

# Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos peligrosos en Colombia y su aporte al cambio climático

Dynamic evaluation model for hazardous waste management and its contribution to climate change in Colombia

Raiza Alexandra Jiménez Bermúdez<sup>\*</sup>, Karen Dayana Quilaguy Salamanca<sup>\*\*</sup>  
y Diana Alexandra Romero Carrillo<sup>\*\*\*</sup>

---

---

## Cómo citar:

Jiménez Bermúdez, R. A., Quilaguy Salamanca, K. D., & Romero Carrillo, D. A. (2020). Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos peligrosos en Colombia y su aporte al cambio climático. *Ingeciencia*, 5, 43-56

- \* Estudiante de octavo semestre de Ingeniería Ambiental, Universidad Central.  
Correo: rjimenezb@ucentral.edu.co
- \*\* Estudiante de octavo semestre de Ingeniería Ambiental, Universidad Central.  
Correo: kquilaguys@ucentral.edu.co
- \*\*\* Estudiante de octavo semestre de Ingeniería Ambiental, Universidad Central.  
Correo: dromeroc5@ucentral.edu.co

## Resumen

Se construyó un modelo para hacer la evaluación dinámica de la gestión de residuos peligrosos en Colombia y su influencia en el cambio climático. Con este propósito se usó la metodología de dinámica de sistemas para analizar tres escenarios de gestión: el primero presenta una disminución del 20% en la tasa de generación; el segundo proyecta un aumento del 30% de la tasa de aprovechamiento, y el tercero prevé un incremento del 20% de la tasa de generación. Los resultados demuestran la importancia y urgencia de crear estrategias de gestión de los residuos peligrosos (RESPEL) desde todas sus fuentes, así como intensificar y fortalecer la normativa y su cumplimiento. Especialmente, es necesario impulsar el aprovechamiento de los RESPEL para disminuir los gases efecto invernadero (GEI). Esta investigación aporta un modelo relacional entre los residuos peligrosos y las emisiones que promueven el cambio climático, de manera que constituye una primera aproximación a la estimación de la generación de GEI.

**Palabras clave:** calentamiento global, dinámica de sistemas, gases efecto invernadero, incineración, residuos peligrosos.

---

## Abstract

A model was built to make a dynamic evaluation of hazardous waste management in Colombia and its influence on climate change. With this objective, the system dynamics methodology was used to analyze three management scenarios: the first one presents a 20% decrease in the generation rate; the second one projects a 30% increase in the utilization rate, and the third one foresees a 20% increase in the generation rate. The results demonstrate the importance and urgency of creating hazardous waste management strategies (RESPEL) from all sources, as well as intensifying and strengthening regulations and their enforcement. In particular, it is necessary to promote the use of RESPEL to reduce greenhouse gases (GHG). This research provides a relational model between hazardous wastes and emissions that promote climate change, thus constituting a first approximation to the estimation of GHG generation.

**Keywords:** dynamic model, global warming, greenhouse gases, incineration, hazardous waste, system dynamics.

## 1. Introducción

Los residuos peligrosos son aquellos que por su composición química, física y/o biológica pueden generar efectos adversos para el hombre y el ambiente (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2012). Estos residuos son resultado de la impureza de los productos que se emplean en las actividades industriales, agrícolas, de servicios e incluso domésticas (Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], s. f.), sus características o las sustancias que se generan al finalizar su vida útil, así como de las deficiencias en las prácticas operacionales.

La preocupación del mundo por el efecto de los residuos peligrosos se refleja en el Convenio de Basilea, el cual tiene como objetivo proteger a la humanidad y su entorno de sus efectos. Para ello, solicita a los países que son miembros de este acuerdo presentar informes de generación anuales, que deben construir con base en el listado de clasificación propuesto sobre residuos peligrosos, con el fin de estimar su desarrollo e impacto por almacenamiento o tratamiento.

Prácticas inadecuadas en la disposición final o en el tratamiento de los residuos peligrosos pueden generar contaminación en el aire y afectar el agua subterránea. De hecho, entre los efectos directos de los residuos peligrosos se encuentra el calentamiento global, debido a que durante la incineración se liberan gases efecto invernadero como el  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{CO}_2$  (Ideam *et al.*, 2015). Por ejemplo, la contaminación secundaria emitida por los incineradores de desechos peligrosos (HWI) puede generar riesgos potenciales para las poblaciones circundantes y el medio ambiente. De hecho, aunque la contribución de las emisiones contaminantes de estos incineradores al aire local normalmente solo representa una pequeña proporción del total, los altos niveles de contaminación secundaria, como los metales pesados y las dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/F) en los gases de escape, clasifican como riesgo para la salud de las poblaciones circundantes (Wang *et al.*, 2020). Un estudio más específico en China que evaluó los impactos ambientales de un HWI durante su ciclo de vida (LCA) concluyó que la incineración de residuos industriales peligrosos tiene un gran impacto en la toxicidad del medio ambiente y en el calentamiento global (Wenjuan *et al.*, 2013).

