

# **El metano importa:**

un enfoque integral hacia la mitigación del metano



La información incluida en este documento se ha obtenido de buena fe de fuentes que se consideran fiables, pero cualquier posible interpretación de este informe como una acusación contra una empresa o empresas específicas sería incorrecta. Los autores no aceptan ningún tipo de responsabilidad por cualquier pérdida directa como resultado de la utilización de este documento o de su contenido. Este informe ha sido redactado e investigado por la Changing Markets Foundation, Environmental Investigation Agency y la Alianza Global para las Alternativas a la Incineración.

[www.changingmarkets.org](http://www.changingmarkets.org)

[www.eia-international.org](http://www.eia-international.org)

[www.no-burn.org](http://www.no-burn.org)



Publicado en marzo de 2022

Diseño: Pietro Bruni - toshi.ltd

# Contenidos

|    |                                                                                      |           |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|    | <i>Lista de abreviaciones</i>                                                        | 4         |
|    | <b>Resumen ejecutivo</b>                                                             | <b>6</b>  |
|    | <i>Medidas para reducir las emisiones de metano por sector</i>                       | 6         |
| 1. | <b>Introducción</b>                                                                  | <b>10</b> |
| 2. | <b>Medidas contra las emisiones de metano en el sector agrícola</b>                  | <b>13</b> |
|    | 2.1. <i>Situación actual</i>                                                         | 13        |
|    | 2.2. <i>Intervenciones recomendadas</i>                                              | 16        |
|    | 2.3. <i>Beneficios derivados</i>                                                     | 20        |
| 3. | <b>Medidas contra las emisiones de metano en el sector energético</b>                | <b>23</b> |
|    | 3.1. <i>Situación actual</i>                                                         | 23        |
|    | 3.2. <i>Intervenciones recomendadas</i>                                              | 24        |
|    | 3.3. <i>Beneficios derivados</i>                                                     | 27        |
| 4. | <b>Medidas contra las emisiones de metano en el sector de los residuos</b>           | <b>29</b> |
|    | 4.1. <i>Situación actual</i>                                                         | 29        |
|    | 4.2. <i>Intervenciones recomendadas</i>                                              | 29        |
|    | 4.3. <i>Beneficios derivados</i>                                                     | 36        |
| 5. | <b>Hacia un marco de gobernanza global para el metano: acciones intersectoriales</b> | <b>41</b> |
|    | 5.1. <i>Monitoreo, reporte y verificación</i>                                        | 41        |
|    | 5.2. <i>Planes de acción nacionales sobre el metano</i>                              | 42        |
|    | 5.3. <i>Asistencia técnica y financiera</i>                                          | 42        |
| 6. | <b>Conclusión</b>                                                                    | <b>45</b> |

Lista de abreviaciones

|                   |                                                                           |       |                                                                |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------|
| DA                | Digestión anaeróbica                                                      | IMEO  | Observatorio Internacional de Emisiones de Metano              |
| CH <sub>4</sub>   | Metano                                                                    |       |                                                                |
| CO <sub>2</sub> e | CO <sub>2</sub> equivalente                                               | IPCC  | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático |
| COP26             | Conferencia de las Naciones Unidas sobre el clima 2021                    | LFG   | Gas de vertedero o residual                                    |
| FAO               | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación | GNL   | Gas natural licuado                                            |
| GEI               | Gases de efecto invernadero                                               | MRV   | Monitoreo, reporte y verificación                              |
| GMA               | Evaluación Mundial del Metano                                             | RSU   | Residuos sólidos urbanos                                       |
| Gt                | Gigatón                                                                   | Mt    | Megatón                                                        |
| HFC               | Hidrofluorocarbono                                                        | NDC   | Contribución determinada a nivel nacional                      |
| AIE               | Agencia Internacional de la Energía                                       | PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente         |

Lista de gráficos y tablas

| Figura          |                                                                                                                                                      |    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.1:     | Jerarquía de residuos para la prevención del metano                                                                                                  | 30 |
| infografías     |                                                                                                                                                      |    |
| infografía 1.1: | La ciencia del metano - Hechos clave                                                                                                                 | 12 |
| infografía 4.1: | Distribución geográfica de las emisiones de metano por sector                                                                                        | 38 |
| Tabla           |                                                                                                                                                      |    |
| Tabla 6.1:      | Cuadro resumen de medidas                                                                                                                            | 46 |
| Cuadros         |                                                                                                                                                      |    |
| Cuadro 2.1:     | Actores corporativos ajenos al metano de la ganadería                                                                                                | 15 |
| Cuadro 2.2:     | La hoja de ruta que falta                                                                                                                            | 16 |
| Cuadro 3.1:     | Priorizar a los superemisores                                                                                                                        | 27 |
| Cuadro 4.1:     | Reducción de las emisiones de metano mediante el compostaje, la bioestabilización y la cobertura biológicamente activa en el sector de los residuos. | 32 |
| Cuadro 4.2:     | Casos de éxito en India y Corea del Sur                                                                                                              | 33 |
| Cuadro 4.3:     | Evolución de la política de residuos orgánicos en el mundo.                                                                                          | 34 |
| Cuadro 4.4:     | Integración de los recicladores a la economía formal de los residuos                                                                                 | 37 |

Glosario

**Agroecología:** promueve la implementación de conceptos, principios y prácticas agrícolas ecológicas que mitiguen el cambio climático, colaboren con la vida silvestre y sean respetuosas con los agricultores y las comunidades.

**Basura cero:** se refiere a la conservación de todos los recursos gracias a la producción, consumo responsable, reutilización y recuperación de productos, envases y materiales sin quemarlos, ni verterlos en la tierra, el agua o el aire de modo que supongan una amenaza para el ambiente o la salud humana.

**Bioestabilización:** se refiere a cualquier tratamiento de aireación o mezcla para descomponer la materia orgánica restante en los residuos mezclados y reducir el potencial metano que podría generarse antes de que sean desechados en el vertedero.

**Captura de gases de vertedero:** se refiere al uso de sistemas de tuberías para recolectar el biogás generado en los vertederos para su quema o uso como combustible.

**CO2 biogénico:** el CO2 que se libera de la combustión o descomposición de la materia orgánica, como los árboles y productos alimenticios, en contraste al CO2 no biogénico que proviene de los combustibles fósiles.

**Digestión anaeróbica:** proceso por el cual los residuos orgánicos, como el estiércol animal y los restos de comida, se descomponen para generar biogás y biofertilizante.

**Drenaje:** acción de eliminar el gas con alto contenido de metano del carbón o estratos rocosos adyacentes.

**Emisiones de alcance 3:** son las emisiones indirectas que provienen de las cadenas de suministro de una empresa.

**Emisiones fugitivas:** emisiones de gases de efecto invernadero que no se producen intencionadamente.

**Eventos o infraestructura de super emisores:** corresponde a una fuente de emisiones de metano excepcionalmente grande. Estas pueden ser eventos aislados, como fugas en sitios que generan metano, o emisiones permanentes de sitios super emisores, como vertederos o explotaciones lácteas.

**Fermentación entérica:** proceso digestivo de los animales rumiantes mediante el cual los microbios del tracto digestivo descomponen y fermentan los alimentos, generando metano como resultado colateral.

**Incineración:** se refiere a la quema de residuos en instalaciones de incineración, que, a veces, utilizan el calor resultante para generar electricidad denominada “energía a partir de residuos”. Es diferente de la quema abierta, que consta en la quema de residuos no controlada, al margen del sistema formal de gestión de residuos.

**Menos y mejores carnes y productos lácteos:** se refiere a la reducción del consumo de carne y productos lácteos y a la adopción de mejores métodos de producción. “Mejor” implica que los productos cárnicos y lácteos deriven de un proceso respetuoso con el medio ambiente, que se produzcan en un sistema de baja intensidad y que favorezcan el bienestar de los animales y la salud, tales como la carne no procesada.

**Metano de mina de carbón:** se refiere al metano liberado por el carbón y los estratos rocosos adyacentes a la actividad minera.

**Mina cerrada:** aquellas minas donde la actividad de extracción ha finalizado.

**Petroquímicos:** aquellos productos químicos derivados de petróleo crudo o combustibles fósiles (carbón o gas fósil).

**Pozo de ventilación:** se refiere a un conducto vertical que traslada aire fresco al subsuelo o a eliminar el metano y otros gases de una mina de carbón subterránea.

**Quema de gases:** consiste en la combustión controlada de metano para su eliminación en un dispositivo diseñado para este fin.

**Recuperación de material y tratamiento biológico:** es un proceso de bioestabilización que consiste en separar los materiales reutilizables o reciclables de los residuos mezclados antes de proceder a la bioestabilización.

**Residuos sólidos urbanos:** refiere a los residuos comerciales y residenciales. Por lo general, no se incluyen los residuos industriales, de construcción ni peligrosos.

**Venteo o fuga:** es la liberación de metano no quemado a la atmósfera, ya sea intencionada a partir de procesos, actividades o dispositivos diseñados para tal fin, o no intencionada a partir de un mal funcionamiento o por restricciones geológicas.

**Vertederos:** se refiere tanto a los vertederos o rellenos sanitarios como a los no gestionados y a los basurales, los cuales tienen un riesgo comparable de generación de metano.

# Resumen ejecutivo

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) el cambio climático producido por las actividades humanas, que hasta ahora ha significado fenómenos meteorológicos extremos con más frecuencia e intensidad, ya tiene una repercusión nociva tanto en la naturaleza, como en la vida humana. Algunos de estos cambios son irreversibles y perjudican de forma desproporcionada a las poblaciones más vulnerables.<sup>1</sup> Entre 3.300 y 3.600 millones de personas viven en zonas y situaciones altamente vulnerables al cambio climático. El IPCC ya ha advertido que incluso la meta propuesta a nivel mundial de 1,5°C resulta una elevación de temperatura peligrosa y estaría arriesgando la vida humana y de los ecosistemas. Las acciones a realizar durante esta década serán decisivas en cuanto a la magnitud del calentamiento global en los siglos venideros.<sup>2</sup>

El metano es un gas de duración breve pero extremadamente potente: su potencial de calentamiento es 82,5 veces mayor que el producido por el CO<sub>2</sub> en un periodo de 20 años.<sup>3</sup> Se degrada en 12 años, por lo que su corta vida y rápida eliminación nos presenta una gran oportunidad para detener el ritmo del calentamiento global y lograr que nos mantengamos en un grado de calentamiento por debajo de los 1,5°C acordados a nivel mundial.

De continuar el escenario político actual, se espera que las emisiones antropogénicas de metano aumenten por encima del 15% para 2030 alcanzando casi 380 millones de toneladas por año, lo que supone un aumento del 8% respecto a los niveles de 2020.<sup>4</sup> **Se requiere un esfuerzo a nivel internacional para que las emisiones de metano disminuyan significativamente a escala mundial, y en los tres sectores que más emisiones generan : agricultura, energía y residuos.**<sup>5</sup> Por ello, más de 110 países han suscrito el “Compromiso Global del Metano” (en adelante denominado “el Compromiso”), una iniciativa lanzada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima de 2021 (COP26) celebrada en Glasgow. Su objetivo es reducir las emisiones mundiales de metano en un 30% para 2030, con respecto a los niveles del año 2020.<sup>6</sup> Si bien este compromiso va en la dirección correcta, es insuficiente para mantenernos por debajo de los 1,5°C de aumento de la temperatura acordada.<sup>7</sup> **Según la Evaluación Mundial del Metano (GMA) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, las emisiones de metano deberían reducirse en al menos un 45% durante esta década, la cual es decisiva para la acción climática.**<sup>8</sup>

A pocos años de 2030, el presente informe ofrece una serie de recomendaciones a los gobiernos sobre las acciones inmediatas que pueden realizarse a nivel nacional, señalando medidas y políticas específicas para la reducción del metano en los principales sectores emisores de este gas. Se incluyen tanto modelos desarrollados por científicos como mejores prácticas y ejemplos de políticas que ya han sido exitosas en algunos lugares del mundo. Paralelamente, las autoridades debieran mejorar la gobernanza mundial sobre el metano a modo de facilitar y apoyar las acciones a nivel de cada país, con cláusulas de monitoreo, reporte y verificación (MRV) y asistencia financiera y técnica.

## Medidas para reducir las emisiones de metano por sector

El sector agrícola es la mayor fuente de emisiones antropogénicas de metano. Necesitamos ver de qué manera producir y consumir alimentos manteniendo una temperatura global aceptable. La Evaluación Mundial del

Metano concluyó que si aplicáramos las medidas técnicas ya disponibles, las emisiones de metano en el sector ganadero se reducirían en alrededor de 30 millones de toneladas anuales de aquí al 2030.<sup>9</sup> Esta estrategia se centra en la forma de producir alimentos, contempla mejorar su calidad, y en la gestión del abono y de los arrozales. Sin embargo, dichas medidas no serán suficientes por sí solas: se requiere que los gobiernos adopten políticas que promuevan dietas más saludables con menos y mejores carnes y lácteos, y que instauren un sistema de producción de alimentos más sostenible. Es necesario, además, regular a las compañías cárnicas y lácteas para que informen y reduzcan sus emisiones de metano.

El sector energético tiene la oportunidad de mitigar significativamente sus emisiones de metano a un costo cero o muy bajo a través de la mejora de sus prácticas y de la utilización de las tecnologías ya existentes. En el caso del petróleo y el gas, esto implica la detección y reparación de fugas, establecer estándares tecnológicos y la prohibición del venteo y la quema de gases sobrantes de manera habitual, junto a la resolución del problema de los pozos inactivos, ya sea a través del taponamiento o la captura y el uso. En el caso del carbón, se contemplan medidas de venteo y quemado sistemático en los pozos de extracción y en las estaciones de drenaje y desgasificación, así como iniciativas destinadas a las minas de carbón inactivas. En conjunto con la pronta eliminación administrada de los combustibles fósiles en toda la economía, el sector energético tiene el potencial de contribuir significativamente a limitar el aumento de la temperatura de aquí a 2030 y más allá.

El sector de los residuos es la tercera fuente de emisiones antropogénicas de metano en el mundo, contribuye con aproximadamente el 20% del total de estas emisiones. Conforme a la jerarquía de los residuos, prevenir la generación de los residuos orgánicos es la herramienta más eficaz para reducir las emisiones de metano, lo que incluye la eliminación de las emisiones generadas en el proceso de su producción, gestión y transporte. La separación de los residuos orgánicos en la fuente, junto con el compostaje, la bioestabilización de los residuos y la cobertura biológicamente activa de los vertederos, podrían reducir las emisiones de metano de los residuos sólidos hasta en un 95% para 2030. Solo el compostaje, una práctica ancestral utilizada en todo el mundo, podría reducir las emisiones de metano de los residuos sólidos en un 78% para 2030. Además, estas tres medidas, la prevención de residuos, su separación en origen y el compostaje, permitirán generar más y mejores empleos que otros métodos de gestión de material orgánico. A su vez, permite que los trabajadores informales del sector de gestión de residuos tengan un modo de vida más estable y digno.

Además de las medidas que los distintos sectores pueden aplicar, cada país debería elaborar un marco común de MRV de las emisiones de metano. Para esto, el Observatorio Internacional de Emisiones de Metano podría colaborar con servicios de vigilancia y verificación por satélite, y un sistema de alerta temprana sobre los super-emisores de metano. Por otra parte, la acción colectiva sobre el metano va a requerir asistencia técnica para los responsables de gobierno y ayuda financiera para los países en vías de desarrollo.

La reducción de las emisiones de metano por parte de los principales sectores emisores tendrá también numerosos beneficios derivados, que van desde la mejora de la salud pública y la creación de puestos de trabajo hasta el ahorro de recursos para los municipios. Dado que el metano es uno de los principales contribuyentes a la formación de ozono a nivel del suelo, la reducción de las emisiones en un 45% también podría evitar 255.000 muertes prematuras y 775.000 consultas hospitalarias relacionadas con el asma cada año.<sup>10</sup> Es importante que las medidas destinadas a reducir las emisiones de metano se vean como una vía clave para la reducción de todas las emisiones de gases de efecto invernadero. Es una estrategia coherente que conduce hacia la instauración acelerada de una sociedad sin combustibles fósiles y sin residuos, con dietas sanas y ricas en plantas, que es la base para permitir sistemas de producción de alimentos sostenibles.

El presente informe entrega recomendaciones, ejemplos de políticas exitosas y una visión general del impacto de la reducción de metano en los tres sectores.



# United Nations Climate Change



**UN CLIMATE  
CONFERENCE**  
IN PARTNERSHIP WITH ITALY



# 1. Introducción

2021 fue el quinto año más caluroso de los últimos 52 años según el Servicio de Cambio Climático Copernicus de la UE, mientras que los últimos siete años figuran entre los más calurosos registrados del total.<sup>11</sup> A nivel mundial, en 2021, las temperaturas aumentaron una media de 1,2°C con respecto a los niveles de la era preindustrial.<sup>12</sup>

El calentamiento sostenido se corresponde con el consenso científico de que el aumento de los niveles de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera está provocando cambios duraderos en el sistema climático.<sup>13</sup> Mediante mediciones por satélite, el Programa Copernicus de la UE descubrió que las concentraciones de GEI siguieron aumentando durante 2021.<sup>14</sup> Mientras que el ritmo de aumento de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) parece haberse ralentizado levemente con respecto a unos años antes, dicho análisis descubrió que las concentraciones de metano crecieron al mayor ritmo en dos décadas, con un récord de 1.900 partes por billón en septiembre de 2021, el más alto en casi cuatro décadas de registros.<sup>15,16</sup>

La lucha contra el metano, el segundo gas de efecto invernadero más importante después del CO<sub>2</sub>, responsable de cerca de 0,5°C de aumento de la temperatura actual, supone una ventaja para la política climática.<sup>17</sup> Debido a que el metano es un gas de gran potencia pero de corta vida, su rápida reducción ofrece una oportunidad clave para frenar el ritmo de calentamiento en poco tiempo, mientras la sociedad sigue realizando esfuerzos importantes para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, que son más duraderas.

