

**Análisis y propuesta para el dinamismo de incentivos económicos que promuevan la
economía circular en materia de residuos sólidos en Colombia**

Edilberto Guevara Castaño
Marzo de 2020.

Asesor:
Rafael Pérez Cardona

UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA
ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS
MAESTRÍA EN ECONOMÍA APLICADA

Resumen

En toda actividad humana es imperativo hablar de residuos sólidos, sin embargo, sólo a finales del siglo XX, cuando la contaminación toca picos altos y por ende genera grandes efectos económicos, sociales y ambientales, se empieza a generar la necesidad de incorporar este tema dentro de las agendas de todos los actores políticos y sociales del mundo. Esta situación ha llevado a las Naciones a buscar estrategias para su mitigación, entre las cuales se encuentran, los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París (COP 21), por medio del cual 195 países, entre ellos Colombia, se comprometieron a reducir significativamente la emisión de los Gases Efecto Invernadero (GEI) con el fin de evitar el incremento en la temperatura global en 2°C. Estos Acuerdos Internacionales han sido adoptados por el país por medio de diferentes Leyes e instrumentos de Política Pública, entre ellas, la Ley 164 de 1994, la Ley 629 de 2000 y el Conpes 3874 de 2016, sin embargo, los incentivos creados por parte del Regulador (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA) podrían ser pocos si se tiene en cuenta el dimensionamiento de los compromisos. Así las cosas, este documento reúne cada uno de los objetivos, metas y mecanismos de incentivos que existen en la actualidad y propone a su vez, un mecanismo de dinamismo de incentivos basado en la reducción de la Huella de Carbono producto de la migración de los sistemas de producción y consumo lineal (MPCL) al modelo de Economía Circular (MEC) con el fin de que los agentes económicos cuenten con los recursos para financiar proyectos de aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos y de esta manera, se cumplan los objetivos de la Política Pública Nacional.

Palabras Clave

Residuos Sólidos, Gases Efecto Invernadero, Cambio Climático, Huella de Carbono.

Abstract

In all human activity it is imperative to speak of solid waste, however, only at the end of the 20th century, when pollution reaches high peaks and therefore generates great economic, social and environmental effects, the need to incorporate this issue within from the agendas of all political

and social actors in the world. This situation has led the Nations to seek mitigation strategies, among which are the Sustainable Development Goals (SDGs) and the Paris Agreement (COP 21), through which 195 countries, including Colombia, They committed to significantly reduce the emission of Greenhouse Gases (GHG) in order to avoid an increase in global temperature by 2 ° C. These International Agreements have been adopted by the country through different Laws and Public Policy instruments, among them, Law 164 of 1994, Law 629 of 2000 and Conpes 3874 of 2016, however, the incentives created by the Regulator (Commission for the Regulation of Drinking Water and Basic Sanitation - CRA) could be few if the dimensioning of the commitments is taken into account. Thus, this document brings together each of the objectives, goals and incentive mechanisms that currently exist and proposes, in turn, a mechanism of dynamism of incentives based on the reduction of the Carbon Footprint resulting from the migration of linear production and consumption systems (MPCL) to the Circular Economy model (MEC) so that economic agents have the resources to finance projects for the use and treatment of solid waste and in this way, meet the objectives of the National Public Policy.

Keywords

Solid Waste, Greenhouse Gases, Climate Change, Carbon Footprint.

Tabla de Contenido

	Pág
1. Planteamiento del Problema	8
2. Objetivos	11
2.1. Objetivo General	11
2.2. Objetivos Específicos	12
3. Marco Teórico	12
3.1. Relación entre la Política Pública Nacional en materia de residuos sólidos y los esquemas de remuneración tarifaria	12
3.2. Gestión Integral de Residuos Sólidos, Prestación del Servicio Público Domiciliario de Aseo y su Remuneración	15
3.3. Objetivos y metas trazadas por el país en materia de gestión integral de residuos sólidos	19
3.4. Cambio Climático	21
3.5. Huella de Carbono	26
3.6. Mercados actuales de Carbono	30
4. Hipótesis	33
5. Metodología	34
5.1. Esquema general del modelo de producción y consumo lineal con su respectiva huella de carbono (línea base)	34
5.2. Esquema general del modelo de economía circular con su respectiva huella de carbono	40
5.3. Análisis de Resultados	47
6. Conclusiones	48
Referencia bibliográfica	53

Lista de imágenes

	Pág
Imagen 1. Población mundial entre 1990 y proyección al 2100	9
Imagen 2. Isla de Plástico en el Pacífico Norte según UNAM	10
Imagen 3. Tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el mundo	14
Imagen 4. Explicación gráfica del efecto invernadero	21
Imagen 5. Gases efecto invernadero expulsados a la atmósfera	22
Imagen 6. Promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, 1850-2012	22
Imagen 7. Total emisiones y absorciones según categorías del IPCC (Mton Equiv CO ₂)	25
Imagen 8. Categorización de las emisiones en una organización	26
Imagen 9. Procedimiento para el Cálculo de la Huella de Carbono a Nivel Sectorial	27
Imagen 10. Fuentes de Información para la Obtención de las Cargas Ambientales	28
Imagen 11. Transacciones Internacionales del Mercado Voluntario de Carbono 2017 – 2018	31
Imagen 12. Recaudo bruto por tipo de impuesto (miles de millones de pesos)	32
Imagen 13. Modelo de Producción y Consumo Lineal y Prestación de Servicio Público de Aseo	34
Imagen 14. Cálculo de la Huella de Carbono en el MPCL del municipio de Pereira 2017	38
Imagen 15. Modelo de Economía Circular y Prestación de Servicio Público de Aseo	41
Imagen 16. Cálculo de la Huella de Carbono en el MEC del municipio de Pereira 2017	45

Lista de gráficas

	Pág
Gráfico 1. Comparación de las Producciones Per-capitas de Residuos Sólidos Año 2014	9
Gráfico 2. Emisiones de Dióxido de Carbono (CO ₂) en el mundo 1960-2014	23
Gráfico 3. Distribución Gráfica de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MPCL del municipio de Pereira 2017	39
Gráfico 4. Distribución Gráfica de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MEC del municipio de Pereira 2017	46

Lista de tablas

	Pág
Tabla 1. Listado de países que generaron el 57,29% de las emisiones de CO ₂ en el mundo para el año 2014	23
Tabla 2. Generación de CO ₂ de Colombia para el año 2014	24
Tabla 3. Listado de departamentos que generaron el 36,67% de las emisiones de CO ₂ en Colombia para el año 2014	25
Tabla 4. Porcentaje y cantidad estimada de residuos sólidos urbanos y ordinarios para el municipio de Pereira (Risaralda) año 2017	35
Tabla 5. Identificación y clasificación de las fuentes directas de emisión de GEI para el MPCL utilizado	36
Tabla 6. Identificación y clasificación de las fuentes indirectas de emisión de GEI para el modelo utilizado	36
Tabla 7. Factores de emisión de GEI asociados a la Huella de Carbono (HC) de los procesos de obtención de materias primas y producción de bienes de consumo	37
Tabla 8. Factores de emisión directa para el diesel (b-10) (fuentes móviles)	37
Tabla 9. Factores de emisión y peso de gas metano (CH ₄), asociados gases y lixiviados en relleno sanitario	37
Tabla 10. Distribución de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MPCL del municipio de Pereira 2017	39
Tabla 11. Metas de Aprovechamiento y de Tratamiento de Residuos propuestas en el MEC Pereira 2017	42
Tabla 12. Identificación y clasificación de las fuentes directas de emisión de GEI para el MEC utilizado	42
Tabla 13. Factores de emisión de GEI para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes del tratamiento biológico de RSUOR	43
Tabla 14. Factores de reducción potencial de emisiones de GEI asociados a la HC de la actividad de tratamiento de RSUOR inorgánicos aprovechables (RSUORIA)	44
Tabla 15. Distribución de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MEC del municipio de Pereira 2017	46
Tabla 16. Objetivos y acciones en materia de residuos sólidos	48
Tabla 17. Metas nacionales en materia de gestión integral de residuos sólidos	50

1. Planteamiento del problema

En toda actividad humana es imperativo hablar de residuos sólidos, sin embargo, sólo a finales del siglo XX, cuando la contaminación toca picos altos y por ende genera grandes efectos económicos, sociales y ambientales, se empieza a generar la necesidad de incorporar este tema dentro de las agendas de todos los actores políticos y sociales del mundo (Hernández & Corredor, 2016). De hecho, esta es la explicación del por qué el campo de estudio de los costos ambientales, es relativamente reciente en el mundo (Cristina & Rodríguez, 2017). Esta situación si se revisa además en términos del acelerado crecimiento poblacional y el desarrollo industrial mundial, está generando grandes efectos de contaminación ambiental, como, por ejemplo, el cambio climático, la destrucción irreversible de la capa de ozono, la contaminación de los suelos, del aire, del agua, y la existencia de islas de plástico en los océanos que atentan contra la vida marina, entre otros (Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Alejandro, 2016).