En América, particularmente, se ha observado un avance en la forma como se maneja el ciclo de estas sustancias. Por ejemplo, Chile construyó un modelo de gestión ambiental adecuada con el objetivo de evitar que los países subdesarrollados se conviertan en paraísos de la contaminación, para lo cual estableció que los sectores industriales con mayores cifras de contaminantes tendrían una menor expansión, mientras que se promovería a los que tuvieran un enfoque de reducción (Foa, 2016). En este sentido, Muñoz (1995), citando a Birdsall y Wheeler, resalta la importancia de realizar inversiones en tecnologías limpias, provenientes de países con normas ambientales estrictas (pp. 377-378).

Argentina, por su lado, apuntó a un vínculo entre la política ambiental y la política económica, para lo cual estableció el principio de que “el que contamina paga” (Salassa, 2016) en el modelo de acumulación y producción enfocado en la industrialización por sustitución de importaciones (Basualdo, 2011). También desde el campo de la gestión, Maniero *et al.* (2019) advierten que en Brasil el modelo de manejo consiste en que los

1 De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), las tecnologías limpias son aquellas que aplican la ecoeficiencia a procesos, productos y servicios.

trabajadores hacen un proceso de selección manual de los residuos, de modo que estos quedan expuestos al ambiente y a las personas antes de que se almacenen los que no pueden ser reciclados, la mayoría peligrosos, en una zona carente de las condiciones en las que deberían estar.

En Colombia estos residuos tomaron relevancia después de que se evidenciara que se estaban acumulando en los puertos debido a su importación para reciclaje (“Desechos tóxicos...”, 1995). Con el propósito de detener el tráfico de estos elementos tóxicos, el país se unió al Convenio de Basilea (Ley 253 de 1996) y ha presentado los correspondientes informes de generación, los cuales le han permitido plantear estrategias para que las autoridades ambientales cumplan los objetivos de vigilancia y control de los residuos peligrosos. Así lo establece el Plan de Gestión de Residuos Peligrosos y Especiales, establecido en el Decreto 1076 de 2015, el cual busca minimizar los riesgos y los costos asociados al ciclo de gestión, específicamente a los de movilización.

En el 2018 el Ideam registró que el país generó 635 518 toneladas de residuos peligrosos, para una población de 49 834 000 personas, lo cual significó un aumento del 30% con respecto a lo registrado en el año 2017, cuando se produjeron 489 058 toneladas provenientes de una población de 49 292 000 habitantes. Este incremento se presenta geográficamente en las regiones de Santander y de Antioquia para el sector de hidrocarburos (Ideam, 2011).

El presente estudio tiene como objetivo principal presentar una relación directa entre los residuos peligrosos y los gases efecto invernadero como factor del cambio climático, además de analizar la gestión de estos como causal de la acumulación de material y generación de gases contaminantes.

## 2. Metodología

El trabajo usó como metodología la dinámica de sistemas, la cual se caracteriza por la retroalimentación a partir de una teoría de control, el retardo de tiempo, la no linealidad y las estructuras de bucles de sistemas tanto complejos como dinámicos (Bala, 2018). Con base en esta perspectiva, la metodología se dividió en tres etapas: revisión bibliográfica, contextualización de la información en Colombia y diseño del modelo.

## 3. Resultados

### 3.1 Revisión bibliográfica

En esta etapa se hizo una revisión de literatura de acuerdo con los criterios establecidos en la tabla 1.

Tabla 1. Revisión de la literatura

Ítem	Descripción
Pregunta	¿Cuál es el comportamiento del sistema de los desechos peligrosos? ¿Cuál es el efecto que tienen sobre el cambio climático?
Palabras clave	Español: desechos peligrosos, calentamiento global, cambio climático Inglés: <i>hazardous waste, global warming, climate change.</i>
Expresión booleana	(TITLE-ABS-KEY (“hazardous waste”) AND TITLE-ABS-KEY (“global warming”)) AND PUBYEAR > 2014
Base de datos	Scopus
Período	2015-2020
Criterio de selección	Los artículos debían tener el siguiente enfoque: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daño al medio ambiente.</li> <li>• Cambio climático.</li> <li>• Alternativas de gestión de residuos peligrosos.</li> <li>• Con base en lo anterior, se descartó el material de investigaciones en el área de la medicina.</li> </ul>
Resultado	30 documentos

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la gestión de residuos, Sukholthaman y Sharp (2016) exponen avances relevantes en la vida útil de un relleno sanitario en Bangkok (Tailandia) gracias a un modelo que propone diferentes escenarios de separación desde la fuente. En un acercamiento al sector industrial, Ding *et al.* (2016) plantean un modelo para gestionar los residuos de construcción que haga frente a los efectos de un relleno sanitario deficiente: contaminación de aguas subterráneas, disminución de la fertilidad de los suelos y contribución al cambio climático debido a la cantidad de contaminantes que son liberados a la atmósfera. De hecho, se debe tener en cuenta que por cada tonelada de columna de residuos procesados en un vertedero se producen 200 libras de emisiones de CO<sub>2</sub> potencialmente contribuyentes al calentamiento global (Levis, 2008).