El IPCC señala que la magnitud de la reducción de las emisiones mundiales de metano podría decidir si el calentamiento global se mantiene por debajo de los 1,5°C, y si se alcanzarán los puntos de inflexión que precipitarían cambios irreversibles en el sistema climático.<sup>18,19</sup> A la luz de estas conclusiones, más de 110 países han suscrito el “Compromiso Global sobre el Metano” (en adelante, “el Compromiso”), una iniciativa presentada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima de 2021 (COP26), celebrada en Glasgow, que representa a *“casi la mitad de las emisiones mundiales de metano”* y al *“70% del PIB mundial”*<sup>20</sup>, cuyo objetivo es *“reducir las emisiones mundiales de metano en al menos un 30% con respecto a los niveles de 2020 para el año 2030 y avanzar hacia el uso de las mejores metodologías de inventario disponibles para cuantificar las emisiones de metano”*.<sup>21</sup>

El Compromiso marca un hito importante al comprometer a los firmantes a reducir colectivamente las emisiones antropogénicas de metano en todos los sectores. Aunque este es un primer paso para una década de creciente exigencia respecto al metano, lamentablemente el Compromiso se queda entre un 10 y un 15% por debajo de los recortes que se necesitan para garantizar sólidamente el cumplimiento del objetivo de 1,5°C.<sup>22</sup> En abril de 2021, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) determinó en su Evaluación Mundial del

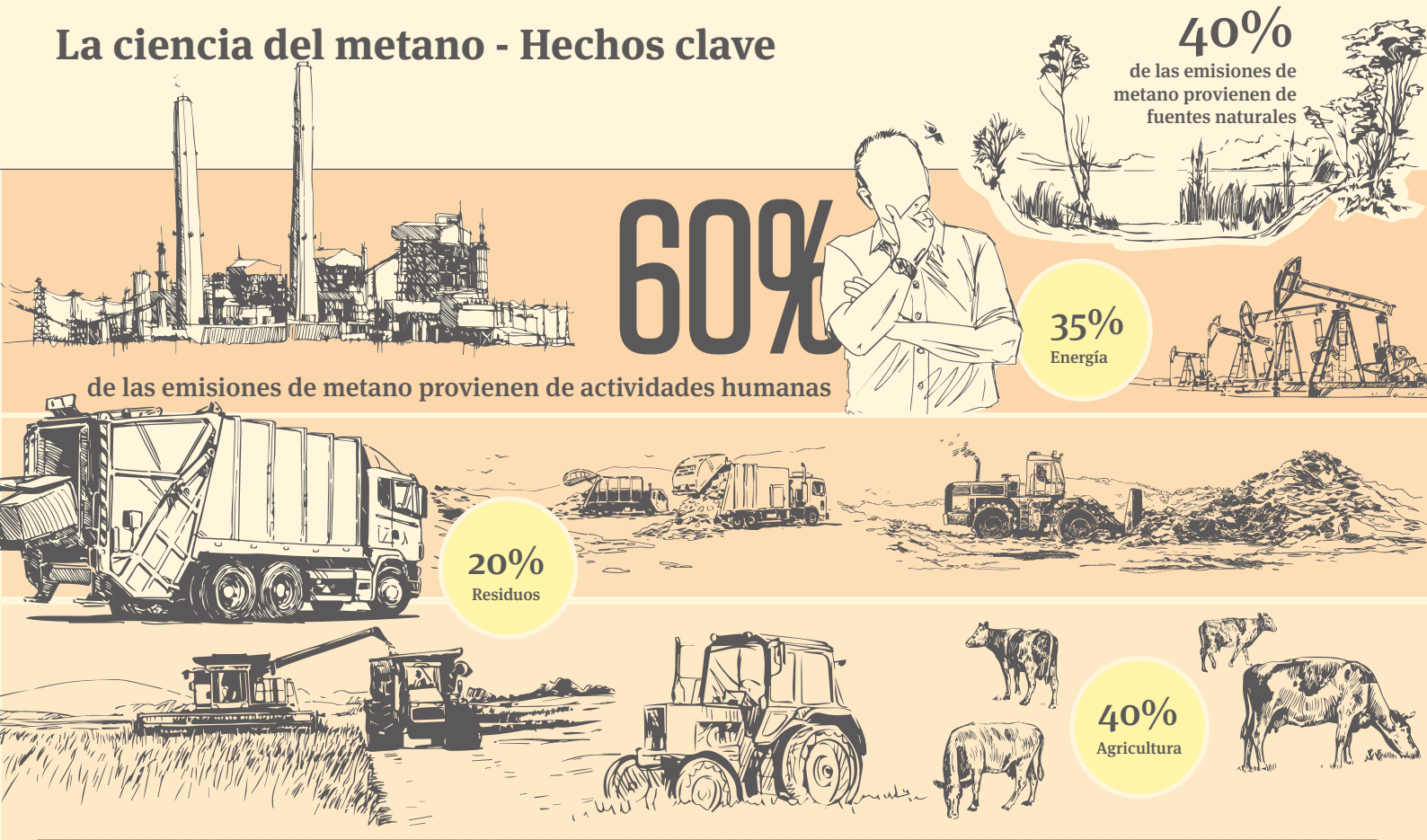
Metano (GMA) que *“las emisiones mundiales de metano deben reducirse entre un 40 y un 45% de aquí a 2030 para lograr vías de bajo coste capaces de limitar el calentamiento global a 1,5°C en este siglo”*.<sup>23</sup> Otros estudios han reforzado la idea de “al menos el 45%”. Un estudio de 2021, publicado en *Carbon Brief*, concluyó que la reducción del metano puede contribuir en gran medida a limitar el calentamiento a corto plazo, pero al utilizar un escenario de elaboración de modelos que se aproxima al impacto combinado de las actuales Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) de cada país, el estudio muestra que probablemente se necesitarían reducciones globales de metano de alrededor del 50% para 2030 para lograr una reducción de 0,2°C para 2050.<sup>24</sup>

En lo que es hasta ahora el informe más detallado sobre las posibilidades de mitigación del metano, la GMA estima que 30% del 45% necesario de reducción del metano podría lograrse con medidas ya disponibles.<sup>25</sup> Cabe destacar que el 60% de estas medidas específicas son de bajo coste y el 50% tienen un coste negativo.<sup>26</sup> Se necesitarán tanto medidas técnicas que aborden el metano directamente como medidas y políticas adicionales que influyan en la conducta y cambien los sistemas fiscales para adecuar las emisiones de metano al Acuerdo de París.<sup>27</sup>

Además, la reducción de las emisiones de metano va más allá de resolver la emergencia climática y conlleva enormes beneficios secundarios. En parte, porque el metano participa en la formación de ozono, un potente contaminante atmosférico local que provoca graves problemas de salud y causa enfermedades y muertes prematuras, así como la pérdida de cosechas agrícolas a nivel no sólo local, sino a escala geográfica mucho más amplia.<sup>28</sup> Reducir el metano en un 45% podría evitar 255.000 muertes prematuras y 775.000 visitas hospitalarias relacionadas con el asma al año,<sup>29</sup> además de aumentar el rendimiento mundial de las cosechas en 26 millones de toneladas al año.<sup>30</sup>

El metano procedente de la actividad humana se concentra en tres sectores principales: agricultura (40%), energía (35%) y residuos (20%).<sup>31</sup> Este informe establece acciones inmediatas para reducir las emisiones de metano en estos tres sectores, señalando políticas para que los responsables políticos puedan ir más allá del Compromiso. Aunque al momento de su redacción aún no está claro cómo, en caso de hacerlo, el acuerdo colectivo del Compromiso se traducirá en esfuerzos a nivel nacional, el presente informe considera que las reducciones de metano deben ser optimizadas en los tres sectores en todos los países, y complementadas con un marco de gobernanza global específico para el metano, con el fin de lograr una reducción a partir de 2030. Esto se basa en la simple noción de que cuanto más se reduzcan las emisiones de metano, más impacto tendrá en la limitación del calentamiento, lo que nos permitirá ganar un tiempo valioso mientras descarbonizamos la economía. Con un historial de objetivos incumplidos en las últimas décadas, lograr la “pausa de emergencia del metano” es una estrategia climática esencial.

La ciencia del metano - Hechos clave



El compromiso global de metano busca

REDUCIR EMISIONES EN

30%

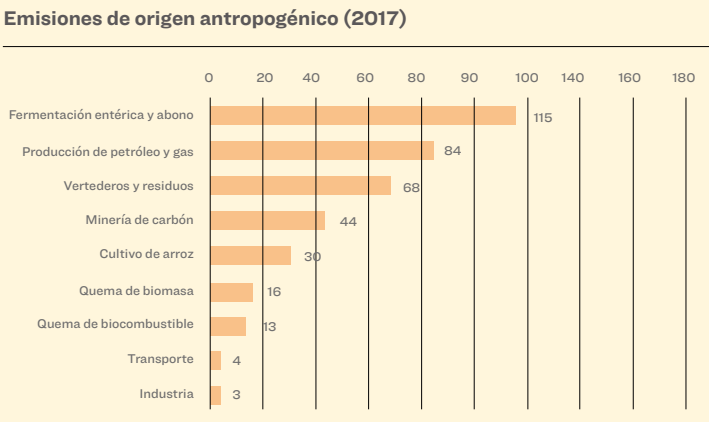
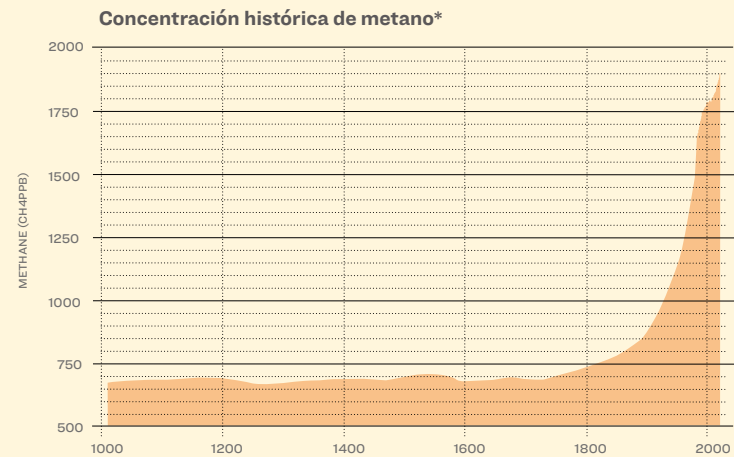
para 2030

Los científicos indican que las emisiones de metano

SE DEBEN REDUCIR EN UN

45%

para 2030



\*2 Degrees Institute. 2021.Global CH4 Levels. [Online] <https://www.methanelevels.org/>

2. Medidas contra las emisiones de metano en el sector agrícola

2.1. Situación actual

El principal contribuyente a las emisiones antropogénicas de metano es el sector ganadero. Se estima que alrededor del 32% del total de emisiones de metano producidas por el hombre provienen del sistema digestivo (llamado fermentación entérica) y de la gestión del estiércol de los grandes animales de granja (particularmente del vacuno).<sup>32</sup> Junto con el cultivo del arroz, la agricultura es responsable de cerca del 40% de las emisiones antropogénicas de metano.<sup>33</sup> Entre los principales contribuyentes se encuentran el sudeste asiático, Brasil, China y Europa, que en conjunto suman casi el 50% de las emisiones mundiales de metano procedentes de la ganadería.<sup>34</sup> Sin embargo, es importante considerar la dimensión política de las emisiones ganaderas. Por ejemplo, el Instituto de Política Agrícola y Comercial informa que la UE, EE.UU. y Nueva Zelanda concentran por sí solos el 46% de la producción mundial de lácteos, y que las empresas con sede en el Norte Global son responsables de la mayor parte de las emisiones mundiales relacionadas con la industria láctea, lo que hace que estos gobiernos sean los mejor posicionados para impulsar el cambio.<sup>35</sup>

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que en 2018 las emisiones agrícolas fueron 146 millones de toneladas. Sin embargo, de acuerdo a cálculos más recientes basados en un nuevo modelo para medir las emisiones del cultivo del arroz, la cifra estaría más cerca de los 156 millones de toneladas.<sup>36</sup> En un escenario como el actual, el aumento de la demanda de alimentos incrementará estas emisiones debido al crecimiento de la población humana y a la mayor demanda de proteína animal conforme aumentan los ingresos.<sup>37</sup> Se prevé que aumenten hasta un 38% entre 2010 y 2050, lo que significa que para 2050, si se aplica la cifra conservadora de la FAO de 146 millones de toneladas, tendremos que lidiar con aproximadamente 200 millones de toneladas de emisiones al año provenientes solo del sector agrícola. Además, un estudio reciente ha demostrado que, incluso de seguirse las vías de mitigación que limitan el calentamiento a 1,5°C, la contribución de las futuras emisiones de metano del ganado al calentamiento global para 2050 sigue siendo elevada, llegando a ser a un tercio de las futuras emisiones netas de CO<sub>2</sub>. Es decir, de no mediar acciones, las futuras emisiones de metano provenientes de la ganadería condicionarán significativamente el presupuesto de carbono restante y la consecución del objetivo de 1,5°C de temperatura del Acuerdo de París.<sup>38</sup>



CUADRO 2.1: **Actores corporativos ajenos al metano de la ganadería**

Mientras que en el sector energético las “grandes petroleras” han respondido a la presión comprometiéndose a transparentar sus emisiones de metano, la industria cárnica y láctea mundial no ha reaccionado igual. Un estudio de 2018 reveló que las cinco principales empresas cárnicas y lácteas juntas (Cargill, Dairy Farmers of America, Fonterra, JBS y Tyson) son responsables de más emisiones anuales de GEI que BP, ExxonMobil o Shell.<sup>39</sup> En 2021, la Fundación Changing Markets evaluó a 20 de las compañías cárnicas y lácteas más grandes y descubrió que ninguna informa sus emisiones de metano, ni tampoco han elaborado un objetivo o plan de acción significativo y concreto para reducirlas. Esta tendencia decepcionante se confirmó según el Índice de Productores de Proteínas FAIRR de Coller, que informa que el 86% de los principales proveedores de carne y productos lácteos (de un total de 49 evaluados) no informan ni establecen un objetivo de reducción significativo para sus emisiones de GEI, ni tampoco para las de su cadena de suministro (emisiones de alcance 3). Solo el 18% de las empresas informan parcialmente de sus emisiones de metano. FAIRR, cuya misión es apoyar y orientar a los inversores privados hacia inversión responsable, concluyó que a pesar de que existen grupos de liderazgo e innovación, el sector agropecuario no está preparado para esta década de transición en relación al cambio climático y se arriesga a perfilarse como “anticuado y de poco interés” para los inversores.<sup>40</sup>

Teniendo en cuenta el alcance de las emisiones agrícolas actuales y sus proyecciones de aumento, reducir las emisiones de metano procedentes de la actividad agropecuaria resulta fundamental para estabilizar el clima a temperaturas aceptables. Sin embargo, a pesar de las duras advertencias de los científicos, son pocos los países que han fijado objetivos o están implementando políticas para reducir las emisiones ganaderas en términos absolutos.<sup>41</sup> En 2021, la Fundación Changing Markets<sup>42</sup> analizó los informes y las políticas sobre el metano de 18 países decisivos en el debate sobre la reducción de las emisiones de la industria ganadera. Los resultados demostraron que los gobiernos aún no han comprendido la importancia de adoptar medidas drásticas para reducir los niveles de metano en general pero por sobre todo en el sector ganadero. Aunque la mayoría de los países informa sus emisiones de metano procedentes de la ganadería por separado, en algunos países éstas se han mantenido prácticamente estables o incluso han aumentado. Además, ningún país tiene un objetivo de reducción de metano con base científica que abarque todos los sectores, mientras que solo dos países (Nueva Zelanda y Uruguay) se han fijado como objetivo reducir las emisiones de metano en el sector ganadero, aunque de forma bastante débil. Si bien la gran mayoría de los países incluye a este sector en sus informes, carecen de medidas y planes de acción concretos para cambiar su forma de consumir y producir alimentos, tales como la adopción de una dieta más saludable y sustentable con menos y mejor carne y productos lácteos.

Esta falta de interés por abordar el metano agrícola también puede observarse en el Compromiso. Si bien el anuncio oficial<sup>43</sup> del Compromiso realizado por los líderes de la UE y de EE.UU. menciona expresamente la agricultura y la ganadería, las soluciones se centran en gran medida a nivel técnico (por ejemplo, los aditivos para piensos) y en incentivar la producción de biometano. No menciona la reducción mucho más significativa que podría lograrse disminuyendo el número de cabezas de ganado mediante una transición sistémica hacia dietas más saludables. Una reciente investigación de Unearthed reveló que esta omisión fue celebrada por la Asociación Nacional Cattlemen's Beef de Estados Unidos, la cual consideró “una victoria” este débil enfoque, ya que la industria ganadera y el lobby que la representa se consideran “relativamente impunes” ante el Compromiso.<sup>44</sup> Estamos ante una oportunidad perdida. La GMA concluyó que las medidas técnicas específicas, que ya están disponibles, podrían reducir las emisiones de metano en el sector ganadero ruminal en unos 30 millones de toneladas al año para 2030. Sin embargo, implementar medidas políticas para influir en el comportamiento humano, incluyendo la transición hacia dietas más saludables, podría reducir las emisiones en otros 65 a 80 millones de toneladas en las próximas décadas. Esto supone casi la mitad de los 180 millones de toneladas de la reducción anual que se necesita para evitar un calentamiento global de 0,3°C en la década de 2040, lo cual sería una gran contribución a los esfuerzos mundiales para limitar cualquier aumento de temperatura a 1,5°C.



El metano importa: un enfoque integral hacia la mitigación del metano

2.2. Intervenciones recomendadas

Los autores de la GMA confirman que para lograr una reducción del 45% para 2030, se necesita que todos los sectores implementen una combinación de medidas específicas y medidas adicionales, es decir, aquellas que reducen el metano sin centrarse en él, especialmente en el de la agricultura. Esto, porque las soluciones técnicas para reducir el metano asociado a la ganadería no están tan disponibles como lo están otras medidas en los otros grandes sectores emisores de metano.<sup>45</sup>

Crédito: Shutterstock

CUADRO 2.2: La hoja de ruta que falta

FAIRR, una red de inversores integrada por miembros que representa inversiones de 48 billones de dólares, informó que los inversores están preocupados por la falta de una hoja de ruta política clara para que el sector agrícola se alinee con el objetivo de los 1,5°C.<sup>46</sup> Mientras que el sector energético cuenta con un plan de trabajo claro establecido en la iniciativa “Cero neto para 2050” de la Agencia Internacional de la Energía, los inversores solicitan uno similar para el sector de la agricultura y el uso de suelo. Esta herramienta ayudaría a evaluar con mayor precisión los riesgos de los activos bloqueados y a desviar el capital para priorizar la inversión en sectores que ofrecen oportunidades, como el de la proteína sustentable.

2.2.1. Medidas específicas para el sector ganadero

Para lograr que el aumento de la temperatura global no supere los 1,5°C<sup>47</sup> es vital cambiar la forma de producción de carne y lácteos en línea con el enfoque “mejor carne y lácteos”.<sup>48</sup> Mejorar la producción debe complementarse con una reducción de la demanda de productos animales de acuerdo a las directrices nutricionales. Al abordar las emisiones de metano del ganado en particular, los gobiernos deben plantearse la adopción de las siguientes medidas dirigidas a los productores y procesadores para reducir las emisiones de los proveedores.

El metano importa: un enfoque integral hacia la mitigación del metano

Las acciones técnicas de reducción del metano en el sector ganadero se concentran principalmente en tres áreas: la alimentación, la salud y cría de animales, y la mejora de la gestión del estiércol. Aunque algunas de estas soluciones podrían ofrecer vías de mitigación rentables, cabe señalar que existen diferencias significativas en la mitigación estimada que puede lograrse con los métodos actualmente disponibles y el costo que conllevan,<sup>49</sup> por lo que deben aplicarse junto con otras medidas adicionales (véanse las secciones siguientes).

2.2.1.1. Calidad del pienso, aditivos y suplementos

Los aditivos y suplementos para piensos que reducen el metano están diseñados para inhibir las bacterias del rumen y así reducir las emisiones de metano entérico. Aunque algunos parecen promisorios, muchos de estos nuevos aditivos están en las primeras etapas de desarrollo y su eficacia aún no ha sido probada.<sup>50</sup> En febrero de 2022, el aditivo para piensos Bovaer fue autorizado para su comercialización en el mercado de la UE,<sup>51</sup> tras las aprobaciones previas en Chile y Brasil.<sup>52</sup>

2.2.1.2. Cría y salud de los animales

Una manera de contribuir a reducir las emisiones de metano es mejorar la salud de los animales, lo cual conlleva un aumento en la productividad. Esto incluye la cría selectiva, el aumento del uso de los servicios veterinarios y la planificación proactiva de la salud del rebaño. Sin embargo, el acceso (y el costo) a estas herramientas varía en todo el mundo.<sup>53</sup>

2.2.1.3. Mejorar la gestión del estiércol

El estiércol genera alrededor del 10% de las emisiones del sector ganadero.<sup>54</sup> Existen soluciones para reducir el metano mediante una mejor gestión del estiércol. Entre las mejores prácticas actuales se encuentran la cobertura del estiércol almacenado al aire libre y la reducción del tiempo de almacenamiento, así como filtrar la ventilación en las instalaciones de almacenamiento.<sup>55</sup> La conversión a biogás mediante el uso de digestores anaeróbicos también ha sido promovida por la industria y los responsables políticos como motor de una economía más circular y de agregado de valor a los residuos agrícolas. Sin embargo, su instalación en los establecimientos agropecuarios continúa presentando obstáculos importantes (económicos, institucionales y técnicos) tanto en los países desarrollados como en los en vías de desarrollo,<sup>56</sup> además de los riesgos asociados a la producción de



Crédito: Shutterstock

biogás: el transporte del biometano es caro y complejo. Los digestores que no se mantienen adecuadamente pueden, también, registrar fugas (lo que reduce el ahorro de emisiones), explotar o averiarse.<sup>57</sup> Más importante aún, según los grupos ecologistas, quienes reconocen los beneficios del biogás, la digestión anaeróbica (DA) podría convertirse en una subvención adicional para las explotaciones industriales de agricultura intensiva, mientras sigue sin abordar problemas más amplios asociados a la ganadería industrial aparte de las emisiones de metano, como el bienestar animal.<sup>58</sup>

2.2.1.4. Reducción del tamaño del rebaño

A pesar de que las medidas técnicas tienen limitaciones y son inciertas en cuanto a la disminución de las emisiones, la reducción del número de animales es la solución más significativa para reducir las emisiones del sector ganadero en términos absolutos. Así lo ha reconocido recientemente el gobierno de los Países Bajos al considerarlo un medio para reducir las emisiones de otro gas de efecto invernadero muy potente y habitual en la ganadería: el óxido de nitrógeno. Los Países Bajos, uno de los mayores productores y exportadores de carne y productos lácteos de Europa, han anunciado un plan de 25.000 millones de euros para reducir el número de cabezas de ganado en un 30% y frenar la contaminación por amoníaco debida a la saturación de estiércol.<sup>59</sup> En una línea similar, Alemania anunció planes para reducir el número de cabezas de ganado en las granjas.<sup>60</sup> Esto es fundamental para lograr un sistema alimentario en el que se adopte el principio de “menos pero mejor carne”, el cual además conllevaría una serie de beneficios complementarios.

