caso de los fertilizantes a base de urea, las emisiones de la neutralización serán de **0,806 kg CO₂/kg N**.

Emisiones desde el suelo

- ▶ Emisiones de óxido nitroso
 - ▶ Metodología del IPCC. Tier II. Factores de emisión específicos para las diferentes condiciones medioambientales y del suelo, y para diferentes cultivos. Emisiones de N₂O directas como indirectas.
 - ▶ IPCC refinamiento de 2019. Nuevos factores para climas secos.
- ▶ Emisiones de CO₂ de la aplicación de la urea
 - ▶ Factor de emission Tier 1 de 0.20 kg C/kg urea (0.733 Kg CO₂/kg urea) (IPCC 2006 Guidelines Volume 4, Chapter 11, section 11.4.2)

TABLE 11.1 (UPDATED)
DEFAULT EMISSION FACTORS TO ESTIMATE DIRECT N₂O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS

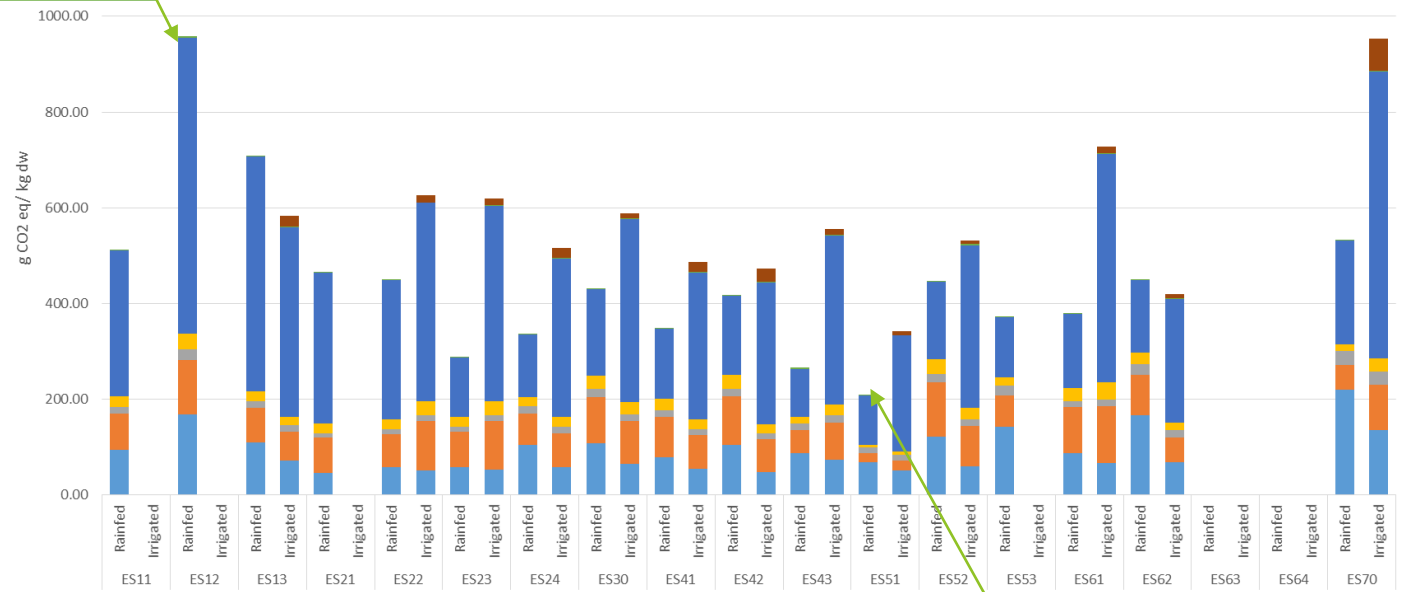
Emission factor	Aggregated		Disaggregated		
	Default value	Uncertainty range	Disaggregation ⁴	Default value	Uncertainty range
EF ₁ for N additions from synthetic fertilisers, organic amendments and crop residues, and N mineralised from mineral soil as a result of loss of soil carbon ¹ [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0.010	0.002 – 0.018	Synthetic fertiliser inputs ⁵ in wet climates	0.016	0.013 – 0.019
			Other N inputs ⁶ in wet climates	0.006	0.001 – 0.011
			All N inputs in dry climates	0.005	0.000 – 0.011