Desde una perspectiva práctica, Sufian y Bala (2007) realizaron un modelo de gestión de residuos sólidos para la ciudad de Dhaka (Bangladesh). En esta propuesta se busca generar energía a partir de los residuos como alternativa para mitigar los impactos ambientales. Se basa en una de las metodologías más usadas en el tratamiento de residuos, la incineración, proceso que consiste en la combustión controlada de residuos con el fin de reducir su peso y volumen, así como de destruir la mayor parte de los contaminantes. Sin embargo, el producto final de esta incineración son compuestos como el CO<sub>2</sub>, vapor de agua o hidrocarburos en los gases. Esta incineración propicia el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y representa el 93% del total de emisiones de una incineradora.

Además, aunque la energía producida, conocida como *energía verde*, puede ser recuperada en distintas formas: calor, electricidad o cogeneración (procedimiento mediante el cual

se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil), estas plantas suelen emplear combustibles auxiliares debido a la baja eficiencia energética, lo cual hace que la mayoría de la energía que generan se utilice en esta, además de producir emisiones de CO<sub>2</sub> mayores a plantas térmicas de gas o carbón (Greenpeace, 2009).

Ahora bien, en cuanto a residuos peligrosos se refiere, muchas de las industrias encargadas de las incineraciones no reportan las cifras reales de este tipo de residuos para no sobrepasar los índices de normativa para GEI, de manera que no se registran completamente los diferentes elementos resultantes: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, siendo este último uno de los principales causantes del cambio climático (Emplea Verde *et al.*, 2010).

### 3.2. Contextualización en Colombia

Respecto a la contextualización del problema, en la revisión bibliográfica se encontró un reportaje de la revista *Semana* (2014) que explica cómo se manejan los residuos peligrosos en el país, para lo cual hace un seguimiento al modelo de la empresa Tecniamsa Bogotá: el proceso comienza con la recepción de los residuos que han sido estudiados previamente por personal técnico. Cuando llegan a la planta, se hace el pesaje en una báscula calibrada y se inspeccionan los vehículos que los trasladaron. Luego, los residuos se llevan a la zona temporal, en donde son ubicados de acuerdo con su compatibilidad química para trasladarlos a la planta de incineración o llevarlos posteriormente a la celda de seguridad. Si se decide incinerarlos, los desechos se colocan en un horno a temperaturas que oscilan entre los 800 °C y los 1000 °C para lograr la destrucción térmica de estos materiales y/o sustancias. Si se van a almacenar, la planta de incineración tiene diferentes cuartos para guardar residuos de carácter industrial y cuartos fríos para los patógenos.

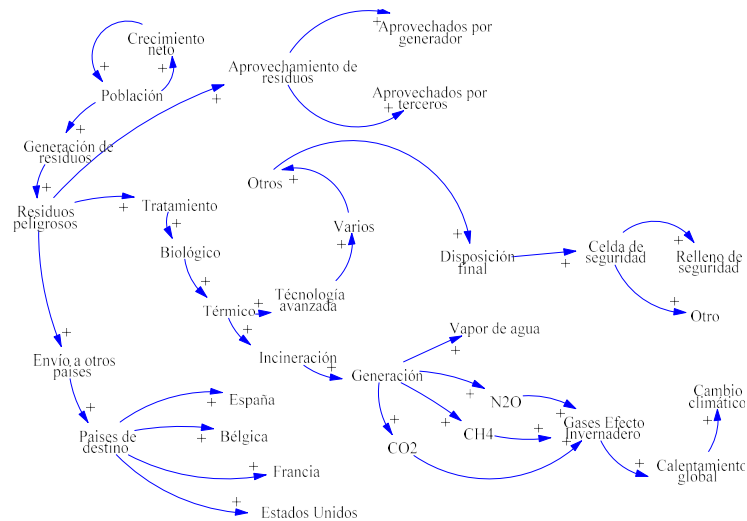
Los residuos que superan los valores permitidos para la incineración deben ser tratados, con el fin de disminuir sus valores de toxicidad. Posteriormente, son depositados en una celda de seguridad, la cual consiste en un terreno amplio que cuenta con características geológicas ideales para el proceso (poca infiltración), debido a que, si bien se hace un recubrimiento con geomembrana y otros materiales como arcilla para evitar el contacto entre los residuos y el suelo, aún existe la posibilidad de que entren en contacto (Canal 22, 2018).

### 3.3 Diseño del modelo con base en la dinámica de sistemas

En esta etapa de la investigación se consultaron los informes nacionales de generación y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia (informes RESPEL), los reportes elaborados en cumplimiento del Convenio de Basilea y la base de datos mundial. Estos documentos proporcionaron la información acerca de la cantidad de residuos peligrosos generados en el país, así como su división en aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

También se consultó información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para analizar el crecimiento poblacional, los informes del cambio climático del Ideam y la normativa y regulación de la gestión de los residuos establecida por el Ministerio del Ambiente.

Con base en esta información, se seleccionó el rango de datos de 2010–2018 para hacer una proyección del incremento de residuos, sus efectos y manejo a medida que aumenta la población (figura 1). Específicamente, se clasificaron en dos grandes grupos: residuos no peligrosos y residuos peligrosos; la investigación se centró en este último.



