

# **ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN, CAPTURA Y EMISIONES DE METANO DEL RELLENO SANITARIO DE DOÑA JUANA EN BOGOTÁ, COLOMBIA.**

| Greenpeace Colombia. Agosto, 2024.



# Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción</b>   | <b>5</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Características de los residuos y su generación en Bogotá</li><li>- Relleno sanitario de Doña Juana</li><li>- La gestión de residuos en Colombia y sus implicaciones</li><li>- Desigualdad en la exposición al metano</li><li>- Recicladores</li><li>- Metodología</li></ul>                               |           |
| <b>2. Resumen: Relleno sanitario de Doña Juana de un vistazo</b>   | <b>17</b> |
| <b>3. Perfiles de metano del relleno sanitario de Doña Juana</b>   | <b>18</b> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>1: Potencial de generación de metano a partir de la eliminación de residuos de un año (2023).</li><li>2: Emisiones de metano del relleno de Doña Juana</li><li>3: Impactos sanitarios y económicos de las emisiones de metano del relleno de Doña Juana</li><li>4: Emisiones de dióxido de carbono</li></ul> |           |
| <b>4. Recomendaciones</b>  | <b>24</b> |
| <b>5. Referencias</b>  | <b>29</b> |

---

**Autores principales:** Tatiana Céspedes y Jeffrey Kwok.

**Autores colaboradores:** Ali Abbas y Aidan Farrow

## **Agradecimientos**

Este informe ha sido posible gracias a la inestimable contribución de las siguientes personas, a quienes nos gustaría expresar nuestro agradecimiento:

### **Greenpeace:**

Laura Colombo, Agustina D'ambra, Lea Gajewski, Soledad Ramírez, Jesus Rolle & David Santillo.

### **Centro de Investigación en Energía y Aire Limpio**

(CREA [por sus siglas en inglés]): Jamie Kelly

**Centro Internacional de Cartografía Global de Greenpeace.**

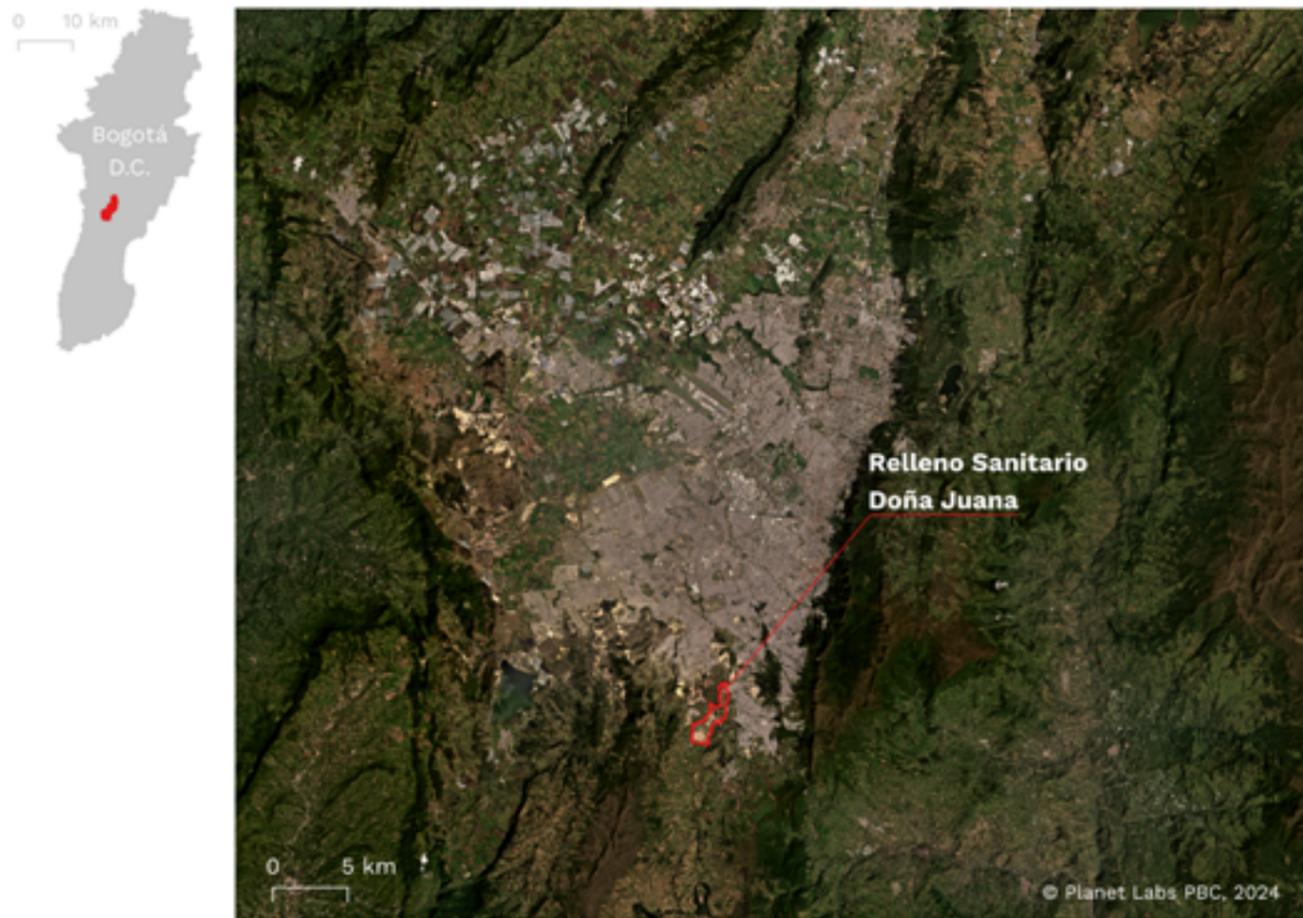


# Introducción

Greenpeace Colombia presenta el informe “Estimación de la Generación, Captura y Emisiones de Metano de los Rellenos Sanitarios de Doña Juana en Bogotá, Colombia” para destacar que los rellenos sanitarios son una solución insostenible para la gestión de residuos y una fuente de emisiones antropogénicas de metano que generan calentamiento climático<sup>1</sup> y que conlleva ramificaciones sociales y ambientales destructivas adversas para Bogotá y más allá<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>El metano es un gas que se encuentra en pequeñas cantidades en la atmósfera. Es el hidrocarburo más simple, formado por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno. Es un potente gas de efecto invernadero.



**Figura 1.** Imagen satelital del relleno sanitario de Doña Juana en 2024, con el área del relleno sanitario delineada. Generado por el Centro Internacional de Cartografía Global de Greenpeace

El metano es un potente gas de efecto invernadero que genera calentamiento climático y exacerbando el ritmo del cambio climático, con un potencial de calentamiento 80 veces mayor que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los primeros 20 años después de su liberación<sup>2</sup>. A la luz de la urgencia de la crisis climática, estamos en una carrera para reducir las emisiones de metano en un 45% para 2030 para poder limitar el aumento de la temperatura global dentro de 1,5 °C según lo recomendado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, o UNEP, por sus siglas en inglés) y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)<sup>3,4</sup>. El metano también contribuye a la formación de ozono<sup>5</sup>. En 2021, la muerte de 368 colombianos se han atribuido al ozono<sup>5</sup>. En Colombia, el 96% de todos los residuos sólidos generados terminan en rellenos sanitarios<sup>6</sup>, y se estima que las emisiones de estos sitios son responsables de más del 14% de las emisiones antropogénicas totales de metano del país, y del 3% de las emisiones antropogénicas totales de gases de efecto invernadero<sup>7</sup> del país, según cifras publicadas en 2018 y 2016, respectivamente. La principal fuente de emisiones de metano de los rellenos sanitarios en Colombia es el relleno sanitario de Doña Juana. Ubicado en el suroccidente de Bogotá D.C., es el principal relleno sanitario de residuos domésticos. Atiende a los más de 11,66 millones de habitantes<sup>8</sup> que en 2023 han escogido como su hogar al área metropolitana de Bogotá, así como a algunos municipios aledaños, y es donde en 2021 fue a parar casi una quinta parte de todos los residuos domésticos producidos en Colombia<sup>9</sup>.

Las emisiones antropogénicas de metano no controladas de los rellenos sanitarios son un obstáculo para alcanzar los objetivos climáticos. Necesitamos mejores prácticas de gestión de residuos que se alineen con la realidad de la crisis climática y la urgente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, pero primero debemos comprender la magnitud del problema para poder actuar. Por lo tanto, los objetivos del estudio son:

- (1) establecer la cantidad de las emisiones actuales de metano del relleno sanitario de Doña Juana,
- (2) evaluar la contribución del relleno sanitario de Doña Juana a las emisiones de metano pasadas, actuales y futuras, y
- (3) poner en perspectiva la relación entre la generación de residuos y las emisiones de metano.

En el discurso público, las emisiones de metano a menudo se asocian con el gas fósil y el ganado. Sin embargo, los rellenos sanitarios, que también son una fuente importante de metano<sup>10</sup>, han escapado en gran medida al escrutinio público con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, a pesar de décadas de esfuerzo por parte de grupos de interés y organizaciones para resaltar el problema. Una estrategia exitosa de reducción de metano debe ser amplia, abarcando las fuentes, actividades y prácticas subyacentes que contribuyen a las emisiones. Esto incluye el papel de los rellenos sanitarios y la gestión de residuos en las emisiones globales de metano.