Se estima que para el año 2014 se generaron en el mundo 2 billones de toneladas de residuos sólidos urbanos, equivalente a una producción per-cápita de 271,7 Kg/hab/año, lo cual significa que, de seguir así, se generarían aproximadamente 12 millones de toneladas de residuos sólidos por día para el año 2100 (Hernández & Corredor, 2016). Esta generación de residuos sólidos, causaría sin duda alguna, incapacidad técnica, económica y ambiental a nivel mundial si se tiene en cuenta la relación directa entre crecimiento económico y calidad ambiental que supone la curva ambiental de Kuznets (Falconí & Burbano, 2016), la cual supondría que países en vías de desarrollo incrementen exponencialmente las tasas de generación de residuos sólidos en los próximos años hasta que equilibren sus niveles de ingreso (perspectiva de largo plazo).

Colombia no es ajeno a este tipo de problemas generados por el crecimiento exponencial de los habitantes y de la cantidad de residuos sólidos, según información de las Entidades del Gobierno Nacional, en el año 2014 la generación de residuos sólidos fue de 13,8 millones de toneladas (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD], 2015); es decir, cerca de 283 Kg/hab/año y a pesar de que esta cifra se encuentra muy por debajo del promedio de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), que está en 530 Kg/hab/año, la situación no deja de ser alarmante. Se estima entonces que para el año 2030 la generación de residuos sólidos en el país podría llegar a la escandalosa cifra de 18,74 millones de

toneladas anuales, las cuales, según las condiciones actuales de uso de suelo y de deficiencia de infraestructura en servicios públicos, generaría efectos económicos, sociales y ambientales al no contar con la disposición final adecuada. (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016).

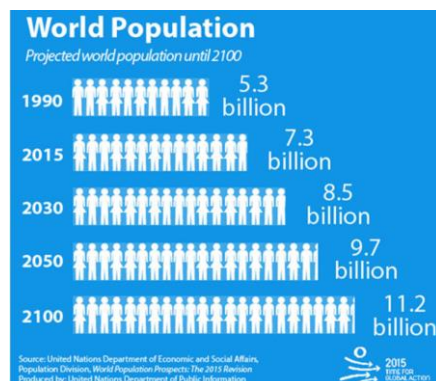


Imagen 1. Población mundial entre 1990 y proyección al 2100

Fuente: <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/index.html>

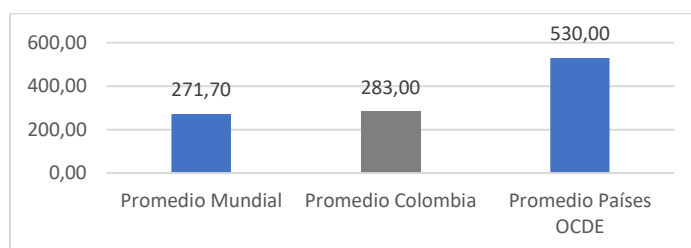


Gráfico 1. Comparación de las Producciones Per-capitas de Residuos Sólidos Año 2014.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relacionados anteriormente.

Así las cosas, el problema de generación de residuos sólidos sumado a las deficiencias de infraestructura y proyecciones de crecimiento poblacional, ha sido visto como un problema general dentro de las agendas políticas internacionales. Es así como las Naciones Unidas, han trazado los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales consisten en la adopción una serie de medidas estratégicas destinadas a proteger el planeta, erradicar la pobreza extrema, el hambre y en forma general, satisfacer las necesidades básicas insatisfechas y garantizar la prosperidad de todas las personas a nivel mundial. Dentro de estos Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), el sector de los residuos sólidos tiene relación directa con 12 de los 17 objetivos, ya que el inadecuado manejo de los residuos sólidos tiene incidencia directa sobre aspectos de tipo económico, social y ambiental. Por su parte, dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en la Versión 21° de la Conferencia de las Partes (COP21) celebrada en París a finales

2015, 195 países, entre ellos Colombia, se comprometieron a reducir significativamente la emisión de los Gases Efecto Invernadero (GEI) con el objetivo de no incrementar la temperatura global en 2°C, situación que requiere con urgencia, que sea revisada la política pública de gestión integral de residuos sólidos en Colombia (SSPD, 2017).



Imagen 2. Isla de Plástico en el Pacífico Norte según UNAM.

Fuente: <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2017/06/7/isla-de-plastico-en-el-pacifico-norte-del-tamano-de>.

Finalmente, por medio del Documento Conpes 3874 de 2016, se ha trazado la Política Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, la cual se implementará entre los años 2016 y 2030 con la coordinación de los Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), y de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) con una inversión superior a los 185.000 millones de pesos. Esta política pública busca incrementar las tasas de aprovechamiento de residuos sólidos del 17% en que se tienen actualmente, al 30% para el año 2030, esto con el fin de migrar totalmente del modelo económico actual de producción y consumo lineal, a un modelo de economía circular que garantice el desarrollo sostenible en materia de residuos sólidos (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016).

En la actualidad, la gestión integral de los residuos sólidos está enmarcada dentro de la prestación del servicio público domiciliario de aseo, el cual, tiene una responsabilidad del municipio o distrito como garante de la prestación eficiente y universal según lo dispuesto en la Carta Política¹ y en la Ley 142 de 1994. Esto hace que diferentes actores, públicos, privados y mixtos converjan en el mercado para la prestación de este servicio, el cual debe ser prestado según

¹ Artículo 365 de la Constitución Política de Colombia: “Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios...”

los lineamientos establecidos en el Decreto 2981 de 2013 (hoy compilado en el Decreto 1077 de 2015) y es remunerado por los habitantes (usuarios) de un municipio a través del pago de una tarifa calculada por medio de la metodología establecida para tal fin por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), es decir, existe una metodología que permite remunerar a las empresas de servicios públicos, los gastos, costos y necesidades de inversión que se requieren para la eficiente prestación del servicio, sin embargo, el modelo tarifario actual, al estar estructurado principalmente sobre un modelo de producción y consumo lineal más no circular, podría no estar generando los incentivos adecuados para hacer que cada uno de los agentes económicos, desde los usuarios del servicio de aseo hasta las empresas y entidades de control, participen activamente en el cumplimiento de las metas trazadas. De ser así, los agentes económicos van a seguir prefiriendo prestar el servicio de la misma manera en que se ha venido realizando, ejecutando las actividades de producción, generación, recolección, transporte y disposición final en relleno sanitario (modelo lineal) y no apoyando los proyectos de transformación y aprovechamiento de los residuos sólidos ordinarios, que disminuyan la cantidad de residuos sólidos dispuestos y por ende, reincorporen el residuo nuevamente a la cadena productiva (modelo circular).

Este trabajo de grado pretende entonces hacer un análisis de esta situación y exponer algunas propuestas de tipo regulatorio, con el fin de generar los instrumentos necesarios para que todos los agentes económicos y de control del país, cuenten con los incentivos de migrar hacia el modelo de economía circular para disminuir la cantidad de residuos sólidos dispuestos y por ende, incrementar las tasas de aprovechamiento, todo esto con el fin de contribuir a los compromisos nacionales e internacionales asumidos por el país para la reducción de los gases efecto invernadero e incremento de residuos aprovechados.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Realizar un análisis normativo y regulatorio que permita identificar los objetivos, metas y mecanismos de remuneración e incentivos con los que cuenta actualmente el país en materia de gestión integral de residuos sólidos.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar los objetivos y metas trazadas por el país en la agenda nacional e internacional de la gestión integral de residuos sólidos, por medio de una revisión bibliográfica de los documentos expedidos por las Autoridades Competentes.
- Identificar los incentivos económicos creados para las empresas de servicios públicos con el fin de lograr el cumplimiento de dichos objetivos y metas.
- Realizar un análisis de caso aplicado en algún municipio de Colombia con el fin de calcular la huella de carbono en la cadena de valor del servicio público de aseo, bajo el modelo de producción y consumo lineal, así como en un caso hipotético de economía circular.
- Proponer, de acuerdo al resultado obtenido en el punto anterior, una estrategia normativa o regulatoria que permita financiar los proyectos de economía circular en el país.

3. Marco Teórico

3.1. Relación entre la Política Pública Nacional en materia de residuos sólidos y los esquemas de remuneración tarifaria.

La generación de residuos sólidos siempre ha estado involucrada en toda actividad humana. Para el año 1930, el 80% de los residuos eran incinerados mientras el resto se depositaba en vertederos. La práctica de incineración derivó en un grave problema de contaminación atmosférica y para 1976 se cerraron las plantas de incineración. (Tello, Campani, & Sarafian, 2018). Paralelamente entre los años 1940 y 1945, Estados Unidos empieza a utilizar rellenos sanitarios con el fin de disponer los residuos sólidos generados durante la Segunda Guerra Mundial y ya para el año 1960 existían alrededor de 1.400 ciudades utilizando esta técnica. Poco a poco los rellenos sanitarios fueron sustituyendo la práctica de incineración abierta y poco controlada, la cual traía grandes efectos sobre el aire y la salud de los habitantes. Ya para la década de los 90 se construyen en América grandes rellenos sanitarios como el de Bordo poniente en México DF con capacidad de 12.000 ton/día, en Buenos Aires, en Sao Paulo Brasil, y doña Juana en Bogotá Colombia.