**Figura 1.** Modelo aplicando la dinámica de sistemas.

**Fuente:** elaboración propia.

Teniendo en cuenta el modelo, se puede observar que el proceso se divide en tres opciones: la primera es cuando los residuos peligrosos son enviados a otros países, en este caso a Francia o Bélgica, para que sean tratados con diferentes técnicas o tecnologías avanzadas y tengan una disposición final. La segunda es el aprovechamiento del residuo peligroso, ya sea por las entidades que lo generan o por terceros. En esta alternativa el aprovechamiento realizado por el generador o aprovechamiento interno corresponde a las operaciones o procesos mediante los cuales se modifican las características de los residuos en el interior del establecimiento donde fueron generados, mientras que el realizado por terceros se denomina *aprovechamiento externo* y consiste en las operaciones que se hacen fuera de la instalación donde fueron generados. Por ejemplo, se pueden aprovechar materiales como reciclaje de baterías usadas, plomo, ácido etc.

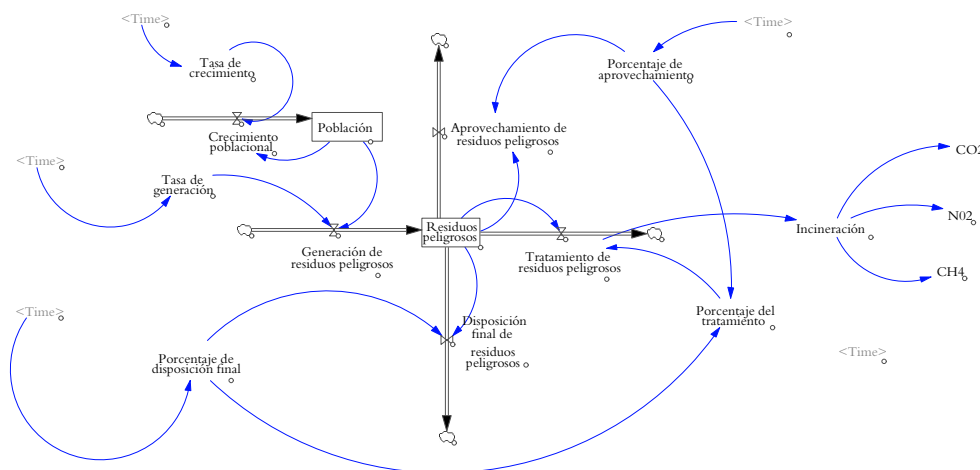
En la tercera opción se realiza un tratamiento para modificar las características de los residuos peligrosos teniendo en cuenta el riesgo y el grado de peligrosidad que representan, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento o para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente. Dependiendo el tipo de residuo peligroso, se hará uno de los siguientes tipos de tratamiento:

- *Biológico*, que corresponde a las mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos, y aceites minerales.
- *Térmico*, en el cual predomina el realizado por terceros.
- *Tecnologías avanzadas*, que en su mayoría emplean residuos del sector de hidrocarburos, la utilización de varios tratamientos u otro tipo de tratamiento, como la incineración de los residuos peligrosos.

Finalmente, la disposición final tiene el objetivo de aislar y confinar los residuos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente. Entre las opciones de operaciones de disposición final se encuentra la celda de seguridad, el relleno de seguridad u otro tipo de disposición final diferente a las nombradas anteriormente.

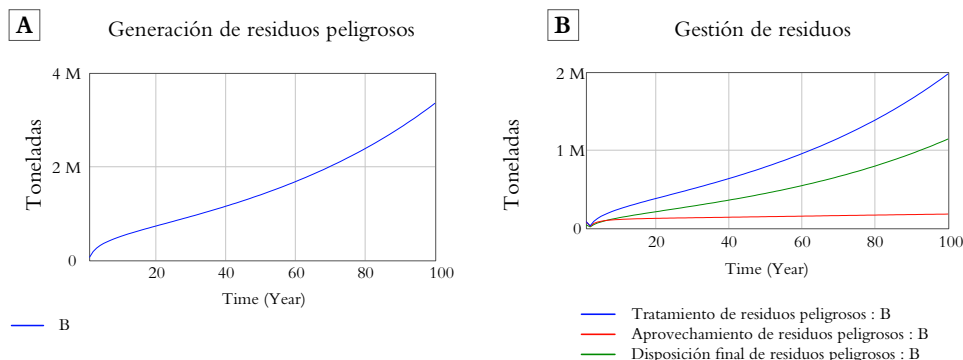
### 3.3.1 Modelo de niveles y flujos

El modelo de niveles y flujos (figura 2) se creó de acuerdo con las tasas de crecimiento de la población, con la finalidad de determinar la cantidad de residuos peligrosos producidos por dicha población mediante una tasa de generación. Una vez definida la tasa de generación, se calculó la cantidad estimada de residuos peligrosos producidos, de los cuales una parte pasa a una etapa de tratamiento, otra a aprovechamiento y otra a disposición final. Cada uno de los porcentajes de tratamiento, aprovechamiento y disposición final van ligados a un tiempo: consideramos un período de cien años para hacer la estimación de cada uno y ligamos el tiempo a la población para estimar la cantidad de residuos peligrosos generados a partir del crecimiento poblacional presentado.