En enero de 2024, Colombia experimentó más de 500 incendios forestales, un aumento dramático con respecto al periodo entre 2000 y 2020, donde se registraron entre 100 y 300 incendios forestales durante el mismo mes<sup>11</sup>. El aumento de los incendios forestales amenaza los ecosistemas forestales, la biodiversidad y los medios de vida, la salud y el bienestar de las personas y las comunidades. Es un duro recordatorio de cómo las olas de calor y las sequías provocadas por el cambio climático provocadas por la liberación no controlada de gases de efecto invernadero están afectando al planeta y a sus habitantes.

### **Características de los residuos y su generación en Bogotá**

Los habitantes de Bogotá generaron y dispusieron casi 2,2 millones de toneladas de residuos domiciliarios<sup>2</sup> en el relleno sanitario de Doña Juana en 2023<sup>12</sup>. Para ponerlo en perspectiva, los residuos que se vierten en el relleno sanitario de Doña Juana solo en 2023 tienen un peso combinado de más de 54.000 autobuses<sup>3</sup> de Bogotá<sup>13</sup>. Esto significa que los residuos vertidos en el relleno sanitario de Doña Juana en 2023 podrían llenar hasta el borde más de 75.000 contenedores marítimos de tamaño estándar<sup>14</sup>. Esa cantidad equivale a un contenedor lleno de residuos domésticos que se vierte en el relleno sanitario de Doña Juana cada 7 minutos sin parar durante un año completo. En términos per cápita, cada habitante de Bogotá generó en promedio más de 186 kg de residuos domiciliarios en 2023<sup>15</sup>.

<sup>2</sup> No todos los residuos domésticos generados se recuperan. Una fracción de ellos acaba en las calles y el medio ambiente.

<sup>3</sup> Un autobús biarticulado del sistema Transmilenio de Bogotá pesa 40t.



Más de la mitad de los residuos domiciliarios producidos en Bogotá consistieron en residuos orgánicos. Otras categorías importantes fueron el papel, el plástico y los textiles. En la Fig. 2 se muestra la distribución de los residuos domiciliarios en Bogotá en 2018, según cifras oficiales publicadas por la Municipalidad de Bogotá<sup>16</sup>.

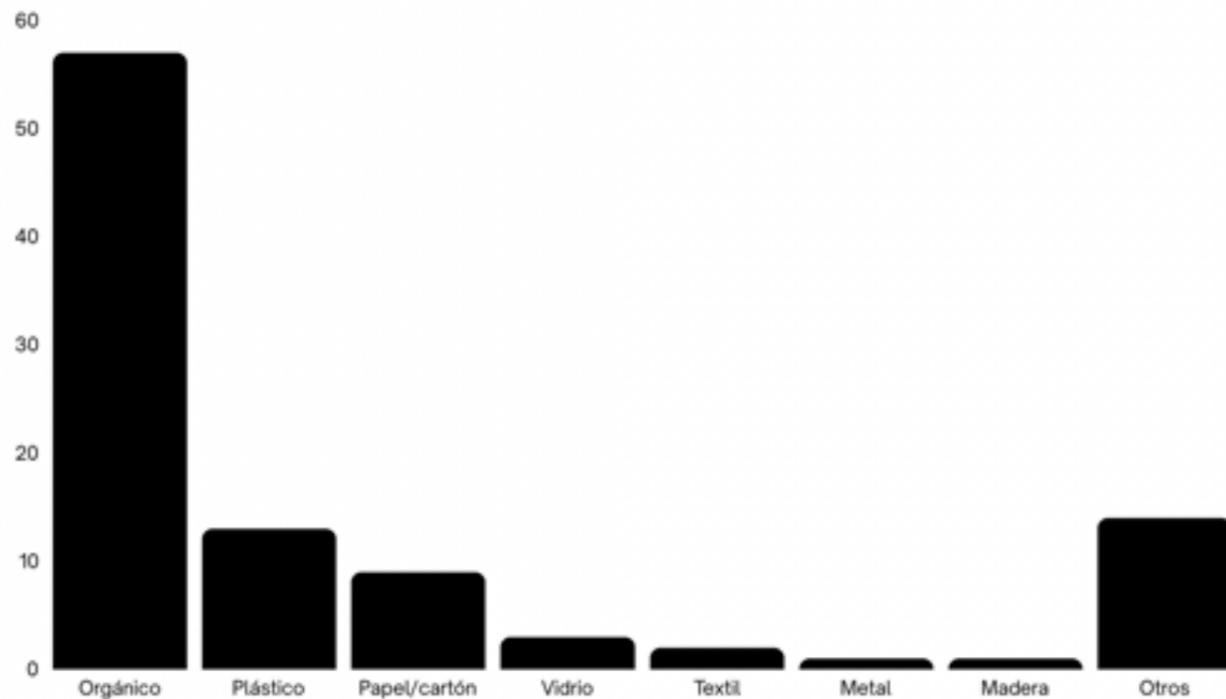


Figura 2. Proporción de cada categoría de residuos en la mezcla de residuos domiciliarios municipales en Bogotá, 2018.

La cantidad de residuos domiciliarios generados por los habitantes de Bogotá y dispuestos en el relleno sanitario Doña Juana se han mantenido estables desde 2008<sup>17</sup>. La disposición anual osciló entre 2,0 y 2,4 millones de toneladas en el período 2008-2023, como se muestra en la Fig. 3 a continuación.

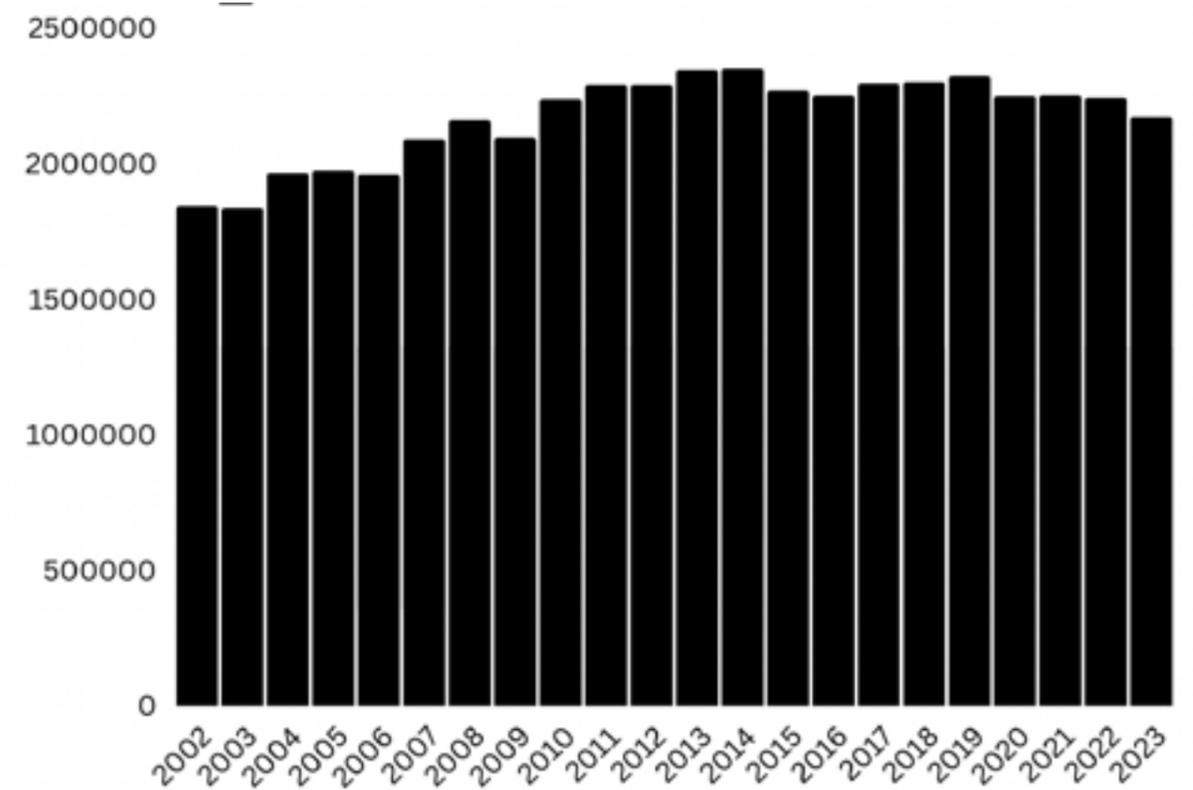


Figura 3. Cantidad total de residuos vertidos en el relleno sanitario de Doña Juana entre 2002 y 2023, medido en toneladas.