Posteriormente, en la Conferencia de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible de 1992, se recomendó a las Naciones, que, en materia de residuos sólidos, se debe minimizar su generación, reciclarlos y reutilizarlos al máximo, tratarlos y disponerlos adecuadamente y aumentar la cobertura de recolección y otros elementos del servicio (Agenda 21, 1993). Todas estas recomendaciones, con el fin de lograr un desarrollo sostenible mundial y evitar el colapso de la infraestructura existente y un mayor daño a los recursos naturales. Aun así, el crecimiento exponencial de la población sin la planificación adecuada en la gestión de los residuos sólidos, fueron generando poco a poco problemas de tipo ambiental, los cuales, al día de hoy, persisten con mayor intensidad y han llevado a diferentes entidades a prender las alarmas y buscar diferentes compromisos de todas las naciones en torno al desarrollo sostenible.

Para nuestro país la situación no ha sido para nada diferente, según un informe presentado en el año 2008 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, para dicho año en Colombia, se generaron aproximadamente 25.079 toneladas diarias de residuos, de las cuales, el 9,01%, representadas en aproximadamente 2,26 toneladas/día, fueron dispuestas de manera inadecuada en 283 botaderos a cielo abierto, 19 enterramientos, 7 quemas y 8 cuerpos de agua (Noguera & Olivero-Verbel, 2010). Esta situación sin duda alguna prendió las alertas de los entes de control en nuestro país, razón por la cual la Política Pública Nacional trazada desde el año 2002 hasta el año 2013 por medio del Decreto 1713 de 2002 y posteriormente por medio del documento Conpes 3530 de 2008, buscaba disminuir exponencialmente las cifras de disposición final inadecuada de residuos sólidos favoreciendo la construcción de rellenos sanitarios principalmente regionales. Con la reglamentación del Decreto 1713 de 2002 en nuestro país, también fue expedida posteriormente la Resolución MAVDT 1045 de 2003 por medio de la cual se reglamentó la metodología para la elaboración y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS. En esta resolución, así como en la Resolución 1390 de 2005 que definió un plazo de 3 años como periodo de transición para la eliminación gradual de los sitios inadecuados y no autorizados, también era claro el mensaje del Gobierno Nacional al prohibir rotundamente, la disposición final de los residuos sólidos en sitios diferentes a los rellenos sanitarios.

De esta manera, se puede decir que los resultados de la Política Pública Nacional en materia de residuos sólidos marcada desde el año 2002 consiguió su objetivo principal, según el informe de disposición final de residuos sólidos presentado por la misma Superintendencia de Servicios

Públicos Domiciliarios en el año 2015, la disposición final inadecuada pasó del 9,01% en el año 2008 al 2,16% en el año 2015, un gran resultado que nuestro país celebraba pero que a su vez, nos colocaba en el ranking de países con más rellenos sanitarios en el mundo:

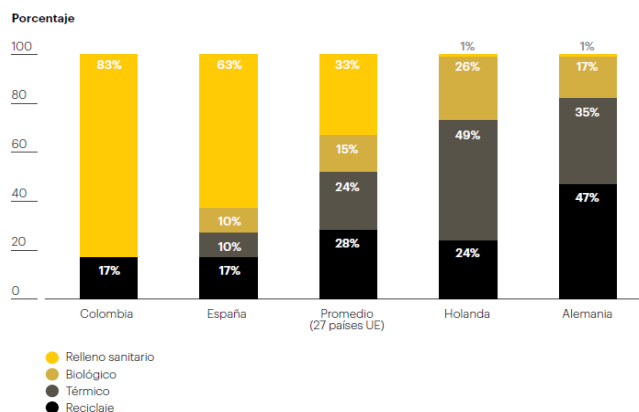


Imagen 3. Tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el mundo.

Fuente: CAF, 2018

Conforme a lo anterior, se puede deducir que si bien la Política Pública Nacional en materia de residuos sólidos dirigida desde el año 2002 en Colombia, consiguió su objetivo principal de disminuir la disposición final inadecuada de residuos sólidos, también es cierto que no se fomentaron otras técnicas de aprovechamiento y de tratamiento de residuos sólidos que como en otros países, también disminuyen las tasas de disposición inadecuada y generan un mayor desarrollo sostenible (Graziani Pietro, 2018). Esta premisa también puede ser revisada desde el punto de vista regulatorio, ya que en Colombia la entidad que regula el esquema tarifario del servicio de aseo y de todas sus actividades, es la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA según lo dispuesto en el artículo 73 de la Ley 142 de 1994. En el esquema tarifario vigente entre los años 2007 y 2016 (Resoluciones CRA 351 y 352 de 2005), las actividades principalmente remuneradas, fueron las del modelo de producción y consumo lineal, es decir, las actividades de recolección, transporte y disposición final vía relleno sanitario. Para este entonces, la actividad de aprovechamiento de residuos sólo se reconocía a un costo de referencia demasiado bajo (\$11.910/Tonelada expresado en \$ de junio de 2004) mientras que el costo de disposición final tenía un precio techo regulatorio casi 5 veces mayor (\$50.890/Tonelada expresado en \$ de junio de 2004).

Por su parte, es imperativo también concluir que la regulación, como mecanismo de incentivo y de remuneración, ayuda a los agentes económicos a cumplir las metas trazadas dentro de la Política Pública Nacional y que por ende, si el objetivo de la Política Pública Nacional era la disminución de la disposición final inadecuada, se debían crear incentivos regulatorios para ello, logrando que los agentes económicos (empresas de servicios públicos domiciliarios) incrementaran sus márgenes de prestación y privilegiaran los rellenos sanitarios sobre cualquier otra técnica de aprovechamiento o de tratamiento de residuos.

Ya desde el año 2013, con la expedición del Decreto 2981 de 2013 (compilado actualmente en el Decreto 1077 de 2015), el objetivo del Gobierno Nacional es incrementar los niveles de aprovechamiento y de tratamiento de residuos sólidos, disminuyendo los niveles de disposición final en los rellenos sanitarios, situación que más tarde fue ratificada dentro del Conpes 3874 de 2016 “*Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*”. Esta Política Pública Nacional desde el punto de vista regulatorio, viene respaldada además por una nueva metodología tarifaria que entró en vigencia en todo el país desde el mes de abril del año 2016 (Resolución CRA 720 de 2015).

Finalmente, se ha conocido por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en su informe de aprovechamiento de residuos sólidos del año 2017, que las tasas de aprovechamiento se incrementaron de manera exponencial de 97.905 toneladas en el año 2016 a 536.092 toneladas en el año 2017, principalmente por el nuevo esquema de incentivos creado a raíz de la reglamentación de la Resolución CRA 720 de 2015 dirigida principalmente a Organizaciones de Recicladores de Oficio y a residuos inorgánicos reciclables, quedando por fuera de la gestión, los residuos orgánicos que en algunos casos pueden significar hasta el 60% de la generación de residuos sólidos ordinarios de un municipio en Colombia (Superservicios, 2018).

3.2. Gestión Integral de Residuos Sólidos, Prestación del Servicio Público Domiciliario de Aseo y su Remuneración.

Según lo dispuesto en el artículo 1 de la Constitución Política de 1991, Colombia es un Estado Social de Derecho en el cual, la calidad de vida y la dignidad humana dirigen el actuar de sus dirigentes. De esta manera, el deterioro del medio ambiente al estar ligado con esta calidad de

vida y la dignidad humana, representa un reto cada vez más fuerte para las entidades del Gobierno Nacional. Para esto, los artículos 365 y posteriores de la Carta Política, han establecido la finalidad social y la importancia en la gestión de las necesidades básicas insatisfechas enmarcadas dentro de la prestación de los servicios públicos domiciliarios. Posteriormente, por medio de la Ley 142 de 1994, se establece el régimen de dichos servicios públicos domiciliarios, entre los cuales, se encuentra el servicio público domiciliario de aseo. Así las cosas, las actividades complementarias de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos hacen parte integral del servicio público de aseo y, por ende, deben ser prestadas en algunas de las formas jurídicas permitidas en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994, estarán vigiladas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y serán reguladas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Uno de los aspectos que más llama la atención dentro del régimen de los servicios públicos domiciliarios, es que a pesar de que son finalidad social del Estado, también se rige por normas de un mercado imperfecto (fallas de mercado) y por ende, con el fin de evitar abusos de los agentes, la Ley 142 de 1994 ha previsto una serie de funciones de parte de las Comisiones de Regulación las cuales, a pesar de los monopolios y fallas de mercado en general, deben simular un mercado en competencia para que el usuario o consumidor finalmente pague una tarifa justa y por otro lado, para que las empresas prestadoras, de acuerdo a esa tarifa, se comprometan a suministrar un servicio con criterios de calidad, continuidad y cobertura. La entidad que regula estos aspectos para los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, es la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), la cual, para el servicio público de aseo ha reglamentado los siguientes esquemas tarifarios:

- Resolución CRA 720 de 2015: Metodología tarifaria aplicable en municipios con más de 5.000 suscriptores en el área urbana. Esta metodología entró en vigencia desde el 1 de abril de 2016 (CRA, 2015a).
- Resolución CRA 853 de 2018: Metodología tarifaria aplicable en municipios con hasta 5.000 suscriptores. Esta metodología entró en vigencia desde el 1 de julio de 2019 (CRA, 2015b).