**Figura 2.** Modelo de niveles y flujos para residuos peligrosos.  
Fuente: elaboración propia.

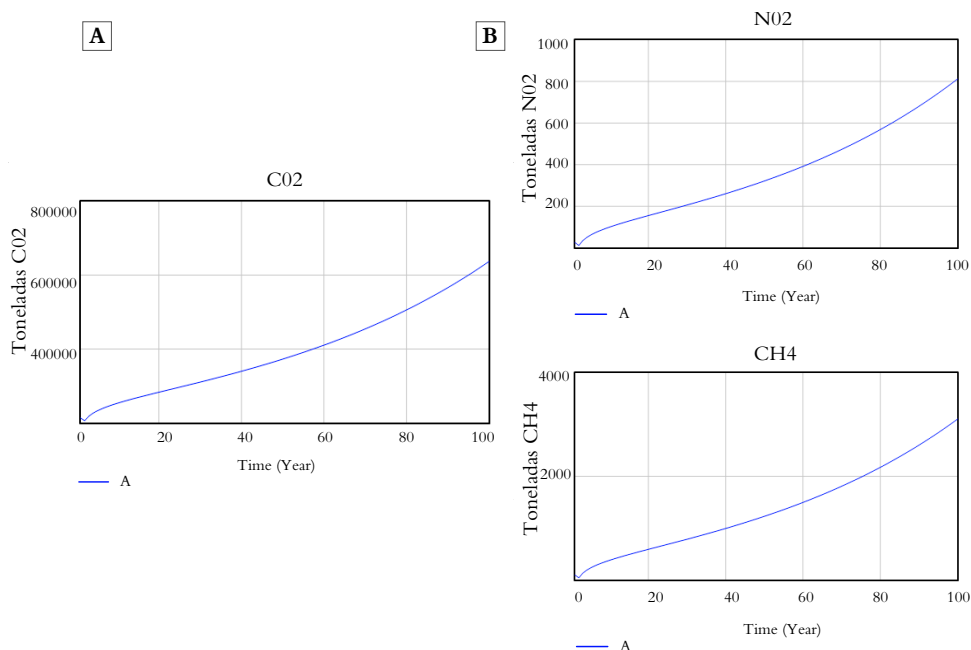
En la figura 3 se presentan los resultados de la aplicación del modelo con una proyección de cien años. El diagrama muestra un comportamiento exponencial en la generación y gestión de estos residuos, y resalta que la metodología más utilizada será el tratamiento, que manejará más de 2,25 millones de toneladas.



**Figura 3.** Desarrollo del modelo. a) La generación de residuos peligrosos seguirá en aumento a medida que avance el tiempo; b) Gestión de residuos peligrosos.  
Fuente: elaboración propia.



A partir de los resultados anteriores, el modelo se enfocó en el tratamiento por incineración, la metodología más contaminante, pues genera altas concentraciones de gases efecto invernadero  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{CH}_4$ . De acuerdo con el análisis, al final del año proyectado se alcanzarán más de 400 000 toneladas de  $\text{CO}_2$ , 800 toneladas de  $\text{NO}_2$  y aproximadamente 30 000 toneladas de  $\text{CH}_4$  (figura 4).