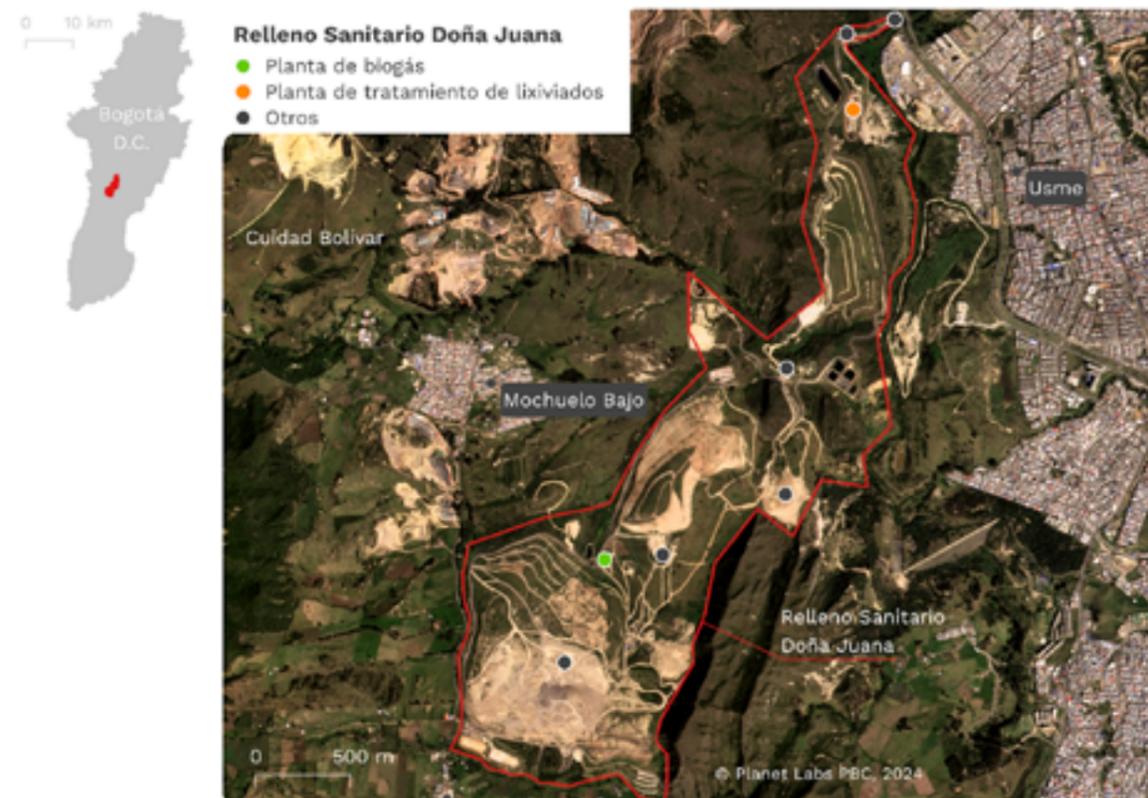




### Relleno sanitario de Doña Juana

El relleno sanitario de Doña Juana ocupaba 623 hectáreas en 2021<sup>18</sup>, un área equivalente a tres veces el tamaño de La Candelaria y aproximadamente un 30% más grande que el relleno sanitario Norte III en Buenos Aires<sup>19</sup>. Situado dentro del término municipal de Bogotá, se encuentra cerca de Usme y Ciudad Bolívar, que son los dos barrios de Bogotá con mayor prevalencia de pobreza monetaria de 57,8% y 57,4% en 2021<sup>20</sup>, respectivamente. El relleno sanitario de Doña Juana atiende principalmente a Bogotá, pero su área de influencia también incluye siete municipios de la provincia de Cundinamarca<sup>4</sup> que tenían una población combinada de 28.380 habitantes en 2021<sup>21,22,23</sup>. En total, el relleno sanitario Doña Juana recibió en 2021<sup>24</sup> el 19,7% de todos los residuos de RSU producidos en toda Colombia.

<sup>4</sup> Seis municipios, Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fosca, Gutiérrez, Ubaque y Une, son atendidos por el relleno sanitario Doña Juana



**Figura 4.** Arriba: Imagen satelital de Bogotá D.C. de 2024 con la proximidad del relleno sanitario Doña Juana a las dos zonas más pobres de la capital medidas por prevalencia de pobreza monetaria, Usme y Ciudad Bolívar, destacadas. Mochuelo Bajo es un barrio dentro de Ciudad Bolívar. Abajo: Imagen satelital del relleno sanitario Norte III en Buenos Aires de 2024. Generado por el Centro Internacional de Cartografía Global de Greenpeace.

El relleno sanitario de Doña Juana fue inaugurado en noviembre de 1988<sup>25</sup> y ha funcionado de manera ininterrumpida hasta la actualidad (agosto de 2024). Su vida útil estaba programada para finalizar en 2023, pero se extendió hasta 37 años a partir de finales de 2023<sup>26</sup>. El relleno sanitario de Doña Juana opera una instalación de conversión de gas en energía que quema el metano capturado en el relleno sanitario en dióxido de carbono y energía<sup>27</sup>, y una instalación de tratamiento de lixiviados que reduce el contenido de nitrógeno y compuestos orgánicos en el lixiviado antes de la descarga<sup>28</sup>. La energía producida por la instalación de conversión de gas en energía del relleno sanitario se inyecta en la red eléctrica nacional<sup>29</sup>.

## La gestión de residuos en Colombia y sus implicaciones

Las autoridades colombianas han establecido el relleno sanitario como la estrategia dominante para gestionar los residuos domiciliarios que genera el país. No se ha llevado a cabo una estrategia integral e integrada de gestión de residuos que haga hincapié en el compostaje de los residuos orgánicos y la reducción de la generación de residuos, y promueva el reciclaje de plástico, vidrio y metales. Las últimas estadísticas mostraron que el nivel de reciclaje de Bogotá se situó en un escaso 14-15% en 2020<sup>30</sup>, y las autoridades colombianas han comunicado la necesidad de aumentar el nivel de ambición de los programas de reciclaje del país<sup>31</sup>. Sin embargo, el reciclaje no puede ser la solución definitiva, ya que no todos los materiales son fácilmente reciclables y el proceso de, por ejemplo, reciclaje de plástico puede emitir productos químicos tóxicos<sup>32</sup>. Reducir la fuente de residuos es una necesidad.

En Colombia, se estima que más del 14% (10.639,94 toneladas) de las emisiones totales de metano del país en 2018 (73.631,22 toneladas) se liberaron de los rellenos sanitarios (eliminación de desechos sólidos)<sup>33</sup>, donde terminó el 96% de todos los residuos sólidos<sup>34</sup>. El relleno sanitario más grande de Colombia es el relleno sanitario Doña Juana <sup>35</sup>, de 623 hectáreas. Bogotá produjo 5.953 toneladas de RSU por día hasta 2023<sup>36</sup>. El 10% se recicla según cifras de 2018<sup>37</sup>, y el resto se deposita en el relleno sanitario Doña Juana.

Los residuos en los rellenos sanitarios se acumulan donde se degradan. En ausencia de gestión, las condiciones físicas y químicas de los rellenos sanitarios promueven la descomposición anaeróbica que genera emisiones de metano<sup>38</sup>. El metano es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento 80 veces mayor que el CO<sub>2</sub> en los primeros 20 años después de su liberación<sup>39,40</sup>. La liberación de metano a la atmósfera aumenta el ritmo del cambio climático. Las emisiones de metano tienen implicaciones locales, regionales y globales. El metano en sí mismo no suele asociarse con impactos en la salud, aunque en concentraciones muy altas puede limitar el suministro de oxígeno. Sin embargo, el metano es reactivo y puede aumentar la formación de ozono troposférico. Como potente oxidante y constituyente del smog, el ozono troposférico es un irritante y la exposición a él causa daños en el sistema respiratorio<sup>41,42,43</sup>. Los trabajadores de los rellenos sanitarios y las comunidades cercanas a los rellenos sanitarios pueden experimentar los impactos en la salud de la contaminación del aire, que se propaga regionalmente<sup>44</sup>. Los riesgos laborales comunes citados por los recolectores de residuos incluyen enfermedades respiratorias y de la piel, así como la exposición a olores ofensivos y sustancias químicas en los desechos<sup>45,46</sup>.

A nivel mundial, el papel de las emisiones de metano en el calentamiento del clima y la causa de eventos climáticos extremos amenaza la salud, el bienestar y el sustento de los ciudadanos de todo el mundo. Las emisiones de metano contribuyen a la formación de ozono troposférico, un contaminante atmosférico secundario con graves efectos para la salud<sup>47</sup>. Se ha estimado que, en 2017, 1 millón de muertes prematuras en todo el mundo podrían atribuirse al ozono troposférico<sup>48</sup>. Las emisiones de metano fueron atribuibles a 1 millón de muertes prematuras en todo el mundo en 2017 debido al ozono troposférico, que es un contaminante atmosférico secundario del que el metano es un constituyente. Las cifras más recientes de 2020 sugieren que el número de muertes prematuras por exposición al ozono troposférico podría llegar a 1,3 millones al año<sup>49</sup>. La inhalación de ozono troposférico daña el tejido pulmonar y la exposición a largo plazo puede causar una

reducción permanente de la función pulmonar<sup>50</sup>. No se conocen niveles seguros de exposición al ozono troposférico. La exposición a cualquier nivel puede ser peligrosa y puede causar daño. La reducción de las emisiones de metano ayuda a reducir el nivel de ozono troposférico<sup>51</sup>.