Estos esquemas tarifarios son definidos por medio de los criterios establecidos en el artículo 87 de la Ley 142 de 1994. Entre ellos, el principio de suficiencia financiera, busca garantizar que el prestador eficiente del servicio público domiciliario, remunere todos los costos, gastos, necesidades de inversión más una utilidad razonable. Conforme a lo anterior y considerando que tradicionalmente el esquema de prestación del servicio público de aseo en Colombia ha sido de producción y consumo lineal, es muy probable que la información sectorial recogida de parte de los operadores del servicio para establecer las bases del nuevo esquema tarifario, no sea la más apropiada para definir una tarifa o más bien un incentivo económico que conlleve a disminuir la cantidad de residuos sólidos dispuesto en los rellenos sanitarios (modelo lineal) y fomentar el aprovechamiento y tratamiento de los residuos sólidos (modelo circular).

Según lo dispuesto en el artículo 2.3.2.2.1.13. del Decreto 1077 de 2015, las actividades del servicio público domiciliario de aseo son en su orden: i) Recolección; ii) Transporte; iii) Barrido, limpieza de vías y áreas públicas; iv) Corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas; v) Transferencia; vi) Tratamiento; vii) Aprovechamiento; viii) Disposición Final y ix) Lavado de áreas públicas. Como se puede notar, las actividades que debemos resaltar para la migración hacia la economía circular, son las actividades de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos, ya que son actividades previas a la disposición final que evitarían el enterramiento de más residuos evitando la generación de gases efecto invernadero, contaminación de suelos y contaminación de fuentes hídricas, entre otras. Estas actividades, según la Resolución CRA 720 de 2015, se remuneran de la siguiente manera:

Aprovechamiento de residuos sólidos: Incremento del 30% en el Costo de Comercialización por Suscriptor – CCS, de los cuales, el 11,4% es para los recicladores y el 18,6% para la empresa de no aprovechables de conformidad con lo dispuesto en la Resolución CRA 779 de 2016.

Remuneración de las toneladas de residuos efectivamente aprovechadas por medio de un concepto conocido como el Valor Base de Remuneración del Aprovechamiento – VBA expresado en unidades de pesos (\$) por tonelada (Ton). Este valor está conformado bajo el criterio de “costo evitado” en el cual, los costos de recolección y transporte (CRT) y de disposición final (CDF) son percibidos por el prestador de esta actividad aplicando al final, un incentivo a favor del suscriptor

el cual es del 4% en el caso de cumplimiento de las metas de rechazo. Normalmente, por disposición de la Corte Constitucional y del Decreto 1077 de 2015, este valor debe ser para los recicladores de oficio en proceso de formalización en una de las formas jurídicas permitidas en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994 y para los residuos reciclables inorgánicos, como lo son, el papel, el cartón, el vidrio, entre otros, siempre y cuando se soporten las cantidades aprovechadas por medio de facturas de venta a intermediarios o a la industria final.

Tratamiento de residuos sólidos: Remuneración de las toneladas de residuos tratados por medio de lo dispuesto en el artículo 31 de la Resolución CRA 720 de 2015, es decir, si la empresa de servicios públicos decide tratar sus residuos por medio de técnicas como el compostaje o la combustión, puede trasladar al usuario máximo el equivalente a la sumatoria del costo de disposición final (CDF) más el costo de tratamiento de lixiviados (CTL). Esta situación permite, en el caso de la implementación de proyectos de tratamiento de residuos, financiar la inversión y operación de los mismos con el costo por tonelada pagado anteriormente al prestador del sitio de disposición final.

Ahora bien, para ambos sistemas (aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos), el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio reglamentó el Decreto 2412 del 24 de diciembre de 2018 por medio del cual creó el Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos (VIAT) como un sobre-costos que se carga al Costo de Disposición Final (CDF) equivalente al 0,80% del Salario Mínimo Mensual Legal Vigente por Tonelada Dispuesta para financiar proyectos de este tipo, este Decreto entró en vigencia en todo el país desde el pasado 1 de agosto de 2019.

Como se puede notar, los incentivos económicos presuntamente están creados, sin embargo, es indispensable revisar la situación que se tiene con el incentivo para las toneladas de residuos orgánicos con destino al tratamiento, ya que, de una caracterización de residuos sólidos en un municipio, más del 60% de los residuos son orgánicos y por ende, sino se genera el incentivo adecuado para estos residuos, es muy probable que las metas de aprovechamiento y de reducción de gas efecto invernadero no se cumplan. Esta situación sumada a la dificultad evidente de medir económicamente las externalidades generadas por el efecto ambiental negativo (Raffo-Lecca & Mayta-Huatuco, 2015), hace que sea necesario buscar los incentivos adecuados para que los

agentes dedicados a la gestión de los residuos sólidos, puedan incorporar las tecnologías y procesos más adecuados para prevenir o disminuir el daño ambiental.

3.3. Objetivos y metas trazadas por el país en materia de gestión integral de residuos sólidos.

Es indispensable partir de la necesidad internacional y nacional de establecer metas claras en materia de residuos sólidos con el fin de mitigar los impactos ambientales negativos derivados del uso irresponsable de los recursos naturales, así como el inadecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos generados. Esta situación debe revisarse, además, en términos de la relación directa entre población-generación, en la cual, debido a la sobrepoblación mundial y su industrialización, está generando cifras de generación de residuos sólidos que, al mediano y largo plazo, serían incontrolables y no generarían desarrollo sostenible para el mundo. Esta situación ha sido discutida por diferentes actores (Hernández & Corredor, 2016), (Raffo-Lecca & Mayta-Huatuco, 2015). Por su parte, es indispensable revisar también los compromisos adquiridos por el país en la agenda ambiental internacional, como lo son: los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) y los compromisos en materia de residuos sólidos asumidos ante la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), los cuales generaron la expedición del documento Conpes 3874 de 2016 (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016).

Ahora bien, el modelo actual de producción y consumo lineal, que consiste en la ejecución de las actividades de producción, generación, recolección, transporte y disposición final, está generando un agotamiento prematuro de los rellenos sanitarios, lo cual, puede llevar al país a un colapso sanitario e incentivar la disposición final inadecuada de los residuos sólidos la cual generaría efectos sobre la salud humana, el medio ambiente y sobre el entorno socio-económico. Para evitar esta situación e incentivar a las empresas de servicios públicos a migrar hacia el modelo de economía circular, el esquema tarifario reglamentado por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, debe dejar de pensar en un modelo de “mínimo costo” y migrar hacia un modelo que internalice el costo ambiental, con el fin de que este costo oculto o esta externalidad negativa, sea cuantificada y por ende el prestador tenga el incentivo adecuado a dejar de actuar linealmente. Respecto a este tema, varios autores han establecido las discusiones sobre

el costo ambiental internacional, (Leandro, Salazar, & Montoya, 2014), (Raffo-Lecca & Mayta-Huatuco, 2015). A nivel país, además, existe un estudio contratado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que resalta las restricciones generales en el uso de infraestructura que promueva la economía circular (Lamers, 2005). Por su parte, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico dentro de la Agenda Regulatoria Indicativa Año 2020 tiene el siguiente proyecto “Analizar la inclusión de medidas regulatorias en los nuevos marcos tarifarios, para incorporar los costos ambientales y desarrollar los modelos que permitan la remuneración del aprovechamiento y el tratamiento acorde con los costos y el comportamiento del mercado” con lo cual se espera generar el instrumento regulatorio de internalización de dichos costos ambientales.

De esta manera, por medio del Documento Conpes 3874 de 2016, se ha trazado la Política Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, en el cual, se han establecido de manera general los siguientes objetivos:

- Objetivo 1: Promover la economía circular a través del diseño de instrumentos en el marco de la GIRS.
- Objetivo 2: Mejorar la cultura ciudadana, la educación e innovación en GIRS con el fin de incrementar los niveles de separación en la fuente y de aprovechamiento.
- Objetivo 3: Generar un entorno institucional propicio para la coordinación entre actores que promueva la eficiencia en la GIRS.
- Objetivo 4: Implementar acciones para mejorar el reporte, monitoreo verificación y divulgación de la información sectorial para el seguimiento de la política pública de GIRS.

Por su parte, mediante otros instrumentos de política pública como la Política Nacional de Cambio Climático incorporada en el Documento Conpes 3700 del 2011 “*Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia*”, la nueva agenda urbana - NAU7 que es una estrategia de urbanización para los próximos 20 años de las Naciones Unidas firmada por Colombia en el 2017 en Quito (Ecuador) y la Estrategia para la implementación de los Objetivos del Desarrollo Sostenible – ODS en Colombia incorporada en el Documento Conpes 3918 de 2018 “*Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia*”, se crean metas demasiado ambiciosas en materia de agua potable y saneamiento básico en Colombia entre las cuales, para el caso de los residuos

sólidos, llaman la atención el incremento de las tasas de aprovechamiento del 17% línea base 2015 al 30% como meta para el año 2030.