2.2.1.5. Objetivos climáticos obligatorios para la industria cárnica y láctea

La industria de producción cárnica y láctea es un sector sumamente concentrado donde un puñado de empresas acapara la gran mayoría del mercado y produce la mayor parte de las emisiones.<sup>61</sup> Sin embargo, los gobiernos pueden impulsar la transición si obligan a las empresas radicadas en su jurisdicción a fijar objetivos climáticos basados en la ciencia, en los que se incluyan las emisiones de alcance 3, además de planes de acción para alcanzar dichos objetivos. Estos planes deben contemplar medidas concretas para reducir las emisiones de forma absoluta y medidas específicas para mitigar las emisiones de metano, además de la presentación de informes exhaustivos sobre el tema.

2.2.2. Gestión de arrozales

Por lo general, mientras más se sostenga la inundación permanente de los arrozales, mayores serán las emisiones de metano. Por lo tanto, cualquier técnica que reduzca la práctica de la inundación permanente supone una reducción de las emisiones de metano.<sup>62</sup> Se deben promover soluciones para la gestión del agua en los campos de arroz, como el drenaje a mitad de temporada y el riego intermitente.<sup>63</sup> Adicionalmente, cada vez hay más pruebas de que el arado con paja de arroz durante la temporada baja reduce las emisiones de metano a la mitad en comparación con el arado durante la temporada de cultivo de arroz.<sup>64</sup>



Las medidas específicas recién señaladas deben ser parte de un conjunto más amplio de medidas que apunten a la transición del sistema agrícola alimentario industrial hacia la agroecología. Esta abarca la agricultura orgánica, la permacultura y otras técnicas de cultivo al tiempo que promueve la conservación de la biodiversidad y la habilitación de hábitats para la fauna local. Este tipo de agroecología está ganando adeptos y varios estudios ya han confirmado sus beneficios. Además han podido demostrar que en Europa es factible proporcionar alimentos sanos y culturalmente diversos al tiempo que se mantiene la capacidad de exportación y se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero del sector agrícola en un 40%.<sup>65</sup>

2.2.3. Políticas diseñadas para influir en la demanda y el comportamiento de los consumidores

Junto a las medidas específicas indicadas anteriormente, la adopción de políticas que incidan en cambiar comportamientos no exclusivamente centrados en el metano, como son la reducción del desperdicio y la pérdida de alimentos (tratada en la sección 4 sobre residuos) y la adopción de dietas saludables (dietas basadas en plantas o con un menor contenido de carne y lácteos), podría contribuir a reducir las emisiones globales de metano de manera drástica. En el contexto de la agricultura, en el que las medidas técnicas dejan una gran parte de las emisiones pendientes, la reducción de la demanda de carne y lácteos puede desempeñar un papel importante.<sup>66</sup>

2.2.3.1. Políticas para promover dietas más saludables

Se prevé que el consumo mundial de carne aumente un 1,4% anual hasta 2023<sup>67</sup> y, según esta proyección, la producción ganadera asociada podría absorber el 49% del presupuesto de emisiones de GEI para 2030 que permite la meta de 1,5°C.<sup>68,69</sup> Por eso, centrar la atención en las iniciativas que buscan reducir el consumo de carne y productos lácteos resulta crucial.<sup>70,71</sup> Un estudio realizado en 2022 reveló que si 54 naciones de altos ingresos adoptaran la dieta de salud planetaria de EAT-Lancet (basada principalmente en plantas), se podrían reducir las emisiones de su producción agrícola anual en un 61%, mientras que se podrían retener hasta 98,3 gigatoneladas (Gt) de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e), lo que representa aproximadamente 14 años de emisiones agrícolas mundiales actuales.<sup>72</sup> Entre las estrategias gubernamentales que dan forma a los entornos alimentarios deberían figurar los resultados deseados para que los alimentos más sanos y ricos en plantas sean más accesibles, asequibles y convenientes, poniendo especial atención a los grupos más vulnerables. Dichas estrategias, que tendrían que equilibrar medidas tanto que permitan como que restrinjan las opciones de los consumidores, deberían implantarse antes que todo en los países en los que existe un claro exceso de consumo de carne y productos lácteos por encima de la ingesta recomendada (sobre todo en Europa y América), y en los que la seguridad alimentaria no dependa del ganado para satisfacer las necesidades nutricionales básicas. Por lo tanto, estos gobiernos deberían empezar con la incorporación de elementos de sustentabilidad en sus pautas de salud alimentaria, ya que éstas tienen el potencial de “guiar a las instituciones, tanto públicas como privadas, en el establecimiento de los parámetros de los entornos alimentarios, que a su vez influyen en aquello que compramos y comemos”<sup>73</sup> a la vez que deben adoptar estrategias de apoyo

Crédito: Shutterstock

para su implementación. Por ejemplo, las compras públicas pueden ser decisivas para implantar la demanda de productos de origen vegetal en lugar de productos cárnicos. Esto implica el diseño de normas jurídicamente vinculantes sobre la compra pública de alimentos en todas las instituciones públicas: las escuelas, los hospitales, las instituciones gubernamentales, las prisiones y los comedores públicos pueden elegir entre incorporar días sin carne (como en el 40% de los municipios suecos)<sup>74</sup>, aumentar las porciones de verduras en los platos, añadir más opciones a base de plantas u ofrecer una comida de base vegetal como el especial del día, todo lo cual ayudaría a normalizar las opciones con alto contenido en plantas, destacar el cambio de tendencia y reforzar las políticas pertinentes. Asimismo, los gobiernos pueden imponer como objetivo nacional la disminución de la venta de carne en los supermercados y terminar con las subvenciones a las prácticas perjudiciales de la agricultura intensiva. Por último, deben también contemplar medidas fiscales, desde incentivos (recompensas de valor monetario como subvenciones o vales) hasta medidas disuasorias como un impuesto sobre los productos cárnicos. Una encuesta reciente demostró que el 70% de los habitantes de Europa occidental apoyaría un sistema fiscal que encareciera productos como la carne y redujera los impuestos sobre productos saludables como las frutas y verduras.<sup>75</sup>

2.2.3.2. *Investigación y elaboración de alimentos de origen vegetal y otros análogos de la carne*

En su informe, Changing Markets descubrió que 18 de las 20 empresas evaluadas han realizado al menos alguna inversión en alternativas cárnicas vegetales y cultivadas.<sup>76</sup> Es un área en crecimiento: a nivel mundial, la industria de los sustitutos de la carne estaba valuada en 20.700 millones de dólares en 2020, mientras que para 2024 se espera que aumente hasta los 23.200 millones de dólares.<sup>77</sup> Aunque a nivel global las dietas basadas en plantas son todavía un nicho si se compara con el crecimiento general del consumo de carne, no deja de ser un mercado con potencial de crecimiento gracias a la innovación. Como consecuencia, los precios serían cada vez más competitivos y habría una mayor oferta de productos proteicos alternativos. Es más, esta tendencia podría acelerarse con el apoyo de políticas públicas que aborden las preocupaciones climáticas, ambientales y sanitarias, y garantizar así el avance de esta industria.<sup>78</sup> No obstante, esta inversión debe vincularse con políticas públicas destinadas a reducir el consumo de carne y a promover dietas saludables, ya que, hasta ahora, los compromisos asumidos por el sector cárnico para invertir en alimentos de origen vegetal son insuficientes y no apuntan a una verdadera sustitución de los alimentos de origen animal.<sup>79</sup>

2.3. Beneficios derivados

Las medidas destinadas a reducir las emisiones de metano provenientes de la agricultura, ya sean específicas o de comportamiento, permiten potenciar una serie de beneficios asociados. En particular, la reducción de la producción y el consumo de carne y productos lácteos conlleva lo siguiente:

2.3.1. *Mejora en la salud pública*

La Comisión EAT-Lancet constató que, a nivel mundial, el consumo de carne roja es mucho más elevado de lo que se considera saludable y sustentable. Sin embargo, el consumo excesivo no es homogéneo en todo el mundo: en Norteamérica la cantidad consumida es seis veces mayor al límite saludable; en Europa y Asia central es cuatro veces mayor, mientras que América Latina ocupa el tercer lugar, justo después de Europa, excediendo el límite necesario para una dieta saludable y sustentable. El sur de Asia es actualmente el lugar de menor consumo de carne roja en el mundo, mientras que los niveles de consumo se consideran sustentables y saludables en el África subsahariana.<sup>80</sup> Hay una serie de pruebas acumuladas que demuestran una clara relación entre el alto consumo de carnes rojas y procesadas y un mayor riesgo de enfermedades cardíacas, ciertos tipos de cáncer, diabetes y muerte prematura.<sup>81</sup> Por lo tanto, reducir el consumo excesivo de carne roja también debería ser una prioridad desde el punto de vista de salud pública y puede contribuir significativamente a disminuir el gasto público de muchos países.

2.3.2. *Reducción de otras emisiones de GEI asociadas a la producción de carne: CO2 y óxido nitroso*

El sistema alimentario mundial es responsable de más de un tercio de las emisiones antropogénicas de GEI, pero la producción de carne en particular juega un papel desproporcionado, ya que la ganadería, así como la alimentación del ganado, es responsable del 57% de todas las emisiones de la producción de alimentos.<sup>82</sup> La diferencia de emisiones entre la producción de carne y la de plantas es muy marcada: al producir 1 kg de trigo se emiten 2,5 kg de GEI, mientras que un solo kilo de carne vacuna genera más de 70 kg de emisiones.<sup>83</sup> La carne de vacuno representa por sí sola una cuarta parte de las emisiones producidas por la cría y el cultivo del alimento.<sup>84</sup> Además, el abono nitrogenado utilizado para el pastoreo del ganado libera CO<sub>2</sub> y óxido nitroso.<sup>85</sup> Este último gas es muy potente y también se emite por el estiércol almacenado.<sup>86</sup> La reducción de la producción de carne ayudaría, por tanto, a reducir otros GEI nocivos.

2.3.3. *Un uso de suelo más justo y sustentable*

En el mundo, cerca del 80% del suelo agrícola se utiliza para criar animales o para los cultivos para alimentarlos. Sin embargo, el ganado produce menos del 20% del suministro mundial de calorías.<sup>87</sup> Los animales grandes, como el ganado vacuno, necesitan más tiempo para crecer y reproducirse, lo que significa que su producción requiere más alimento y suelo que la de otro tipo de animales. El cambio de uso de suelo para la producción de carne de vacuno y la alimentación de los animales es una de las principales causas de deforestación en muchas regiones tropicales, a menudo las más vulnerables al cambio climático. La deforestación, al implicar la liberación de reservas de CO<sub>2</sub> almacenadas durante mucho tiempo, está estrechamente relacionada con el calentamiento global (véase la sección anterior). Se necesita alrededor de 100 veces más superficie de suelo para producir una kilocaloría de carne de vacuno o de cordero que las alternativas vegetales, así como se necesita casi 100 veces más superficie para producir un gramo de proteína de carne de vacuno o de cordero que de guisantes o tofu.<sup>88</sup> El alto cambio de uso de suelo para la producción ganadera, además de provocar deforestación y conflictos con las comunidades locales y los grupos indígenas en algunas partes del mundo,<sup>89</sup> está también asociado a la erosión del suelo (ya sea por el monocultivo o el sobrepastoreo)<sup>90</sup> y a las zonas muertas en el océano. Si bien hay que destacar que no todo el uso de la tierra para la producción ganadera podría utilizarse para cultivar otro tipo de alimentos, sí hay estudios pioneros<sup>91</sup> que demuestran que se podría alimentar a todos los habitantes del mundo con una dieta nutritiva con las tierras de cultivo existentes si se produjera un cambio generalizado hacia dietas basadas en plantas. Cabe destacar que todavía se reduciría enormemente el uso de la tierra incluso sin una dieta totalmente vegana: si se eliminara únicamente la carne de vacuno y de cordero, se liberaría cerca de la mitad del uso actual de la tierra agrícola.<sup>92</sup>

### 3. Medidas contra las emisiones de metano en el sector energético

#### 3.1. Situación actual

A nivel mundial, el sector energético emite cerca de 129 millones de toneladas de metano al año.<sup>93</sup> En el caso del gas, que es predominantemente metano, las emisiones se producen a lo largo de toda la cadena de suministro: extracción, procesamiento, licuefacción, regasificación, transmisión, almacenamiento y distribución. En el caso del petróleo y el carbón, de los que el metano es un producto secundario o subproducto, sus emisiones se producen principalmente en la plataforma petrolífera o en la mina de carbón, o en sus alrededores, durante la extracción y el procesamiento. El sector energético ha sido identificado como uno de los principales causantes de la rápida aceleración del metano atmosférico. Aun así, las emisiones de metano han estado crónicamente por encima de lo declarado, y la Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima que las emisiones del sector energético en 2021 fueron aproximadamente un 70% superiores a las informadas por los gobiernos nacionales.<sup>94</sup>

Para mantenernos dentro de la meta de los 1,5°C, la GMA confirma que se requiere reducir las emisiones mundiales de metano en un 40-45% para 2030. En el sector energético, la mitigación de las emisiones de metano, junto con el rápido despliegue de tecnologías limpias y eficientes, podría reducir la contribución del sector en aproximadamente un 75% entre 2020 y 2030, de forma rentable.<sup>95</sup> GMA constató que más del 80% de la mitigación de este sector podría efectuarse a un costo negativo o bajo, con reducciones adicionales idóneas para 2040 y 2050, en línea con los objetivos de neutralidad climática, lo que hace que el sector energético sea muy atractivo para los responsables políticos.<sup>96</sup> Para ello, sin embargo, los países tendrán que elaborar e implementar políticas y medidas para reducir las emisiones de metano procedentes de la extracción de petróleo, gas y carbón y de las infraestructuras, tanto a nivel nacional como internacional.

En 2021, China fue el principal emisor de metano en el sector energético seguido de Rusia y Estados Unidos.<sup>97</sup> Por otra parte, si bien algunos países y regiones como la UE no producen grandes cantidades de emisiones de metano dentro de sus fronteras, sí son en gran parte responsables de la producción de emisiones en el extranjero al importar combustibles fósiles de países con emisiones elevadas de metano sin solicitar requisitos de acceso al mercado.<sup>98</sup> Aunque algunos países han tomado medidas para reducir las emisiones de metano del sector energético como Noruega, donde hace décadas impusieron límites a la quema rutinaria, o la UE, Canadá y EE.UU. que recién anunciaron nuevas regulaciones, todavía queda mucho por hacer, además de elaborar una estrategia considerablemente más sistemática.<sup>99,100,101,102</sup>

3.2. Intervenciones recomendadas

En el sector energético los planes de acción nacionales sobre el metano deberían constar de distintas estrategias con políticas diseñadas para reducir las emisiones de metano procedentes de los combustibles fósiles.

3.2.1. Eliminación de la producción y el consumo de combustibles fósiles

La vía más decisiva y directa para reducir las emisiones de metano procedentes del sector energético es, sin duda, la eliminación progresiva de los combustibles fósiles, que, a su vez, resulta esencial para transitar hacia una economía con bajas emisiones de carbono durante las próximas décadas. Para ello, junto con las medidas de mitigación de las emisiones de metano en el petróleo, el gas y el carbón (véanse las secciones siguientes), los países tendrán que elaborar e implementar medidas que permitan una retirada rápida de los combustibles fósiles, manteniendo el metano en el suelo. Por el lado de la provisión, esto incluye el cese inmediato de nuevas exploraciones y producciones y la rápida eliminación de la producción existente, en línea con los objetivos del Acuerdo de París. Dicha eliminación podría adoptar un enfoque basado en el peor de los casos: la retirada de una cuarta parte de la capacidad mundial de las minas de carbón con la tasa más alta de fugas, reduciría a la mitad las emisiones de metano de las minas de carbón.<sup>103</sup> Por el lado de la demanda, esto incluye planes sectoriales integrales para eliminar gradualmente el consumo de combustibles fósiles, con plazos y objetivos adaptados a cada sector (por ejemplo, electricidad, calefacción, industria y transporte) y el despliegue de alternativas.

3.2.2. Mitigación del metano del petróleo y el gas

Si bien las medidas para hacer frente a las emisiones de metano procedentes del petróleo y el gas son conocidas y ya han sido comprobadas, aún falta que todos los países y actores industriales las integren. Dado que es imposible evitar las emisiones de metano procedentes de la extracción de petróleo, gas y de las infraestructuras asociadas, la única manera de prevenir realmente la contaminación por metano es evitar la extracción de petróleo y gas en primer lugar.

3.2.2.1. Detección y reparación de fugas

Las emisiones fugitivas de metano agudizan el efecto del petróleo y el gas en el clima. Por ejemplo, si las fugas a lo largo de la cadena de suministro superan el 3%, el impacto climático del gas es peor que el del carbón en la generación de energía.<sup>104</sup> La detección y reparación obligatoria de fugas es, por tanto, una de las principales herramientas para mitigar las emisiones de metano en la extracción activa de petróleo y gas y en su infraestructura, junto con el establecimiento de requisitos mínimos para las verificaciones, los periodos de reparación, las nuevas inspecciones, los inventarios de emisiones, el seguimiento de los registros y la presentación de informes. Una mayor frecuencia de detección y reparación de fugas conlleva una mayor reducción de las emisiones de metano: 40% para las comprobaciones anuales, 60% para las semestrales, 80% para las trimestrales y 90% para las mensuales.<sup>105</sup> Las quejas de los ciudadanos y las investigaciones científicas como los sobrevuelos, el seguimiento por satélite y las visitas a las instalaciones, permiten informar a los reguladores y a los operadores sobre las emisiones.



3.2.2.2. Venteo y quema de gases sobrantes

Otra herramienta fundamental para reducir las emisiones de metano es la limitación del venteo y la quema rutinaria de gases sobrantes. El venteo es la liberación intencionada de metano a la atmósfera, mientras que la quema consiste en la combustión del gas y es también una fuente de carbono negro, otro gran contaminante. Salvo en contadas excepciones, el venteo rutinario debe prohibirse y los equipos diseñados para este fin se deben sustituir. La quema solo debe permitirse cuando no sea posible la reinyección, la utilización in situ o el envío al mercado. Para evitar el escape de metano durante la quema inevitable, se deben establecer normas de eficiencia para controlar la cantidad de metano quemado y reducir el “escape de metano”.

3.2.2.3. Normas tecnológicas

Las normas tecnológicas reducen las emisiones asociadas al funcionamiento normal de ciertos equipos, como los compresores y los dispositivos neumáticos, al obligar a utilizar y sustituir los componentes de mayor emisión por alternativas de menor emisión. La AIE ha constatado que hay “una serie de tecnologías alternativas que pueden realizar la misma función que estos componentes, pero con emisiones más bajas o nulas” y, por lo tanto, “las normas que limitan las emisiones de ciertos tipos de equipos o que exigen su sustitución por alternativas de emisiones más bajas o nulas pueden reducir las emisiones considerablemente”.<sup>106</sup>

3.2.2.4. Pozos inactivos

Los pozos inactivos son una amenaza para el clima, ya que si no son rehabilitados, recuperados o taponeados adecuadamente, ni son controlados, emiten metano. En Estados Unidos, por ejemplo, hay alrededor de 3,2 millones de pozos de petróleo y gas inactivos que en 2018 emitieron 281 kilotonnes o el equivalente a 6,3 megatonnes (Mt) de CO<sub>2</sub> e en conjunto (aunque los reguladores estadounidenses señalan que esa cifra podría ser hasta tres veces mayor).<sup>107</sup> Urge realizar inventarios de los pozos inactivos y adoptar políticas que garanticen su rehabilitación, recuperación o taponamiento y control.

