CONAMA 2026

Estimación de factores de emisión de partículas representativos para calefacción de biomasa en España

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Raquel Ramos. Investigador Científico de OPI. Unidad de Procesos de Conversión Térmica. Departamento de Energía. CIEMAT.

Otros Autores: Ana María García. Titulado Superior Química Unidad de Procesos de Conversión Térmica. Departamento de Energía. CIEMAT.

Mónica Gómez. Ayudante de Investigación de OPI. Unidad de Procesos de Conversión Térmica. Departamento de Energía. CIEMAT.

María Elena Borjabad. Técnico Superior Especializado de OPI. Unidad de Procesos de Conversión Térmica. Departamento de Energía. CIEMAT.

Índice

1. Resumen 1

2. Introducción 2

3. Metodología 3

3.1.1. Equipos, combustibles y procedimientos de ensayo 3

3.1.2. Medida de emisiones 5

3.1.3. Factores de emisión 6

4. Resultados 7

5. Bibliografía 11

1. Resumen

La combustión de biomasa en el sector residencial constituye una fuente de energía renovable ampliamente utilizada para calefacción, especialmente en viviendas unifamiliares y en zonas rurales con disponibilidad de utilización de recursos biomásicos. Su uso contribuye a la sustitución de combustibles fósiles y forma parte del proceso de transición energética. Sin embargo, también puede generar emisiones contaminantes, en concreto partículas y otros compuestos asociados a la combustión, cuya cuantificación resulta necesaria para mejorar el conocimiento de su impacto sobre la calidad del aire.

La estimación de estas emisiones presenta una elevada complejidad. Los factores de emisión dependen de numerosos aspectos, como el tipo de equipo empleado, su antigüedad y tecnología, el combustible utilizado, las condiciones de operación y los hábitos de uso. Por ello, los inventarios de emisiones requieren información actualizada y representativa de la realidad nacional, que permita diferenciar entre tecnologías, combustibles y modos de funcionamiento. Esta necesidad es especialmente relevante en el caso de la biomasa residencial, donde existen diferencias importantes entre chimeneas, estufas, calderas manuales y automáticas, así como entre leña, pélets, astillas, hueso de aceituna u otros biocombustibles sólidos utilizados en España.

En este contexto, el presente trabajo responde a la necesidad de disponer de una base técnica más precisa para la actualización de los factores de emisión asociados a la combustión de biomasa en equipos de calefacción residencial que contribuyan a la elaboración de inventarios más realistas. Para ello, se ha revisado la información disponible en estudios nacionales e internacionales, se han analizado fuentes de datos sobre el parque de equipos y el consumo de biomasa en España, y se ha desarrollado una metodología experimental orientada a obtener resultados representativos de las condiciones reales de funcionamiento.

Se han llevado a cabo medidas de contaminantes emitidos en una serie de 38 ensayos en distintas condiciones de operación, utilizando 8 combustibles representativos en las categorías de leñas, pélets y otras biomasas, en 10 equipos de combustión del sector residencial fabricados entre 2002 y 2022, representativos de diferentes grupos de instalación según clasificación de EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme). A partir de los resultados se han estimado factores de emisión de partículas (totales, fracciones $PM_{2.5}$, PM_{10} y condensables) válidos y representativos en España para cálculo en los inventarios nacionales de emisiones.

Palabras clave: Emisiones contaminantes, materia particulada, $PM_{2.5}$, PM_{10}, PST, partículas finas, factores de emisión, combustión de biomasa, calefacción residencial.

***Agradecimientos*:** Los trabajos recogidos en esta publicación se han desarrollado en el marco de colaboración entre la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas -CIEMAT-, a través del Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER), y han contado con co-financiación del MITECO para su realización.

2. Introducción

El Sistema Español de Inventario (SEI) elabora periódicamente el Inventario Nacional de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos, que permiten evaluar el cumplimiento de los compromisos asumidos por España en el marco de la normativa internacional y europea de emisiones a la atmósfera.

En las directrices de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, se aconseja usar factores desagregados, específicos para tecnologías y países, siempre que los haya disponibles. Se pueden aplicar métodos en tres niveles: nivel 1 en el que se usan factores de emisión publicados en las bases, nivel 2 o nivel 3 si se considera usar factores de emisión específicos bien del país, o bien de la tecnología [1].