3.4. Cambio Climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, define el cambio climático como el “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La función principal de esta Convención conformada en el año 1992, es vigilar la emisión de los Gases Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, de tal forma que se puedan prevenir, hasta cierto punto, los efectos devastadores sobre el sistema climático (Unidas, 1992).

Por su parte, el efecto invernadero es el proceso por el cual la radiación térmica emitida por la atmósfera es absorbida por los gases presentes en ella (gases efecto invernadero) e irradiada en todas las direcciones. El ciclo permanente de estas emisiones, provoca un mayor calentamiento de la superficie terrestre, ya que absorben mayor radiación de la que posteriormente es devuelta por la superficie terrestre (Dossier Cepsa, 2015).

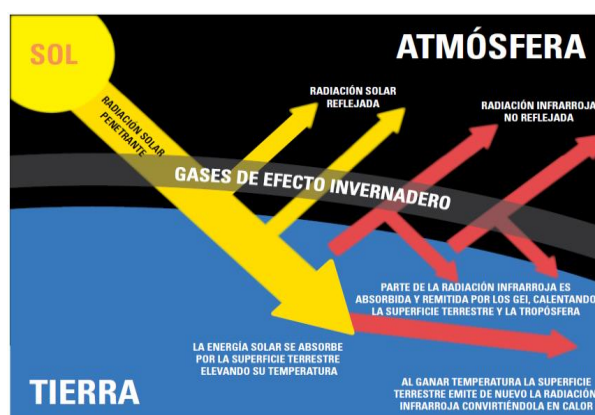


Imagen 4. Explicación gráfica del efecto invernadero

Fuente: Gestión de la Huella de Carbono, Una experiencia en la industria láctea nacional. 2013

De esta manera, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ha establecido que los Gases Efecto Invernadero son los siguientes: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hidrofluorocarbonos (HFC); perfluorocarbonos (PFC) y

hexafluoruro de azufre (SF₆), que son expulsados a la atmósfera (Córdova, Zorio-Grima, & García-Benau, 2018).

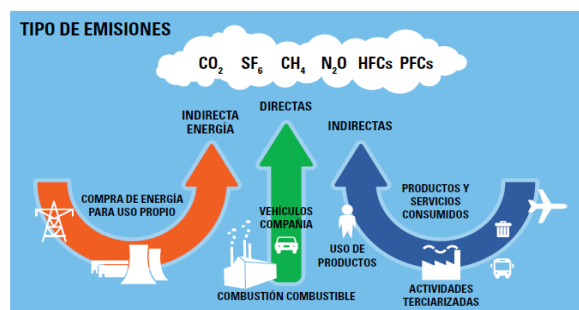


Imagen 5. Gases efecto invernadero expulsados a la atmósfera

Fuente: World Business Council for Sustainable Development, 2012

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) fue creado en el año 1988 con el objetivo de evaluar integralmente, con base en estudios científicos, técnicos y socioeconómicos, las causas, efectos y estrategias de respuesta para afrontar los efectos del Cambio Climático Global. En su última publicación, referente al “*Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio climático 2013-2014*”, se presentaron cifras alarmantes en torno a los cambios climáticos de la atmósfera, los océanos, la criosfera, el nivel del mar, el ciclo del carbono y otros ciclos biogeoquímicos. En dicho informe, entre otros datos de gran preocupación, se destaca la anomalía observada en el promedio mundial de temperaturas en superficie terrestres y oceánicas combinadas entre 1850 y 2012, las cuales muestran un calentamiento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C (Qin et al., 2013).

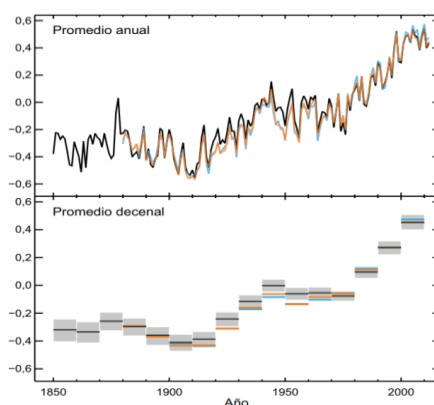


Imagen 6. Promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, 1850-2012

Fuente: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Los principales efectos por el incremento de la temperatura promedio global (Cambio Climático) son: el aumento en el nivel medio del mar, olas de calor, fuertes tormentas, sequías e incremento en los niveles extinción de especies, de allí la importancia de controlar y/o mitigar las causales del aumento desmedido en el Calentamiento Global. Este Calentamiento Global en la actualidad, se mide en términos de la Emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) que son compuestos que están presentes en la atmósfera en ciertas concentraciones y que contribuyen a aumentar la temperatura del planeta, debido a su capacidad para absorber y remitir la radiación infrarroja proveniente de la superficie terrestre (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELERÍA, 2017a). El dióxido de carbono – CO₂, principal gas efecto invernadero, ha aumentado en un 40% desde la era preindustrial debido principalmente a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles. Por su parte, los océanos han absorbido alrededor del 30% del dióxido de carbono antropógeno emitido, provocando su acidificación y la extinción de algunas especies.

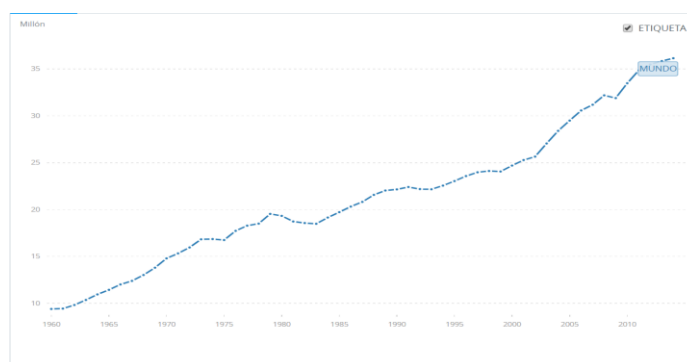


Gráfico 2. Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) en el mundo 1960-2014

Fuente:

https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2014&most_recent_value_desc=false&start=1960&view=chart

Según información oficial del Banco Mundial, para el año 2014 los 5 países que lideraron el ranking de generación de gases efecto invernadero fueron los siguientes:

Tabla 1. Listado de países que generaron el 57,29% de las emisiones de CO₂ en el mundo para el año 2014.

PAÍS	GENERACIÓN CO2 (Kt)	% DEL MUNDO
China	10.291.927	28,48%
Estados Unidos	5.254.279	14,54%
India	2.238.377	6,19%
Rusia	1.705.346	4,72%
Japón	1.214.048	3,36%

PAÍS	GENERACIÓN CO2 (Kt)	% DEL MUNDO
TOTAL 5 PAÍSES	20.703.977	57,29%
TOTAL MUNDO	36.138.285	

Fuente: Elaboración propia a partir de información oficial del Banco Mundial disponible en https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2014&most_recent_value_desc=false&start=1960&view=chart

Por su parte, la generación registrada por Colombia para el mismo periodo, fue la siguiente:

Tabla 2. Generación de CO₂ de Colombia para el año 2014.

PAÍS	GENERACIÓN CO2 (Kt)	% DEL MUNDO
Colombia	84.092	0,23%

Fuente: Elaboración propia a partir de información oficial del Banco Mundial disponible en https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2014&most_recent_value_desc=false&start=1960&view=chart

Como se puede notar, de la medición registrada en el año 2014, Colombia sólo aportó el 0,23% de la generación total de Dióxido de Carbono – CO₂ en el mundo, mientras que los países de China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón, aportaron el 57,29% de la generación total de Dióxido de Carbono – CO₂ en el mundo. Aun así, esta situación no debe detener nuestro compromiso personal y global de disminuir las emisiones de gases efecto invernadero para frenar los efectos que se vienen generando por el Cambio Climático Global.

Ahora bien, según la Tercera Comunicación Nacional de Colombia presentada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales el IDEAM a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, para el año 2017 Colombia emitió un total de 258,8 Mton de CO₂ equivalentes, pasando de emitir el 0,37% de las emisiones mundiales a emitir el 0,42% en los últimos años. Si esta situación se analiza en términos de la participación que tenía el país en el año 2014 según el Banco Mundial, se puede decir que nuestra participación ha pasado del 0,23% al 0,42% en tan sólo tres años (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2017b). De esta manera, es claro establecer que, si bien nuestra participación actual en el Calentamiento Global es mínima, también es claro que, de continuar con esta tendencia, podría ser preocupante en los próximos años. Según el mismo informe del IDEAM, los 5 departamentos que lideraron el ranking de generación de toneladas equivalentes de CO₂ en el país, fueron los siguientes:

Tabla 3. Listado de departamentos que generaron el 36,67% de las emisiones de CO₂ en Colombia para el año 2014.

DEPARTAMENTO	GENERACIÓN CO ₂ EQUIVALENTES (Mt)	% DEL PAÍS
Antioquia	22,94	8,86%
Meta	21,24	8,21%
Caquetá	19,84	7,67%
Valle del Cauca	16,50	6,38%
Santander	14,38	5,56%
TOTAL 5 DEPTOS	94,90	36,67%
TOTAL PAÍS	258,80	

Fuente: Elaboración propia a partir de información oficial del IDEAM 2017.