TABLE 11.3 (UPDATED)
DEFAULT EMISSION, VOLATILISATION AND LEACHING FACTORS FOR INDIRECT SOIL N₂O EMISSIONS

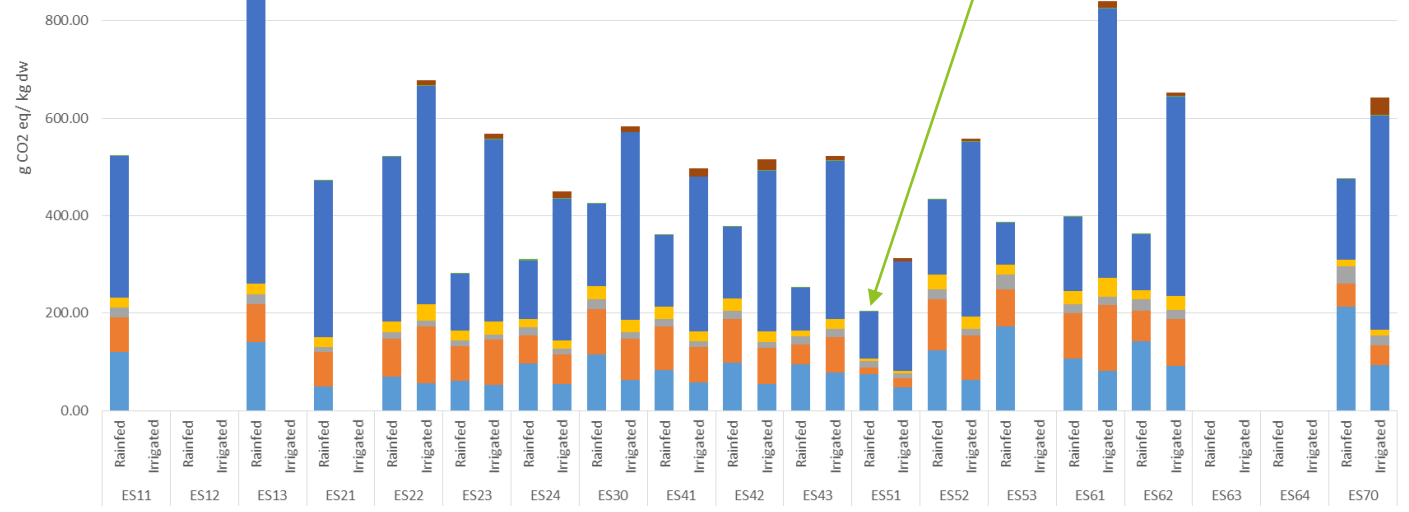
Factor	Aggregated		Disaggregated		
	Default value	Uncertainty range	Disaggregation	Default value	Uncertainty range
EF ₄ [N volatilisation and re-deposition] ¹ , kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised) ⁻¹	0.010	0.002 - 0.018	Wet climate	0.014	0.011 – 0.017
			Dry climate	0.005	0.000 – 0.011
EF ₅ [leaching/runoff] ² , kg N ₂ O-N (kg N leaching/runoff) ⁻¹	0.011	0.000 - 0.020	-	-	-
Frac _{GASF} [Volatilisation from synthetic fertiliser] ³ , (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N applied) ⁻¹	0.11	0.02 - 0.33	Urea	0.15	0.03 – 0.43
			Ammonium-based	0.08	0.02 – 0.30
			Nitrate-based	0.01	0.00 – 0.02
			Ammonium-nitrate-based	0.05	0.00 – 0.20
Frac _{GASM} [Volatilisation from all organic N fertilisers applied, and dung and urine deposited by grazing animals] ⁴ , (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N applied or deposited) ⁻¹	0.21	0.00 - 0.31	-	-	-
Frac _{LEACH-(H)} [N losses by leaching/runoff in wet climates] ⁵ , kg N (kg N additions or deposition by grazing animals) ⁻¹	0.24	0.01 – 0.73	-	-	-

Resultados

Asturias
secano



Asturias
secano



Cataluña
secano

Trigo

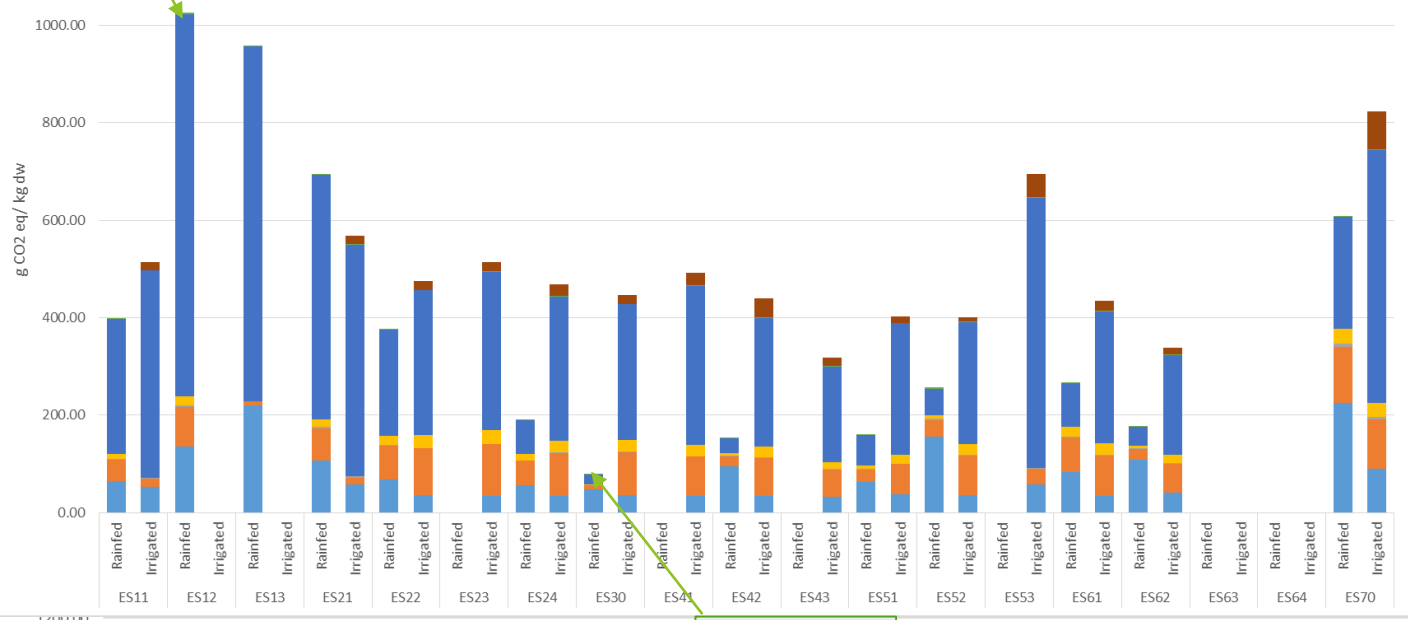
Las emisiones relacionadas con la fertilización nitrogenada son la principal causa en la huella de C de los cultivos estudiados

- Other sources
- Bioenergy feedstock drying
- Collection, transport and storage of raw materials
- Emissions from soil
- Neutralization of fertilizer acidification
- Seed and other planting materials
- Agrochemicals
- Fuel use