3.2.3. Mitigación del metano procedente del carbón

Las emisiones de metano procedentes del carbón están principalmente ligadas a la actividad minera subterránea. Tanto en las minas de carbón activas como en las inactivas, la gran mayoría de las emisiones de metano se produce a través de los pozos de ventilación y de las estaciones de drenaje y desgasificación, que constituyen las principales vías para reducir las concentraciones de metano.<sup>108</sup> En 2018, la AIE estimó que 40 millones de toneladas de metano se filtraron de minas de carbón operativas,<sup>109</sup> superando el impacto climático producido por el transporte marítimo y la aviación juntos. Por otra parte, las minas de carbón inactivas también emiten emisiones de metano. Solo en EE.UU., el número total de minas de carbón en producción se ha reducido en un 62% desde 2008; abordar el tema de las minas cerradas es cada vez más urgente, ya que cada vez se cierran más minas de carbón.

3.2.3.1. El vaciado en los pozos de ventilación

Las minas subterráneas cuentan con sistemas de ventilación donde los ventiladores bombean aire atmosférico hacia la mina, diluyendo el metano que se desprende de los filones de carbón durante la actividad minera. La mezcla resultante se expulsa en forma de gases de escape a través de los pozos de ventilación, lo que se conoce como metano de aire de ventilación. Este gas ventilado contiene concentraciones diluidas de metano, a menudo inferiores al 0,5%,<sup>110</sup> que puede destruirse por oxidación.<sup>111</sup> Por lo tanto, la ventilación por pozos debe prohibirse y el metano debería eliminarse o recogerse e integrarse en el sistema de distribución de gas.

3.2.3.2. Venteo y quema en las estaciones de drenaje y de desgasificación

Las minas de carbón disponen de estaciones de drenaje y desgasificación para recoger y reducir las concentraciones de metano en el aire. El venteo y la quema de gas sobrante en estas estaciones también debería prohibirse, salvo en casos de emergencia. A cambio, el metano podría capturarse y utilizarse para la generación de energía o bien para eliminarse. Un drenaje eficaz del gas también reduce el riesgo de estallidos o explosiones.<sup>112</sup>

3.2.3.3. Minas de carbón inactivas

Hay muchas minas de carbón abandonadas o sin utilizar en todo el mundo que continúan emitiendo gases mucho después de su uso. Se calcula que, incluso diez años después de que haya cesado la explotación, el metano de las minas no inundadas se emite en aproximadamente un 40% de las emisiones registradas al momento del cierre.<sup>113</sup> Se recomienda realizar un inventario de minas de carbón inactivas e implementar políticas bien para inundarlas o para capturar y utilizar el metano que se escapa de estas.

3.2.4. Emisiones de metano asociadas a las importaciones

Los grandes importadores podrían tener un papel importante en la reducción de las emisiones de metano a nivel mundial. Muchos de los mayores consumidores de combustibles fósiles no los producen ellos mismos, sino que los importan. Por ejemplo, la UE depende de las importaciones para el 70% de su consumo de hulla, el 97% de su consumo de petróleo y el 90% de su consumo de gas.<sup>114</sup> Según la AIE, las importaciones de petróleo y gas de la UE en 2020 aportaron unas 9.000 Mt de emisiones de metano (252Mt de CO<sub>2</sub>e),<sup>115</sup> superando las emisiones de CO<sub>2</sub> de 56 centrales eléctricas de carbón.<sup>116</sup> Esta cifra es diez veces superior a las 1 Mt (25,8Mt de CO<sub>2</sub>e) de emisiones de metano procedentes del petróleo y del gas que se producen en la UE.<sup>117,118</sup> Por su parte, Japón es el quinto consumidor de gas y el mayor comprador de gas natural licuado (GNL), y sus importaciones representan alrededor del 21% de las importaciones netas mundiales de GNL.<sup>119</sup> En 2019, Japón fue el quinto consumidor de petróleo, el cuarto importador de crudo y el tercer importador de carbón.<sup>120</sup> Para los principales importadores, las políticas mencionadas que se recomiendan a nivel nacional deberían extender su cobertura a las importaciones como una condición para el acceso al mercado.

3.2.5. Productos petroquímicos

Los productos petroquímicos representan el 14% y el 8% de la demanda primaria total de petróleo y gas, respectivamente, y pasarán a ser el mayor impulsor de la demanda mundial de petróleo, incluso antes que los camiones, la aviación y el transporte marítimo.<sup>121</sup> Dado que el petróleo y el gas contribuyen de forma significativa a las emisiones de metano -y la nafta y los líquidos de gas natural que se encuentran en el petróleo y el gas son productos utilizados para producir productos petroquímicos- el sector petroquímico debería estar sujeto a las mismas medidas que el sector energético. Abordar las emisiones de metano de la producción petroquímica es también un primer paso fundamental para reducir el impacto climático global de los plásticos, que según los cálculos, generarán 56.000 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>e para 2050, lo que corresponde a alrededor del 10 y el 13% del presupuesto mundial de carbono establecido para no sobrepasar los 1,5°C.<sup>122</sup>

3.3. Beneficios derivados

3.3.1. La retirada de los combustibles fósiles conlleva la reducción de los contaminantes atmosféricos y la mejora de la salud pública

La eliminación gradual de los combustibles fósiles no solo es necesaria para reducir las emisiones de metano, sino que resulta esencial para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes atmosféricos relacionados con la extracción y el uso de los combustibles fósiles. La eliminación de los combustibles fósiles podría evitar 3,6 millones de muertes anuales en todo el mundo por la contaminación del aire exterior.<sup>123</sup> Reducir las muertes prematuras y las enfermedades causadas por la contaminación atmosférica permitirá asimismo disminuir los gastos sanitarios y disponer de recursos para políticas públicas que promuevan la buena salud, tales como la transición a sistemas de energía renovable.<sup>124</sup>

3.3.2. Creación de empleos

La mitigación de las emisiones de metano crea oportunidades de empleos de buena calidad y a nivel local. Por ejemplo, la detección y reparación de fugas no solo crea puestos de trabajo, también favorecería la creación de empleos mejor pagados, ya que el salario medio por hora de los trabajadores de la industria de la mitigación del metano es de 30,88 dólares, en comparación con el promedio de 19,60 dólares del mercado laboral existente en Estados Unidos.<sup>125</sup>

CUADRO 3.1: Priorizar a los superemisores

Los eventos e infraestructuras denominados "superemisores" contribuyen de forma desproporcionada a las emisiones globales de metano. En el sector energético, el 5% de las fugas de metano constituyen el 50% de las emisiones.<sup>126</sup> En el sector de los residuos, los vertederos superemisores pueden llegar a tener un impacto similar. Recientemente, un reconocimiento aéreo en California mostró que un 10% de las infraestructuras del estado eran responsables de hasta el 60% de las emisiones de metano de fuentes puntuales, y que los vertederos contribuían más que la industria láctea y de combustibles fósiles.<sup>127</sup> Los satélites de GHGSat han observado vertederos que liberan grandes volúmenes de metano en América del Norte, Europa, América Latina y Asia. En un vertedero cerca de Yakarta (Indonesia), se midió la emisión de 15.900 kg por hora, lo cual equivale a casi 400.000 kg por hora de dióxido de carbono. En Madrid, los satélites de alta resolución detectaron 8.800 kg de metano por hora que se escapaban de los vertederos en agosto de 2021, la cifra más alta observada en Europa por el GHGSat.<sup>128</sup> Ocuparse de los superemisores es una tarea de suma importancia, y el Observatorio Internacional de Emisiones de Metano (IMEO) y otras iniciativas de vigilancia por satélite podrían desempeñar un rol crucial a la hora de detectar y notificar a las autoridades nacionales y a las empresas. Asimismo, se les debería exigir a las empresas que dispongan de un conjunto de medidas y protocolos para erradicar el evento superemisor tras la notificación correspondiente.

## 4. Medidas contra las emisiones de metano en el sector de los residuos

### 4.1. Situación actual

El sector de los residuos es la tercera fuente de emisiones antropogénicas de metano en el mundo, contribuyendo con aproximadamente el 20% del total de dichas emisiones.<sup>129,130,131</sup> En este sector, el metano se produce cuando los materiales biodegradables, incluidos los alimentos, los desechos de jardinería, los desechos humanos, la madera y el papel, se descomponen en vertederos, basureros o entornos de tratamiento con aguas residuales que restringen el oxígeno.

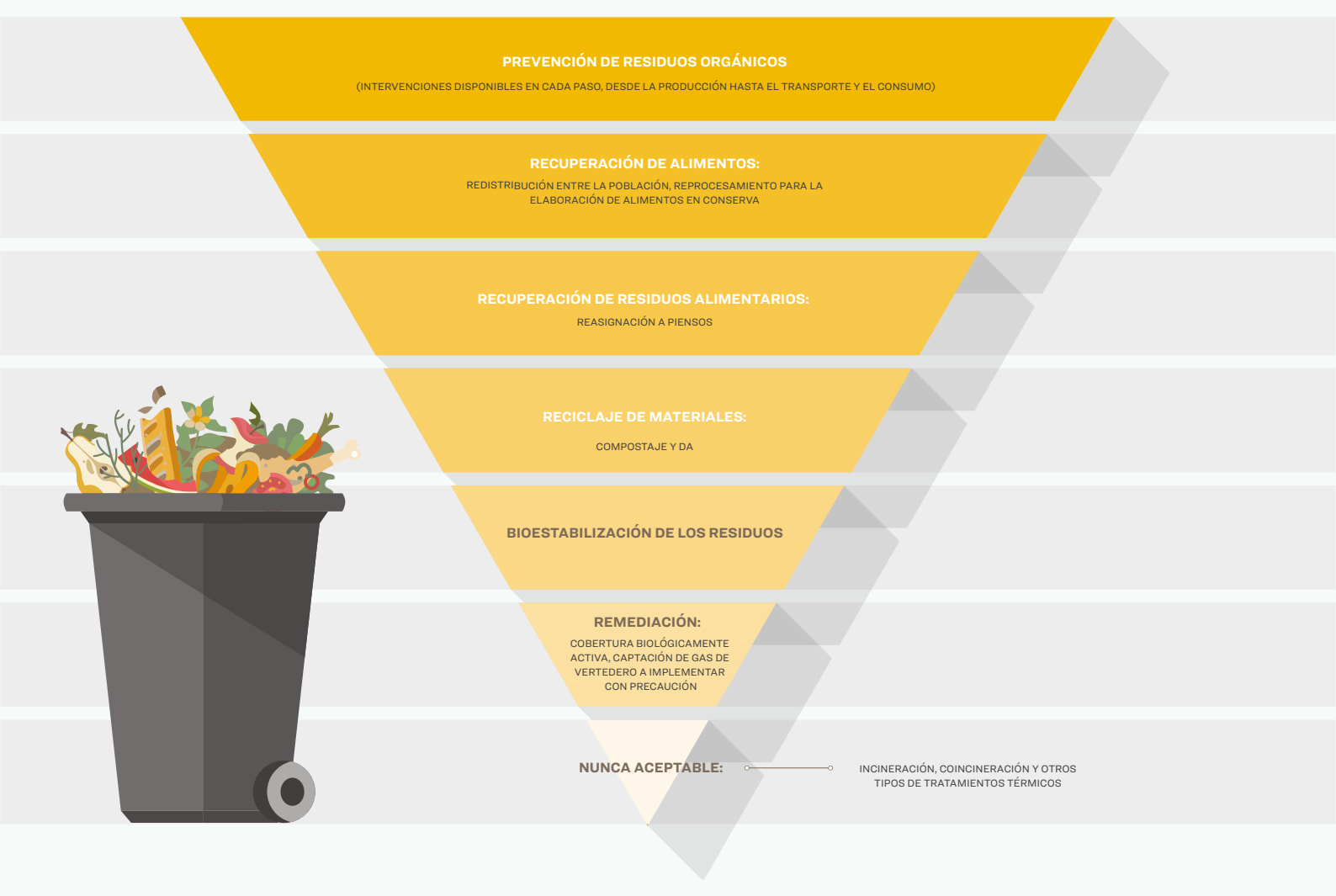
Los residuos sólidos urbanos (RSU) son particularmente preocupantes, ya que son responsables de la mayoría de las emisiones procedentes de este sector.<sup>132</sup> En algunas regiones, los vertederos incluso son la primera fuente de todas las emisiones de metano.<sup>133</sup> Aunque las aguas residuales también son un contribuidor importante, las estrategias de reducción de metano en los residuos sólidos representan de tres a seis veces el potencial de mitigación de las aguas residuales y deberían ser la prioridad en cuanto a formulación de políticas.<sup>134</sup>

Cabe señalar que hay gran incertidumbre respecto a las emisiones de metano procedentes de vertederos y basureros. Las tasas de emisión pueden variar hasta en seis órdenes de magnitud, dependiendo de la temperatura, la humedad y el contenido orgánico, lo que dificulta la medición directa.<sup>135</sup> Asimismo, los modelos ideados para estimar las emisiones en lugar de la medición directa, como por ejemplo el “modelo de desintegración de primer orden” del IPCC, también han sido criticados por su inexactitud.<sup>136</sup> En la actualidad, las nuevas técnicas de seguimiento por satélite están mejorando la precisión de las estimaciones, pero mientras no se utilicen de forma más generalizada, tendremos que basarnos en la bibliografía existente sin perder de vista las limitaciones ya mencionadas.

### 4.2. Intervenciones recomendadas

Las estrategias más importantes para mitigar las emisiones de metano de los residuos sólidos -la reducción de los residuos orgánicos, la separación en origen y el tratamiento de los desechos orgánicos- tienen bajo costo, son escalables y fáciles de implementar en cualquier parte del mundo.

# JERARQUÍA DE RESIDUOS PARA LA PREVENCIÓN DEL METANO



Una herramienta útil para priorizar estas estrategias es la jerarquía de residuos, que ordena las medidas en función del impacto ambiental y apoya una transición de mayor alcance hacia una economía circular sin residuos. El uso de la jerarquía para la gestión de desechos orgánicos puede reducir las emisiones de metano producidas por los residuos sólidos obteniendo importantes beneficios asociados, y a la vez evitar alternativas más costosas y arriesgadas como la captura de gases de vertedero y la incineración de residuos.

## 4.2.1. Fundamentos

### 4.2.1.1. Prevención de residuos y separación en origen de residuos orgánicos

Prevenir la generación de residuos es la estrategia de reducción de metano más importante en el sector de los residuos; cada tonelada de material orgánico que no llega a entrar en el flujo de residuos evita el metano que habría generado en un vertedero, así como las emisiones previas que conlleva su producción y transporte. Es muy importante evitar los residuos alimentarios, causantes del 10% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo<sup>137</sup> y de la mayor parte de las emisiones de metano procedentes de los residuos sólidos.<sup>138</sup> Se observan oportunidades para prevenir la generación de residuos en cada paso de la cadena de suministro de productos ecológicos, desde modificar las subvenciones que fomentan la sobreproducción de alimentos, hasta instituir programas de planificación de la demanda o decretos de donación de alimentos para los supermercados, pasando por la educación de los consumidores sobre la prevención de residuos.<sup>139,140</sup> La reciente ley francesa de prevención de desperdicios de alimentos, por ejemplo, multa a los supermercados que superan un tope determinado de alimentos desechados.<sup>141</sup>

**Figura 4.1:** Jerarquía de residuos para la prevención del metano (o como alternativa para los residuos orgánicos)



Crédito: GAIA

### 4.2.1.2. Recuperación de residuos

Cuando la prevención directa falla, la siguiente mejor opción es la recuperación: los alimentos descartados se pueden destinar a personas necesitadas, o reutilizarse para la elaboración de productos en conserva, como las mermeladas. La colaboración entre los bancos de alimentos, las tiendas de comestibles y el gobierno local de Milán (Italia), por ejemplo, ha permitido ahorrar 130 millones de toneladas de residuos alimentarios al año en apenas tres años, lo que sitúa a esta ciudad en camino de alcanzar su objetivo de reducir el 50% de los residuos alimentarios para 2030.<sup>142,143</sup>

### 4.2.1.3. Separación de residuos

Incluso con la ejecución de programas eficaces de prevención de residuos, todavía se generarán algunos residuos orgánicos. Para este material desechado, la separación en origen, donde los descartes orgánicos se separan de otros residuos en su punto de generación (hogares, empresas, etc.), es crucial. Los residuos orgánicos separados en origen deben ser recolectados por separado, asegurando un flujo limpio de material orgánico ideal para los métodos de tratamiento de alto impacto como el compostaje, la DA y la reutilización como alimento para animales, que pueden realizarse in situ, en instalaciones descentralizadas a escala comunitaria o en plantas más grandes y centralizadas, dependiendo de las capacidades y necesidades locales.<sup>144,145</sup>

### 4.2.1.4. Alimento para animales a partir de residuos

Del mismo modo, el desvío de los desechos orgánicos como alimento para el ganado evita las emisiones de metano de los vertederos y puede desplazar a los cultivos de piensos convencionales, que consumen mucha energía (véase la sección 2). Aunque no existen estimaciones sobre el potencial de reducción de metano de la utilización de los desechos orgánicos para la alimentación animal, un análisis del ciclo de vida descubrió que esta práctica podría aportar una mayor reducción global de GEI que el compostaje o la DA. ,



Crédito: GAIA

4.2.2. Tratamientos de alto impacto

4.2.2.1. Compostaje

A diferencia de los vertederos, las operaciones de compostaje bien gestionadas producen una cantidad mínima de metano, la mayor parte del cual es destruido por bacterias.<sup>146,147,148</sup> El compostaje puede evitar hasta el 99% de las emisiones de metano que de otro modo se liberarían en los vertederos,<sup>149,150</sup> contribuyendo así a reducir considerablemente las emisiones del sector de los residuos. En la medida de lo posible, la gestión descentralizada e in situ es la mejor práctica, pero hay dispositivos y métodos de compostaje para todo tipo de contextos.<sup>151</sup>

CUADRO 4.1: Reducción de las emisiones de metano mediante el compostaje, la bioestabilización y la cobertura biológicamente activa en el sector de los residuos.

De acuerdo con los factores de emisión promedio extraídos de la documentación académica, el compostaje por sí solo podría reducir las emisiones de metano de los RSU en un 78%. La suma de las tres estrategias de mitigación podría disminuir las emisiones de metano de los RSU en un 95%, lo que supondría una reducción global de las emisiones del sector de los residuos de un 58%. Las cifras suponen un 80% de aplicación del compostaje, un 70% de implementación de la bioestabilización y un 70% de cobertura biológicamente activa para los vertederos. Aunque no está incluida en esta tabla, la prevención de residuos sigue siendo la medida más eficaz de todas. Véase el apéndice para consultar las fuentes y las cifras adicionales.

| Tipo de intervención                                                         | Reducción promedio de las emisiones de metano de los RSU | Reducción promedio de las emisiones de metano de todo el sector de los residuos (el 61% de las emisiones de este sector proceden de los RSU) <sup>152</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compostaje                                                                   | 78%                                                      | 48%                                                                                                                                                         |
| Compostaje + Bioestabilización de residuos                                   | 90%                                                      | 55%                                                                                                                                                         |
| Compostaje + Bioestabilización de residuos + Cobertura biológicamente activa | 95%                                                      | 58%                                                                                                                                                         |

CUADRO 4.2: Casos de éxito en India y Corea del Sur

Los gobiernos alrededor del mundo ya están demostrando que recuperar residuos orgánicos a altas tasas es rápido y posible. En Thiruvananthapuram (India), el gobierno de la ciudad inició una campaña en 2014 para imponer el manejo y el tratamiento diferenciado de los residuos orgánicos. Mediante una amplia labor de divulgación y educación, junto con subvenciones para la creación de unidades de tratamiento a pequeña escala (pilas de compostaje, composteras de cocina, microdigestores anaeróbicos, etc.), la ciudad logró una participación del 80% en la separación de residuos orgánicos en el sector residencial y del 88% en el sector comercial en cinco años.<sup>153</sup> La gran mayoría de estos residuos orgánicos se gestionan en instalaciones descentralizadas a escala doméstica o comunitaria, lo que reduce los gastos de recogida y gestión de manera considerable.<sup>154</sup> El éxito de Thiruvananthapuram se ha vuelto un modelo para todo el estado de Kerala, dando forma a la política de residuos para los 34 millones de habitantes de este estado.