Finalmente, se tiene establecido que, si bien el sector de los residuos aporta una pequeña porción sobre la generación total del país, también es claro que el sector transporte que es transversal a todos los sectores, tiene una gran incidencia en la medición como se muestra a continuación:

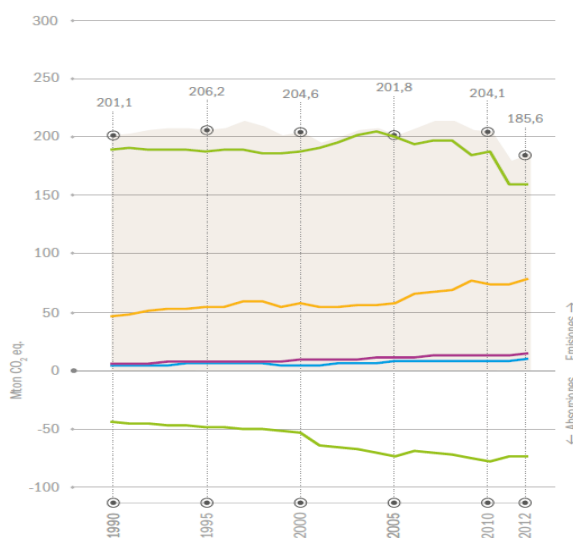


Imagen 7. Total emisiones y absorciones según categorías del IPCC (Mton Equiv CO₂)

Fuente: Tercera Comunicación Nacional de Colombia. IDEAM 2017.

Por su parte, el principal causante en el sector de los residuos sólidos de la emisión de gases efecto invernadero, es la descomposición de los residuos sólidos orgánicos y la generación de gas metano (CH₄) en los rellenos sanitarios (Solórzano, 2003).

Así las cosas, una solución que permita disminuir la generación de las toneladas equivalentes de CO₂ para el sector de los residuos sólidos, acompañada de una estrategia para

disminuir a la máxima expresión las distancias de recorrido de los vehículos recolectores a los rellenos sanitarios del país, podría ser una muy buena opción para aportar a los objetivos que tiene el país en materia de reducción de gases efecto invernadero.

3.5. Huella de Carbono

La huella de carbono hace referencia al volumen de las emisiones de gases de efecto invernadero que se producen en forma directa o indirecta en toda actividad humana, durante la elaboración de productos o prestación de servicios (Espíndola & Valderrama, 2012). En este sentido, podemos deducir entonces que la medición de la Huella de Carbono es un instrumento por medio del cual podemos vigilar las emisiones de gases efecto invernadero los cuales, a su vez, son los principales causantes del cambio climático global.

Para la determinación de la Huella de Carbono se parte del cálculo de las emisiones directas e indirectas. Las emisiones directas son las que provienen de fuentes que son propiedad de la organización, mientras que las indirectas, corresponden a las generadas por los insumos que la organización adquiere así como los servicios que contrata (OLIVERA et al., 2013).



Imagen 8. Categorización de las emisiones en una organización

Fuente: Greenhouse Gas Protocol, 2014

La huella de carbono se expresa en unidades de carbono equivalente (CO₂eq), a pesar de que para la medición se tienen en cuenta todos los Gases Efecto Invernadero que contribuyen al calentamiento global, ya que al final, por medio de unos factores de equivalencia, se estima el potencial de calentamiento de todos los gases en unidades del CO₂ equivalente. Para la medición de la Huella de Carbono, existen diferentes metodologías a nivel internacional, entre ellas, el GHG Protocol, la PAS 2050 y la ISO 14064. La diferencia entre ellas radica básicamente en que el GHG Protocol tiene un enfoque corporativo, la PAS 2050 se enfoca en productos y la ISO 14064 en la definición de requisitos generales para el cálculo (Cenicafé, 2013). Por su parte, con base en el PAS 2050, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC desarrolló las siguientes dos Normas Técnicas Colombianas:

- NTC 5947. Especificación para el Análisis de Emisiones y remociones de Gases de Efecto Invernadero Durante el Ciclo de Vida de Bienes y Servicios.
- NTC 6000. Sistemas de Gestión Ambiental. Huella de Carbono. Requisitos.

Para la medición de la Huella de Carbono a Nivel Sectorial, el procedimiento general es el siguiente (Bank, Salgado, & Aires, 2013):

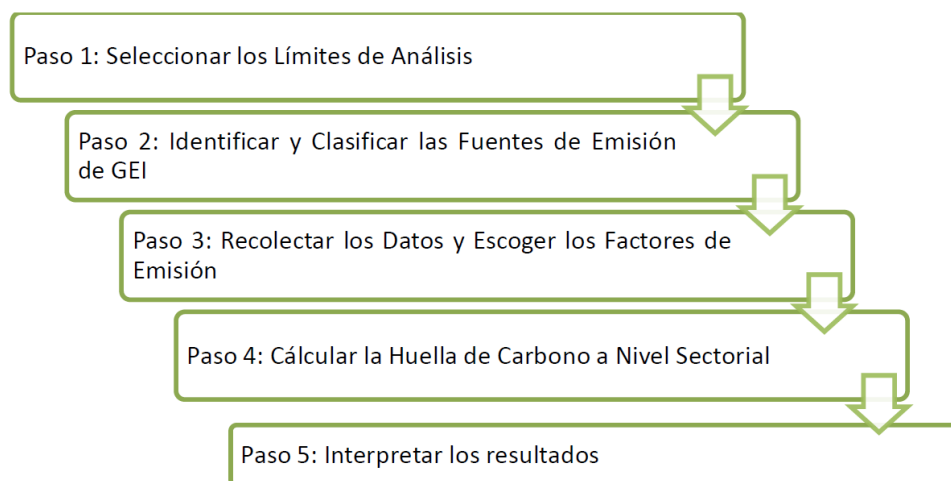


Imagen 9. Procedimiento para el Cálculo de la Huella de Carbono a Nivel Sectorial

Fuente: Guía Metodológica para el Cálculo de la Huella de Carbono Corporativa a Nivel Sectorial, junio de 2013

Paso 1: Selección de los Límites de Análisis: Se deben establecer básicamente tres parámetros:

- Límite Territorial: Espacio Geográfico en el que se desarrollará el análisis.
- Límite Sectorial: Sector o Sectores Productivos que se tendrán en cuenta dentro del análisis.
- Definición de Año Base: Periodo en el cual expresará las emisiones GEI.

Paso 2: Identificación y Clasificación de las Fuentes de Emisión de los GEI: Se deben identificar las fuentes de emisión según el siguiente criterio:

- Emisiones de GEI Directas: Son las que tienen que ver con la generación en fuentes fijas, fuentes móviles, procesos físicos o químicos y emisiones fugitivas.
- Emisiones de GEI Indirectas debido al uso de energía: Toma en cuenta las emisiones debido a la generación de electricidad consumida y comprada.

Paso 3: Recolección de Datos y Selección de los Factores de Emisión: Es el paso más importante del procedimiento, ya que de la calidad de la información base, depende la validez del cálculo de la Huella de Carbono. Según la “Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono corporativa a nivel sectorial” los sistemas de información según fuente de emisión de GEI pueden ser las siguientes:

FUENTE DE EMISIÓN DE GEI	FUENTES DE INFORMACIÓN
Consumo de aislante térmico	Cantidad de aislante utilizado en el mantenimiento de equipos eléctricos
Consumo de combustibles fósiles	Registros de consumo o de compra de combustibles
Consumo de energía eléctrica	Factura de la energía eléctrica adquirida
Consumo de refrigerantes	Cantidad de refrigerante recargado durante el mantenimiento de equipos
Fermentación entérica	Cantidad de cabezas de ganado por especie
Manejo de estiércol	Cantidad de cabezas de ganado por especie
Procesos fisicoquímicos	Producción de materiales en procesos de extracción o industriales
Quema de residuos agrícolas	Cantidad de biomasa quemada
Quema de Biomasa	Cantidad de área afectada
Residuos sólidos dispuestos en tierra	Cantidad de metano generado en la disposición de residuos orgánicos
Tratamiento de aguas residuales industriales y lodos	Cantidad de carga orgánica presente en las aguas residuales y lodos en términos de DBO o DQO
Tratamiento de aguas residuales domésticas	Cantidad de personas que vierten al sistema de tratamiento de aguas residuales

Imagen 10. Fuentes de Información para la Obtención de las Cargas Ambientales

Fuente: Guía Metodológica para el Cálculo de la Huella de Carbono Corporativa a Nivel Sectorial, junio de 2013

Paso 4: Cálculo de la Huella de Carbono a Nivel Sectorial: Para cuantificar la Huella de Carbono, se debe aplicar la siguiente fórmula para cada sector productivo:

$$\textit{Emisiones de GEI} = \textit{Carga Ambiental} * \textit{Factor de Emisión}$$

Por su parte, la Carga Ambiental se refiere a:

- Consumo de aislante térmico
- Consumo de combustibles fósiles
- Consumo de energía eléctrica
- Consumo de refrigerantes
- Cantidad de área afectada (bosques y praderas)
- Número de cabezas de ganado
- Cantidad de material producido
- Cantidad de fertilizante sintético usado
- Cantidad de residuos sólidos orgánicos dispuestos en tierra
- Cantidad de aguas residuales y lodos tratados

Cuando la emisión de GEI resultante este expresada en un GEI diferente al CO₂, este resultado se deberá multiplicar por el Potencial de Calentamiento Global. De esta forma se tendrá la emisión total en cantidades de CO₂ equivalente.