Los peligros ambientales de los rellenos sanitarios no se limitan a las emisiones de metano. Los rellenos sanitarios también son fuentes de compuestos orgánicos volátiles, contaminación por lixiviados y malos olores que causan molestias a los trabajadores y las comunidades, así como impactos directos e indirectos en la salud<sup>52</sup>. Además, la degradación de los residuos en los rellenos sanitarios también produce dióxido de carbono que, al igual que el metano, alimenta el cambio climático<sup>53</sup>. Las políticas depredadoras tienden a ubicar estas fuentes de contaminación en comunidades más pobres como Usme y Ciudad Bolívar, donde los residentes tienen la desgracia de vivir cerca del relleno sanitario de Doña Juana.

## Desigualdad en la exposición al metano

Con más de la mitad de la población mundial<sup>54</sup>, las ciudades desempeñan un papel fundamental y relevante en la superación de la crisis climática y de biodiversidad. Como arenas masivas y crecientes de cultura, política y resistencia, las ciudades están en el centro de eventos y decisiones cruciales que afectan a todo el planeta, no solo por el impacto de sus emisiones en el clima, sino también como fuente de transformaciones inspiradoras que ya están siendo llevadas a cabo por comunidades enteras y movimientos sociales. Son sistemas donde hay un mayor consumo generalizado de bienes y servicios como el agua, la energía, los alimentos y el transporte, y por lo tanto son el lugar donde se generan grandes volúmenes de residuos. Esto, sumado a que las personas se han acostumbrado a la inmediatez y la comodidad relacionadas con un ritmo de vida frenético, ha llevado a que el cuidado del medio ambiente y el interés por el desarrollo sostenible hayan pasado a un segundo plano. Por lo tanto, para que Colombia sea considerada sostenible, debe incluir en su economía el valor de la protección del medio ambiente, la disposición adecuada de los residuos y el valor del uso de los ecosistemas. Además, es inteligente al promover la economía circular en los sectores de energía, transporte, agua, residuos y suelo; es eficiente porque minimiza su huella energética, hídrica y de carbono; y es solidaria adoptando modelos de comercio justo, de consumo respetuoso con los recursos, responsable y local.

En ciudades conviven muchas comunidades que no solo están excluidas, discriminadas y desempoderadas por quienes se benefician del injusto statu quo, sino que también son las más afectadas por la crisis climática y de biodiversidad, crisis que son las que menos contribuyen a provocar. Pero con una perspectiva inclusiva y justa, no solo podrían incluirse y formalizarse, sino también colaborar en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos en su conjunto, como es el caso de los recicladores.



## Recicladores

Los recicladores o trabajadores de residuos<sup>55</sup> contribuyen a las economías locales, a la salud, a la seguridad pública y a la sostenibilidad ambiental. Si bien el reconocimiento de sus contribuciones está creciendo en algunos lugares, a menudo se enfrentan a un estrato social bajo, condiciones de vida y de trabajo deplorables y reciben poco apoyo de los gobiernos locales. Cada vez más, se enfrentan a desafíos debido a la competencia por los lucrativos residuos de las poderosas entidades corporativas<sup>56,57</sup>.

En el caso específico de Bogotá D.C. - los recicladores brindan un servicio ambiental de carácter público que beneficia a todos los ciudadanos. Conformada por diversos sectores de la población (personas en situación de pobreza, desplazadas por el conflicto armado, migrantes recién llegados a ciudades en expansión y personas desempleadas), la población recicladora recupera diversos materiales como vidrio, cartón, papel, metales y plásticos.

De 2015 a 2022, los recicladores han recogido 6.839.839 toneladas de residuos reutilizables, lo que significa que han contribuido a alargar la vida útil del relleno sanitario de Doña Juana en aproximadamente 20 meses<sup>58</sup>.

De acuerdo con la organización Mujeres en Empleo Informal: Globalizando y Organizando<sup>59</sup>, se desarrolló una metodología y herramienta de cálculo para determinar la reducción de emisiones de gases contaminantes causantes del cambio climático a través del reciclaje inclusivo, encontrando que el trabajo realizado por la comunidad de recicladores es altamente relevante para reducir las emisiones generadas por la disposición de residuos en la ciudad.

El cálculo tuvo en cuenta la proyección de todos los recicladores que reportan al Sistema Unificado de Información de Servicios Públicos (SIU) en Bogotá, la calculadora de equivalencias de GEI del gobierno canadiense, los datos de recolección proporcionados por el equipo técnico de la Asociación Cooperativa de Recicladores de Bogotá - ARB - cifras estimadas del PGIRS (para el total del SUI de Bogotá). Así mismo, los datos de Disposición y Transporte del esquema público del Servicio de Recolección de Residuos de Bogotá (Aseo de Bogotá). Encontrando que las emisiones evitadas por la acción de 25.259 recicladores en Bogotá D.C. fueron de 3.782.198 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/año, es decir, cada reciclador en Bogotá en promedio mitiga 149.7 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/año<sup>60</sup>.

## Metodología

El perfil de metano del relleno sanitario de Doña Juana se estimó utilizando la metodología descrita en el informe de 2006 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero<sup>61</sup>. En este estudio se ha adaptado la metodología que se ha desarrollado para el inventario y la presentación de informes sobre las emisiones a nivel nacional a las estimaciones de metano de un solo relleno sanitario. El modelado del perfil de metano utilizó la hoja de cálculo de acceso abierto AFVALZORG Simple Landfill Gas Model<sup>62</sup> desarrollada por NV Afvalzorg Holding (R. Gronert & H. Scharff), que sigue los principios de las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero y el Refinamiento de 2019 de la metodología del IPCC de 2006<sup>63</sup>.

El perfil de metano consiste en la generación, captura y emisiones de metano. La generación de metano en los rellenos sanitarios está determinada por la interacción de los factores climáticos y ambientales, las características de los residuos domésticos y las prácticas de gestión, y se calcula tomando como referencia la información establecida y emergente en la literatura sobre la degradación de los materiales sólidos. Las estimaciones de generación son específicas para las métricas y particularidades del relleno sanitario de Doña Juana. La cantidad de metano capturado y quemado o combustionado en el sistema de conversión de gas en energía de relleno sanitario se estima a partir de los datos proporcionados en fuentes secundarias. Las emisiones finales de metano son la cantidad de metano generado menos la cantidad de metano capturado.

El perfil de CO<sub>2</sub> estima la cantidad de CO<sub>2</sub> de dos fuentes. La primera fuente es el CO<sub>2</sub> generado a partir de la degradación anaeróbica de los residuos. Al igual que el perfil de metano, la generación de CO<sub>2</sub> también está determinada por la interacción entre una serie de factores descritos en el párrafo anterior. La segunda fuente de CO<sub>2</sub> proviene de la quema de metano o metano de combustión para la generación de energía. Este proceso crea energía y libera CO<sub>2</sub>.

Una descripción detallada de cómo se estimaron los perfiles de metano y dióxido de carbono del relleno sanitario de Doña Juana se puede encontrar en el Apéndice I (Sesión informativa de investigación técnica: [An Application of the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) methodology to estimate the generation, capture, and emissions of methane from Doña Juana urban solid waste (MSW) landfill in Bogotá, Colombia].) Aplicación de la metodología del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2006 para estimar la generación, captura y emisiones de metano del vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU) de Doña Juana en Bogotá, Colombia).



## RESUMEN

### → Relleno sanitario de Doña Juana de un vistazo

Tan solo **un año de disposición de residuos** en el relleno sanitario de Doña Juana...  
... podría generar más de **90.000 toneladas** de metano en los próximos años...  
... que tiene un potencial de calentamiento global<sup>5</sup> casi equivalente a las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de 623.000 carros<sup>64</sup>.

**Para el año 2023**, el relleno sanitario de Doña Juana ...  
... había recibido más de **63 millones de toneladas de residuos**,  
... había liberado más de **1.400.000 toneladas de metano**,  
... liberará otras **590.000 toneladas de metano**, incluso si no se vierten más residuos en el relleno sanitario.

## Perfiles de metano del relleno sanitario de Doña Juana



### 1. Potencial de generación de metano a partir de la eliminación de residuos de un año (2023)

El relleno sanitario de Doña Juana recibió 2.172.717 toneladas de residuos domiciliarios en 2023, lo que equivale al volumen de más de 75.000 contenedores marítimos<sup>65</sup>.

Para entender la magnitud del impacto de solo un año de residuos vertidos en el relleno sanitario de Doña Juana, la cantidad de residuos que Bogotá generó en 2023 tiene un potencial de generación de metano de 93.489 toneladas, con un potencial de calentamiento

equivalente a las emisiones promedio de alrededor de 623.000 automóviles durante un año completo. El potencial de generación de metano tiene el mismo potencial de calentamiento que 2.617.692 toneladas de CO<sub>2</sub>e<sup>66</sup>.

La generación de metano alcanza su punto máximo en el año siguiente a la eliminación, en 2024. La mitad de todo el metano que se generará se genera en los primeros 7 años, entre 2024 y 2031. En 2065, el nivel anual de generación de metano alcanza finalmente el 10% del nivel de 2024. Tendrán que pasar otros 35 años, hasta 2100, para que la generación anual de metano caiga por debajo de 1 tonelada de metano, lo que subraya cómo los rellenos sanitarios afectan hoy a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la calidad del aire del futuro. No todo el metano generado se liberará a medida que una fracción se capture en la instalación de conversión de gas en energía del relleno sanitario.