En Corea del Sur, la capital, Seúl, sentó las bases en el país al desviar más del 90% de sus residuos alimentarios del vertedero tempranamente, en 2004, y tan solo nueve años después de implementar una ley de "pagar por lo que se tira", la cual consiste en cobrar una tasa en función de la cantidad de residuos generada. Esta ley impulsó un importante esfuerzo de recuperación en la ciudad<sup>155</sup>, y en 2005, llegó hasta el 96%.<sup>156</sup> Esta elevada tasa de desviación se refleja ahora en todo el país, donde el 95% de todos los desechos alimentarios se destinan al compostaje, la alimentación animal o a la producción de biocombustibles.<sup>157</sup>

4.2.2.2. Digestión anaerobia

La digestión anaerobia (DA) consiste en descomponer intencionadamente los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno para producir metano como combustible. En algunos casos, puede ser un gran complemento o una alternativa al compostaje. A diferencia de los vertederos, que están constantemente emitiendo metano a la atmósfera, los digestores anaeróbicos son recipientes sellados que recogen el metano hasta que se quema como combustible, convirtiéndolo en CO<sub>2</sub> biogénico. Como subproducto, la digestión anaerobia genera una pequeña proporción de materia orgánica residual, llamada digestato, que puede compostarse y utilizarse como enmienda para el suelo. Esta tecnología suele ser adecuada para zonas densamente pobladas con una gran generación de residuos orgánicos y poco espacio para plantas de compostaje, pero tiene un mayor costo económico y requiere una formación técnica específica para su funcionamiento.<sup>158</sup> Países como Bangladesh, India y China también han utilizado con gran éxito unidades de DA más baratas y a pequeña escala en comunidades remotas con un acceso menos fiable a las redes de energía.<sup>159</sup>

Sin embargo, cabe destacar los riesgos previsibles de la DA, como el vertido del digestato producido, la combustión del biogás en vez de usarlo como combustible, la quema de combustibles fósiles para aumentar las temperaturas del procesamiento, la digestión de nuevos cultivos agrícolas de alto consumo energético en lugar de los residuos orgánicos, y la competencia percibida o real con las energías renovables eólica y solar. Como se destacó en la sección 2, la digestión anaerobia en el sector agrícola también puede proporcionar incentivos adversos para la generación continua de estiércol o residuos orgánicos, socavando otras opciones, como la reducción de residuos o el compostaje.<sup>160</sup> Por lo tanto, esta tecnología puede funcionar bien con un flujo de residuos orgánicos limpios en determinadas zonas, pero, al igual que el compostaje, debe integrarse en un sistema general libre de residuos que priorice la prevención.

CUADRO 4.3: Evolución de la política de residuos orgánicos en el mundo.

- **Una actualización realizada en 2018 de la Directiva Marco de Residuos de la UE** fijó objetivos prometedores para la gestión de los residuos orgánicos en los 27 Estados miembros de la UE. La obligación de la Directiva de recoger por separado todos los residuos orgánicos para finales de 2023 ya ha propiciado un aumento significativo de las tasas de recogida selectiva, y la Comisión Europea tiene previsto adoptar para 2030 los objetivos adicionales de reducir el desperdicio de alimentos en un 50% y de elaborar metas jurídicamente vinculantes para reducir los desechos de alimentos.<sup>161,162</sup>
- **Las normas de gestión de RSU de la India de 2016** exigen que tanto los hogares como las empresas separen los residuos orgánicos en su origen y que los gobiernos locales faciliten la recogida selectiva, el transporte y el procesamiento mediante compostaje o DA, priorizando las instalaciones descentralizadas. La normativa también ordena que el Departamento de Agricultura facilite la utilización del compost.<sup>163</sup>
- **En California (EE.UU.) entró en vigor en 2022 un mandato de 2016** que obliga a todos los hogares y empresas a compostar sus residuos de alimentos. La recuperación de estos residuos, que representan entre el 30 y el 40% del total de los residuos en el estado, reducirá todos los residuos orgánicos enviados a los vertederos en un 75% para 2025 además de contribuir a la disminución de las emisiones de GEI en todo el estado en millones de toneladas por año.<sup>164</sup>
- **La Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos de Chile**, lanzada por el Ministerio de Medio Ambiente en 2021, pretende reducir la fracción orgánica de los RSU enviada a los vertederos en un 66% de aquí a dos décadas. El objetivo incluye medidas a implementar en viviendas, comunidades, escuelas, parques urbanos y oficinas de las instituciones públicas.<sup>165</sup>

4.2.3. Medidas de mitigación adicionales

4.2.3.1. Bioestabilización

Dado que parte de los desechos orgánicos seguirán yendo al flujo de residuos incluso después de instaurar la separación en origen y el tratamiento de la materia orgánica, estos residuos no deberían depositarse nunca en los vertederos sin haber sido sometidos previamente a una estabilización biológica. Esto puede incluir técnicas simples de mezcla y aireación o sistemas más complejos de recuperación de materiales y tratamiento biológico. De este modo, la bioestabilización proporciona una barrera final para el material orgánico, incluidos los materiales orgánicos contaminados o “sucios” que todavía se encuentran en el flujo de residuos.

4.2.3.2. Cobertura biológicamente activa para las emisiones restantes

Aun cuando se logre la recuperación completa de la materia orgánica, habrá que abordar las emisiones continuas de metano procedentes de los residuos que ya se han enterrado en vertederos, ya que éstos pueden seguir emitiendo metano durante décadas después de haber dejado de aceptar nuevos residuos.<sup>166</sup> Afortunadamente, los vertederos activos son responsables de la mayoría de las emisiones mientras que las emisiones producidas por los vertederos cerrados (“emisiones heredadas”) solo representan un 9% del problema.<sup>167</sup> Un conjunto creciente de investigaciones sugiere que la cobertura biológicamente activa -una capa de compost u otro material orgánico sobre los vertederos- puede reducir en gran medida estas emisiones. Al fomentar las comunidades de microbios que digieren el metano a medida que se eleva desde el vertedero inferior, la cobertura biológicamente activa puede reducir las emisiones



del vertedero en un 63% como media.<sup>168,169,170,171</sup> Dependiendo de las condiciones ambientales, puede incluso generar emisiones “negativas” al extraer el metano de la atmósfera.<sup>172,173</sup>

4.2.3.3. Evitar la captura de los gases de vertederos y la incineración de residuos

Un último método para remediar las emisiones de metano , que debería explorarse solo después de implementar estrategias de cero residuos, es la captura de los gases de los vertederos existentes.

Para ello, los vertederos están equipados con tubos que permiten recoger parte del gas de vertedero (LFG), compuesto por un 35-50% de metano,<sup>174</sup> y conducirlo a la superficie. Desde allí puede quemarse o incinerarse para obtener energía, convirtiendo el metano en CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la eficacia de la captura puede variar significativamente, ya que entre el 10 y el 65% del metano objetivo se escapa a la atmósfera<sup>175</sup> y se producen emisiones fugitivas adicionales debido a fugas en las tuberías y en la infraestructura de transporte.<sup>176,177</sup> La captura de LFG es una operación más intensiva en carbono que el compostaje y la DA<sup>178</sup> por lo que debe emplearse con precaución. Se ha dado el caso de que los incentivos financieros para la recogida de LFG han motivado a las empresas de gestión de residuos o a los municipios a redirigir los descartes orgánicos de los programas de desviación (como la alimentación animal o el compostaje) de nuevo a los vertederos y así aumentar la producción de LFG.<sup>179,180</sup>

La incineración no debe utilizarse nunca para gestionar los residuos orgánicos. La incineración es un proceso sumamente contaminante, caro y generador de carbono, con elevados costos de inversión y operativos para cubrir el control de la contaminación, el control de la calidad del aire, la gestión de las aguas residuales y la eliminación de las cenizas.<sup>181</sup> Estos gastos suelen provocar el cierre de las instalaciones de incineración y han drenado los presupuestos municipales de cientos de millones a más de mil millones de dólares estadounidenses en algunos casos,<sup>182</sup> en comparación con el compostaje, que suele tener costos de gestión de residuos menores y muy bajos costos de inversión.<sup>183,184,185</sup> La incineración también sale muy mal parada desde el punto de vista climático. Si bien puede ahorrar las emisiones de metano de los residuos orgánicos, genera enormes cantidades de CO<sub>2</sub> de origen fósil cuando se queman plásticos y textiles sintéticos en los residuos urbanos mezclados.<sup>186</sup> Cuando se utilizan para la producción de energía, las incineradoras llamadas “*waste-to-energy*” (energía a partir de residuos) generan más emisiones de GEI por unidad de energía producida que cualquier otra fuente de energía.<sup>187</sup> En consecuencia, la separación en origen y el tratamiento de los descartes orgánicos son siempre preferibles a la captura e incineración de los gases de efecto invernadero.

4.3. Beneficios derivados

La prevención de los residuos orgánicos, la separación en origen y el tratamiento por separado se suman a los objetivos más amplios de basura cero y generan múltiples beneficios colaterales en el marco de la transición hacia una nueva economía circular y un sistema alimentario sustentable.

4.3.1. Ahorro para los municipios

Los desechos orgánicos representan el mayor componente del flujo global de residuos.<sup>188</sup> Por lo tanto, la prevención de residuos orgánicos y la separación en origen podrían reducir en gran medida el volumen de material enviado a vertederos o incineradoras. Esto, a su vez, evitaría la costosa construcción de nuevas plantas de disposición. En cuanto a tratamientos alternativos, el compostaje es rentable, es barato de implementar y requiere menos superficie que los vertederos.<sup>189</sup> En los países en los que se están ampliando los servicios de residuos, el bajo costo del compostaje puede liberar fondos para ampliar la cobertura de la recogida de residuos. El compost terminado también puede venderse para ayudar a cubrir los gastos operativos. El tratamiento descentralizado puede ahorrar también los recursos que se gastan en la recogida, el combustible para el transporte y el tránsito, y las grandes infraestructuras.<sup>190</sup>

4.3.2. Evitar la contaminación

Los vertederos y las incineradoras son responsables de las fugas de lixiviados, la contaminación del agua, los incendios, la contaminación del aire y las cenizas tóxicas en todo el mundo,<sup>191,192,193</sup> y a menudo se sitúan en comunidades de bajos ingresos y de color.<sup>194</sup> La prevención de los residuos orgánicos, la separación en origen y el tratamiento por separado reducen la dependencia a estas prácticas contaminantes.

4.3.3. Reducción de otras emisiones climáticas

La separación en origen de la materia orgánica reduce la contaminación en los flujos de residuos de reciclaje, aumentando los índices de reciclaje e impulsando un mayor ahorro de GEI.<sup>195</sup> El compost final que se envía a jardines y granjas devuelve la materia orgánica y los nutrientes al suelo, aumentando su capacidad de retención de carbono, su resistencia a las inundaciones y a la sequía y reduciendo las necesidades de riego y labranza.<sup>196</sup> Cuando el compost sustituye a los fertilizantes sintéticos, el impacto es aún mayor, ahorrando energía y reduciendo las emisiones de óxido nitroso, un potente GEI.<sup>197</sup>

4.3.4. Creación de puestos de trabajo y fomento de los beneficios sociales.

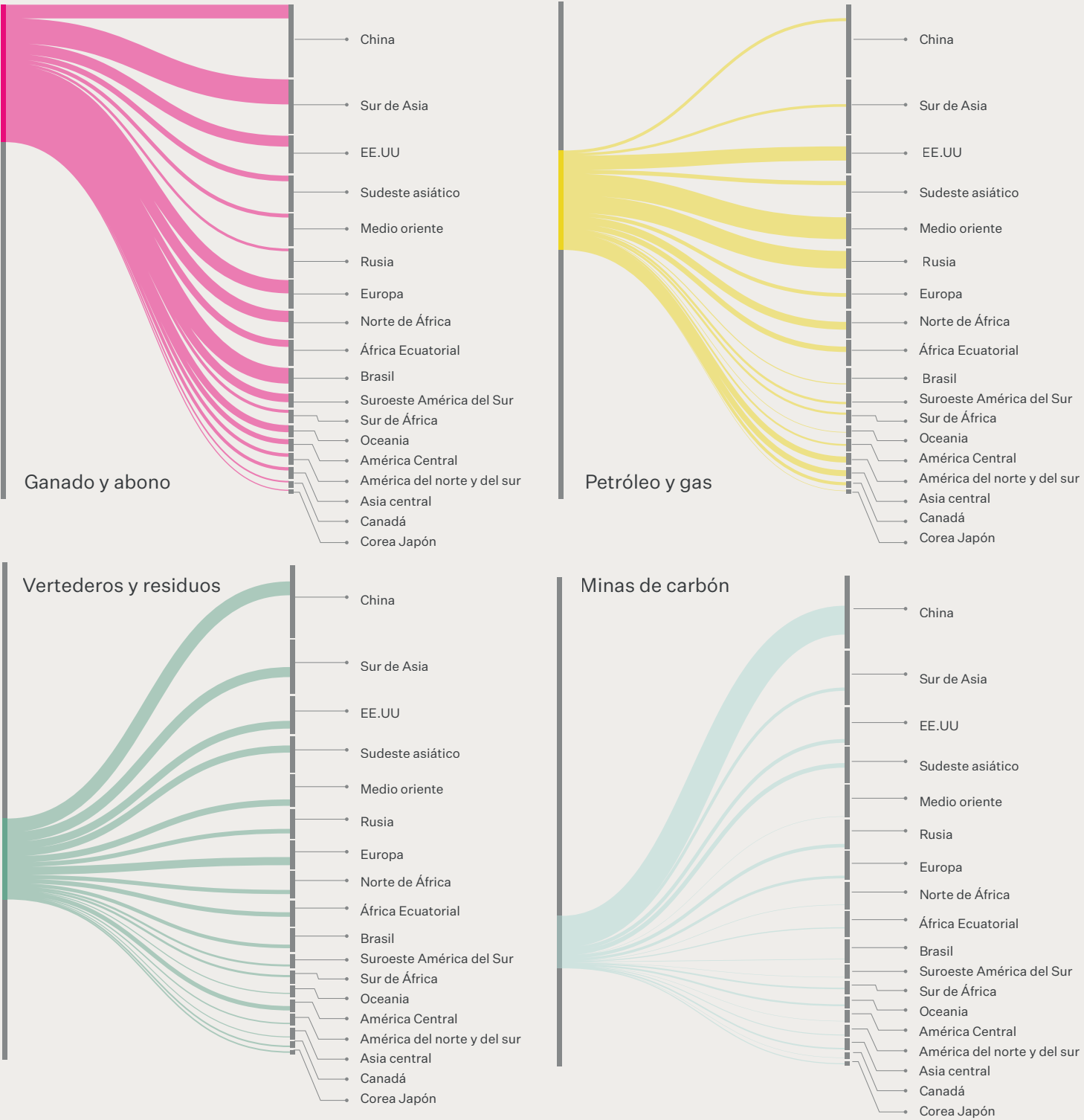
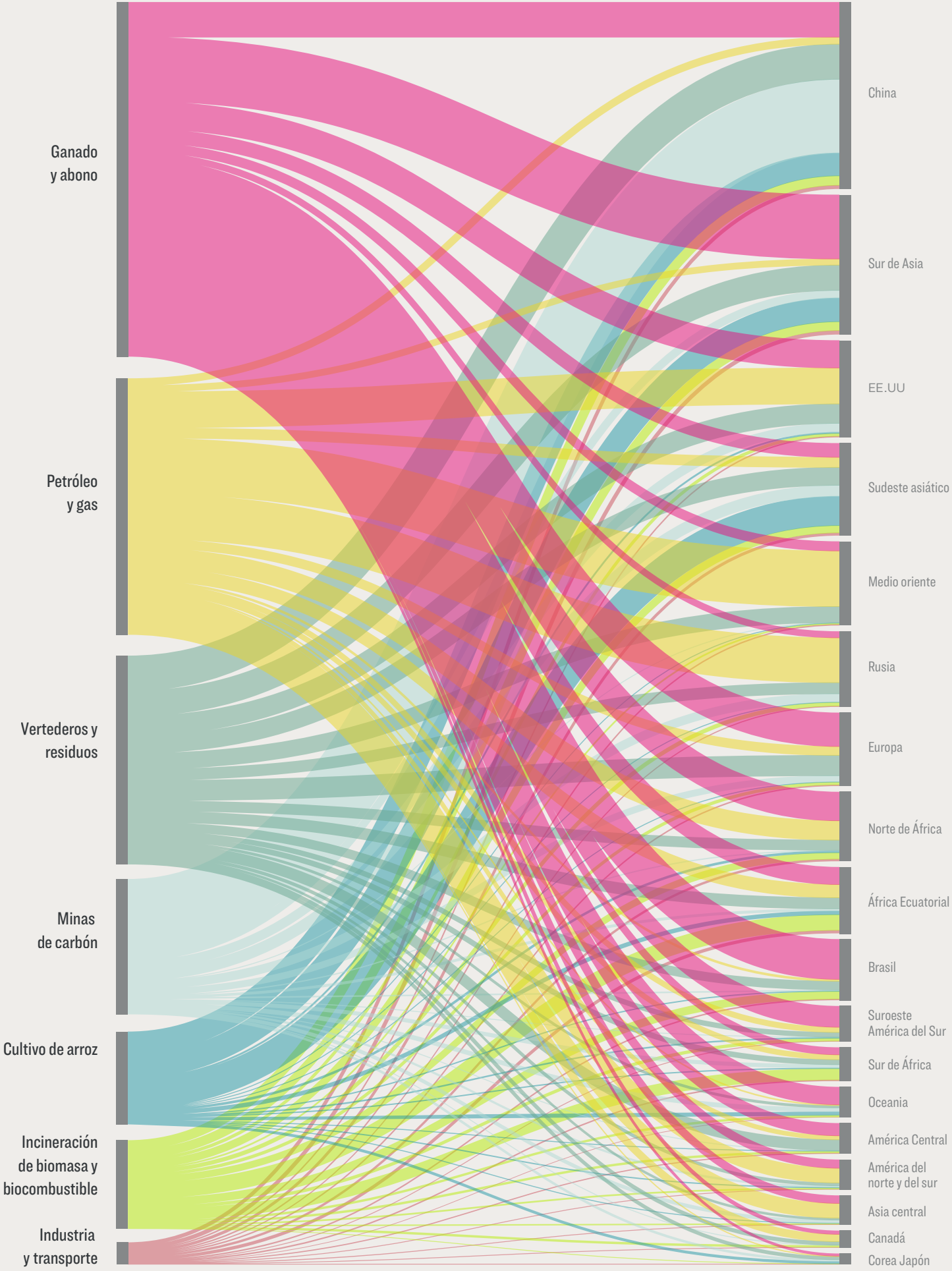
Los programas integrales de prevención, donación y recuperación no solo permiten reducir las emisiones de metano; si también apoyan la producción local de alimentos, crean puestos de trabajo en el ámbito de la educación y la divulgación, y mejoran el acceso local a una alimentación sana.<sup>198</sup> En comparación con los vertederos y la incineración, el tratamiento de los residuos orgánicos por separado, como el compostaje, puede crear tres veces más puestos de trabajo por cada tonelada,<sup>199</sup> contribuyendo a fortalecer y mejorar la economía local.

CUADRO 4.4: Integración de los recicladores a la economía formal de los residuos

La gestión separada de los residuos orgánicos ofrece una oportunidad para integrar y apoyar a los trabajadores del sector informal que han prestado durante décadas el valioso servicio de gestión de residuos a sus comunidades. Los nuevos puestos de trabajo para la recogida, la divulgación y la educación, el control del cumplimiento de la normativa y el procesamiento en instalaciones descentralizadas o centralizadas pueden ofrecer un medio de vida estable a un mejor nivel del que brindan los métodos de eliminación convencionales.<sup>200</sup> Además, estos empleos pueden proporcionar un medio de vida alternativo y decisivo para la recolección de plásticos conforme el mundo avanza en la implementación de otros objetivos de basura cero, como el de la reducción de plásticos.



DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS EMISIONES DE METANO POR SECTOR



Zonas geográficas de emisiones de metano

Fuente: Calculated from Integrated Carbon Observation System (ICOS) (2021) Supplemental data to global methane budget 2000-2017.  
[ONLINE] Disponible en: <https://www.icos-cp.eu/GCP-CH4/2019>

## 5. Hacia un marco de gobernanza global para el metano: acciones intersectoriales

En base al Compromiso, para lograr una reducción duradera de las emisiones de metano a gran escala, se debe mejorar la gobernanza sobre el metano a nivel mundial, sobre tres pilares fundamentales: (1) monitoreo, reporte y verificación (MRV); (2) planes de acción nacionales contra el metano; y (3) asistencia técnica y financiera. Así, la elaboración de un marco de gobernanza mundial debe realizarse en paralelo a las acciones nacionales, con el objetivo de proporcionar un marco general que permita medir los avances hacia los objetivos comunes y la cooperación internacional, posibilitando la acción a nivel nacional y fomentando la implementación.

### 5.1. Monitoreo, reporte y verificación

Un marco preciso de monitoreo y verificación es la base de cualquier marco eficaz de gobernanza mundial sobre el metano. Hasta la fecha, los números reales de las emisiones de metano procedentes de la agricultura, la energía y los residuos han escapado al escrutinio de los reguladores y responsables políticos ya que muchos países confían en metodologías de nivel inferior, las cuales se sostienen en factores de emisión anticuados y genéricos, lo que conlleva a un problema crónico de notificación por parte de estos sectores. El sistema MRV del metano requiere una actualización y una asimilación sustanciales, con una rápida progresión hacia el uso de metodologías de nivel superior y la incorporación de nuevas tecnologías como las satelitales, aéreas y terrestres. Para implementar MRV eficaces y precisos, será necesario invertir y apoyar con prontitud la institucionalización de un sistema MRV en el panorama industrial y burocrático. De este modo, se garantiza su funcionamiento regular y sistemático, a la vez que se asegura su uso como herramienta de rendimiento y planificación.

Para ello, se debe coordinar y colaborar con las entidades pertinentes para implantar metodologías más avanzadas en cada fuente de emisión, como el IPCC y, en el sector energético, la Asociación de Medición de Petróleo y Gas 2.0 del PNUMA. Para ayudar a los países en la verificación, el IMEO podría intervenir, proporcionando servicios de vigilancia y verificación por satélite, así como un sistema de alerta temprana para los superemisores. La llegada de la vigilancia satelital está aumentando enormemente la cantidad de datos disponibles sobre las emisiones de metano con mayor precisión, detalle espacial, cuantificación y plazos. La presentación de informes nacionales por parte de cada país a

un centro de información, como una secretaría, permitiría que los datos estén al alcance de científicos, economistas, responsables políticos y la sociedad civil, y mejoraría la implementación, el cumplimiento y la fiscalización.

5.2. Planes de acción nacionales sobre el metano

Para alcanzar la meta global, los países deben adoptar planes de acción nacionales sobre el metano, en los que se establezcan políticas y medidas específicas para cada país y se incorporen los compromisos internacionales. Adaptada al contexto nacional, y apoyada por un marco de SNV riguroso, la presentación de planes de acción nacional contra el metano podría ser la vía más importante para reducir las emisiones de metano a lo largo del tiempo. Dado que el potencial de mitigación en los distintos sectores y países varía considerablemente -dependiendo de la presencia de ganado, vertederos y producción de combustibles fósiles- debería esperarse que cada país contribuyera equitativamente basándose en una métrica común, como por ejemplo las medidas actualmente disponibles, que según la Evaluación Mundial del Metano (GMA) podrían reducir las emisiones de metano hasta en un 45% para 2030.<sup>201</sup> Para la reducción del metano más allá de 2030, la GMA constató que se espera que el potencial de mitigación de cada sector aumente, lo que podría servir de base para una revisión y actualización periódica, esto es, un mecanismo de ajuste para asegurar el descenso de las emisiones de metano a largo plazo.

A nivel práctico, cada país puede elaborar su plan de acción independiente sobre el metano, y adoptar las medidas disponibles en la actualidad, antes de integrarlo en las NDC como una sección independiente. Esto reflejaría el enfoque adoptado para los hidrofluorocarbonos (HFC) en virtud de la Enmienda de Kigali, según la cual los HFC están controlados por el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, pero se han integrado en varias NDC como una sección independiente.<sup>202</sup> La primera ronda de NDC se entregó en 2020 y está sujeta a una revisión periódica y a una actualización cada cinco años, lo que facilita su incorporación.

5.3. Asistencia técnica y financiera

La acción conjunta sobre las emisiones de metano requerirá que todos los responsables políticos dispongan de asistencia técnica y que los países en vías de desarrollo reciban apoyo financiero.

La elaboración de políticas debe fundamentarse en la mejor información científica disponible. Esto puede lograrse a través de un organismo científico especializado que se centre en la gama de asuntos relacionados con la reducción de las emisiones de metano, y que reúna los conocimientos científicos y técnicos pertinentes para fundamentar las decisiones de los responsables políticos. Este organismo debería realizar evaluaciones exhaustivas periódicas sobre el progreso hacia los objetivos comunes y elaborar informes concretos sobre cuestiones específicas, según sea necesario; como por ejemplo, la viabilidad de reducir las emisiones de metano del ganado utilizando piensos a base de algas. La asistencia técnica puede reforzarse aún más apoyándose en los organismos internacionales existentes, como el PNUMA, la Coalición para el Clima y el Aire Limpio y la FAO, entre otros.

Para apoyar la implementación será necesario prestar asistencia financiera a los países en vías de desarrollo. De acuerdo con la experiencia colectiva de varios acuerdos ambientales multilaterales, la financiación estable y previsible para la realización de actividades es un componente fundamental de cualquier marco de gobernanza mundial eficaz, y puede agruparse en las siguientes categorías:

5.3.1. Fortalecimiento institucional

El fortalecimiento institucional aumenta la capacidad del gobierno para desempeñar funciones esenciales y se ha convertido en sinónimo del apoyo provisto para asegurar una plantilla uniforme y dedicada a cada tema, como lo son los “puntos focales”.

5.3.2. Capacitación y formación

La capacitación y la formación están directamente relacionadas con el cumplimiento, ya que ofrecen las habilidades, los conocimientos y las herramientas a particulares y gobiernos para que puedan cumplir de manera competente y eficaz con sus obligaciones y compromisos.<sup>203</sup> Dada la variedad de asuntos vinculados al metano, la capacitación y la formación deben figurar de forma destacada y administrarse de manera adaptable para mantener su capacidad de respuesta y pertinencia. En el informe *Post-Rio+20* (2014), la Dependencia Común de Inspección identifica la falta de “recursos dedicados a la capacitación” como una de las principales deficiencias en todos los acuerdos ambientales multilaterales, con la excepción del Protocolo de Montreal, evaluado como el más exitoso.<sup>204</sup>

5.3.3. Monitoreo , reporte y verificación

El marco de gobernanza global para el metano requerirá del monitoreo, reporte y verificación. Resulta esencial el apoyo financiero para que cada país pueda implementar un sistema MRV, incluyendo la supervisión de las empresas que operen dentro de su jurisdicción.

5.3.4. Elaboración e implementación de políticas

Las políticas nacionales son el núcleo de la gobernanza internacional. Por lo que su elaboración e implementación son esenciales para lograr la reducción de las emisiones de metano en cada sector y deben contar con apoyo financiero.

5.3.5. Proyectos piloto y de demostración

Un proyecto piloto se refiere a la primera ejecución, a pequeña escala, de un proyecto de mayor envergadura, para resolver cualquier dificultad y obstáculo antes de su implementación a gran escala. Un proyecto de demostración es aquel que promueve las innovaciones tecnológicas o las mejores prácticas a través del desarrollo y el análisis de un proyecto en vivo, generando un conjunto de evidencias en las que basar futuras decisiones. Deben emplearse proyectos piloto y de demostración para apoyar la gran variedad de enfoques innovadores en la reducción de las emisiones de metano, que sirvan para fundamentar las políticas y las prioridades.

El apoyo financiero a los países en vías de desarrollo debe complementarse con la asistencia técnica específica de los organismos de ejecución y bilaterales. Recurrir a los organismos bilaterales y de ejecución para que apoyen a los países en desarrollo en la aplicación y el cumplimiento de las normas refuerza la inversión, mejora su eficacia y aumenta la probabilidad de asumir nuevos compromisos. Además, por el hecho de trabajar en distintos países y regiones, los organismos de ejecución y bilaterales suelen estar en buena posición para facilitar las mejores prácticas y los intercambios de conocimientos.

## 6. Conclusión

Mientras la temperatura global sigue en aumento, los científicos han identificado las emisiones de metano como la forma más inmediata de frenar el calentamiento a corto plazo. El Compromiso, anunciado en 2021, recoge el interés de más de 110 países por reducir las emisiones de metano en un 30% para 2030. Sin embargo, si se quiere limitar el calentamiento global a 1,5°C, se debe superar este compromiso reduciendo las emisiones de metano en al menos un 45% durante los próximos ocho años, o más, y a la vez sumar a más países.

Por estas razones, en esta década crítica para la acción climática, el Compromiso no debe verse como el final de un viaje, sino como el principio. Mediante acciones de fácil ejecución, y con frecuencia de bajos costos, en los sectores que más metano generan - agricultura, energía, residuos-, los países pueden reducir sus emisiones de metano con medidas y enfoques concretos para la gestión de la ganadería y los arrozales, la extracción y las infraestructuras de petróleo, gas y carbón, así como el desvío de residuos orgánicos fuera de los vertederos. No obstante, para conseguir una reducción duradera en la escala necesaria, los países deberán dar el paso adicional de elaborar un marco de gobernanza global específico para el metano, sustentado en tres pilares básicos: (1) MRV; (2) planes de acción nacionales sobre el metano; y (3) asistencia técnica y financiera.

En palabras del profesor Dave Reay, del Instituto del Cambio Climático de Edimburgo, para alcanzar los objetivos climáticos “se necesitarán todos los trucos del libro” y la reducción del metano debería ser “la primera página”.<sup>205</sup> Dado que la mitigación del metano es la acción climática más importante que pueden adoptar los gobiernos durante esta década, les pedimos que implementen estas medidas con carácter de urgencia.

MRV

Armonización

- definiciones
- metodologías
- formatos y plantillas
- normas

Medición en el sector agrícola

- Seguimiento continuo de un conjunto de grandes granjas durante un año para comprender mejor los patrones de emisión de metano
- Mejora del inventario global

Medición en el sector energético

- petróleo y gas
  - exploración y producción
  - recogida y tratamiento de datos
  - licuefacción y regasificación
  - transmisión y almacenamiento
  - distribución
- carbón
  - pozos de ventilación
  - estaciones de drenaje
  - isuras en los estratos

Medición en el sector de los residuos

- vertederos
  - técnicas de seguimiento satelital complementado con la comprobación periódica sobre el terreno
  - Tasas de captura de LFG y emisiones fugitivas
- sistema de gestión de residuos
  - cantidad total de residuos orgánicos producidos por persona/año
  - cantidad total de residuos de alimentos y de jardinería que se separan en origen y se recogen
  - cantidad total de residuos de alimentos y jardines que se envían a tratamientos de alto impacto, por ejemplo, compost, ad y cantidad total de compost y digestato
  - cantidad total de biodegradables en los residuos por persona/año
  - porcentaje o tonelaje de residuos que se bioestabilizan antes del vertido
  - eliminación: Cantidad de residuos mixtos que se depositan en el vertedero o se incineran

IMEO

- vigilancia y verificación por satélite
- detección y alerta de superemisores

Informes nacionales

- inventarios y emisiones
- planes de acción y medidas nacionales sobre el metano

Mitigación

Agricultura

- mejora de la alimentación
- mejorar la salud y la cría de los animales
- mejora de la gestión del estiércol
- reducción del tamaño del rebaño
- regulación de las empresas cárnicas y lácteas con sede en las jurisdicciones de los países
- arrozales
- políticas para promover dietas más saludables
- fomento de la I+D de alimentos de origen vegetal y otros análogos de la carne

Energía

- Petróleo y gas
  - detección y reparación de fugas
  - restricciones a la ventilación y a la combustión en antorcha
  - normas tecnológicas
  - pozos inactivos
  - superemisores
  - productos petroquímicos

- carbón

- prohibición de ventilación - pozos de ventilación
- prohibición de venteo y quema -estaciones de drenaje y desgasificación
- minas de carbón inactivas

Residuos

- prevención de residuos
- separación de residuos
- tratamientos de alto impacto (por ejemplo, compostaje y DA)
- producción de alimentos para animales a partir de residuos
- fomento de la bioestabilización
- uso de cubierta biológicamente activa para las emisiones restantes
- evitar la captación e incineración de gases de efecto invernadero

Superemisores

- Aumento de la vigilancia por satélite
- Mejora de los protocolos de respuesta de las empresas

Asistencia financiera y técnica

Organismos de evaluación científica y técnica

- evaluaciones integrales periódicas
- informes específicos

Ayuda financiera a los países en desarrollo

- actividades de capacitación
  - creación de capacidades y formación
  - MRV
  - desarrollo y aplicación de políticas
  - proyectos piloto y de demostración
  - fortalecimiento institucional

Organismos de ejecución y bilaterales

- asistencia técnica
  - creación de capacidades y formación
  - MRV
  - desarrollo y aplicación de políticas
  - proyectos piloto y de demostración
- mejores prácticas e intercambios de conocimientos

APÉNDICE: FUENTES DE LOS CÁLCULOS DEL SECTOR DE LOS RESIDUOS

Tabla A1. Fuentes de los cálculos de reducción de metano del sector de los residuos (CH4 )

|                                                            | Factores de emisión | Unidades/ descripción                                     | Fuente                                      |
|------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Vertedero - emisiones directas                             | 204                 | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Adhikari et al. 2010 <sup>206</sup>         |
|                                                            | 227                 | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Zhao et al. 2019 <sup>207</sup>             |
|                                                            | 122                 | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Zhao et al. 2019 <sup>207</sup>             |
|                                                            | 95                  | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Themelis y Ulloa 2007 <sup>208</sup>        |
|                                                            | 111,5               | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Zhao et al. 2019 <sup>207</sup>             |
| Compost - emisiones directas                               | 4                   | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Adhikari et al. 2010 <sup>206</sup>         |
|                                                            | 0,29                | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Amlinger et al. 2008 <sup>209</sup>         |
|                                                            | 0,24                | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Amlinger et al. 2008 <sup>209</sup>         |
|                                                            | 0,05                | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Amlinger et al. 2008 <sup>209</sup>         |
|                                                            | 0,6                 | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Amlinger et al. 2008 <sup>209</sup>         |
|                                                            | 2,4                 | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Andersen et al. 2010 <sup>210</sup>         |
|                                                            | 0.05-6,8            | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Boldrin et al. 2009 <sup>211</sup>          |
|                                                            | 0,03-1,5            | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Boldrin et al. 2009 <sup>211</sup>          |
|                                                            | 0,02-1,8            | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Boldrin et al. 2009 <sup>211</sup>          |
|                                                            | 0,03-8              | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Boldrin et al. 2009 <sup>211</sup>          |
|                                                            | 0,8-2,2             | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Amlinger et al. 2008 <sup>209</sup>         |
| DA- emisiones fugitivas                                    | 0-1,34              | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | Møller et al. 2009 <sup>212</sup>           |
|                                                            | 1                   | kg CH <sub>4</sub> /tonelada húmeda de residuos orgánicos | PNUMA 2010 <sup>213</sup>                   |
| Bioestabilización - eficacia de la reducción               | 81-88%              | % de reducción del potencial de generación de CH 4        | de Araujo Morais et al. 2008 <sup>214</sup> |
|                                                            | 50-74%              | % de reducción del potencial de generación de CH 4        | Pan y Voulvoulis 2007 <sup>215</sup>        |
|                                                            | 83-91%              | % de reducción del potencial de generación de CH 4        | De Gioannis et al. 2009 <sup>216</sup>      |
|                                                            | 95%                 | % de reducción del potencial de generación de CH 4        | Lornage et al. 2007 <sup>217</sup>          |
|                                                            | 65%                 | % de reducción del potencial de generación de CH 4        | Lornage et al. 2007 <sup>217</sup>          |
| Cobertura biológicamente activa - eficacia de la reducción | 47-100%             | % de reducción de las emisiones de CH 4                   | Boldrin et al. 2009 <sup>211</sup>          |
|                                                            | 10-100%             | % de reducción de las emisiones de CH 4                   | Lou y Nair 2009 <sup>218</sup>              |
|                                                            | 64%                 | % de reducción de las emisiones de CH 4                   | Stern et al. 2007 <sup>219</sup>            |
|                                                            | 55%                 | % de reducción de las emisiones de CH 4                   | Barlaz et al. 2004 <sup>220</sup> ,         |

Tabla 6.1: Cuadro resumen de las medidas

Se eligió el compostaje como principal tratamiento de los residuos orgánicos en este análisis debido a su fácil aplicación, su escalabilidad y la disponibilidad de datos sobre los factores de emisión del compost. Se consideró que la DA tenía un potencial de mitigación de metano similar al del vertido y que no había datos suficientes sobre la desviación de alimentos para comida animal para ser considerada en este análisis.

7. Referencias

1

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2022) *Resumen para Responsables de Políticas* [En línea] Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4-wg2-spm-sp.pdf>

2

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2022) *Resumen para Responsables de Políticas* [En línea] Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4-wg2-spm-sp.pdf>

3

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013) *Cambio climático 2013: Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación.* [En línea] Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf)

4

Höglund-Isaksson, L., Gómez-Sanabria, A., Klimont, Z., Rfaj, P. and Schöpp, W.(2020) *Technical potentials and costs for reducing global anthropogenic methane emissions in the 2050 timeframe –results from the GAINS model.* *Environmental Research Communications*, 2(2): 025004 [En línea] Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ab7457/meta>

5

Programa de medio ambiente de la ONU (2021) *New global methane pledge aims to tackle climate change.* [En línea] disponible en: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/new-global-methane-pledge-aims-tackle-climate-change>

6

Sala de Prensa de la Casa Blanca (2021) *Remarks by President Biden at an Event Highlighting the Progress of the Global Methane Pledge* [En línea] Disponible en: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2021/11/02/remarks-by-president-biden-at-an-event-highlighting-the-progress-of-the-global-methane-pledge/>

7

Stockholm Environment Institute (2021) *“The Global Methane Pledge is a good start”* [En línea] Disponible en <https://www.sei.org/about-sei/press-room/cop26-global-methane-pledge/>

8

PNUMA (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

9

PNUMA (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

10

PNUMA (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

11

*NY Times* (2022) 2021 hottest year, 10 January 2022. [En línea] Disponible en: <https://www.nytimes.com/2022/01/10/climate/2021-hottest-year.html>

12

*NY Times* (2022) 2021 hottest year, 10 January 2022. [En línea] Disponible en: <https://www.nytimes.com/2022/01/10/climate/2021-hottest-year.html>

13

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático (2014) *Cambio Climático 2014: Informe de síntesis* [En línea] Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

14

Space.com (2022) Satellites reveal record high methane concentrations despite reduction pledges. 11 de enero 2022, [En línea] Disponible en: [https://www.space.com/climate-change-methane-high-despite-reduc-tion-pledges](https://www.space.com/climate-change-methane-high-despite-reduction-pledges)

15

*NY Times* (2022) 2021 hottest year, 10 January 2022. [En línea] Disponible en: <https://www.nytimes.com/2022/01/10/climate/2021-hottest-year.html>

16

New Scientist (2022) Record levels of greenhouse gas methane are a ‘fire alarm moment’, 7 January 2022 [En línea] Disponible en: <https://www.newscientist.com/article/2303743-record-levels-of-greenhouse-gas-methane-are-a-fire-alarm-moment/#ixzz7HZmhtjUQ>

17

McCabe, D. and Smith, S. (2021) *IPPC’s new assessment report highlights the urgency of sharp reductions in methane.* Clean Air Task Force, 11 August 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.catf.us/2021/08/ipccs-new-assessment-report-highlights-the-urgency-of-sharp-reductions-in-methane/>

18

PNUMA (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

19

UNEP y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) Assessment of environmental and societal benefits of methane reductions. [En línea] Disponible en: <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions>

20

Sala de Prensa de la Casa Blanca (2021) *Remarks by President Biden at an Event Highlighting the Progress of the Global Methane Pledge* [En línea] Disponible en: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2021/11/02/remarks-by-president-biden-at-an-event-highlighting-the-progress-of-the-global-methane-pledge/>

21

Ibid.