En la última década, motivados por reflejar la implantación particular del uso de la biomasa, países como Austria, Italia, Portugal, Reino Unido o Suecia, han revisado los factores de emisión relacionados con la combustión de biomasa utilizados en los inventarios nacionales. La metodología y obtención de resultados ha generado numerosas publicaciones, y ha sido tratada en el desarrollo de diferentes proyectos europeos plurinacionales (BioMaxEff, beReal, Airuse, Clean Air for Biomass, etc.). Algunos de los autores (Paulrud, Pettersson, Gonçalves, Denier van der Gon, Schmidl, etc.), se muestran ahora como referencia en las guías EMEP 2019 y 2023 [2], [3] en cuanto a la combustión de baja potencia. La bibliografía hace recomendaciones respecto al funcionamiento bajo demanda real, mediante definición de ciclos de variación de cargas para la realización de medidas. Además, se considera necesario realizar los muestreos de partículas siguiendo estándares existentes, que permitan obtener datos normalizados y contrastados.

Para la combustión de biomasa, la evaluación de los factores de emisión (FE) es compleja, ya que está influenciada por muchos parámetros como el tipo de tecnología, el tipo de combustible, la normativa de la tecnología y las condiciones de operación [4].

En España, algunos datos extraídos de las fuentes disponibles sobre uso de la biomasa en el sector residencial son:

- Encuestas de población del Instituto Nacional de Estadística (INE) sobre hábitos en hogares. Han permitido estimar la potencia instalada en 2021, extrapolada al censo total de viviendas del país, en 6.477,8 MW para calderas y 1.155 MW para estufas, con un consumo total entre ambas próximo a 2 Mt. Por otra parte, remarcan incrementos en el uso de biomasa para calefacción entre 2001 y 2021 próximos al 10 % de las viviendas en Castilla y León, Islas Baleares y Galicia.

- Bases de datos autonómicas proporcionan información con datos entre 2012 y 2020. El Instituto Catalán de la Energía destaca que el 71 % de las instalaciones en Cataluña se encuentran en el sector doméstico. Por otro lado, los combustibles de biomasa más usados en Andalucía se ordenan como pélets (63 %), hueso de aceituna (25 %) y leñas (8 %) en datos pertenecientes a la Agencia Andaluza de la Energía.

- Estudios sectoriales llevados a cabo periódicamente por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Muestran en 2021 un consumo de biomasa de calefacción en el sector residencial en torno a 2 Mt, considerando calderas y estufas que conforman el conjunto de tecnologías más usadas.

- El Observatorio de Biomasa, generado en 2008 y mantenido por la Asociación Española de Valorización Energética de Biomasa (AVEBIOM). Registra instalaciones desglosadas por rango de potencia, recogiendo 3.462 MW de nueva instalación de calderas menores de 1 MW desde 2009 a 2021, aunque no se encuentran desagregados para el sector doméstico o residencial.

3. Metodología

3.1.1. Equipos, combustibles y procedimientos de ensayo

Los equipos de combustión utilizados en este trabajo se han seleccionado de manera que permiten cubrir los distintos grupos y categorías que marcan las guías EMEP, y cada uno de ellos ha sido instalado en un puesto de pruebas de laboratorio o bien es una propia instalación en el centro CEDER, para los ensayos de medida de emisiones. En la **Figura 1** se muestra una de los equipos instalados en el laboratorio durante la realización de las pruebas. En el **Tabla 1** se recogen la identificación, clasificación de grupo, las características principales, así como los tipos de pruebas en los equipos ensayados.



Figura 1. Caldera de pélets instalada en el laboratorio.