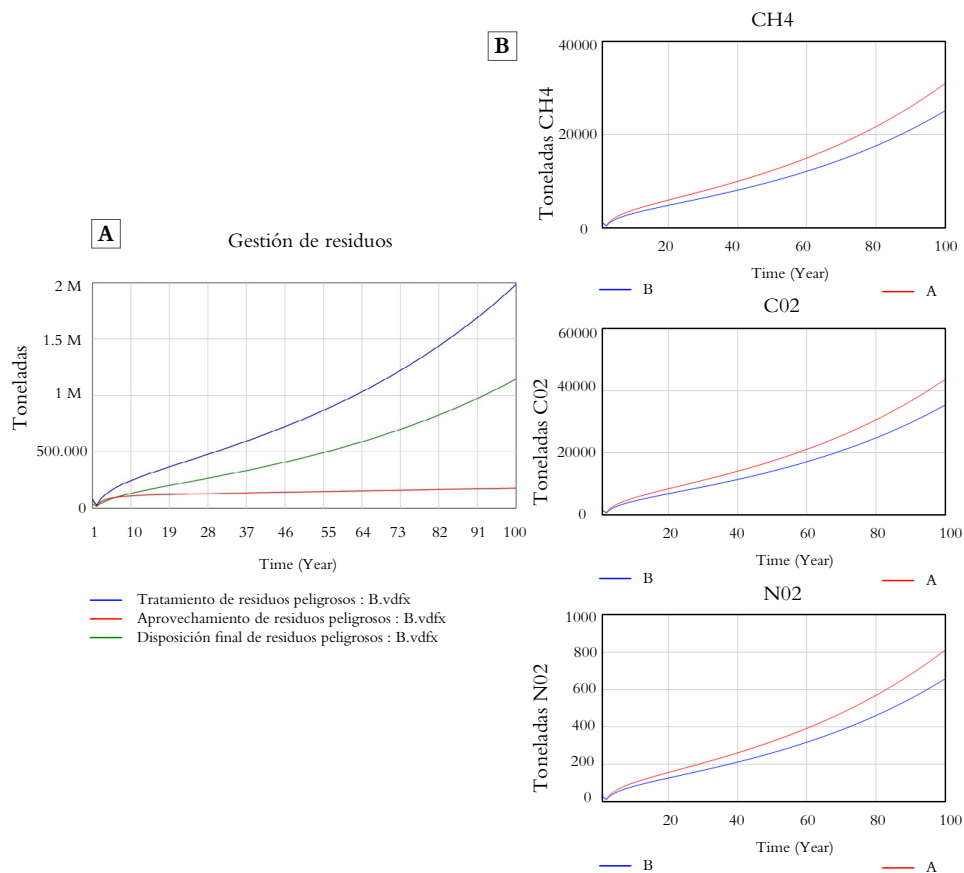


**Figura 4.** Generación de GEI por incineración. a) Comportamiento del contaminante  $\text{CO}_2$ ; b) Comportamiento de los contaminantes  $\text{NO}_2$ , que son menores en comparación con c) los del  $\text{CH}_4$ . Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se evaluó el comportamiento de los residuos peligrosos en tres escenarios: en el primero, se logra una disminución del 20% en la tasa de generación como consecuencia de realizar la separación desde la fuente y evitar la contaminación de materiales que entran en contacto. En el segundo, se plantea un aumento del 30% en la tasa de aprovechamiento, impulsado por la búsqueda que haría el sector industrial para encontrar diferentes alternativas de reutilización de los materiales, con lo cual se beneficia el ambiente y su economía. En el tercero, se establece un aumento del 20% en la tasa de generación debido a una segunda ola industrial-tecnológica con productos con menor vida útil.

### 3.3.1.1 Primer escenario

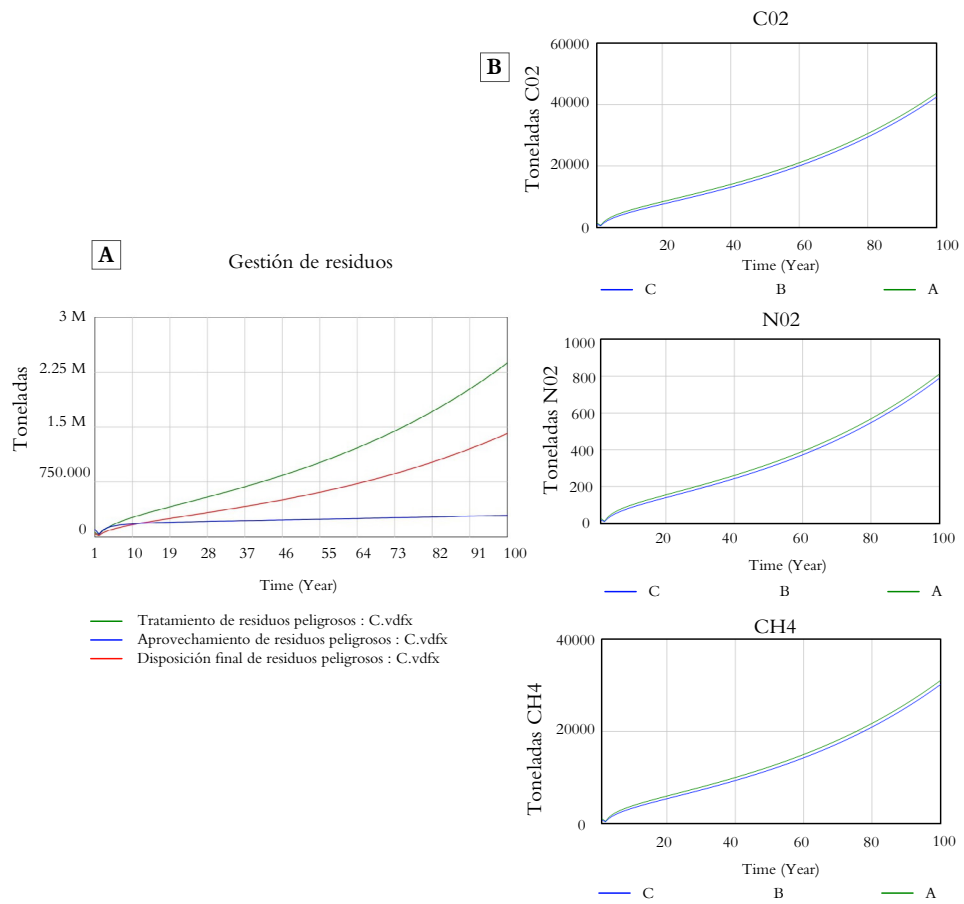
De acuerdo con las condiciones establecidas para este escenario en los análisis anteriores, se proyecta un comportamiento exponencial para el tratamiento y la disposición final (figura 5a); este escenario se diferencia del original, con una disminución aproximada de 0,25 millones de toneladas en las áreas mencionadas. En el caso del aprovechamiento, se observa un ligero aumento en comparación con el desarrollo del modelo en condiciones normales. Con base en lo anterior, se decidió comparar los gases generados por incineración en las condiciones normales del desarrollo del modelo (A) con la disminución del 20% (B). Si bien se obtuvo un comportamiento similar, empieza a notarse una mejora a partir del año 40 (figura 5b).