Cebada

Asturias
secano

Maiz



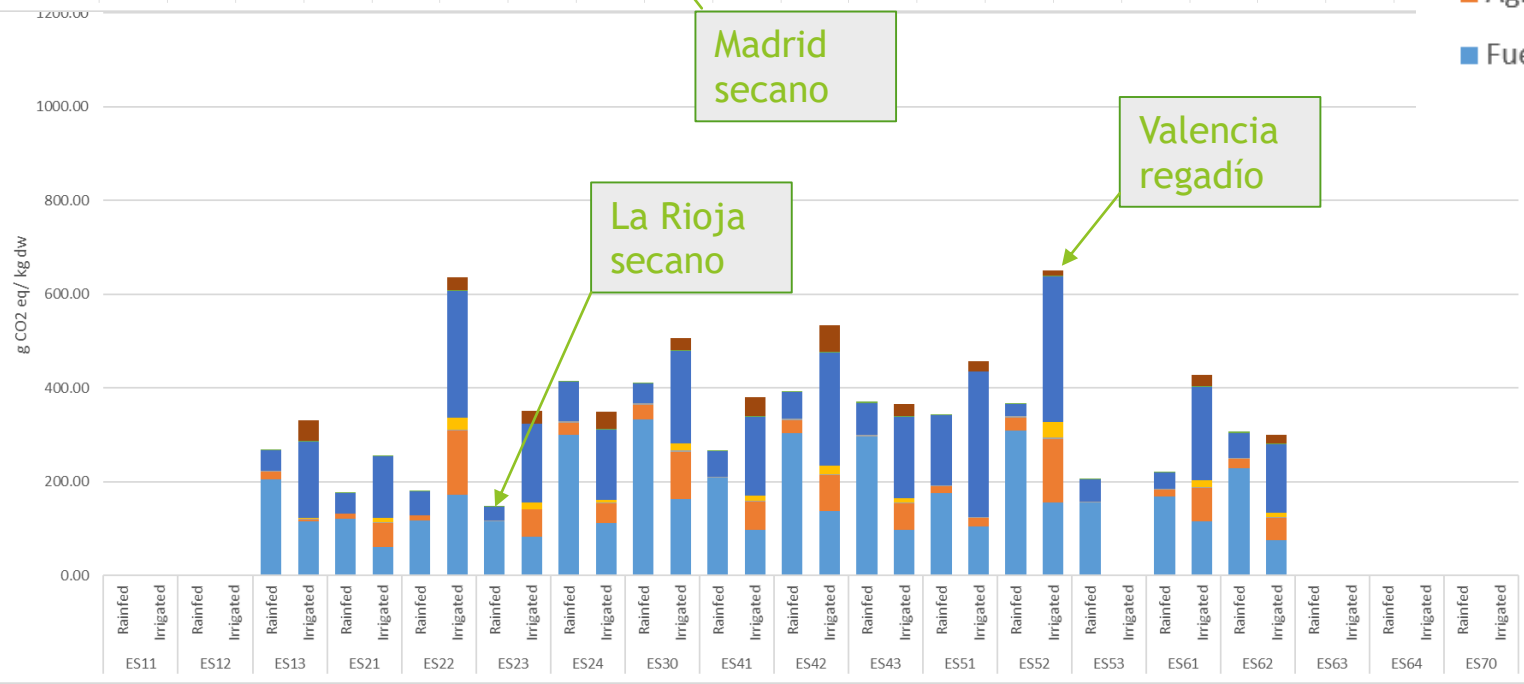
- Other sources
- Bioenergy feedstock drying
- Collection, transport and storage of raw materials
- Emissions from soil
- Neutralization of fertilizer acidification
- Seed and other planting materials
- Agrochemicals
- Fuel use