Tabla 1. Relación de equipos ensayados, sus características y clasificación

Grupo de Instalación Guía EMEP 2019	Categoría / tipo Guía EMEP 2023	Instalaciones CEDER-CIEMAT (año de fabricación)	Eficiencia aproximada (%) (etiqueta)	Combustible	Tipos de ensayo
FPLACE	Room heater / advanced wood stove	Chimenea Joima Azuer 8 kW (2024)	81,5% (Ecodiseño)	Leña (haya, pino y encina)	DR
STOVE	Room heater / modern pellet stove	Estufa Palazzetti Ecofire Molly 10,1 kW (2009)	87%	Pélets	PN, PP y DR
STOVE	Room heater / advanced pellet stove	Estufa Lasian Erta Evo Flow 10,4 kW (2017)	85%	Pélets y hueso	PN, PP y DR
SHB_A	Boiler <50kW / Pellet	Caldera Ecoforest Vinci 17 kW (2002)	84%	Pélets	PN, PP y DR
SHB_A	Boiler <50kW / Modern	Caldera Hargassner Agrofire 40 kW (2011)	>76,6%	Pélets, hueso, cáscara y astilla	PN y DR
SHB_A	Boiler <50kW / Advanced	Caldera Biocurve BCH25 25 kW (2016)	100%	Pélets y hueso	PN, PP y DR
SHB_A	Boiler > 50 kW	Caldera Reka HKRST500 500 kW (2002)	87%	Astilla	PN y PP
SHB_M	Boiler <50kW Modern	Caldera Windhager Easywin 18 kW (2011)	>74,5%	Leña (haya, pino y encina)	DR
SHB_M	Boiler <50kW Advanced	Caldera KWB Classicfire CF1 20 kW (2024)	92,5% (Ecodiseño)	Leña (haya, pino y encina)	DR

Los combustibles utilizados, han sido adquiridos en el mercado español actual, y han sido caracterizados siguiendo normas ISO/EN/UNE, asignando así su nivel de calidad. La colección, mostrada en la **Figura 2**, se compone de pélets de madera ENPlus clase A1 según norma UNE-EN ISO 17225-2; huesos de aceituna Biomasud clase A1, según norma UNE 164003; cáscara de almendra triturada y cribada con propiedades de clase A2, según norma UNE 164004; astilla forestal con dos granulometrías diferentes, clasificadas como tamaño P31S (microastilla) y P45S (astilla), ambas próximas a la clase A2, según norma UNE-EN ISO 17225-4; leñas de haya, pino y encina de clase A2 según norma UNE-EN ISO 17225-5. Cada equipo ha sido probado con el/los combustibles de la colección que mejor se adaptan a sus características técnicas.



Figura 2. Colección de combustibles usados en este trabajo.

El estudio considera tres condiciones de operación diferentes: Potencia Nominal (PN) en la que el equipo funciona a potencia máxima todo el ensayo; Potencia Parcial (PP) en la que el equipo opera próximo al 30% de su potencia nominal durante todo el ensayo; y Demanda Real (DR) en la que el equipo funciona atendiendo a una demanda calorífica programada, lo que provoca arranques, paradas y modulación en el tiempo del ensayo. En el caso de los equipos que utilizan leña, los ensayos denominados a demanda real se realizan mediante cargas de combustible diseñadas atendiendo a la norma UNE-EN 16510. Se repiten tantas cargas consecutivas como son necesarias para completar los muestreos.

3.1.2. Medida de emisiones

Para la medida de emisiones gaseosas se ha empleado un analizador con espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), que incorpora una célula de óxido de zirconio, con el que se obtienen los valores medios de las concentraciones de gases registrados en continuo durante todo el tiempo del ensayo de: H_2O, O_2, CO_2, CO, NO_x (calculado a partir de NO y NO_2 expresados como NO_2), y Carbono Orgánico Total COT (calculado como la suma de CH_4, CH_2O, C_2H_6, C_2H_4, C_3H_8 y C_6H_{14}).

Además, en el tiempo de ensayo se han realizado medidas discontinuas de partículas mediante muestreo isocinético, utilizando un medio filtrante, en concreto se han determinado: PST (partículas sólidas totales) siguiendo la norma UNE-EN-16510-1; partículas filtrables y condensables siguiendo el método 5H, sin túnel de dilución, de la EPA; $PM_{2.5}$ y PM_{10} (partículas inferiores o iguales a 2,5 ⇑m y a 10 ⇑m, respectivamente), con un impactador de 3 etapas siguiendo las normas ISO 12141 y UNE-EN ISO 23210. De forma alterna, se han completado un mínimo de tres muestreos por ensayo de cada tipo de los anteriores, cada uno de 30 minutos de duración, salvo necesidad de interrumpirlo antes por saturación del filtro. Las concentraciones medias se han calculado teniendo en cuenta los resultados de todos los muestreos.

3.1.3. Factores de emisión

Los factores de emisión representan la masa de contaminante (CO_2, NO_x, COT, partículas condensables, $PM_{2.5}$, PM_{10}, PST) emitida a la atmósfera por energía contenida en el combustible alimentado, calculados a partir de las concentraciones medias, el caudal de gases emitido, el caudal másico de combustible alimentado y su poder calorífico determinado. A cada ensayo le corresponden unos factores de emisión, para cada uno de los compuestos gaseosos y de las partículas.