**Figura 5.** Desarrollo del primer escenario. a) Gestión de residuos; b) Contaminantes CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1.2 Segundo escenario

Con las condiciones establecidas para el segundo escenario, se proyecta un comportamiento similar al escenario original, con la diferencia de que el aprovechamiento empieza a ser más relevante, pues se logra disminuir ligeramente las cantidades manejadas por el tratamiento y la disposición final (figura 6a). La comparación del escenario original (A) y el segundo escenario (C) para los contaminantes liberados por incineración muestra un comportamiento similar, con el último escenario levemente por debajo, pero se empiezan a notar mejores resultados en el año cien, principalmente en el CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> (figura 6b).



**Figura 6.** Desarrollo del segundo escenario. a) Gestión de residuos; b) Contaminantes  $CO_2$ ,  $NO_2$  y  $CH_4$ .  
Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1.3 Tercer escenario

Con base en las condiciones establecidas en los análisis anteriores, los resultados del tercer escenario muestran un comportamiento similar al escenario original (figura 7a). Sin embargo, la diferencia es más notoria al analizar las concentraciones de los contaminantes por la incineración entre los escenarios, pues se proyecta un significativo incremento en el tercer escenario (D), con un aumento a 100 000 toneladas para el  $CO_2$ , 200 toneladas para el  $NO_2$  y aproximadamente 10 000 toneladas para el  $CH_4$  (figura 7b).

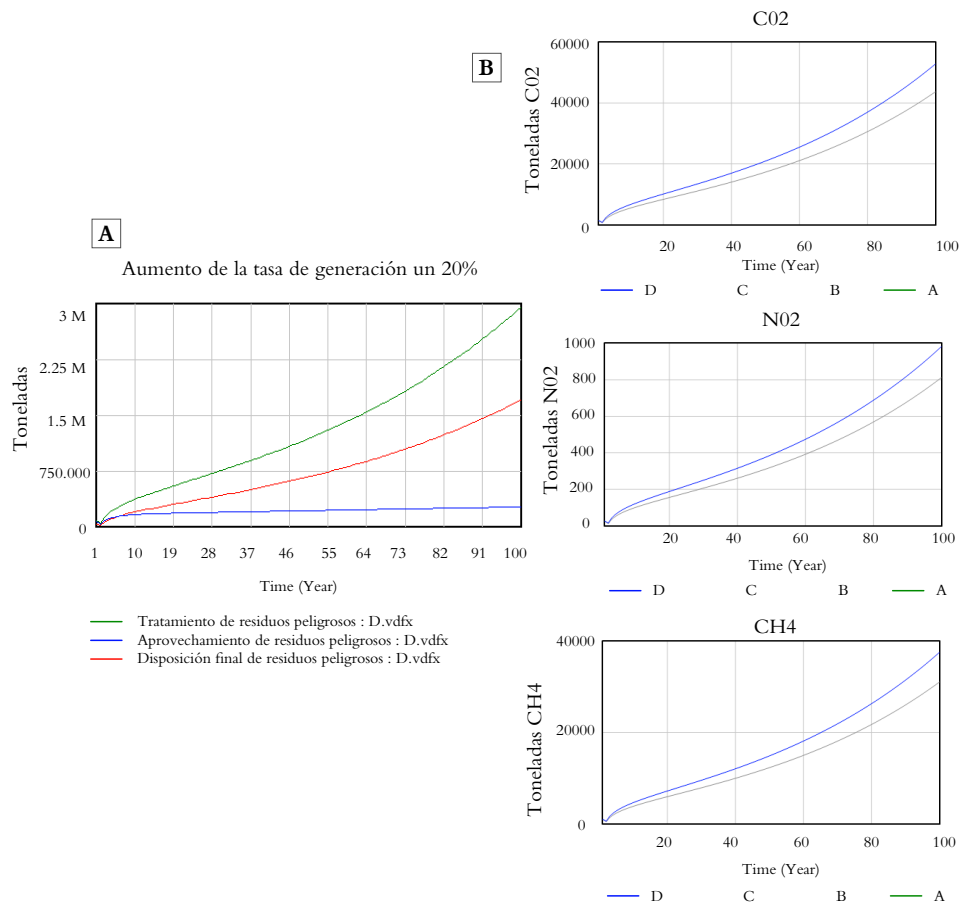


Figura 7. Desarrollo del tercer escenario. a) Gestión de residuos; b) Contaminantes CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Fuente: elaboración propia.

### 3. Conclusiones

El análisis de la información que arroja el modelo sobre la dinámica para los residuos peligrosos a cien años permite concluir que si se reduce la tasa de generación y se incentiva el aprovechamiento, las emisiones de GEI disminuirán. De igual forma, con base en el análisis de los datos y la comparación de las emisiones resultantes del tratamiento y/o aprovechamiento de los residuos, se puede afirmar que los residuos peligrosos sí contribuyen de manera relevante a la generación de GEI, incluyendo las actividades de disposición final.