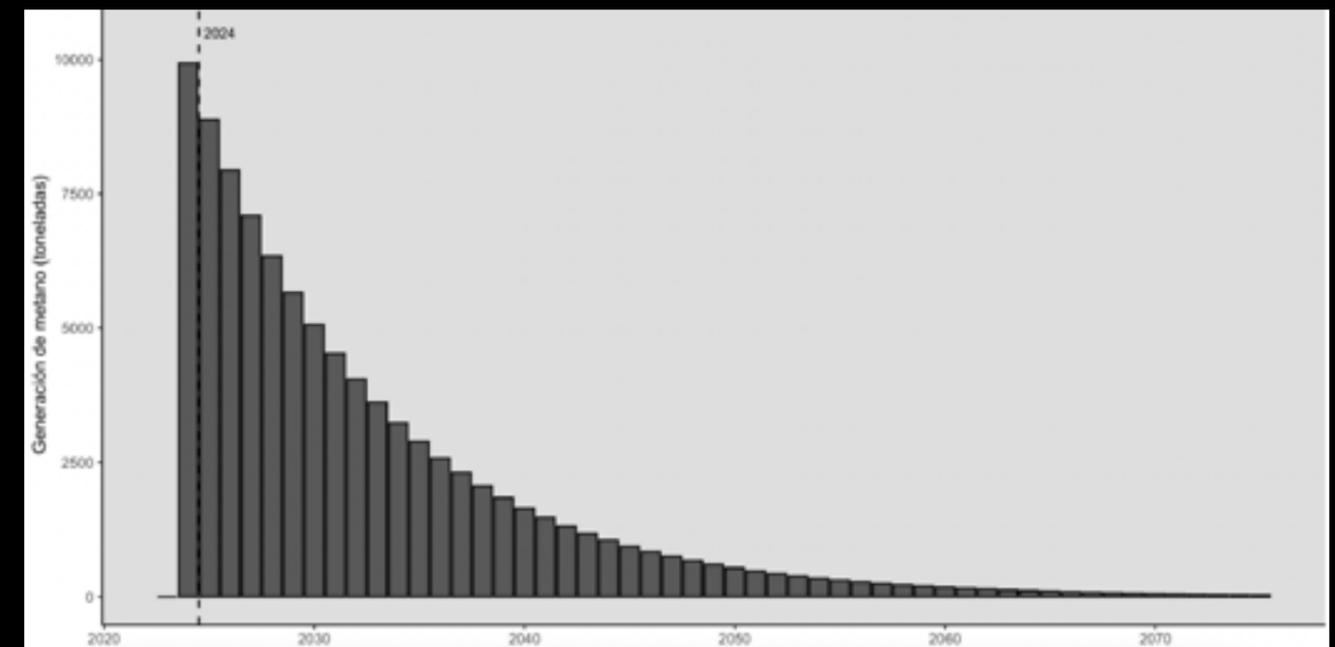


Figura 5. Modelización de la distribución temporal de la generación de metano en el periodo temporal 2024-2075 a partir de la degradación del depósito de RSU de 2023 en el relleno sanitario de Doña Juana.

Lo que hoy se deposita en rellenos sanitarios sigue contaminando el aire y contribuyendo al cambio climático durante muchos años. A pesar del potencial de emisiones de los rellenos sanitarios durante una década, si detenemos el vertido hoy, experimentaremos una fuerte disminución de las emisiones de metano del relleno sanitario de Doña Juana.

<sup>65</sup> Los cálculos se realizan sobre la base de las emisiones promedio de CO<sub>2</sub>e de los vehículos de pasajeros propulsados por gasolina promedio en los Estados Unidos. Se utiliza un factor de conversión de <sup>27</sup> para convertir el potencial de calentamiento del metano en dióxido de carbono.



Greenpeace  
© Nathalia Angarita

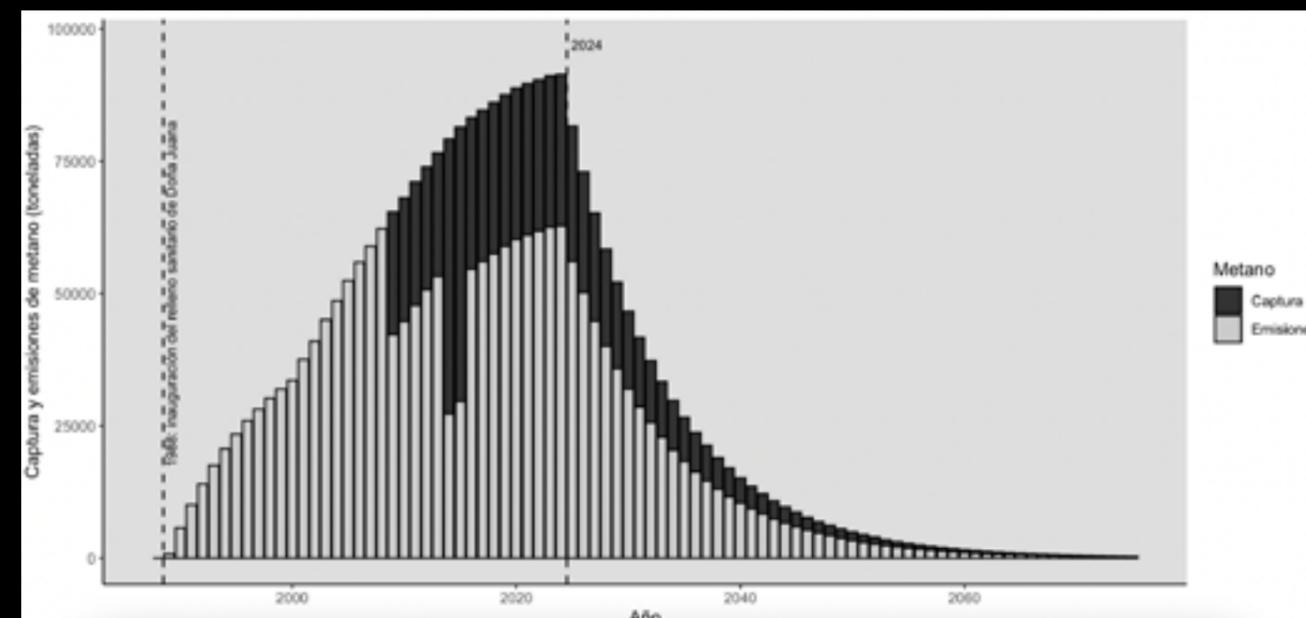
## 2. Emisiones de metano del relleno de Doña Juana

Desde el inicio del relleno de Doña Juana en noviembre de 1988 hasta finales de 2023, se han vertido unas 63.324.779 toneladas de residuos domésticos. La cantidad de residuos puede llenar más de 2 millones de contenedores marítimos hasta el borde<sup>67</sup>.

Los residuos que se han vertido en el relleno tienen un potencial combinado de generación de metano de 2.724.158 toneladas. Este potencial combinado de generación de metano tiene el mismo potencial de calentamiento que 73.552.266 toneladas de CO<sub>2</sub>e<sup>68</sup>.

El 70,3% del potencial de generación de metano ya había sido liberado a finales de 2023, y el 29,7% restante corresponde a la contaminación del aire y al cambio climático, que exacerbaban los gases de efecto invernadero que están a la espera de ser generados y emitidos.

Se prevé que el relleno de Doña Juana emita 62.802 toneladas de metano en 2024 sin tener en cuenta los residuos que se generan y eliminan en 2024. Por lo tanto, se espera que el número real sea mayor. Eso significa que se estima que el relleno de Doña Juana es responsable de al menos el 2.02% de las emisiones totales de metano proyectadas de Colombia en 2024.



**Figura 6.** Modelización de la distribución temporal estimada de la captura y emisión de metano en el periodo de tiempo 2024-2075 a partir de la degradación del depósito de RSU en el relleno de Doña Juana, sin contabilizar los depósitos de RSU posteriores a 2023.

A partir de 2023, la generación de metano del relleno de Doña Juana tiene un potencial de calentamiento equivalente a las emisiones promedio de más de 17 millones de automóviles durante un año completo. Haría falta que un coche de gasolina Renault Duster<sup>69</sup>, el coche más vendido en Colombia en 2023, diera la vuelta al planeta casi 11.5 millones de veces para emitir esa cantidad de gases de efecto invernadero<sup>70</sup>.

### 3. Impactos sanitarios y económicos de las emisiones de metano del relleno de Doña Juana

El metano es peligroso para la salud y el bienestar humano porque actúa como precursor del ozono troposférico, que es un contaminante atmosférico peligroso con repercusiones mortales en la salud humana y pública<sup>71</sup>. La exposición al ozono troposférico está relacionada con una serie de resultados de salud, entre los que se incluyen los ingresos hospitalarios relacionados con el asma y las muertes prematuras por enfermedades cardiovasculares<sup>72</sup>.