En la combustión, la concentración de contaminantes presenta variaciones a lo largo de cada ensayo asociadas a la heterogeneidad del combustible y a las fluctuaciones propias del funcionamiento de los equipos; y en el caso de las medidas de partículas en sus distintas fracciones ($PM_{2.5}$, PM_{10} y PST filtrables y condensables), estas diferencias vienen influenciadas además por el momento de la medida y los errores inherentes a los diferentes estándares de determinación usados para cada fracción.

Los valores de FE de partículas que se emplean en el inventario de contaminantes deben ser consistentes, y según las últimas indicaciones de las guías incluirán la fracción filtrable y condensable para todos los casos. Como los estándares existentes, indicados más arriba, no siempre permiten cuantificar ambas fracciones, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones sobre las concentraciones, utilizadas en sus cálculos:

- Para determinar el FE de $PM_{2.5}$, PM_{10} y PST, se han tomado las concentraciones encontradas de estas fracciones, obtenidas por el método basado en las normas ISO 12141 y UNE-EN ISO 23210. Este procedimiento establece una temperatura para el medio filtrante de 120 °C, por lo que los valores obtenidos en los muestreos solo incluyen partículas filtrables, no condensables.

- Las medidas experimentales realizadas siguiendo el método 5H de la EPA han proporcionado la relación existente entre partículas condensables y filtrables dentro de las PST. Esta relación se considera estable dentro de cada ensayo, teniendo en cuenta además que la fracción condensable es de un tamaño inferior a 2,5 ⇑m, tal como recogen las Guías EMEP. Aplicando la relación encontrada a los valores de fracciones de partículas filtrables obtenidos en los muestreos, se han calculado los valores de $PM_{2.5}$, PM_{10} y PST incluyendo las partículas filtrables y condensables, para cada uno de los ensayos.

4. Resultados

En la **Tabla 2.** se muestran los rangos de los factores de emisión para los grupos de equipos de calefacción residencial establecidos por la Guía EMEP, expresados como valor mínimo y máximo de los obtenidos, con el objetivo de ofrecer una visión global y orientativa del desempeño de cada tecnología.

Tabla 2. Rangos encontrados para los factores de emisión para cada una de las categorías ((1) Incluye filtrables y condensables)

Grupo de Instalación	FE (g/GJ) $PM_{2.5}$	FE (g/GJ) PM_{10}	FE (g/GJ) PST (1)
FPLACE	49-135	53-146	59-167
STOVE	19-101	25-105	40-106
SHB_A	2-189	2-190	2-192
SHB_M	12-30	15-30	21-33
MB_A	18	22	32

Los rangos más amplios se encuentran en las calderas de alimentación automática (SHB_A), ya que en este grupo están incluidos equipos de muy distintas tecnologías, que admiten también un mayor número de combustibles. El valor inferior del rango lo da un equipo de combustión de condensación de alto rendimiento y, en general los valores superiores se corresponden con el equipo más antiguo con un menor desarrollo tecnológico. Los conjuntos de gráficas que se presentan a continuación muestran más pormenorizadamente los valores de los factores de emisión de partículas obtenidos ($PM_{2.5}$, PM_{10} y PST) para binomios equipo-combustible, agrupados para favorecer la comparativa.

La ***Figura 3*** recoge los factores de emisión en todos los equipos testeados con leña como combustible, incluyendo todos los tipos de leña usados. Se encuentra que en todos los tipos de leña la tecnología de estufas (FPLACE) presenta un factor de emisión más elevado que la de calderas (SHB_M). En este caso las diferencias encontradas entre tecnologías de caldera son mínimas. Con respecto al combustible, en el caso de estufas, la madera de pino genera mayor emisión de partículas, frente al haya o la encina.