22

Stockholm Environment Institute (2021) *“The Global Methane Pledge is a good start”* [En línea] Disponible en: <https://www.sei.org/about-sei/press-room/cop26-global-methane-pledge/>

23

UNEP (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

24

Forster, P. (2021) Guest Post: The Global Methane Pledge needs to go further to help limit warming to 1.5C, *Carbon Brief* [En línea] Disponible en: <https://www.carbonbrief.org/guest-post-the-global-methane-pledge-needs-to-go-further-to-help-limit-warming-to-1-5c>

25

UNEP (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

26

Ibid.

27

Ibid.

28

Van Dingenen, R., Crippa, M., Janssens-Maenhout, G., Guizzardi, D. and Dentener, F. (2018) Global trends of methane emissions and their impacts on ozone concentrations, EUR 29394 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

29

UNEP (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

30

Ibid.

31

UNEP (2021) New global methane pledge aims to tackle climate change. [En línea] Disponible en: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/new-global-methane-pledge-aims-tackle-climate-change>

32

UNEP (2021) *Global Methane Assessment: Summary for decision makers.* [En línea] Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)

33

Ibid.

34

Changing Markets Foundation (2021) *Blindspot: How lack of action on livestock methane undermines climate targets.* [En línea] Disponible en: [http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2021/10/Blindspot\\_methane-English.pdf](http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2021/10/Blindspot_methane-English.pdf)

35

IATP (2020) *Milking the planet: How big dairy is heating up the planet and hollowing rural communities.* [En línea] Disponible en: <https://www.iatp.org/milking-planet>

36

Searchinger, T., Herrero, M., Yan, X., Wang, J., Dumas, P., Beauchemin, K., Kebreab, E. (2021) *Opportunities to reduce methane emissions from global agriculture.* Princeton University. [En línea] Disponible en: [https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane\\_discussion\\_paper\\_nov\\_2021.pdf](https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane_discussion_paper_nov_2021.pdf)

37 Reisinger, A., Clark, H., Cowie, A., Emmet-Booth, J., Gonzales Fischer, C., Herrero, M., Howden, M. and Leahy, S. (2021) *How necessary and feasible are reductions of methane emissions from livestock to support stringent temperature goals?*, The Royal Society Publishing. [En línea] Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2020.0452>

38 Ibid.

39 IATP (2018) *Emisiones imposibles* [En línea] Disponible en: <https://www.iatp.org/sites/default/files/2018-08/grain-6010-emisiones-imposibles-como-estan-calentando-el-planeta-las-grandes-empresas-de-carne-y-lacteos%20%281%29.pdf>

40 Fairr (2021) Meat & Dairy Results Sour Cop26 Ambitions on Methane and Deforestation [En línea] Disponible en: <https://www.fairr.org/article/meat-dairy-results-stour-cop26-ambitions-on-methane-and-deforestation/>

41 Reisinger, A., Clark, H., Cowie, A., Emmet-Booth, J., Gonzales Fischer, C., Herrero, M., Howden, M. and Leahy, S. (2021) *How necessary and feasible are reductions of methane emissions from livestock to support stringent temperature goals?*, The Royal Society Publishing. [En línea] Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2020.0452>

42 Changing Markets Foundation (2021) *Blindspot: How lack of action on livestock methane undermines climate targets*. [En línea] Disponible en: [http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2021/10/Blindspot\\_methane-English.pdf](http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2021/10/Blindspot_methane-English.pdf)

43 Sala de Prensa de la Casa Blanca (2021) *Remarks by President Biden at an Event Highlighting the Progress of the Global Methane Pledge* [En línea] Disponible en: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2021/11/02/remarks-by-president-biden-at-an-event-highlighting-the-progress-of-the-global-methane-pledge/>

44 Unearthed (2022) Beef lobbyists celebrate methane ‘win’ at Cop26 [En línea] Disponible en: <https://unearthed.greenpeace.org/2022/03/07/biden-methane-pledge-beef-climate-lobbying/>

45 PNUMA y y Coalición Clima y Aire Limpio (2021)) *Global Methane Assessment: Benefits and costs of mitigating methane emissions*. [En línea] Disponible en: [https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2021\\_Global-Methane\\_Assessment\\_full\\_O.pdf](https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2021_Global-Methane_Assessment_full_O.pdf)

46 Wright, H. (2021) Are we Missing a Roadmap to 1.5C for Agriculture? *Fairr*, 26 October 2021 [En línea] Disponible en: <https://www.fairr.org/article/are-we-missing-a-roadmap-to-1-5c-for-agriculture/>

47 Feedback (2021) *Living well on leftovers*. [En línea] Disponible en: [https://feedbackglobal.org/wp-content/uploads/2021/07/Feedback-PositionPaper-LivingWellonLeftovers-23July21\\_2.pdf](https://feedbackglobal.org/wp-content/uploads/2021/07/Feedback-PositionPaper-LivingWellonLeftovers-23July21_2.pdf)

48 Eating Better (2021) *Sourcing better: A pathway to less and better meat and dairy*. [En línea] Disponible en: [https://www.eating-better.org/uploads/Documents/Sourcing\\_Better\\_Framework.pdf](https://www.eating-better.org/uploads/Documents/Sourcing_Better_Framework.pdf)

49 PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) Modelo página web. [En línea] Disponible en: <http://shindell-group.rc.duke.edu/apps/methane>

50 Searchinger, T., Herrero, M., Yan, X., Wang, J., Dumas, P., Beauchemin, K., Kebreab, E.(2021) *Opportunities to reduce methane emissions from global agriculture*. Princeton University. [En línea] Disponible en: [https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane\\_discussion\\_paper\\_nov\\_2021.pdf](https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane_discussion_paper_nov_2021.pdf)

51 DSM (2022) *DSM receives landmark EU market approval for its methane-reducing feed additive Bovaer*. [En línea] Disponible en: <https://www.dsm.com/corporate/news/news-archive/2022/dsm-receives-eu-approval-Bovaer.html>

52 DSM (2021) *DSM receives first full market authorizations for methane-reducing feed additive Bovaer for beef and dairy in Brazil and Chile*. [En línea] Disponible en: [https://www.dsm.com/anh/en\\_US/news-events/press-releases/2021/2021-09-09-dsm-receives-first-full-market-authorizations-for-methane-reducing-feed-additive-bovaer-for-beef-and-dairy-in-brazil-and-chile.html](https://www.dsm.com/anh/en_US/news-events/press-releases/2021/2021-09-09-dsm-receives-first-full-market-authorizations-for-methane-reducing-feed-additive-bovaer-for-beef-and-dairy-in-brazil-and-chile.html)

53 Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases (2014) *Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la ganadería: Mejores prácticas y opciones emergentes*. [En línea] Disponible en: <https://saipatform.org/wp-content/uploads/2016/09/lrg-sai-mitigacion-1.pdf>

54 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2013) Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. [En línea] Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>

55 Andeweg, K & Reisinger, A. (2014) *Reducing greenhouse gas emissions from livestock: Best practice and emerging options*. Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse gases. [En línea] [https://globalresearchalliance.org/wp-content/uploads/2014/12/LRG-SAI-Livestock-Mitigation\\_web2.pdf](https://globalresearchalliance.org/wp-content/uploads/2014/12/LRG-SAI-Livestock-Mitigation_web2.pdf)

56 Nevzorova, T., Kutcherov, V. (2019) Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 26 [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301075>

57 Splitter, J. (2022) America has a manure problem, and the miracle solution being touted isn’t all that it seems, *The Guardian*, 20 January 2022 [En línea] Disponible en: <https://www.theguardian.com/us-news/2022/jan/20/manure-natural-gas-pipeline-factory-farms-greenwashing>

58 Splitter, J. (2022) America has a manure problem, and the miracle solution being touted isn’t all that it seems, *The Guardian*, 20 January 2022 [En línea] Disponible en: <https://www.theguardian.com/us-news/2022/jan/20/manure-natural-gas-pipeline-factory-farms-greenwashing>

59 Levitt, T. (2021) Netherlands announces €25bn plan to radically reduce livestock numbers, *The Guardian*, 15 December 2021 [En línea] Disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2021/dec/15/netherlands-announces-25bn-plan-to-radically-reduce-livestock-numbers>

60 *Deutsche Welle* (2021) Germany sees battle over cheap meat flare up, 29 December 2021 [En línea] Disponible en: <https://www.dw.com/en/germany-sees-battle-over-cheap-meat-flare-up/a-60281299>

61 IATP (2018) *Emisiones imposibles* [En línea] Disponible en: <https://www.iatp.org/sites/default/files/2018-08/grain-6010-emisiones-imposibles-como-estan-calentando-el-planeta-las-grandes-empresas-de-carne-y-lacteos%20%281%29.pdf>

62 Searchinger, T., Herrero, M., Yan, X., Wang, J., Dumas, P., Beauchemin, K., Kebreab, E.(2021) *Opportunities to reduce methane emissions from global agriculture*. Princeton University. [En línea] Disponible en: [https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane\\_discussion\\_paper\\_nov\\_2021.pdf](https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane_discussion_paper_nov_2021.pdf)

63 Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (2009) *Agriculture and Climate change:*

64 Reducing methane emissions from irrigated rice. [En línea] Disponible en: <https://www.ifpri.org/publication/agriculture-and-climate-change-reducing-methane-emissions-irrigated-rice>

65 Searchinger, T., Herrero, M., Yan, X., Wang, J., Dumas, P., Beauchemin, K., Kebreab, E.(2021) *Opportunities to reduce methane emissions from global agriculture*. Princeton University. [En línea] Disponible en: [https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane\\_discussion\\_paper\\_nov\\_2021.pdf](https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/methane_discussion_paper_nov_2021.pdf)

66 IDDDRI (2018) *An agroecological Europe in 2050: Multifunctional agriculture for healthy eating: Findings from the Ten Years for Agroecology (TYFA) modelling exercise*. [En línea] Disponible en: <https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20Idddri/Etude/201809-STO918EN-tyfa.pdf>

67 PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions. Nairobi: United Nations Environment Programme. [En línea] Disponible en: [https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2021\\_Global-Methane\\_Assessment\\_full\\_O.pdf](https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2021_Global-Methane_Assessment_full_O.pdf)

68 Packaged Facts (2020) *Global Meat & Poultry Trends*. [En línea] Disponible en: <https://www.packagedfacts.com/Global-Meat-Poultry-Trends-13012951/>

69 Harwatt, H. (2018) Including animal to plant protein shifts in climate change mitigation policy: a proposed three-step strategy. *Climate Policy* [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1528965>

70 Harwatt, H., Ripple, W. J., Chaudhary, A., Betts M. G., Hayek, M. N. (2019) Scientists call for renewed Paris pledges to transform agriculture. *Lancet Planet Health* [En línea] Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30245-1](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30245-1)

71 Bailey, R., Froggatt, A. & Wellesley, L. (2014) *Livestock - Climate Change's Forgotten Sector*. London: The Royal Institute of International Affairs. [En línea] Disponible en: [https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/field/field\\_document/20141203LivestockClimateChangeForgottenSectorBaileyFroggattWellesleyFinal.pdf](https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/field/field_document/20141203LivestockClimateChangeForgottenSectorBaileyFroggattWellesleyFinal.pdf)

72 Wollenberg et al (2016) Reducing emissions from agriculture to meet the 2°C target. *Global Change Biology* 22: 3859–3864. [En línea] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.13340>

73 Sun, Z., Scherer, L., Tukker, A. et al. Dietary change in high-income nations alone can lead to substantial double climate dividend. *Nat Food* **3**, 29–37 (2022). [En línea] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s43016-021-00431-5>

74 Pushkarev, N. (2021) *Dietary guidelines for co-benefits: A case for European action*. [En línea] Disponible en: <https://epha.org/dietary-guidelines-for-co-benefits-a-case-for-european-action/>

75 Wellesley, L., Froggatt, A. and Happer, C. (2015) *Changing climate, changing diets: Pathways to lower meat consumption*. Chatham House, the Royal Institute of International Affairs. [En línea] Disponible en: <http://eprints.gla.ac.uk/113170/1/113170.pdf>

76 TAPPC (2021) *70% West Europeans want politicians to change food price VAT*. <https://www.tappcoalition.eu/nieuws/15698/majority-west-european-citizens-have-appetite-for-a-meat-tax---supporting-farmers-and-consumers->

77 Fundación Changing Markets (2021) *Blindspot: How lack of action on livestock methane undermines climate targets*. [En línea] Disponible en: [http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2021/10/Blindspot\\_methane-English.pdf](http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2021/10/Blindspot_methane-English.pdf)

78 Euromonitor International (2021) *The future of meat: Is consumption really decreasing?* [En línea] Disponible en: [https://go.euromonitor.com/rs/805-KOK-719/images/The%20Future%20of%20Meat\\_Webinar.pdf?utm\\_campaign=WB\\_19\\_10\\_17\\_Future\\_of\\_Meat&utm\\_medium=Email&utm\\_source=O\\_Auto-Response\\_Email&mk\\_tok=ODA1LUtPSyO3MTkAAAF\\_prxEvNMXKdY3xCZNV8evAKyA2A0VZ4nflwvRGsgTk28udC4wb\\_-neE-J7wl5dfQXSrN5KANNivMI9A4dbxp\\_VjJCV9pw1zp4NZ9sR1wtEuio2Lw](https://go.euromonitor.com/rs/805-KOK-719/images/The%20Future%20of%20Meat_Webinar.pdf?utm_campaign=WB_19_10_17_Future_of_Meat&utm_medium=Email&utm_source=O_Auto-Response_Email&mk_tok=ODA1LUtPSyO3MTkAAAF_prxEvNMXKdY3xCZNV8evAKyA2A0VZ4nflwvRGsgTk28udC4wb_-neE-J7wl5dfQXSrN5KANNivMI9A4dbxp_VjJCV9pw1zp4NZ9sR1wtEuio2Lw)

79 Fundación Social Market (2021) *Raising the Steaks: Developing a market for alternative protein in the UK*. [En línea] Disponible en: <https://www.smf.co.uk/wp-content/uploads/2021/09/Raisingthe-steaks-Sep-2021.pdf>

79 Torrella, K. (2022) Big Food is ready to sell you more plant-based meat, *Vox*, 21 January 2022 [En línea]

Disponible en: <https://www.vox.com/future-perfect/22883795/food-industry-plant-based-vegan-meat-dairy-climate-pledges>

80 CarbonBrief (2020) *What is the climate impact of eating meat and dairy?* [En línea] Disponible en: <https://interactive.carbonbrief.org/what-is-the-climate-impact-of-eating-meat-and-dairy/>

81 Harvard Health Publishing (2020) What's the beef with eating red meat? [En línea] Disponible en: <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/whats-the-beef-with-red-meat>

82 Xu, X., Sharma, P., Shu, S. et al. (2021) Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nat Food* **2**, 724–732

[En línea] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s43016-021-00358-x>

83 Milman, O. (2021) Meat accounts for nearly 60% of all greenhouse gases from food production, study finds, *The Guardian*, 13 September 2021 [En línea] Disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2021/sep/13/meat-greenhouses-gases-food-production-study>

84 Xu, X., Sharma, P., Shu, S. et al. (2021) Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nat Food* **2**, 724–732

85 CarbonBrief (2020) *What is the climate impact of eating meat and dairy?* [En línea] Disponible en: <https://interactive.carbonbrief.org/what-is-the-climate-impact-of-eating-meat-and-dairy/>

86 Shankman, S. (2019) What is nitrous oxide and why is it a climate threat?, *Inside Climate News*, 11 September 2019 [En línea] Disponible en: <https://insideclimatenews.org/news/11092019/nitrous-oxide-climate-pollutant-explainer-greenhouse-gas-agriculture-livestock/>

87 Poore, J. & Nemecek, T. (2018) *Reducing food's environmental impacts through producers and consumers*. [En línea] Disponible en: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aag0216>

88 Ritchie, H. (2021), If the world adopted a plant-based diet we would reduce global agricultural land use from 4 to 1 billion hectares, *Our World in Data*, 4 March 2021 [En línea] Disponible en: <https://ourworldindata.org/land-use-diets>

89 Heirich Böll Stiftung (2021) *The Meat Atlas*; facts and figures about the animals we eat [En línea] Disponible en: [https://eu.boell.org/sites/default/files/2021-09/MeatAtlas2021\\_final\\_web.pdf?dimension1=ecology](https://eu.boell.org/sites/default/files/2021-09/MeatAtlas2021_final_web.pdf?dimension1=ecology)

90 Woldeab, R. (2019) *Industrialized meat production and land degradation: 3 reasons to shift to a plant-based diets, Population Education*, 19 December 2019 [En línea] Disponible en: <https://populationeducation.org/industrialized-meat-production-and-land-degradation-3-reasons-to-shift-to-a-plant-based-diet/>

91 Poore, J. & Nemecek, T. (2018) *Reducing food's environmental impacts through producers and consumers*. [En línea] Disponible en: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aag0216>

92 Ibid.

93 Agencia Internacional de la Energía (2020) *Methane emissions from oil and gas*. [En línea] Disponible en: <https://www.iea.org/reports/methane-emissions-from-oil-and-gas#tracking-progress>

94 Agencia Internacional de la Energía (2022) *Global Methane Tracker 2022*. [En línea] Disponible en: <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/overview>

95 Agencia Internacional de la Energía (2021) *Net Zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. p 14. [En línea] Disponible en: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)

96 PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) *Global Methane Assessment*. p 97, paragraph 2 and 6. [En línea] Disponible en: <https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-assessment-full-report>

97 AIE (2022) *Global Methane Tracker 2022*. [En línea] Disponible en: <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/overview>

98 Unión Europea (2021) *Cambio climático: nuevas normas para evitar las fugas de metano en el sector energético*. p 6. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico_es)

99 Capterio (2020) *Tackling flaring: Lessons from the North Sea*. p 3 [En línea] Disponible en: <https://capterio.com/wp-content/uploads/2020/10/20201008-Tackling-flaring-Lessons-from-the-North-Sea-final.pdf>

100 Unión Europea (2021) *Nuevas normas para evitar las fugas de metano en el sector energético*. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico_es)

101 Government of Canada (2021) *Canada confirms its support for the Global Methane Pledge and announced ambitious domestic actions to slash methane emissions*. [En línea] Disponible en: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/news/2021/10/canada-confirms-its-support-for-the-global-methane-pledge-and-announces-ambitious-domestic-actions-to-slash-methane-emissions.html>

102 USEPA (2021) *Controlling air pollution from the oil and natural gas industry*. [En línea] Disponible en: <https://www.epa.gov/controlling-air-pollution-oil-and-natural-gas-industry>

103 Agencia Internacional de la Energía (2021) *Curtailing methane emissions from fossil fuel operations*. p 46. [En línea] Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/585b901a-e7d2-4bca-b477-e1baa14dde5c/CurtailingMethaneEmissionsfromFossilFuelOperations.pdf>

104 Unión Europea (2018) *In-depth analysis in support of the Commission Communication COM (2018) 773: A clean planet for all: A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. p 51, footnote 128. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com\\_2018\\_733\\_analysis\\_in\\_support\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf)

105 US Environmental Protection Agency (2016) *Background technical support document for the final new source performance standards*. 42–52. [En línea] Disponible en: <https://www.regulations.gov/document?D=EPA-HQ-OAR-2010-0505-7631>

106 Agencia Internacional de la Energía (2021) *Methane emissions in oil and gas: Tracking report*. [En línea] Disponible en : <https://www.iea.org/reports/methane-emissions-from-oil-and-gas>

107 Reuters (16 June 2020) *Special report: Millions of abandoned oil wells are leaking methane, a climate menace*. [En línea] Disponible en: <https://www.reuters.com/article/us-usa-drilling-abandoned-specialreport/special-report-millions-of-abandoned-oil-wells-are-leaking-methane-a-climate-menace-idUSKBN23N1NL>

108 Kholod, N., Evans, M., Pilcher, r. Roshchanka, V., Ruiz, F., Coté, m., Collings, R. (2020) *Global methane emissions from coal mining to continue growing even with declining coal production. Journal of Cleaner Production*, 256: 120489. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620305369>

109 Agencia Internacional de la Energía (2019) *Work energy outlook 2019*. p 248. [En línea] Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf>

110 US Environmental Protection Agency (2019) *Ventilation air methane (VAM) utilization technologies*. [En línea] Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-01/documents/vam\\_technologies-1-2017.pdf.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-01/documents/vam_technologies-1-2017.pdf.pdf)