Madrid
secano

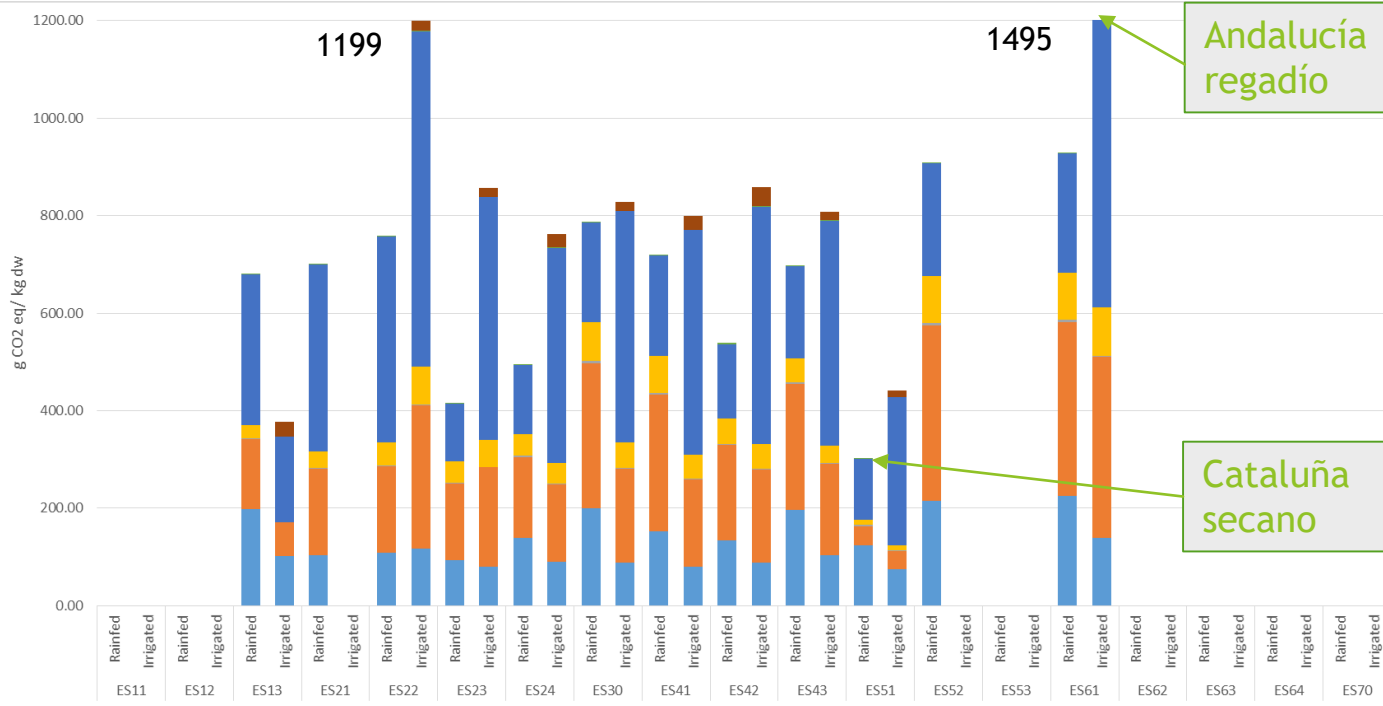
Valencia
regadío

La Rioja
secano

Girasol

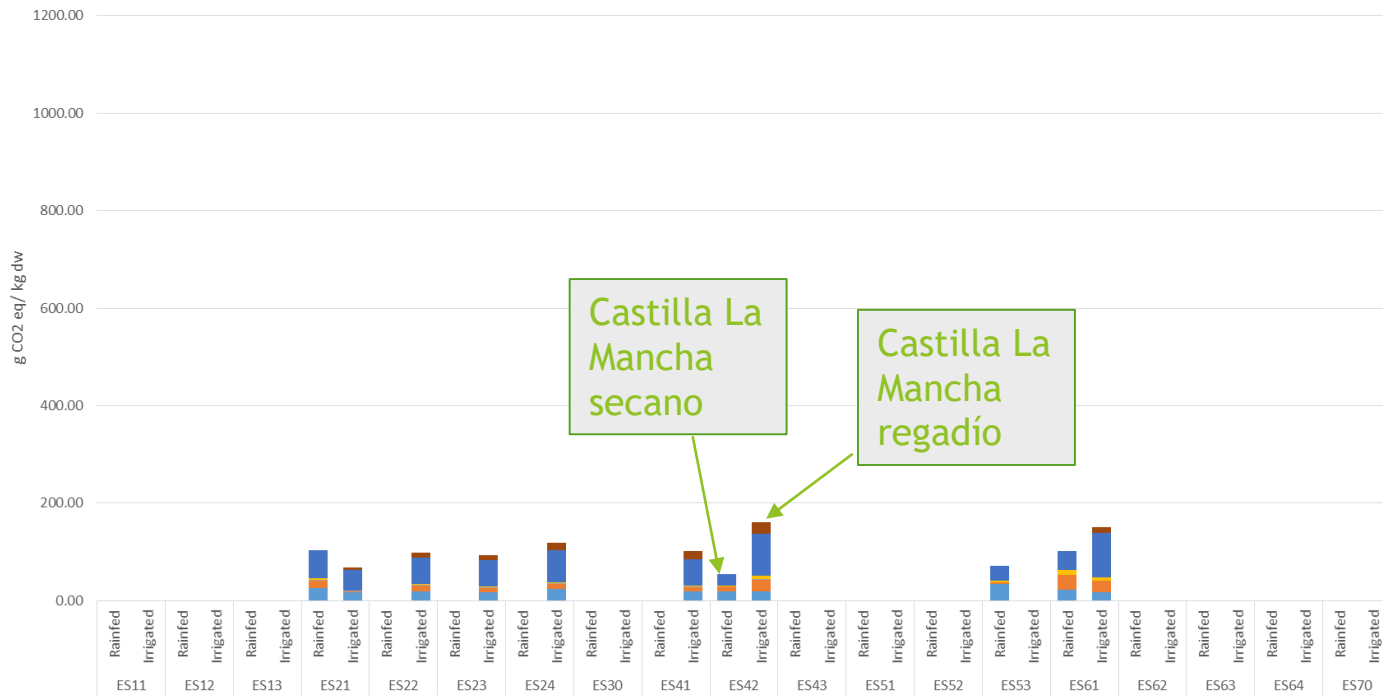


Colza



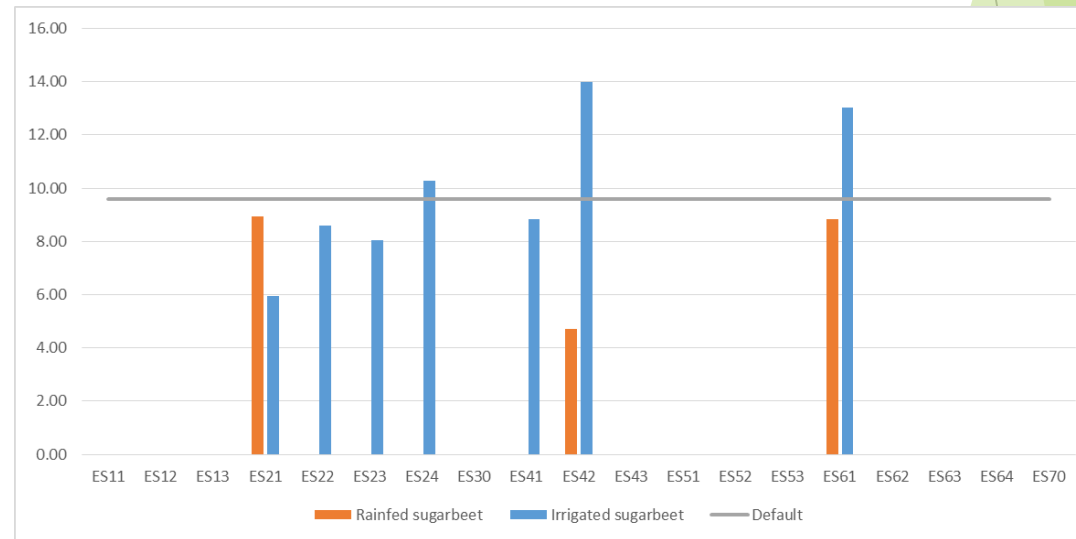
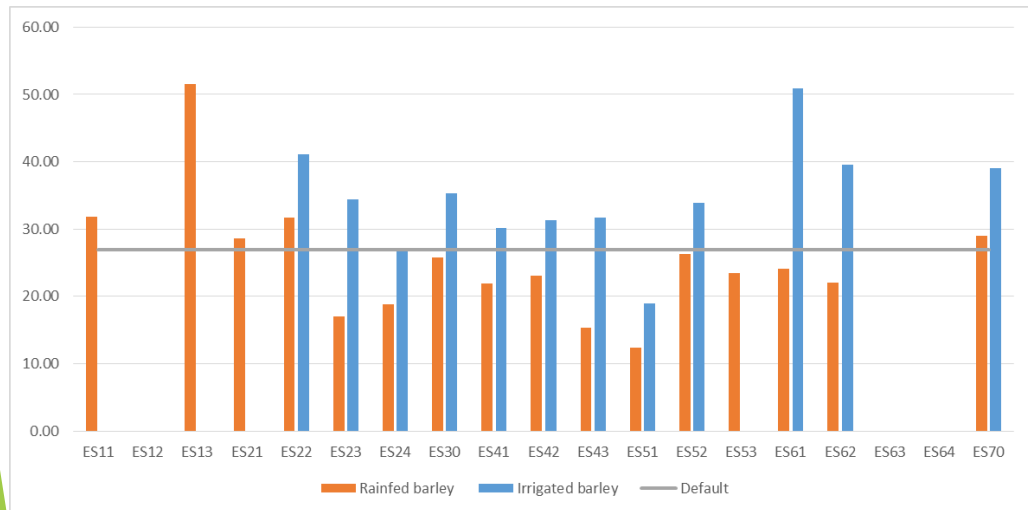
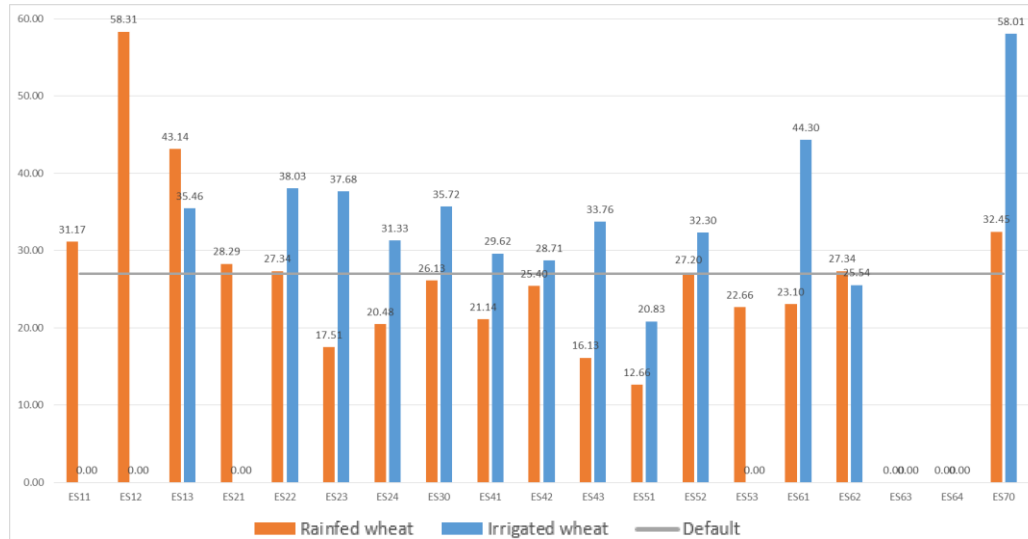
- Other sources