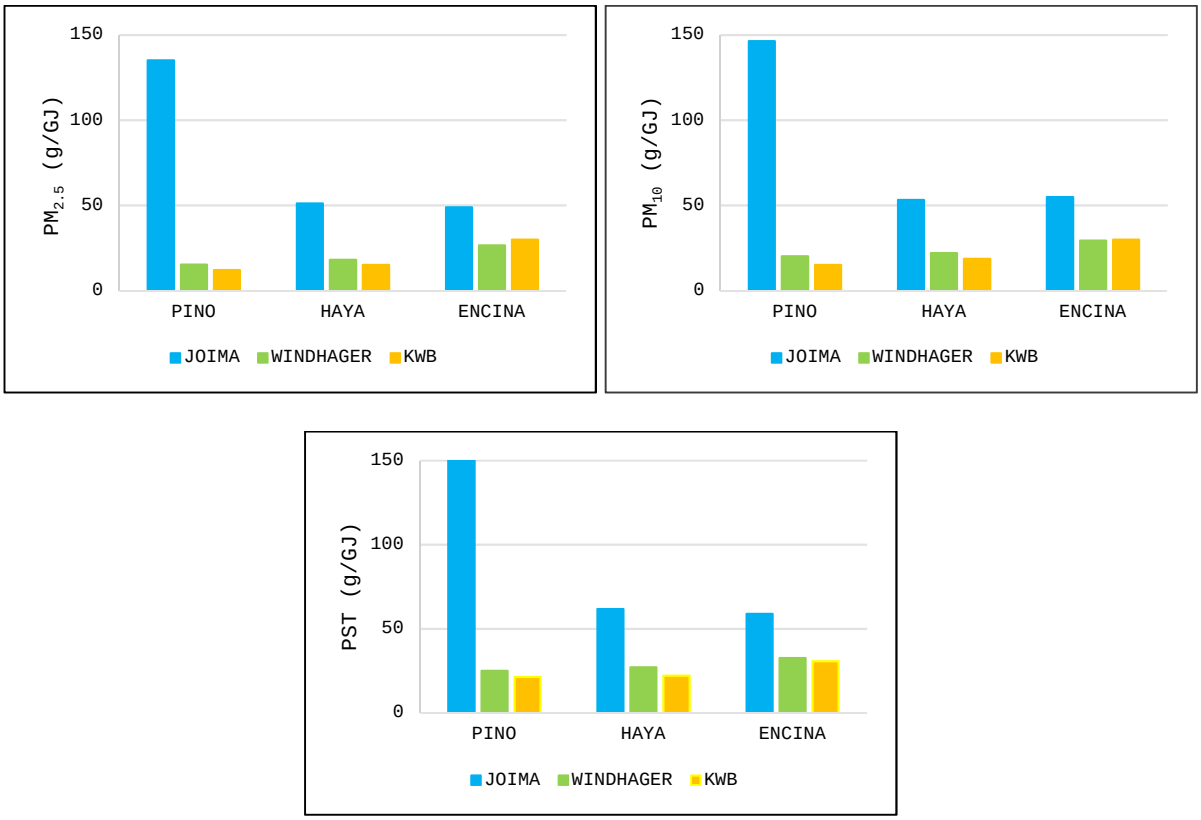


Figura 3. Factores de emisión en los equipos que utilizan leña como combustible.

La ***Figura 4*** recoge los factores de emisión en todos los ensayos realizados con pélets como combustible. Los pélets son un combustible versátil, que ha sido testeado en equipos variados y pertenecientes a distintos grupos. Las emisiones de partículas dependen principalmente de la tecnología de combustión empleada, independientemente del grupo al que pertenece el equipo. Esto indica que no es solo la tipología del aparato lo que determina la cantidad de partículas emitidas, sino el diseño interno y el mecanismo de alimentación que utiliza cada equipo.