111 US Environmental Protection Agency (2019) *Ventilation air methane (VAM) utilization technologies*. [En línea] Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-01/documents/vam\\_technologies-1-2017.pdf.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-01/documents/vam_technologies-1-2017.pdf.pdf)

112 UNECE (2016) *Best practice guidance for effective methane drainage and use in coal mines*. p 23. [En línea] Disponible en: [https://unece.org/DAM/energy/cmm/docs/BPG\\_2017.pdf](https://unece.org/DAM/energy/cmm/docs/BPG_2017.pdf)

113 Kholod, N., Evans, M., Pilcher, r. Roshchanka, V., Ruiz, F., Coté, m., Collings, R. (2020) *Global methane emissions from coal mining to continue growing even with declining coal production. Journal of Cleaner Production*, 256: 120489. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620305369>

114 Unión Europea (2021) *Nuevas normas para evitar las fugas de metano en el sector energético (EU) 2019/942*.

p 79. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico_es)

115 Unión Europea (2021). *Nuevas normas para evitar las fugas de metano en el sector energético (EU)* p 6. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico_es)

116 USEPA (2021) *Greenhouse gas equivalencies calculator*. [En línea] Disponible en: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>

117 Unión Europea (2021). *Nuevas normas para evitar las fugas de metano en el sector energético (EU)* p 6. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico_es)

118 Ibid.

119 International Trade Administration (2022) *Japan: Country commercial guide, liquefied natural gas*. [En línea] Disponible en: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/japan-liquefied-natural-gas-lng>

120 US Energy Information Administration (2020) *Country analysis executive summary: Japan*. [En línea] Disponible en: [https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries\\_long/Japan/japan.pdf](https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries_long/Japan/japan.pdf)

121 Agencia Internacional de la Energía (2018) *The future of petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilizers*. pp. 11, 27. [En línea] Disponible en: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-petrochemicals>

122 Center for International Environmental Law (2019) *Plastic and climate: The hidden costs of a plastic planet*. p 2. [En línea] Disponible en: <https://www.ciel.org/plasticandclimate/>

123 Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Ramanathan, V. (2019) Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate, *PNAS* [En línea] Disponible en: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1819989116>

124 Health and Environment Alliance (2017), *Hidden Price Tags: How ending Fossil fuel Subsidies would benefit our Health*. [En línea] Disponible en: <http://sdg.iisd.org/news/report-highlights-health-benefits-of-phasing-out-fossil-fuel-subsidies/>

125 Datu (2014) *The emerging US methane mitigation industry*. p 5. [En línea] Disponible en: [https://www.edf.org/sites/default/files/us\\_methane\\_mitigation\\_industry\\_report.pdf](https://www.edf.org/sites/default/files/us_methane_mitigation_industry_report.pdf)

126 Unión Europea (2021). *Nuevas normas para evitar las fugas de metano en el sector energético (EU)* p 6. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12581-Cambio-climatico-nuevas-normas-para-evitar-las-fugas-de-metano-en-el-sector-energetico_es)

127 Duren, R. M., Thorpe, A. K., Foster, K. T., Rafiq, T., Hopkins, F. M., Yadav, V. & Miller, C. E. (2019) California's methane super-emitters. *Nature*, 575(7781): 180–184.

128 The European Space Agency (2021) *Satellites detect large methane emissions from Madrid landfills*. [En línea] Disponible en: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Satellites\\_detect\\_large\\_methane\\_emissions\\_from\\_Madrid\\_landfills](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Satellites_detect_large_methane_emissions_from_Madrid_landfills)

129 Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático (2021) *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [En línea] Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>

130 PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions*. [En línea] Disponible en: <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions>

131 Höglund-Isaksson, L., Gómez-Sanabria, A., Klimont, Z., Rafaj, P. & Schöpp, W. (2020) Technical potentials and costs for reducing global anthropogenic methane emissions in the 2050 timeframe—results from the GAINS model. *Environmental Research Communications*, 2(2). [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab7457>

132 PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) *Global Methane Assessment*.

133 Jeong, S., Cui, X., Blake, D. R., Miller, B., Montzka, S. A., Andrews, A. & Fischer, M. L. (2017) Estimating methane emissions from biological and fossil-fuel sources in the San Francisco Bay Area. *Geophysical Research Letters*, 44(1): 486–495. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1002/2016GL071794>

134 PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) *Global Methane Assessment*.

135 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018) *Improving characterization of anthropogenic methane emissions in the United States*. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.17226/24987>

136 National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (2018) *Improving characterization of anthropogenic methane emissions*.

137 Gikandi, L. (2021) *10% of all greenhouse gas emissions come from food we throw in the bin*. [En línea] Disponible en: <https://updates.panda.org/driven-to-waste-report>

138 Brown, S. (2016) Greenhouse gas accounting for landfill diversion of food scraps and yard waste. *Compost Science & Utilization*, 24(1): 11–19. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2015.1026005>

139 Zero Waste Europe and Slow Food (2021) *Reducing food waste at the local level: Guidance for municipalities to reduce food waste within local food systems*. [En línea] Disponible en: <https://www.slowfood.com/wp-content/uploads/2022/01/Guidance-on-food-waste-reduction-in-cities-EN.pdf>

140 ReFED (n.d.) *Roadmap to 2030: Reducing US food waste by 50%*. [En línea] Disponible en: <https://refed.org/food-waste/the-solutions/#roadmap-2030>

141 Zero Waste Europe (2020) *Zero waste Europe factsheet: France's law for fighting food waste*. [En línea] Disponible en: [https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2020/11/zwe\\_11\\_2020\\_factsheet\\_france\\_en.pdf](https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2020/11/zwe_11_2020_factsheet_france_en.pdf)

142 Bottinelli, S. (2021) The city of Milan's Local Food Hubs reduce 130 tonnes of food waste a year, and win Earth-Shot Prize. *Food Matters Live*, 18 October 2021. [En línea] Disponible en: <https://foodmatterslive.com/discover/article/milan-local-food-hubs-reduce-130-tonnes-of-food-waste-a-year-and-win-earthshot-prize>

143 Food Policy di Milano (2021) *"Milan Food waste hub" won Prince William's Earthshot Prize*. [En línea] Disponible en: <https://foodpolicymilano.org/en/milan-food-waste-hub-won-prince-williams-earthshot-prize/>

144 Saleemdeen, R., Zu Ermgassen, E. K., Kim, M. H., Balmford, A. & Al-Tabbaa, A. (2017) Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: A comparative analysis of food waste management options. *Journal of Cleaner Production*, 140: 871–880. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.049>

145 Broom, D. (2019) South Korea once recycled 2% of its food waste. Now it recycles 95%. World Economic Forum, 12 April 2019. [En línea] Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2019/04/south-korea-recycling-food-waste/>

146 Cabanas-Vargas, D. D. & Stentiford, E. I. (2006) Oxygen and CO<sub>2</sub> profiles and methane formation during the maturation phase of composting. *Compost Science & Utilization*, 14(2): 86–89. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2006.10702269>

147 Jäkel, U., Thummes, K. & Kämpfer, P. (2005) Thermophilic methane production and oxidation in compost. *FEMS Microbiology Ecology*, 52(2): 175–184. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.11.003>

148 Hermann, B. G., Debeer, L., De Wilde, B., Blok, K. & Patel, M. K. (2011) To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polymer Degradation and Stability*, 96(6): 1159–1171. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.026>

149 Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H. & Favoino, E. (2009) Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8): 800–812. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>

150 Zhao, H., Themelis, N., Boursalas, A. & McGillis, W. R. (2019) *Methane emissions from landfills*. Columbia

University [En línea] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/334151857\\_Methane\\_Emissions\\_from\\_Landfills](https://www.researchgate.net/publication/334151857_Methane_Emissions_from_Landfills)

151 Nair, S. K. (2022) *Back to Earth. Composting for various contexts*. GAIA - Global Alliance for Incinerator Alternatives. [En línea] Disponible en: [https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/2022/01/Back-to-Earth-Organics-Manual\\_Spread.pdf](https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/2022/01/Back-to-Earth-Organics-Manual_Spread.pdf)

152 Saunio, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B. & Zhuang, Q. (2020) The global methane budget 2000–2017. *Earth Systems Science and Data*, 12: 1561–1623. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>

153 Thiruvananthapuram Municipal Corporation (2019) *Status of solid and liquid waste management*. Thiruvananthapuram: TMC.

154 Ibid.

155 Seoul Metropolitan Government (2021) *Food waste generation and treatment status statistics in Seoul*. [En línea] Disponible en: <https://data.seoul.go.kr/dataList/371/S/2/datasetView.do>

156 Korea Resource Recirculation Information System (2021) *Current status of national waste generation and disposal (living, workplace, general)*. [En línea] Disponible en: <https://www.recycling-info.or.kr/rrs/stat/envStat-List.do?menuNo=M13020201>

157 Glachen, R. (2020) How South Korea is composting its way to sustainability: Automated bins, rooftop farms, and underground mushroom-growing help clean up the mess. *The New Yorker*, 2 March 2020. [En línea] Disponible en: <https://www.newyorker.com/magazine/2020/03/09/how-south-korea-is-composting-its-way-to-sustainability>

158 PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio (2021) *Global Methane Assessment*.

159 Paul, A. S. (2021) Thanks to high LPG price, homemakers turn to biogas. *The Hindu*, 11 September 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.thehindu.com/news/cities/Thiruvananthapuram/thanks-to-high-lpg-price-homemakers-turn-to-biogas/article36401902.ece>

160 Zero Waste International Alliance (2017) *Choosing between composting and anaerobic digestion: Soil, fuel or both?* [En línea] Disponible en: <https://zerowasteurope.eu/library/choosing-between-composting-and-anaerobic-digestion-soil-fuel-or-both/>

161 Unión Europea (2008) *Directiva 2008/98/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 Noviembre de 2008 sobre los residuos y por las que se derogan determinadas Directivas*. [En línea] Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:02008L0098-20180705>

162 Comisión Europea (2021) *A farm to fork strategy*. [En línea] Disponible en: [https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en)

163 Government of India Ministry of Environment, Forest and Climate Change (2016) Ministry of Environment, Forest and Climate Change Notification. *The Gazette of India*, 8 April 2016 [En línea] Disponible en: [https://cpcb.nic.in/uploads/MSW/SWM\\_2016.pdf](https://cpcb.nic.in/uploads/MSW/SWM_2016.pdf)

164 Ibid.

165 Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2021) *Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos: Chile 2040*. [En línea] Disponible en: <https://economycircul.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Nacional-de-Residuos-Organicos-Chile-2040.pdf>

166 Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2001) *Landfill gas primer: An overview for environmental health professionals*. [En línea] Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/hac/landfill/html/ch2.html>

167 Powell, J. T., Townsend, T. G. & Zimmerman, J. B. (2016) Estimates of solid waste disposal rates and reduction targets for landfill gas emissions. *Nature Climate Change*, 6(2): 162–165. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nclimate2804>

168 Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H. & Favoino, E. (2009) Composting and compost utili-

zation: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8): 800–812. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>

169 Lou, X. F. & Nair, J. (2009) The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions-a review. *Bioresource Technology*, 100(16): 3792–3798. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.006>

170 Stern, J. C., Chanton, J., Abichou, T., Powelson, D., Yuan, L., Escoriza, S. & Bogner, J. (2007) Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation. *Waste Management*, 27(9): 1248–1258. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.018>

171 Barlaz, M. A., Green, R. B., Chanton, J. P., Goldsmith, C. D. & Hater, G. R. (2004) Evaluation of a biologically active cover for mitigation of landfill gas emissions. *Environmental Science & Technology*, 38(18): 4891–4899. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es049605b>

172 Lou, X. F. & Nair, J. (2009) The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions—a review.

173 Stern, J. C., Chanton, J., Abichou, T., Powelson, D., Yuan, L., Escoriza, S. & Bogner, J. (2007) Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation.

174 Johannessen, L. M. (1999) *Guidance note on recuperation of landfill gas from municipal solid waste landfills*. Washington DC, USA: International Bank for Reconstruction and Development/World Bank.

175 Stanisavljević, N., Ubavin, D., Batinić, B., Fellner, J. & Vujić, G. (2012) Methane emissions from landfills in Serbia and potential mitigation strategies: a case study. *Waste Management & Research*, 30(10): 1095–1103. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X12451867>

176 The Landfill Gas Expert (2019) *Fugitive emissions of methane and landfill gas explained*. [En línea] Disponible en: <https://landfill-gas.com/fugitive-emissions-of-methane-landfill-gas>

177 Inter-American Development Bank (2009) *Guidance note on landfill gas capture and utilization* [En línea] Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Guidance-Note-on-Landfill-Gas-Capture-and-Utilization.pdf>

178 Barton, J. R., Issaias, I. & Stentiford, E. I. (2008) Carbon: Making the right choice for waste management in developing countries. *Waste management*, 28(4): 690–698. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.033>

179 Alianza Global para Alternativas a la Incineración (n.d.) *Clean development mechanism funding for waste incineration: Financing the demise of waste worker livelihood, community health, and climate* [En línea] Disponible en: <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Clean-Development-Mechanism-Flyer.pdf>

180 Alianza Global para Alternativas a la Incineración (2013) *Recycling jobs: Unlocking the potential for green employment growth*. [En línea] Disponible en: <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/2021/03/Recycling-Jobs-Unlocking-Potential-final.pdf>

181 Alianza Global para Alternativas a la Incineración (2021) *The high cost of waste incineration*. [En línea] Disponible en: [www.doi.org/10.46556/RPKY2826](https://www.doi.org/10.46556/RPKY2826)

182 Ibid.

183 The New School Tishman Environment and Design Center (2019) *US solid waste incinerators: An industry in decline*. [En línea] Disponible en: [https://grist.org/wp-content/uploads/2020/07/1ad71-cr\\_gaiareportfinal\\_Q5.21.pdf](https://grist.org/wp-content/uploads/2020/07/1ad71-cr_gaiareportfinal_Q5.21.pdf)

184 Tavernise, S. (2011) City council in Harrisburg files petition of bankruptcy. *The New York Times*, 12 October 2011. [En línea] Disponible en: <https://www.nytimes.com/2011/10/13/us/harrisburg-pennsylvania-files-for-bankruptcy.html>

185 Morris, J. (2005) Comparative LCAs for curbside recycling versus either landfilling or incineration with energy recovery. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 10(4): 273–284. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1065/lca2004.09.180.10>

186 Tangri, N. V. (2021) Waste incinerators undermine clean energy goals. *Earth ArXiv* [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.31223/X5VK5X>

187 Ibid.

188 Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P. & Van Woerden, F. (2018) *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington: World Bank Publications. [En línea] Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30317/211329ov.pdf>

189 United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition (2021) *Global Methane Assessment*.

190 Government of India Ministry of Environment, Forest and Climate Change (2016) Ministry of Environment, Forest and Climate Change notification. *The Gazette of India*, 8 April 2016. [En línea] Disponible en: [https://cpcb.nic.in/uploads/MSW/SWM\\_2016.pdf](https://cpcb.nic.in/uploads/MSW/SWM_2016.pdf)

191 Ma, S., Zhou, C., Pan, J., Yang, G., Sun, C., Liu, Y. & Zhao, Z. (2022) Leachate from municipal solid waste landfills in a global perspective: Characteristics, influential factors and environmental risks. *Journal of Cleaner Production*, 333: 130234. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130234v>

192 Bihałowicz, J. S., Rogula-Kozłowska, W. & Krasuski, A. (2021) Contribution of landfill fires to air pollution: An assessment methodology. *Waste Management*, 125: 182–191. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.046>

193 Alianza Global para Alternativas a la Incineración (2019) *Pollution and health impacts of waste-to-energy incineration*. [En línea] Disponible en: [https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Pollution-Health\\_final-Nov-14-2019.pdf](https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Pollution-Health_final-Nov-14-2019.pdf)

194 Ibid

195 Zero Waste Europe (2018) *The story of Parma: Case study*. [En línea] Disponible en: <https://zerowasteurope.eu/library/the-story-of-parma/>

196 Favoino, E. & Hogg, D. (2008) The potential role of compost in reducing greenhouse gases. *Waste Management & Research*, 26(1): 61–69. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X08088584>

197 Favoino, E. & Hogg, D. (2008) The potential role of compost in reducing greenhouse gases.

198 Zero Waste Europe and Slow Food (2021) *Reducing food waste at the local level: Guidance for municipalities to reduce food waste within local food systems*. [En línea] Disponible en: <https://www.slowfood.com/wp-content/uploads/2022/01/Guidance-on-food-waste-reduction-in-cities-EN.pdf>

199 Alianza Global para Alternativas a la Incineración (2021) *Zero waste and economic recovery: The job creation potential of zero waste*. [En línea] Disponible en: <https://zerowasteworld.org/wp-content/uploads/Jobs-Report-ENGLISH-2.pdf>

200 Ibid

201 PNUMA (2021) *Global methane assessment: Cost and benefits of mitigating methane emissions*. Executive Summary. pp. 9, 10. [En línea] Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35913/GMA.pdf>

202 UNFCCC Secretariat (2021) *NDC synthesis report*. [En línea] Disponible en: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs/ndc-synthesis-report>

203 Joint Inspection Unit (2014) *Post-Rio+20 review of environmental governance within the United Nations system*. JIU/REP/2014/4. p 14. [En línea] Disponible en: <https://www.undocs.org/en/jiu/rep/2014/4>

204 Ibid

205 Science Media Centre (2021) Expert reaction to the global methane report. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencemediacentre.org/expert-reaction-to-the-global-methane-report/>

206 Adhikari, B. K., Trémier, A., Martinez, J., & Barrington, S. (2010) Home and community composting for on-site treatment of urban organic waste: perspective for Europe and Canada. *Waste Management & Research*, 28(11): 1039-1053. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X10373801>

207 Zhao, H., Themelis, N., Boursalas, A., & McGillis, W. R. (2019) Methane emissions from landfills. *Universidad de Columbia* [En línea] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/334151857\\_Methane\\_Emissions\\_from\\_Landfills](https://www.researchgate.net/publication/334151857_Methane_Emissions_from_Landfills)

208 Themelis, N. J., & Ulloa, P. A. (2007) Methane generation in landfills. *Renewable energy*, 32(7): 1243-1257. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.04.020>

209 Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008) Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management & Research*, 26(1): 47-60. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X07088432>

210 Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2010) Mass balances and life-cycle inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark). *Waste management & research*, 28(11): 1010-1020. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X09360216>

211 Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009) Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8): 800-812. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>

212 Møller, J., Boldrin, A., & Christensen, T. H. (2009) Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution. *Waste management & research*, 27(8): 813-824. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X09344876>

213 PNUMA (2010) *Waste and Climate Change: Global Trends and Strategy Framework* [En línea] Disponible en: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8648>

214 de Araújo Morais, J., Ducom, G., Achour, F., Rouez, M., & Bayard, R. (2008) Mass balance to assess the efficiency of a mechanical-biological treatment. *Waste Management*, 28(10): 1791-1800. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.002>

215 Pan, J., & Voulvoulis, N. (2007) The role of mechanical and biological treatment in reducing methane emissions from landfill disposal of municipal solid waste in the United Kingdom. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(2): 155-163. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10473289.2007.10465317>

216 De Gioannis, G., Muntoni, A., Cappai, G., & Milia, S. (2009) Landfill gas generation after mechanical biological treatment of municipal solid waste. Estimación de las constantes de la tasa de generación de gas. *Waste Management*, 29(3): 1026-1034. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.016>

217 Lornage, R., Redon, E., Lagier, T., Hébé, I., & Carré, J. (2007) Performance of a low cost MBT prior to landfilling: study of the biological treatment of size reduced MSW without mechanical sorting. *Waste Management*, 27(12): 1755-1764. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.10.018>

218 Lou, X. F., & Nair, J. (2009) The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions-a review. *Bioresource technology*, 100(16): 3792-3798. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.006>

219 Stern, J. C., Chanton, J., Abichou, T., Powelson, D., Yuan, L., Escoriza, S., & Bogner, J. (2007) Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation. *Waste Management*, 27(9): 1248-1258. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.018>

220 Barlaz, M. A., Green, R. B., Chanton, J. P., Goldsmith, C. D., & Hater, G. R. (2004) Evaluation of a biologically active cover for mitigation of landfill gas emissions. *Environmental science & technology*, 38(18): 4891-4899. [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es049605b>