Un estudio de 2023 estimó que, por cada millón de toneladas de metano emitidas a la atmósfera, el ozono troposférico provocará 760 muertes prematuras relacionadas con las vías respiratorias en todo el mundo, con un costo económico de 7,4 trillones de pesos colombianos<sup>73,74</sup>.

Teniendo en cuenta todos los residuos que se han vertido en el relleno sanitario de Doña Juana entre el inicio de su funcionamiento en 1988 y 2023, el número total estimado de muertes a nivel mundial que han causado las emisiones de metano podría ascender a más de 1074<sup>75</sup>. Incluso si Doña Juana deja de operar en 2024, las emisiones residuales de metano serán atribuibles a la muerte de otras 450 personas en las próximas décadas<sup>75</sup>.

Entre 1988 y 2023, el costo económico estimado de las emisiones de metano del relleno sanitario de Doña Juana para la sociedad superó los 10,2 trillones de pesos colombianos<sup>76</sup>. En el transcurso de los próximos 65 años, el metano que se seguirá liberando del relleno sanitario de Doña Juana incurrirá a la sociedad otros 4,3 trillones de pesos colombianos, incluso si la eliminación de residuos se detiene por completo en 2024. Esto significa que a partir de 2023, los residuos del relleno sanitario de Doña Juana ya habrá acumulado un costo económico de 14,5 trillones de pesos colombianos. El costo para la economía desvía fondos de otras necesidades importantes y críticas, que podrían haberse gastado en combatir incendios forestales, invertir en salud pública y mejorar los medios de vida de los colombianos.

Las emisiones incontroladas e irresponsables de metano que alimentan el cambio climático crean la base para que ocurran otros eventos climáticos peligrosos<sup>77</sup>, en adelante incendios forestales de los cuales el incidente en Colombia ha aumentado drásticamente en los últimos años<sup>78</sup>. Los incendios forestales no solo emiten grandes cantidades de metano que rivalizan con las fuentes antropogénicas<sup>79</sup>, lo que desestabiliza aún más el clima, sino que también contaminan el aire con material particulado, smog, crean condiciones de tráfico peligrosas y perturban el sustento de millones de personas<sup>80</sup>. Sin embargo, quizás el impacto más desalentador de los incendios forestales, que están relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero, es cómo el aire contaminado provoca enfermedades respiratorias y cardiovasculares para quienes lo respiran, siendo los niños y los ancianos, los más vulnerables de nuestra sociedad, a menudo los que experimentan el mayor impacto<sup>81</sup>.



Greenpeace  
© Nathalia Angarita

### 4. Emisiones de dióxido de carbono

El potencial de generación de CO<sub>2</sub> del relleno sanitario de Doña Juana a partir de todos los residuos dispuestos en el relleno sanitario para 2023 y el metano que se captura y quema se estima en 9.455.167 toneladas. Las emisiones de CO<sub>2</sub> del relleno sanitario de Doña Juana no son insignificantes. Se necesitaría un coche de gasolina Renault Duster<sup>82</sup>, el carro más vendido en Colombia en 2023, dando la vuelta al ecuador más de 1,4 millones de veces para emitir esa cantidad de CO<sub>2</sub><sup>83</sup>.

## Recomendaciones

Detener el empeoramiento del impacto del cambio climático y garantizar un aire limpio para todos debe ser una prioridad en la estrategia de gestión de residuos de Colombia. La práctica de depositar los residuos domésticos en rellenos sanitarios no está alineada tanto con la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como con el derecho al aire limpio. Los rellenos sanitarios son un problema social apremiante, ya que continúan contaminando el aire y poniendo en peligro la salud y el bienestar de todos los colombianos, pero especialmente de los más vulnerables socioeconómicamente de diversas maneras. Los recicladores experimentan riesgos laborales, el aire de las comunidades de nivel socioeconómico a menudo más bajo ubicadas en las cercanías de los rellenos sanitarios está contaminado, los eventos climáticos extremos exacerbados por las emisiones de metano de los rellenos sanitarios crean condiciones atmosféricas peligrosas que afectan de manera desproporcionada a los niños y los ancianos, por mencionar algunas de las repercusiones peligrosas de una estrategia de gestión de residuos inepta. Los impactos sociales y ambientales precipitados de las estrategias convencionales de gestión de residuos basadas en rellenos sanitarios provocan el cuestionamiento de su idoneidad y subrayan la necesidad de un cambio radical basado en el sistema.

En Bogotá, la principal estrategia de gestión de residuos no puede ser tirar los residuos en el relleno sanitario de Doña Juana. Esta práctica es insostenible, incompatible con los objetivos climáticos y, a nivel social, económicamente costosa debido a los impactos adversos que conlleva. Estos son costos que no podemos permitirnos. Para provocar un cambio, la actual estrategia de gestión de residuos domésticos basada en rellenos sanitarios debe modificarse y convertirse en un marco de gestión de residuos más integrado que utilice formas más ecológicas y sostenibles de gestionar los residuos. Sin embargo, un elemento imprescindible en una estrategia de gestión sostenible de residuos no está en cómo se gestionan los residuos, sino que debemos reducir la generación de residuos en origen y cambiar radicalmente la forma en que producimos y consumimos.

Bogotá necesita un plan de gestión integral de residuos que conecte correctamente a la ciudadanía, las empresas de servicios públicos, los recicladores y otros actores de la cadena para garantizar un ciclo armónico, limpio y sostenible. Este plan debe incluir el desarrollo de acciones para reducir, reutilizar y reciclar; también debe promover el compostaje, la formalización, el empoderamiento y la capacitación de recicladores, así como aumentar la segregación de residuos entre los ciudadanos. Promover redes de economía solidaria, alianzas entre grupos comunitarios, sociales y ciudadanos.

Muchos de los problemas ambientales y sanitarios de las grandes ciudades están relacionados directa o indirectamente con la problemática de la basura o los desechos y Bogotá como gran metrópoli no es la excepción. La contextualización social del impacto de los residuos en la ciudadanía está dada por el impacto en la salud de las personas más vulnerables por su cercanía al relleno sanitario Doña Juana y el análisis del trabajo que realizan los recicladores en cuanto a sus condiciones laborales, derechos humanos para la visibilización y reconocimiento del trabajo que realizan día a día.

Una adecuada gestión de residuos en ciudades como Bogotá puede convertirse en una gran oportunidad, ya que la recuperación de recursos de los residuos reduce la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos; la posibilidad de generar nuevos puestos de trabajo, mejorar el entorno urbano y la calidad de vida, así como estimular un verdadero desarrollo urbano sostenible. Si bien el relleno sanitario Doña Juana es el más grande de Colombia por la cantidad de residuos sólidos urbanos que recibió en 2023, es solo uno de los 165 rellenos sanitarios que existen en el país<sup>84</sup>. Otros rellenos sanitarios importantes que se podría suponer que también son fuentes importantes de metano antropogénico son el relleno sanitario de La Pradera en Antioquia, el de El Guabal en el Valle del Cauca y el relleno sanitario de Nuevo Mondoñedo en Cundinamarca. Junto con el relleno sanitario Doña Juana, estos cuatro rellenos sanitarios regionales representaron aproximadamente el 43,1% de todos los residuos sólidos urbanos producidos en Colombia<sup>85</sup> en 2023. Por lo tanto, la necesidad de reformar radicalmente el sistema de gestión de residuos no es solo de Bogotá; Es a nivel nacional.