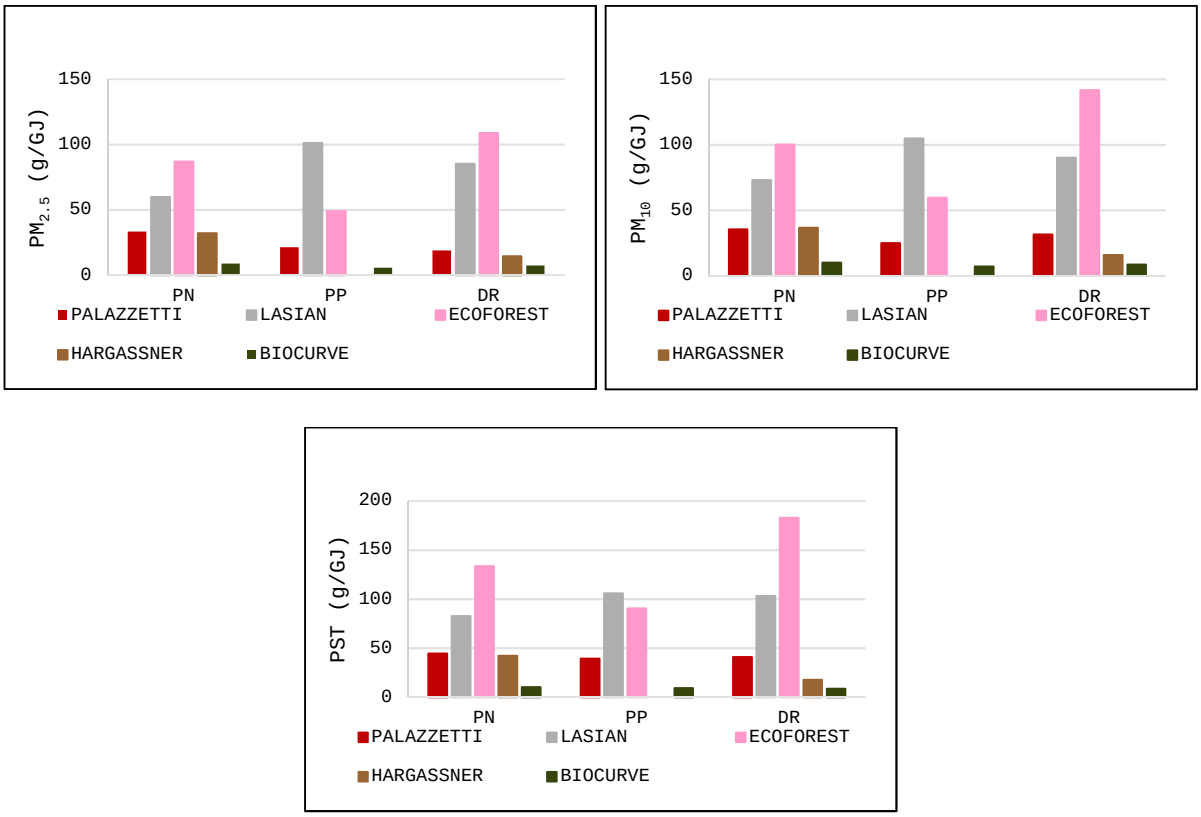


Figura 4. Factores de emisión de los equipos que utilizan pélets de madera como combustible.

La **Figura *5*** recopila los factores de emisión de los distintos combustibles probados en estufas (STOVE) y calderas de alimentación automática (SHB_A), únicamente en ensayos de demanda real (DR). Las partículas emitidas por todos los combustibles son mayoritariamente finas (<2,5 µm), lo que tiene implicaciones importantes desde el punto de vista sanitario y ambiental. Las partículas finas tienen una mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio y son más persistentes en la atmósfera, contribuyendo a la contaminación del aire y a riesgos para la salud. Este resultado indica que, independientemente del tipo de biocombustible sólido utilizado, se deben considerar estrategias de control de partículas finas para minimizar el impacto ambiental y cumplir con los límites regulatorios. La combustión de cáscara genera una alta cantidad de partículas en este trabajo, superando en general a otros tipos de combustible. El hueso de aceituna y la astilla presentan un comportamiento mejor que los pélets en algunos de los equipos probados, mostrando emisiones de partículas más bajas y una combustión relativamente más estable.