Los resultados de la evaluación y comparación del escenario general con los escenarios planteados indican que habrá un aumento exponencial del volumen de los residuos, debido al incremento en la elaboración de productos y en el consumo del ser humano. Si continúan las mismas condiciones en las que se ha desarrollado la gestión de residuos peligrosos en Colombia durante los últimos años, esto provocará que los efectos en el ecosistema sean mayores.

Actualmente, se presume la llegada de una segunda ola industrial y electrónica, razón por la cual el tercer escenario toma relevancia con la estimación de la generación de GEI.

Según la tendencia de tratamiento de estos residuos, un alto porcentaje entrará en los procesos de incineración, lo cual se traduce en un ambiente propicio para que haya un aumento significativo de los GEI. Tomando en cuenta lo anterior, se sugiere una actualización de la normativa que promueva el aprovechamiento de parte de los grandes generadores, con el objetivo de disminuir los efectos adversos en el medio ambiente, como es el cambio climático.

## Agradecimientos

Queremos dar un sincero agradecimiento al docente Gabriel Castelblanco por la orientación y el acompañamiento a lo largo del desarrollo del presente trabajo; a la Universidad Central por el reconocimiento y el apoyo que brindó para dar a conocer el arduo trabajo realizado, y, finalmente, a la revista *Ingeciencia* por la oportunidad de divulgar la investigación.

## 4. Referencias

- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). *System dynamics*. Springer.
- Banco Mundial. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Basualdo, E. (2001). *Sistema político y modelo de acumulación y sistema político en la Argentina: Notas sobre el transformismo argentino durante la valorización financiera (1976-2001)*. Universidad Nacional de Quilmes.
- Canal 22. (2018, febrero 1). *Residuos peligrosos* [Video]. [https://youtu.be/VQLN-dDbW\\_xw](https://youtu.be/VQLN-dDbW_xw)
- Desechos tóxicos: Peligran los puertos. (1995, junio 8). *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-499283>
- Ding, Z., Yi, G., Tam, V. W. Y., & Huang, T. (2016). A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste Management*, 51, 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.001>
- El negocio de los residuos peligrosos. (2014, septiembre 30). *Semana*. <https://bit.ly/3AeL3my>
- Emplea Verde, ISWA, Unión Europea Fondo Social Europeo, Fundación Biodiversidad, & ATEGRUS. (2010). *Cambio climático y gestión de residuos: "Impactos positivos y negativos de la gestión de residuos sobre el cambio climático"*. <https://bit.ly/3PeVBqb>
- Foa Torres, J. G. (2016). Lógica de la gestión ambientalmente adecuada y patrón de desarrollo sustentable en América Latina: El tema emblemático de las políticas de residuos peligrosos en Argentina en los años 90. *Luna Azul*, 42, 293-318. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.18>
- Greenpeace España (2009). *Incineración de residuos: Malos humos para el clima*. Greenpeace España. <https://bit.ly/3OETcVx>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2012). *Informe nacional generación y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia – año 2011*. Ideam. <https://bit.ly/3OUWGTz>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP], & Cancillería. (2015). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI) de Colombia: Tercera comunicación nacional de cambio climático de Colombia*. Ideam. <https://bit.ly/3RgL7bF>
- Levis, J. W. (2008). *A life-cycle analysis of alternatives for the management of waste hot-mix asphalt, commercial food waste, and construction and demolition waste* [Tesis de maestría, North Carolina State University]. Repositorio NCSU. <https://repository.lib.ncsu.edu/handle/1840.16/2701>
- Ley 253 de 1996. Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989. Congreso de la República de Colombia.
- Maniero Moreira, A. M., Risso Günther, W. M., & Gomes Siqueira, C. E. (2019). Workers' perception of hazards on recycling sorting facilities in São Paulo, Brazil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 24(3), 771-780. <https://doi.org/10.1590/1413-81232018243.01852017>
- Muñoz, H. (1995). Una perspectiva chilena sobre comercio internacional y medio ambiente. En E. Bec (Ed.), *Comercio internacional y medio ambiente: Derecho, economía y política* (pp. 367-379). Espacio-CIEL.
- Salassa Boix, R. (2016). Tributos ambientales: La aplicación coordinada de los principios quien contamina paga y de capacidad contributiva. *Revista Chilena de Derecho*, 43(3), 1005-1030. <https://doi.org/10.4067/S0718-34372016000300010>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]. (s. f.). Residuos peligrosos. <http://www.siac.gov.co/residuos>
- Sufian, M. A., & Bala, B. K. (2007). Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. *Waste Management*, 27(7), 858-868. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.011>
- Sukholthaman, P., & Sharp, A. (2016). A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. *Waste Management*, 52, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.026>
- Wang, C., Shaoa, N., Xu, J., Shang, Z., & Cai, Z. (2020). Pollution emission characteristics, distribution of heavy metals, and particle morphologies in a hazardous waste incinerator processing phenolic waste. *Journal of Hazardous Materials*, 388, Article 121751. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121751>
- Wenjuan, L., Huang, Q., Lu, S., Wu, H. L., Li, X., & Yan., J. (2013). Life cycle assessment of the environmental impacts of typical industrial hazardous waste incineration in eastern China. *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 242-251. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.10.0318>