## Referencias

- Corporación Universitaria para la Investigación Atmosférica (UCAR). 2012. Metano. Agosto 2024. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/methane>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2021. Cambio Climático 2021: Las Bases de la Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I del Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Julio de 2024. [https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf)
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2022. En pleno funcionamiento, el Observatorio de Metano de las Naciones Unidas allana el camino para una drástica reducción de emisiones. Julio de 2024. <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/fully-operational-un-methane-observatory-paves-way-steep-emissions>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2022. La evidencia es clara: el momento de actuar es ahora. Podemos reducir las emisiones a la mitad para 2030. Julio de 2024. <https://www.ipcc.ch/2022/04/04/ipccar6-wgiiipressrelease/>
- Estado del aire global. Explore los datos: Carga de impacto en la salud en su salud. Julio de 2024. <https://www.stateofglobalair.org/data/#/health/plot?country=COL&pollutant=ozone&measure=death&deathMetric=number&geography=pais&región=pais&subregiones=&resultado=carga&regiónToggle=0&globals=false&hideCountry=false>
- Anthesis Lavola. 2021. Estructuración y formulación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales. August 2024. [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-final-nama-rsm\\_20210331.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-final-nama-rsm_20210331.pdf)
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP & CANCELLETERÍA. 2016. Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Agosto 2024. <https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosMarinosCosterosyRecursosAcuatico/INGEI.pdf>. Galvis Gómez, C.F. 2020. Área metropolitana Bogotá-Cundinamarca: potencialidades, obstáculos y retos. Revista Ciudades, Estados y Política, 7, 51-62.
- Galvis Gómez, C. F. 2020. Área metropolitana Bogotá-Cundinamarca: potencialidades, obstáculos y retos. Revista Ciudades, Estados y Política, 7, 51-62.
- Grupo de Trabajo de Aire Limpio. 2024. Análisis de metano del sector de residuos colombianos. Julio de 2024. <https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2024/04/11203037/colombian-waste-sector-methaneanalysis.pdf>
- Iniciativa Global de Metano (GMI). ¿Por qué es tan importante el metano? Junio 2024. <https://www.globalmethane.org/methane/index.aspx>
- Septer. Q. 2024. Una temporada de incendios sin precedentes ha arrasado uno de los puntos calientes de biodiversidad de la Tierra. Julio de 2024. <https://www.scientificamerican.com/article/unprecedented-fire-season-has-raged-through-one-of-earths-biodiversity-hotspots/>
- Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB). 2023. Residuos dispuestos en Parque Innovación Doña Juana PIDJ provenientes de Bogotá - RDPB-PIDJ. Julio 2024. <https://oab.ambientebogota.gov.co/residuos-dispuestos-en-parque-innovacion-dona-juana-pidj-provenientes-de-bogota/#info>
- Sistema de Transporte Urbano de Bogotá (SITP). Glosario. Julio 2024. <https://www.sitp.gov.co/glosario/b/#:~:text=Bus%20Biarticulado&text=Tienen%20una%20capacidad%20para%20242,corredores%20exclusivos%20del%20Sistema%20TransMilenio.>
- Maersk. 2023. Una guía de tamaños y tipos de contenedores de envío. Agosto 2024. <https://www.maersk.com/logistics-explained/transportation-and-freight/2023/08/28/freight-container>
- Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB). 2023. Residuos dispuestos en Parque Innovación Doña Juana PIDJ provenientes de Bogotá - RDPB-PIDJ. Julio 2024. <https://oab.ambientebogota.gov.co/residuos-dispuestos-en-parque-innovacion-dona-juana-pidj-provenientes-de-bogota/#info>
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). 2015. Plan de gestión integral de residuos sólidos 2016 - 2027. Julio 2024. [https://www.uaesp.gov.co/uaesp\\_jo/images/direccion/PGIRS\\_FINAL\\_18-12-2015.pdf](https://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/direccion/PGIRS_FINAL_18-12-2015.pdf)
- Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB). 2023. Residuos dispuestos en Parque Innovación Doña Juana PIDJ provenientes de Bogotá - RDPB-PIDJ. Julio 2024. <https://oab.ambientebogota.gov.co/residuos-dispuestos-en-parque-innovacion-dona-juana-pidj-provenientes-de-bogota/#info>
- Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB). 2022. Relleno Doña Juana recibió casi 3 millones de toneladas de residuos en 2021. <https://oab.ambientebogota.gov.co/relleno-dona-juana-recibio-casi-3-millones-de-toneladas-de-residuos-en-2021/>
- Gilbert, J. 2021. El relleno sanitario de Buenos Aires lidera a América Latina en la conversión de metano en energía. Julio de 2024.
- Gaitán, A. 2021. Serie documentos de trabajo N° 10 - 2023 Población en condición de vulnerabilidad monetaria en Bogotá. Julio 2024. [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/6\\_pob\\_vulnerable\\_monetaria.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/6_pob_vulnerable_monetaria.pdf)
- Ramos Gutiérrez, R. E. 2020. Una tecnología equivocada, el problema del relleno sanitario de Doña Juana. Julio de 2024. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/a-mistaken-technology-the-issue-with-the-dona-juana-landfill>
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). 2021. ZONA DE OPERACIÓN DE DOÑA JUANA RECIBE RESIDUOS DE BOGOTÁ Y SIETE MUNICIPIOS DE CUNDINAMARCA. Julio 2024. <https://www.uaesp.gov.co/content/operacion>
- Mapas y Estadísticas. 2022. Demografía y Población - Población desagregada por área 2021 Cundinamarca. Julio 2024. <https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/cundinamarca-map::demograf%C3%ADa-y-poblaci%C3%B3n-poblaci%C3%B3n-de-sagregada-por-%C3%A1rea-2021-cundinamarca/about>
- Grupo de Trabajo de Aire Limpio. 2024. Análisis de metano del sector de residuos colombianos. Julio de 2024. <https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2024/04/11203037/colombian-waste-sector-methane-analysis.pdf>
- EJAtlas - Atlas Mundial de Justicia Ambiental. 2022. Relleno sanitario Doña Juana, Colombia. Julio 2024. <https://ejatlas.org/conflict/relleno-sanitario-dona-juana-colombia-ciencia>
- BNamericas. 2019. Bogotá extenderá la vida útil del relleno sanitario por 37 años. Julio de 2024. <https://www.bnamericas.com/en/news/bogota-to-extend-landfill-lifespan-for-37-years>

- C40 Grupo de Liderazgo Climático de Ciudades (C40). 2016. Cities100: Bogotá - Proyecto de conversión de residuos en energía abastece la red nacional. Julio de 2024. <https://www.c40.org/case-studies/cities100-bogota-waste-to-energy-project-supplies-national-grid>
- Lozano, J. y Ávila, G. 2024. Evaluación del riesgo de deslizamiento de un gran relleno sanitario de residuos en la ciudad de Bogotá. Progreso en Investigación y Tecnología de Deslizamientos de Tierra 3, 93-103
- C40 Grupo de Liderazgo Climático de Ciudades (C40). 2016. CIUDADES 100. Julio de 2024. [https://issuu.com/sustainia/docs/cities100\\_2016\\_final\\_small](https://issuu.com/sustainia/docs/cities100_2016_final_small)
- Concejo de Bogotá. 2020. Bogotanos no aprovechan sus residuos reciclables: Se requiere mayor capacitación y más conciencia ambiental. Julio 2024. [https://issuu.com/sustainia/docs/cities100\\_2016\\_final\\_small](https://issuu.com/sustainia/docs/cities100_2016_final_small)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2024. “Bogotá debe ser más ambiciosa en el reciclaje y separación en la fuente”: Ministro de Ambiente. Julio 2024. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3610-bogota-debe-ser-mas-ambiciosa-en-el-reciclaje-y-separacion-en-la-fuente-ministro-de-ambiente>
- Johansson, N. 2023. ¡Aviso de reciclaje! Reconfigurando las políticas tóxicas de una economía circular. Ciencia de la Sostenibilidad 18, 1043-1048
- IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLETERÍA. 2021. BUR 3 Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Julio 2024. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>
- Holanda Circula Hotspot. 2021. Gestión de Residuos en la Región LATAM. Informe de País sobre la Gestión de Residuos: Colombia. [https://hollandcirculardhotspot.nl/wp-content/uploads/2021/04/Report\\_Waste\\_Management\\_Colombia\\_20210322.pdf](https://hollandcirculardhotspot.nl/wp-content/uploads/2021/04/Report_Waste_Management_Colombia_20210322.pdf)
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). N.D. ESPECIALES UAESP RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA. Julio 2024. <https://www.uaesp.gov.co/especiales/relleno/>
- Neville, L. y Cortés, L.F.T. 2023. Formalización de Recicladores de Bogotá a Cartagena de Indias: despojo y encierro socioeconómico en dos ciudades colombianas. Sostenibilidad 15.
- SSPD. 2019. Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos - 2018. Elaborado 2019. June 2024. [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe\\_nacional\\_disposicion\\_final\\_2019.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_nacional_disposicion_final_2019.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Orientación sobre Buenas Prácticas y Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Emisiones de CH4 procedentes de la Eliminación de Residuos Sólidos. Mayo de 2024. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5\\_1\\_CH4\\_Solid\\_Waste.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_1_CH4_Solid_Waste.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2021. Cambio Climático 2021: Las Bases de la Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Julio de 2024. [https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2021. Cambio Climático 2021: Las Bases de la Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Julio de 2024. [https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf)
- Ahorra el aire. 2024. Contaminantes atmosféricos y efectos sobre la salud. Agosto 2024. <https://www.sparetheair.org/understanding-air-quality/air-pollutants-and-health-effects/ozone>
- Kim, S.Y., Kim, E. y Kim, W.J. 2020. Efectos del ozono sobre la salud de las enfermedades respiratorias. Tuberculosis y Enfermedades Respiratorias 83, 6-11.
- Muttray, A., Gosepath, J., Schmall, F., Brieger, J., Mayer-Popken, O., Melia, M. y Letzel, S. 2018. Una exposición aguda al ozono perjudica el funcionamiento olfativo humano. Investigación Ambiental 167, 42-50.
- Salami, L. y Popoola, L. T. 2023. Una revisión exhaustiva de la evaluación de los contaminantes atmosféricos del aire alrededor de los rellenos sanitarios. Investigación sobre el aire, el suelo y el agua 16.
- Parra, F. 2020. La lucha de los recicladores en Colombia: De ser considerados basura, a ser reconocidos como trabajadores. Revista contra la Trata de Personas 15, 122-136.
- Asociación Colombiana de Universidades (ASCUN). 2024. Condiciones de trabajo precarias afectan la salud de recicladores en Bogotá. July 2024. <https://ascun.org.co/noticias/noticias-ies/condiciones-de-trabajo-precarias-afectan-la-salud-de-recicladores-en-bogota/>
- Coalición Clima y Aire Limpio. Ozono troposférico. Julio de 2024. <https://www.ccacoalition.org/short-lived-climate-pollutants/tropospheric-ozone>
- Coalición por el Clima y el Aire Limpio. Ozono troposférico. Julio de 2024. <https://www.ccacoalition.org/short-lived-climate-pollutants/tropospheric-ozone>
- Pozzer, A., Anenberg, S.C., Dey, S., Haines, A., Lelieveld, J. y Chowdhury, S. 2023. Mortalidad atribuible a la contaminación del aire ambiente: una revisión de las estimaciones mundiales. Geosalud 7.
- Organización Mundial de la Salud. N.D. Calidad del aire, energía y salud. Julio de 2024. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
- Abernethy, S., O’Connor, F.M., Jones, C.D. y Jackson, R.B. 2021. La eliminación de metano y las reducciones proporcionales de la temperatura superficial y el ozono. Transacciones filosóficas de la Royal Society a Ciencias Matemáticas, Físicas y de la Ingeniería 379.
- Siddiqua, A., Hahladakis, J.N., Al-Attiya, W.A.K.A. 2022. Una visión general de la contaminación ambiental y los efectos sobre la salud asociados con el depósito de residuos en rellenos sanitarios y rellenos sanitarios a cielo abierto. Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación 29, 58514-58536.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Orientación sobre Buenas Prácticas y Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Emisiones de CH4 procedentes de la Eliminación de Residuos Sólidos. Mayo de 2024. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5\\_1\\_CH4\\_Solid\\_Waste.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_1_CH4_Solid_Waste.pdf)