Paso 5: Interpretación de Resultados: Los resultados pueden ser presentados en tablas y/o gráficas, y considerando, en la medida de lo posible, el siguiente nivel de detalle:

- Emisiones de GEI totales para cada sector productivo
- Emisiones de GEI directas e indirectas para cada sector productivo
- Emisiones de GEI por tipo de fuente de emisión para cada sector productivo
- Emisiones de GEI por tipo de fuente de emisión y para todos los sectores productivos

Lo anterior permitirá identificar las mayores fuentes de emisión de GEI en el territorio, sobre las cuales se deberán implementar medidas de mitigación para lograr la reducción de la Huella de Carbono sectorial.

3.6. Mercados actuales de Carbono.

Los mercados de carbono tuvieron su origen desde aproximadamente el año 1990 con el Primer Reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC, el cual ha confirmado la influencia humana en el sistema climático y sus impactos negativos. Con esta preocupación y la voluntad de los Estados, se conformó en el año 1992, la Convención Marco sobre Cambio Climático - CMNUCC que entró en vigor en 1994. Posteriormente, en el año 1997, fue adoptado el Protocolo de Kyoto el cual sólo entró en vigor en febrero de 2005, luego de un largo proceso de ratificación. En este protocolo, sólo los países desarrollados asumen compromisos de reducción de emisiones para el período 2008-2012 (extendido hasta el 2020) y se crean mecanismos de mercado para intercambiar créditos de carbono los cuales son tres: i) Aplicación Conjunta (AC); ii) Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y iii) el Comercio de Emisiones de Carbono. Finalmente, por medio del Acuerdo de París en el año 2015 (COP 21), se encaminan los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura entre 1,5 °C y 2 °C a niveles preindustriales y se incluye un mecanismo jurídico que presentarán todos los Estados y que describirá medidas más ambiciosas en torno a sus obligaciones de reducción (Lucas Garín, 2019).

A raíz de este desarrollo, en la actualidad existen dos tipos de mercados de carbono: i) los de cumplimiento regulado y ii) los voluntarios. El mercado regulado tiene que ver con Entidades que, por ley, tienen que informar y controlar sus emisiones de GEI y, por ende, está regulado por normas que exigen una reducción de carbono. Por su parte, el mercado voluntario, como muy bien lo indica su nombre, parte de una base facultativa más no obligatoria. Según información oficial del sector, para el año 2008, se comercializaron en el mercado regulado 119.000 millones de dólares estadounidenses (US\$), y en el voluntario, 704 millones US\$ (Seeberg, 2010). Por su parte, según información oficial de Ecosystem Marketplace, el mercado voluntario de Carbono ha tenido un crecimiento bastante interesante en los últimos años, al pasar por ejemplo de unas transacciones de 146 millones de dólares para el año 2017 a 296 millones de dólares para el año 2018 (Markets, 2019).

	2017			2018		
	VOLUME MtCO ₂ e	AVERAGE PRICE	VALUE	VOLUME MtCO ₂ e	AVERAGE PRICE	VALUE
FORESTRY AND LAND USE	16.6	\$3.4	\$63.4M	50.7	\$3.2	\$171.9M
RENEWABLE ENERGY	16.8	\$1.9	\$31.5M	23.8	\$1.7	\$40.9M
WASTE DISPOSAL	3.7	\$2.0	\$7.4M	4.5	\$2.2	\$10.0M
HOUSEHOLD DEVICES	2.3	\$5.0	\$11.8M	6.1	\$4.8	\$29.5M
CHEMICAL PROCESSES/ INDUSTRIAL MANUFACTURING	2.6	\$1.9	\$4.9M	2.5	\$3.1	\$7.9M
ENERGY EFFICIENCY/ FUEL SWITCHING	1.1	\$2.1	\$3.3M	2.8	\$2.8	\$7.8M
TRANSPORTATION	0.1	\$2.9	\$0.2M	0.3	\$1.7	\$0.5M

Imagen 11. Transacciones Internacionales del Mercado Voluntario de Carbono 2017 - 2018

Fuente: Markets, 2019

Algunos países no han aceptado legalmente el Protocolo de Kyoto, pero tienen otros esquemas de reducción de sus Gases Efecto Invernadero vinculantes legalmente, a nivel estatal o regional. Por su parte, los países en desarrollo sólo pueden participar en el MDL. En general, para proyectos a pequeña escala en países en desarrollo como Colombia, el mercado voluntario es más interesante que el regulado, porque el mercado de MDL tiene unos mecanismos y procedimientos bastante complejos para el registro de proyectos, que excluyen a la mayoría de proyectos agrícolas, forestales y de reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y degradación de los bosques (Seeberg, 2010).

Para Colombia, por medio de la Ley 164 de 1994, el Congreso de la República aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, cuyo objetivo es la estabilización de concentraciones GEI en la atmósfera, a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y por medio de la Ley 629 de 2000 se aprobó el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", la cual fija obligaciones cuantificadas de reducción de emisiones de GEI. Por su parte, por medio del artículo 221 de la Ley 1819 de 2016, se crea el Impuesto al Carbono como un “gravamen que recae sobre el contenido de carbono de todos los combustibles fósiles, incluyendo todos los derivados de petróleo y todos los tipos de gas fósil que sean usados con fines energéticos, siempre que sean usados para combustión”. El Impuesto al Carbono, fue adoptado por medio de una tarifa

específica considerando el factor de emisión de dióxido de carbono (CO₂) para cada combustible determinado. Dicha tarifa fue reglamentada en quince mil pesos (\$15.000) por tonelada de CO₂ y se ajustará cada año de acuerdo a la inflación del año anterior más un punto hasta que sea equivalente a una (1) UVT por tonelada de CO₂ lo cual nos lleva a deducir que este impuesto podría estar tocando la barrera de los \$35.000 en los próximos años (Congreso de la República de Colombia, 2016).

Ahora bien, de acuerdo a lo dispuesto en el párrafo 3 del artículo 221 de la misma Ley 1819 de 2016 “El impuesto no se causa a los sujetos pasivos que certifiquen ser carbono neutro, de acuerdo con la reglamentación que expida el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible”, razón por la cual el Gobierno Nacional por medio del Decreto 926 de 2017 expidió el procedimiento para certificar el “Carbono Neutro” y por ende, no ser sujeto pasivo del Impuesto al Carbono, entendiéndose como Carbono Neutro la neutralización efectiva de las emisiones de GEI asociadas al uso del combustible (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2017).

Según información oficial de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN, para el año 2018 el recaudo bruto por el Impuesto Nacional al Carbono fue de 294 mil millones de pesos el cual representó una disminución bastante significativa respecto al valor recaudado en el año 2017 por valor de 477 mil millones de pesos. Esta situación se debió principalmente a los efectos tributarios o beneficios ambientales si se quiere decir, del Decreto 926 de 2017 en la utilización de los bonos o la neutralización efectiva de las emisiones de GEI asociadas al uso del combustible (DIAN, 2019).

Concepto	Recaudo 2017	Recaudo 2018	Var % 2017/2018	Meta 2018	Diferencia absoluta (recaudo- meta)	Cumplimiento meta%
Renta declaraciones	15.071	17.793	18,1%	19.237	-1.444	92,5%
IVA declaraciones	31.900	34.479	8,1%	35.516	-1.037	97,1%
Retención ^{1/}	47.280	56.725	20,0%	51.063	5.661	111,1%
GMF	7.301	7.704	5,5%	7.716	-12	99,8%
Riqueza*	3.975	470	-88,2%	534	-64	88,0%
Consumo	2.108	2.214	5,1%	2.366	-152	93,6%
Gasolina y ACPM	1.619	1.518	-6,3%	1.532	-14	99,1%
Carbono	477	294	-38,3%	500	-206	58,8%
Mono Tributo	0	0	n.a.	0	0	n.a.
CREE declaraciones	4.058	139	-96,6%	0	139	n.a.
CREE retenciones	1.104	16	-98,5%	0	16	n.a.
Total internos	114.894	121.352	5,6%	118.464	2.888	102,4%
Arancel	4.263	3.973	-6,8%	4.858	-885	81,8%
Iva externo	17.152	19.099	11,4%	18.436	663	103,6%
Total externos	21.414	23.072	7,7%	23.293	-221	99,0%
Por clasificar**	122	0	-100,0%	0	0	n.a.
Total	136.430	144.424	5,9%	141.758	2.666	101,9%

Imagen 12. Recaudo bruto por tipo de impuesto (miles de millones de pesos)

Fuente: DIAN, 2019

De esta manera, se puede deducir que el país ya tiene un precio de referencia para la tonelada equivalente de CO₂ el cual es altamente progresivo (de \$15.000 a UVT) y que a su vez, ya existen algunos sujetos pasivos sobre los cuales está recayendo el Impuesto Nacional al Carbono los cuales, están buscando la compensación de sus emisiones para lograr ser “Carbono Neutro” y por ende, evitar la causación del Impuesto, es decir, muy probablemente con alguna reorientación normativa, se pueda hacer extensiva la lista de sujetos pasivos y a su vez, dirigir parte de estos recursos a la financiación de proyectos de aprovechamiento y tratamiento de residuos los cuales a su vez, pueden disminuir la emisión de gases efecto invernadero.