- Bioenergy feedstock drying
- Collection, transport and storage of raw materials
- Emissions from soil
- Neutralization of fertilizer acidification
- Seed and other planting materials
- Agrochemicals
- Fuel use

Remolacha

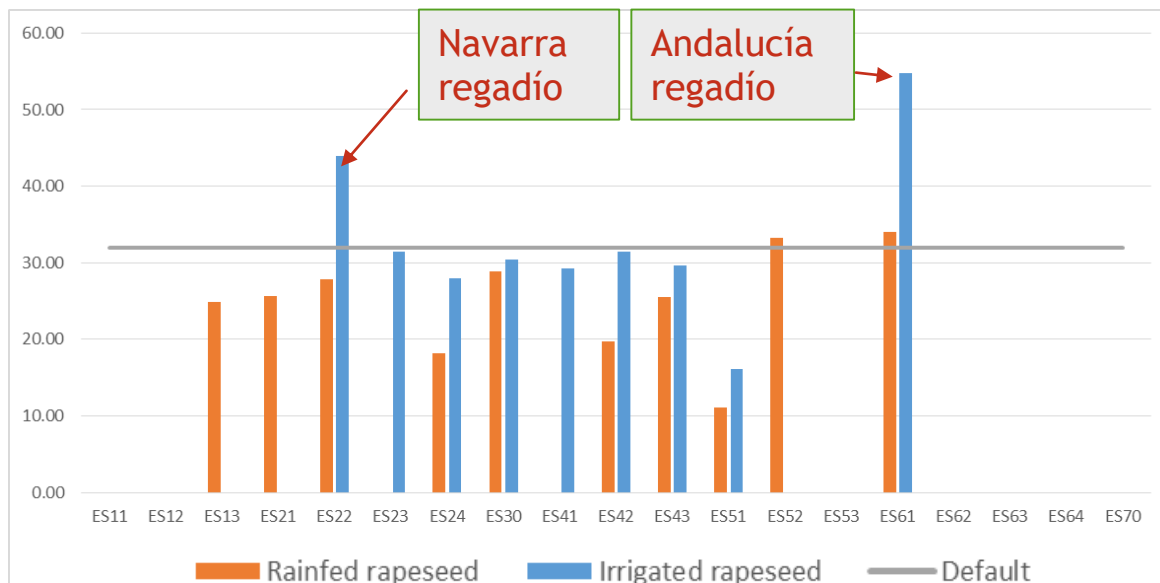
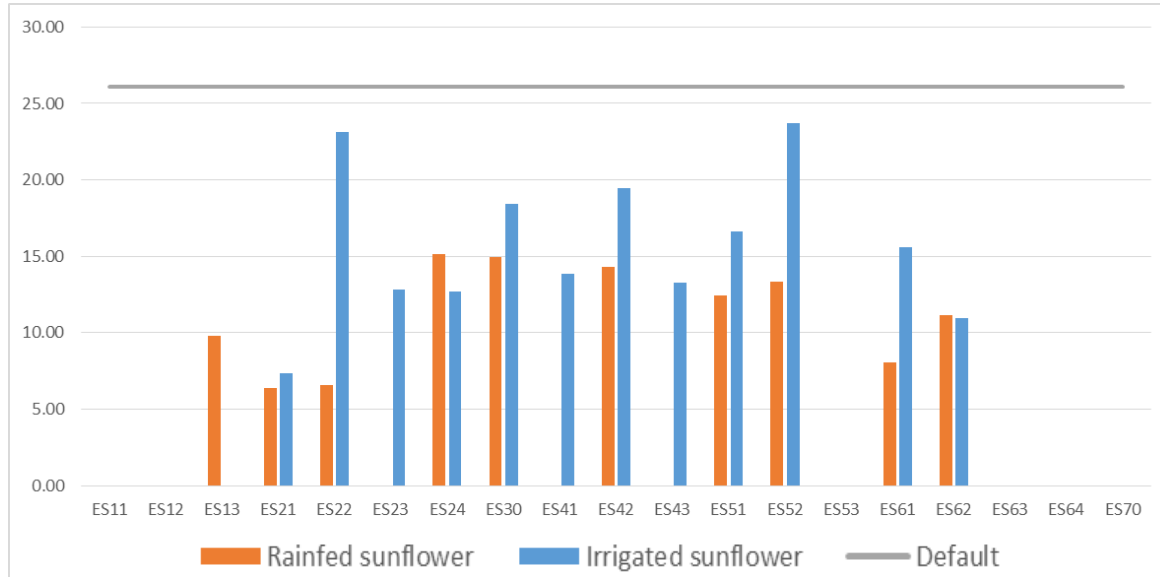