54. Banco Mundial. 2023. Entendiendo la Pobreza Desarrollo Urbano. Julio de 2024. <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Today%2C%20some%2056%25%20of%20the,people%20 ser%C3%A1%20vivir%20en%20ciudades>.
55. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 2023. Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos: una guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en desarrollo. Equidad en la Gestión de Residuos Sólidos. Julio de 2024. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-07/SWM\\_Equity-Final.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-07/SWM_Equity-Final.pdf)
56. WIEGO. 2023. Mujeres en Empleo Informal: Globalizando y Organizando por sus siglas en inglés. Calculadora de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2.0 GEI a través del Reciclaje Inclusivo: Metodología y Herramienta de Calculadora. Julio 2024. <https://www.wiego.org/resources/calculadora-de-emisoes-de-gee-20>
57. WIEGO. 2023. Mujeres en Empleo Informal: Globalizando y Organizando por sus siglas en inglés. Recicladores y derechos humanos. Julio 2024. <https://www.wiego.org/es/recicladores-y-derechos-humanos>
58. ARB (2023). Informe elaborado por la Asociación de Recicladores de Bogotá (ARB) y Greenpeace Colombia.
59. WIEGO. 2023. Mujeres en Empleo Informal: Globalizando y Organizando por sus siglas en inglés. Reducing Greenhouse Gas Emissions Calculator 2.0 GHG through Inclusive Recycling: Methodology & Calculator Tool. Julio 2024. <https://www.wiego.org/resources/calculadora-de-emisoes-de-gee-20>
60. WIEGO. 2023. Mujeres en Empleo Informal: Globalizando y Organizando por sus siglas en inglés. Reducing Greenhouse Gas Emissions Calculator 2.0 GHG through Inclusive Recycling: Methodology & Calculator Tool. Julio 2024. <https://www.wiego.org/resources/calculadora-de-emisoes-de-gee-20>
61. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006. Julio de 2024. <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
62. Afvalzorg. GAS DE RELLENO SANITARIO MODELIZACIÓN DE GASES DE RELLENO SANITARIO. Mayo de 2024. <https://www.afvalzorg.com/landfill-gas/lfg-models>
63. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2019. Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero de 2006. Julio de 2024. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/0\\_Overview/19R\\_V0\\_00\\_Cover\\_Foreword\\_Preface\\_Dedication.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/0_Overview/19R_V0_00_Cover_Foreword_Preface_Dedication.pdf)
64. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 2024. Calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero: cálculos y referencias. Agosto 2024. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-07/SWM\\_Equity-Final.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-07/SWM_Equity-Final.pdf)
65. Maersk. 2023. Una guía de tamaños y tipos de contenedores de envío. Agosto 2024. <https://www.maersk.com/logistics-explained/transportation-and-freight/2023/08/28/freight-container>
66. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2013. Cambio Climático 2013: La Base de la Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. ISBN 9781107415324
67. Maersk. 2023. Una guía de tamaños y tipos de contenedores de envío. Agosto 2024. <https://www.maersk.com/logistics-explained/transportation-and-freight/2023/08/28/freight-container>
68. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2013. Cambio Climático 2013: La Base de la Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. ISBN 9781107415324
69. Autosdeprimera. 2024. La Renault Duster fue el modelo más vendido en Colombia durante 2023. Julio 2024. <https://autosdeprimera.com/ventas-autos-nuevos-colombia-2023-modelos-mas-vendidos-cifras/> 71 Renault Qatar. N.D. Nuevos motores Renault DUSTER. Julio de 2024. <https://www.renault.qa/cars/all-new-duster/engines.html#:~:text=All%2Dnew%20Renault%20DUSTER%20engines&text=In%20extra%20Durban%20style%2C%20it,km%20y%20197g%20Fkm%20respectivamente>
70. Renault Qatar. N.D. Nuevos motores Renault DUSTER. Julio de 2024. <https://www.renault.qa/cars/all-new-duster/engines.html#:~:text=All%2Dnew%20Renault%20DUSTER%20engines&text=In%20extra%20Durban%20style%2C%20it,km%20y%20197g%20Fkm%20respectivamente>
71. Mar, K.A., Unger, C., Walderdorff, L. y Butler, T. 2022. Más allá de la equivalencia de CO2: los impactos del metano en el clima, los ecosistemas y la salud. Ciencia y Política Ambiental 134, 127-136.
72. Organización Mundial de la Salud. N.D. Calidad del aire, energía y salud. Julio de 2024. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
73. McDuffie, E.E. et al. 2023. El costo social de los impactos de la mortalidad relacionada con el ozono por las emisiones de metano. El futuro de la Tierra 11.
74. McDuffie, E.E. et al. 2023. El costo social de los impactos de la mortalidad relacionada con el ozono por las emisiones de metano. El futuro de la Tierra 11.
75. McDuffie, E.E. et al. 2023. El costo social de los impactos de la mortalidad relacionada con el ozono por las emisiones de metano. El futuro de la Tierra 11.
76. McDuffie, E.E. et al. 2023. El costo social de los impactos de la mortalidad relacionada con el ozono por las emisiones de metano. El futuro de la Tierra 11.
77. Bourzac, K. 2021. Los recortes de metano podrían frenar el cambio climático extremo. Julio de 2024. <https://cen.acs.org/environment/climate-change/Methane-cuts-slow-extreme-climate-change/99/i39>
78. Septer, Q. 2024. Una temporada de incendios sin precedentes ha arrasado uno de los puntos calientes de biodiversidad de la Tierra. <https://www.scientificamerican.com/article/unprecedented-fire-season-has-raged-through-one-of-earths-biodiversity-hotspots/>
79. Frausto-Vicencio, I., Heerah, S., Meyer, A.G., Parker, H.A., Dubey, M. y Hopkins, F.M. 2023. Absorción solar terrestre observaciones de la columna total de CO, CO2, CH4 y profundidad óptica de aerosoles del incendio del complejo relámpago Sequoia de California: Factores de emisión y eficiencia de combustión modificada a escala regional. Química y Física de la Atmósfera 23, 4521-4543.
80. Sandova, J.C. 2024. Así se mueve el humo de los incendios en Bogotá. Julio 2024. <https://www.eltiempo.com/bogota/asi-afectaa-la-calidad-del-aire-el-humo-de-los-incendios-forestales-848799>
81. Mercado, L.V. 2024. 'Se volvió insostenible': efectos de los incendios en la salud de habitantes de Bogotá. Julio 2024. <https://www.eltiempo.com/bogota/incendios-en-efectos-de-los-incendios-en-la-salud-de-los-habitantes-848512>
82. Autosdeprimera. 2024. La Renault Duster fue el modelo más vendido en Colombia durante 2023. Julio 2024. <https://autosdeprimera.com/ventas-autos-nuevos-colombia-2023-modelos-mas-vendidos-cifras/>
83. Renault Qatar. N.D. Nuevos motores Renault DUSTER. Julio de 2024. <https://www.renault.qa/cars/all-new-duster/engines.html#:~:text=All%2Dnew%20Renault%20DUSTER%20engines&text=In%20extra%20Durban%20style%2C%20it,km%20y%20197g%20Fkm%20respectivamente>
84. Congreso de la República de Colombia. 2023. Crisis ambiental en Colombia: 18 rellenos sanitarios ya colapsaron. Julio 2024. <https://www.senado.gov.co/index.php/el-senado/noticias/13-senadores/4937-crisis-ambiental-en-colombia-18-rellenos-sanitarios-yacolapsaron#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Asocapitales%2C%20actualmente%20el%20pa%C3%ADs,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>
85. Grupo de Trabajo de Aire Limpio. 2024. Análisis de metano del sector de residuos colombianos. Julio de 2024. <https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2024/04/11203037/colombian-waste-sector-methane-analysis.pdf>