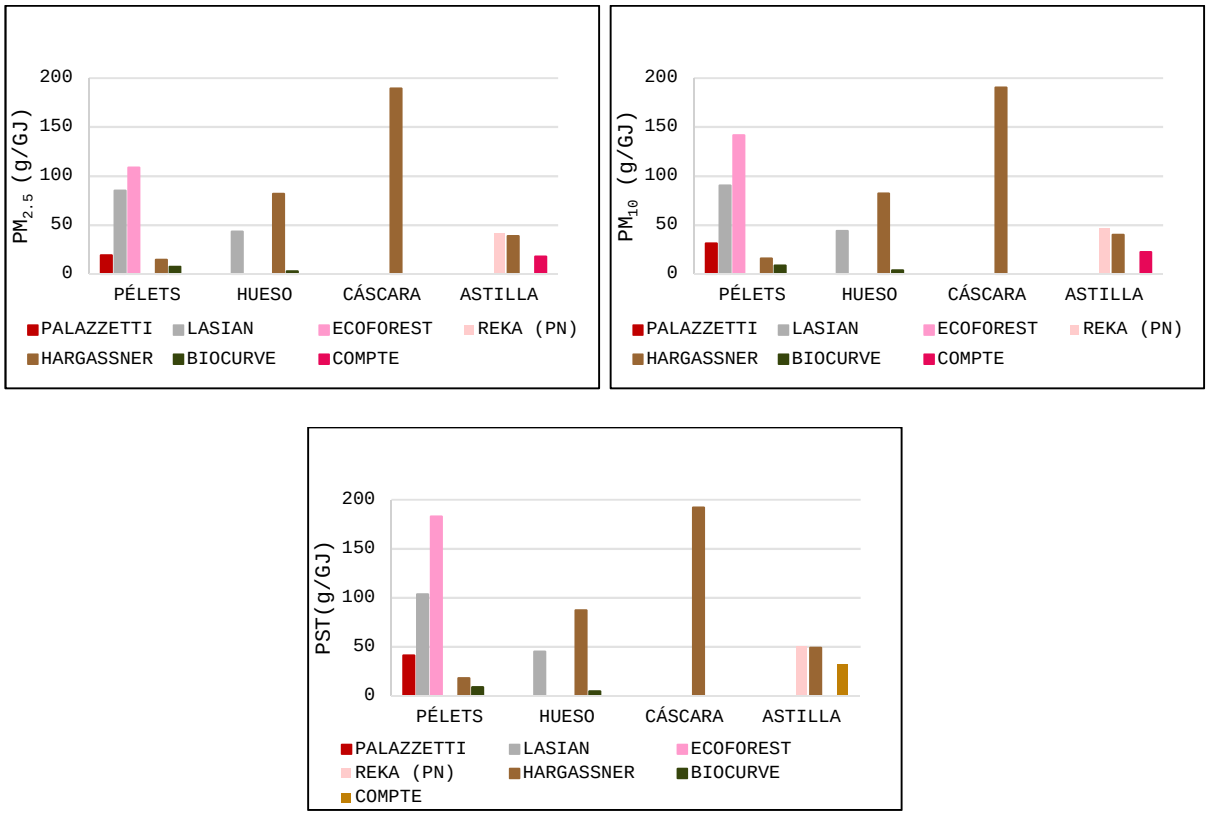


Figura 5. Factores de emisión de los distintos equipos de calefacción utilizando diferentes combustibles.

Este trabajo ha permitido definir valores actualizados de factores de emisión a utilizar en cada caso, teniendo en cuenta la información relativa al combustible y a la tecnología (tipo y antigüedad), aplicados al mercado español. En general, todos ellos mejoran los valores empleados hasta ahora en un nivel 2 de aplicación, de acuerdo a bibliografía. Se han encontrado mejoras sustanciales con variaciones de disminución hasta del 80% en estufas y calderas de alta eficacia y en el uso de hueso de aceituna como combustible.

5. Bibliografía

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 2: Combustión estacionaria. [Internet]. Ginebra, Suiza: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2006 (consultado: 15/06/2022). Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf

[2] European Environment Agency. EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report 13/2019. [Internet]. Copenhague, Dinamarca: European Environment Agency; 2019 (consultado: 06/06/2022). Disponible en: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2019

[3] European Environment Agency. EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report 06/2023. [Internet]. Copenhague, Dinamarca: European Environment Agency; 2023 (consultado: 15/10/2026). Disponible en: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023Brasier *et al.* (2103): Brasier, K.J., D.K. McLaughlin, D. Rhubart, R.C. Stedman, M.R. Filteau y J. Jacquet (2013): “Risk Percep-tions of Natural Gas Development in the Marcellus Shale”, *Environmental Practice*, 15 (2): 108-122.

[4] Nussbaumer T, Czasch C, Klippel N, Johansson L, Tullin C. Particulate emissions from Biomass Combustion in IEA Countries. Survey on Measurements and Emission Factors. [Internet]. Zurich: International Energy Agency (IEA) and Swiss Federal Office of Energy (SFOE); 2008 (consultado: 08/06/2022). Disponible en: https://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/24/2017/03/Nussbaumer_et_al_IEA_Report_PM10_Jan_2008.pdf

CONAMA 2026