Emisiones por MJ de bioetanol

La huella de C por MJ de biocarburante calculada para las materias primas agrícolas para producción de bioetanol se sitúa en algunos casos (muchos regadíos y secanos de las zonas del norte) por encima de los valores por defecto



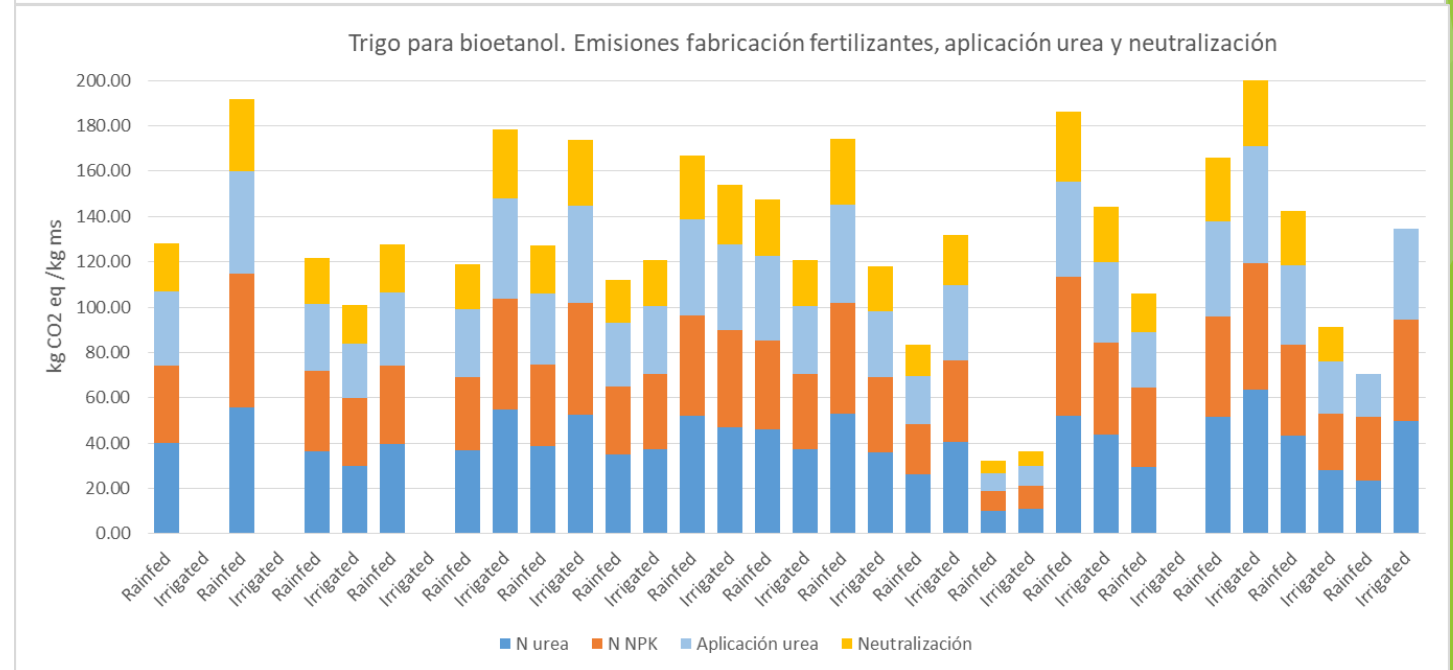
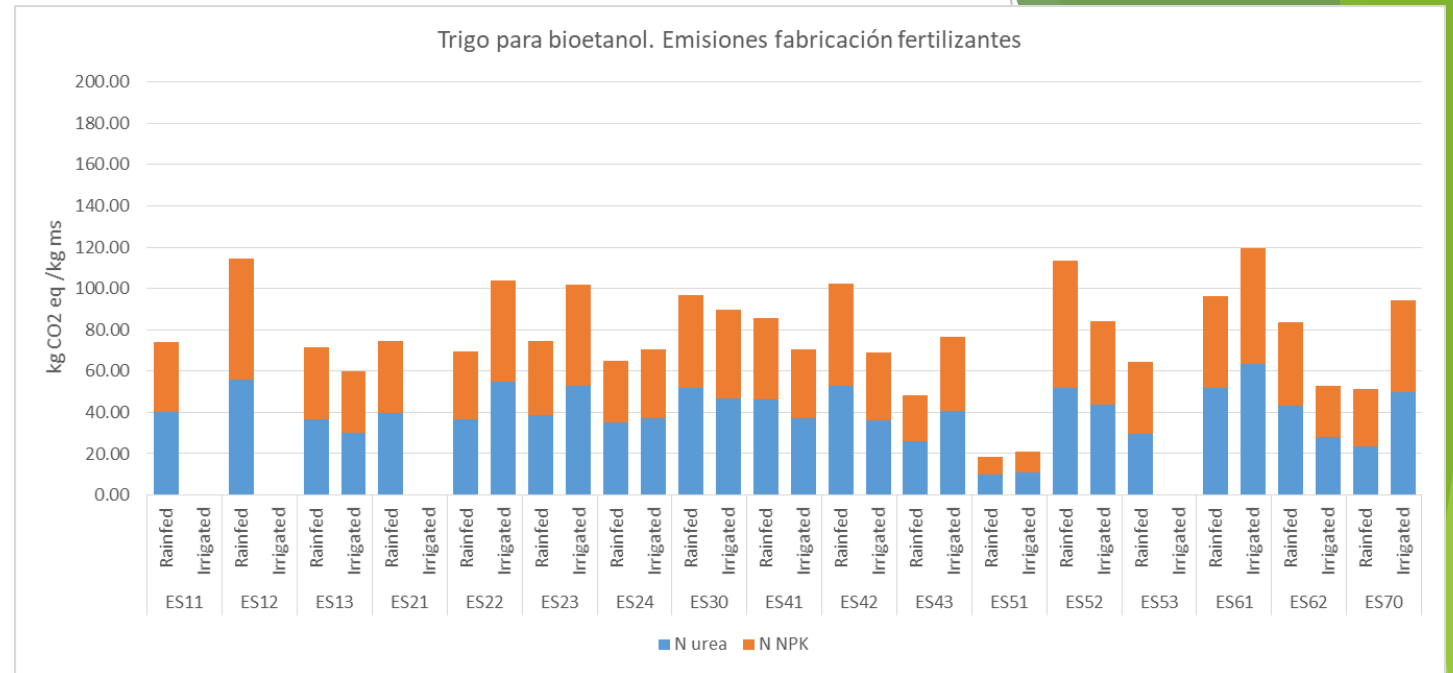
Emisiones por MJ de biodiesel



La huella de C por MJ de biocarburante calculada para las materias primas agrícolas para producción de biodiesel se sitúa en general por debajo de los valores por defecto

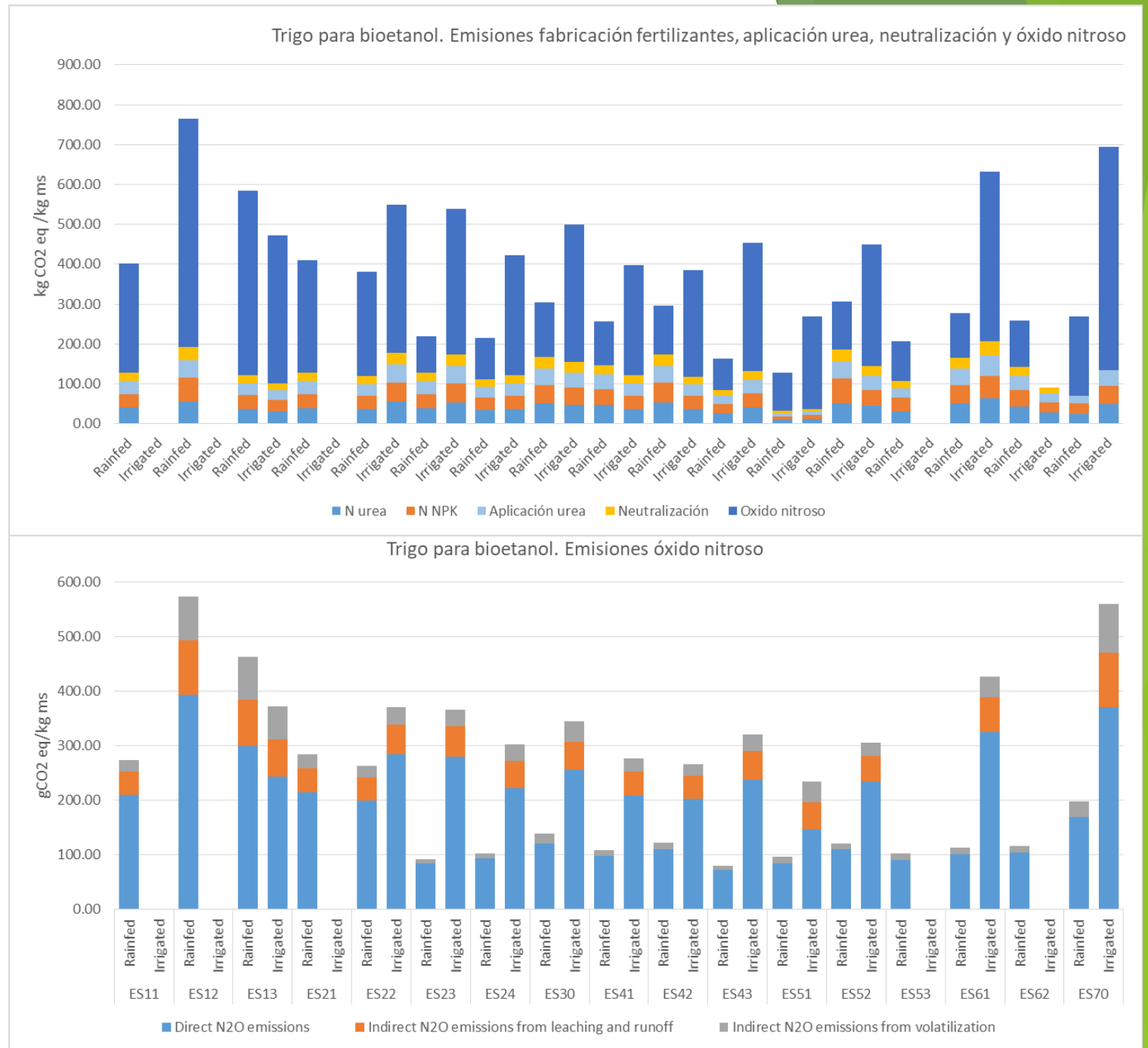
Emisiones fabricación fertilizantes

- ▶ Aunque la cantidad de N proveniente de urea es mayor que la cantidad proveniente de abonos complejos, las emisiones relacionadas con la fabricación de fertilizantes es similar. Esto es debido a que la urea tiene un factor de emisión menor en su fabricación
- ▶ A las emisiones de la fabricación hay que añadir las emisiones de CO2 producidas en la aplicación de la urea y por la neutralización de la acidificación.



Emisiones óxido nitroso

- ▶ Las emisiones relacionadas con la fertilización están dominadas por las emisiones de **óxido nitroso** especialmente en los regadíos
- ▶ Las **emisiones directas** de óxido nitroso suponen más de la mitad de las emisiones totales de óxido nitroso, seguidas de las emisiones de la lixiviación y por último las emisiones de volatilización



Conclusiones

- ▶ La huella de C calculada para las materias primas agrícolas para producción de bioetanol se sitúa en algunos casos por encima de los valores por defecto. La huella de C calculada para las materias primas agrícolas para producción de biodiesel se sitúa en general por debajo de los valores por defecto (salvo en la colza de Navarra y Andalucía)
 - > Necesidad de reducir la huella de C para garantizar la sostenibilidad del bioetanol producido con materias primas nacionales
- ▶ Las emisiones relacionadas con la fertilización nitrogenada son la principal causa de emisiones en la huella de C de los cultivos estudiados (mas del 75%)
 - > Reducción de las emisiones de fabricación de fertilizantes (Uso de H2 renovable en sustitución del gas natural)
 - > Estrategias de mejora de la eficiencia de la fertilización (agricultura de precisión, inhibidores)
- ▶ Las emisiones de óxido nitroso dominan las emisiones relacionadas con la fertilización. Las emisiones directas de óxido nitroso suponen mas de la mitad de las emisiones totales de óxido nitroso -> uso fertilizantes con inhibidores de la nitrificación

Muchas gracias!

carmen.lago@ciemat.es
yolanda.lechon@ciemat.es

Back up slides

Inputs agrícolas. Superficies, rendimientos, uso de combustible

Las superficies cultivadas y los rendimientos de los cultivos a nivel NUTS2 para los diferentes cultivos en condiciones de secano y regadío son los valores medios de cada comunidad autónoma (NUTs2) calculados para el periodo 2017-2021. Los datos anuales se han tomado de los anuarios estadísticos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España, disponibles en:

<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/default.aspx>

Los datos de uso de combustible para las operaciones de cultivo se han calculado utilizando los datos sobre costes energéticos. La fuente de información para los costes energéticos de la maquinaria fue la Plataforma de Conocimiento Rural y Pesquero del Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente Rural y Pesquero. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/costes-aperos-maquinas.aspx>

Para cada NUT2, se asumió la misma maquinaria estándar; se consideró una única potencia de tractor diésel, 120 CV.

En aquellas operaciones en las que el rendimiento de la maquinaria depende del encostramiento y/o la compactación del suelo, estos parámetros se evaluaron siguiendo la base de datos del Centro Europeo de Datos del Suelo

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-susceptibility-compaction>

Inputs agrícolas. Agua y energía riego

El agua de riego aplicada al cultivo a nivel NUTS2 se estimó a partir de los **rendimientos** registrados para las tierras de regadío (nivel NUTS2) y la **productividad media del agua de riego** (kg/m³ de agua de riego) calculados a partir de los valores de productividad del agua de riego reportados por comunidad de regantes por la base de datos de regadíos de Castilla y León (Junta de Castilla y León, 2024) a partir de encuestas de campo.

Los costes energéticos se calcularon considerando el agua de riego, la superficie regada, el tipo de riego (superficial, aspersión, localizado), el origen del agua de riego y el consumo energético unitario.

El desglose de las superficies de cultivo regadas por tipo de riego se ha tomado de la **encuesta de superficies y rendimientos de cultivos de España (2022)** y de la **encuesta de uso del agua del Instituto Nacional de Estadística de España (INE, 2018)**, que informa del origen del agua de riego (aguas superficiales, subterráneas y otras).

El consumo de energía en regadío en función del origen del agua y del tipo de riego se ha tomado del estudio de **Corominas (2010)**.

Inputs agrícolas. Fertilizantes y fitosanitarios

Consumo de fertilizantes: **base de datos de fertilización N de la Subdirección General de Medios de Producción Agrarios y Oficina Española de Variedades Vegetales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2023)**, a nivel NUTS3

La fertilización con N a nivel NUTS2 se ha calculado para cada cultivo y NUTS2 como media ponderada de los valores reportados para las provincias que componen cada comunidad autónoma

La principal fuente de información utilizada para la fertilización de trigo, cebada, maíz y girasol fue la «**Guía práctica de fertilización racional de los cultivos en España**» (MARM, 2010). Para la **colza**, la fertilización siguió las recomendaciones del Instituto de Tecnología Agraria de Castilla y León (ITACYL, 2016, 2020, 2022, 2023), y para la **remolacha azucarera**, las de la Asociación de Investigación para la Mejora del cultivo de remolacha azucarera (AIMCRA, 2023).

Las propiedades del suelo se evaluaron a nivel NUTS2 siguiendo el estudio de **Rodríguez Martín et al. (2009)**, en el que se categorizaron los suelos según sus contenidos en fósforo disponible, potasio intercambiable, pH y materia orgánica.

La disponibilidad en el mercado de los fertilizantes indicados se comprobó en el «**Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales 2024**» (De Liñán, 2024).

Productos fitosanitarios se han tomado de las estadísticas de consumo de productos agroquímicos 2021, que se basan en encuestas oficiales al sector (datos de 2019)

<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/estadisticas-medios-produccion/fitosanitarios.aspx>

Las autorizaciones de uso de los productos fitosanitarios propuestos se consultaron en la página web nacional del Registro de productos fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España, que se actualiza semanalmente:

<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/registro-productos/>

La fuente de datos para las **dosis** de los productos fitosanitarios citados fue el **Vademécum de productos fitosanitarios de Liñán (2024)**.