4. Hipótesis

Asumiendo que:

- Respecto a la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, existen múltiples y ambiciosos compromisos derivados principalmente de los tratados internacionales e instrumentos de Política Pública Nacional.
- Entre los objetivos más representativos, se propone pasar del Modelo de Producción y Consumo Lineal (MPCL) al Modelo de Economía Circular (MEC).
- En Colombia, hablar de gestión integral de residuos sólidos, es hablar de Servicio Público Domiciliario de Aseo.
- El Servicio de Aseo en Colombia es prestado por empresas públicas, privadas y mixtas de conformidad con lo dispuesto en el artículo 365 de la Carta Política y Ley 142 de 1994.
- Al ser un servicio público domiciliario, corresponde a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA, definir los esquemas de remuneración e incentivos.

Se encuentra que:

- Las empresas de servicios públicos, como agentes económicos que maximizan permanente su beneficio, si no son conducidas por parte del Regulador por medio de los mecanismos de incentivos apropiados, no migrarán del MPCL al MEC y por

ende, no se cumplirán los objetivos y metas trazados por el país en el Conpes 3874 de 2016.

5. Metodología

Para el análisis y dinamismo de un esquema de incentivos basado en el aporte en la reducción de Gases Efecto Invernadero - GEI, se partirá de la medición de la Huella de Carbono en el modelo de producción y consumo lineal de un municipio elegido dentro del análisis, para posteriormente, mediante la simulación de un esquema de economía circular para el mismo municipio, se pueda establecer la reducción de las toneladas equivalentes de CO₂. Para estas toneladas equivalentes de CO₂ obtenidas, se establecerá una proyección de ingresos basada en el precio de mercado tomando como referencia el Impuesto Nacional al Carbono.

5.1. Esquema general del modelo de producción y consumo lineal con su respectiva huella de carbono (línea base).

El modelo de producción y consumo lineal que consiste en la fabricación de productos a partir de materias primas “vírgenes” para posteriormente comercializarse, utilizarse y convertirse en residuos (Ellen Macarthur Foundation, 2012), supone una relación directa con el modelo técnico y financiero que ha utilizado nuestro país a lo largo de muchos años por lo menos desde la expedición de la Ley 142 de 1994. Este modelo, al traducirse a la definición tradicional de “Servicio Público Domiciliario de Aseo” que existe en nuestro país, no significa más que la prestación de las actividades de recolección, transporte y disposición final.

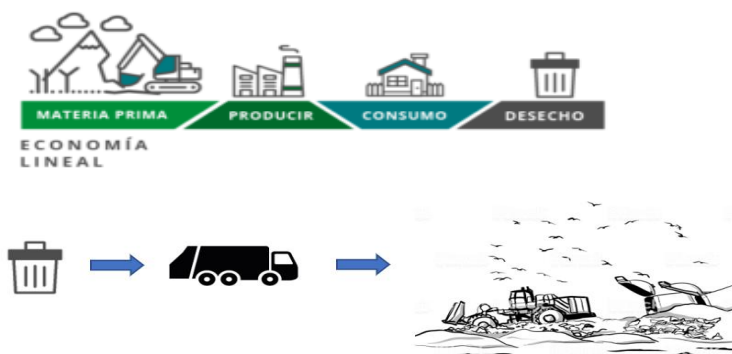


Imagen 13. Modelo de Producción y Consumo Lineal y Prestación de Servicio Público de Aseo

Fuente: <http://bewildlygreen.com/> y elaboración propia, 2019.

En este modelo y de acuerdo al procedimiento para la determinación de la Huella de Carbono detallado en el punto 3.5, podemos identificar lo siguiente:

Paso 1: Selección de los Límites de Análisis:

- Límite Territorial: El análisis se desarrollará con base en los datos de generación de residuos del municipio de Pereira (Risaralda). Municipio ubicado en la región centro-occidente del país con una población actual cercana a los 500.000 habitantes según información de la Secretaría de Planeación Municipal 2017.
- Límite Sectorial: Se tendrá en cuenta la Huella de Carbono desprendida del manejo actual que se le viene dando a los residuos sólidos ordinarios (no especiales) y de origen residencial.
- Definición de Año Base: Para el ejercicio el Año Base será el 2017. Conforme a lo anterior, los datos serán los siguientes:

Generación residuos sólidos urbanos (Ton/Año)	155.826
Participación de RSUOR en los residuos urbanos (%)	65,00%
Capacidad Promedio de los Vehículos (Ton)	14,00
Distancia Promedio al sitio de disposición final (Km)	21,00
Composición de los RSUOR:	

Tabla 4. Porcentaje y cantidad estimada de residuos sólidos urbanos y ordinarios para el municipio de Pereira (Risaralda) año 2017.

Material	%	Cantidad
Biodegradables	70,55%	71.457,91
Papeles	11,18%	11.323,88
Plásticos	10,12%	10.250,23
Vidrios	3,76%	3.808,39
Metales	1,16%	1.174,93
Otros	3,23%	3.271,57
Total	100,00%	101.286,90

Fuente: Elaboración propia según datos PGIRS Pereira 2015.

Paso 2: Identificación y Clasificación de las Fuentes de Emisión de los GEI:

- Emisiones de GEI Directas:

Tabla 5. Identificación y clasificación de las fuentes directas de emisión de GEI para el MPCL utilizado.

EMISIÓN	TIPO
Producción de Bienes de Consumo que finalmente se convierten en residuos	Dentro del MPCL, los residuos tienen su origen principalmente, en la extracción de materias primas vírgenes con una alta HC.
Consumos de Combustibles Fósiles	Los vehículos de recolección y transporte de residuos en función de la ubicación de rellenos sanitarios regionales, así como los consumos de combustibles fósiles de maquinaria pesada dentro del relleno sanitario.
Residuos Sólidos dispuestos en la Tierra	Generación principal de metano (CH ₄) por la degradación de los residuos, el gas metano tiene un alto potencial de calentamiento global respecto al CO ₂ .
Tratamiento de Lixiviados (Aguas Residuales)	Generación de metano en función de la degradación del DBO y DQO.

Fuente: Elaboración propia.

- Emisiones de GEI Indirectas debido al uso de energía: Dentro del relleno sanitario se utiliza energía eléctrica dentro de cada uno de los procesos que suponen un enterramiento controlado de residuos sólidos, razón por la cual se determinará el consumo anual de energía (expresado en Kwh) y posteriormente, se relacionará en términos de la cantidad de residuos sólidos dispuestos.

Tabla 6. Identificación y clasificación de las fuentes indirectas de emisión de GEI para el modelo utilizado.

ASPECTO	UNIDAD
Consumo de energía eléctrica en el relleno sanitario	Kwh/año base
Cantidad Total de Residuos Sólidos Dispuestos en el Relleno Sanitario	Ton/año base
Índice de consumo de energía eléctrica por tonelada de residuos dispuesta	Kwh/Ton
Índice de emisión de CO ₂ asociado al consumo de energía eléctrica	Ton CO ₂ /Mwh

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Recolección de Datos y Selección de los Factores de Emisión:

- Factores de Emisión asociados a la Producción de Bienes de Consumo que finalmente se convierten en residuos:

Tabla 7. Factores de emisión de GEI asociados a la Huella de Carbono (HC) de los procesos de obtención de materias primas y producción de bienes de consumo

Producto	Emisiones (de la cuna a la puerta)		Fuente
Alimentos	0,8	Ton. eq. CO ₂ / Ton. de alimento	Chardí, (2016). UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA HUELLA DE CARBONO GENERADA POR EL CONSUMO DE FRUTAS Y VERDURAS EN ESPAÑA. (HC_Alimentos)
Papel	17,7	Ton. eq. CO ₂ / Ton. de papel virgen	ANDI, (2016). Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón. Informe de sostenibilidad periodo 2010 - 2015. (Hc_Papel2)
Plástico virgen	2,7	Ton. eq. CO ₂ / Ton. de plástico virgen	ASIPLA, (2009). Análisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de los Embalajes y Otros Productos Plásticos en Chile V1.0 (2009) (HC_Plástico)
Vidrio	1,8	Ton. eq. CO ₂ / Ton. de vidrio virgen	Ashby, M. F. (2009). Materials and the Environment. Eco-Informed Material Choice. Oxford: Butterworth-Heinemann. (p. 339) (HC_Vidrio)
Metales	6,0	Ton. eq. CO ₂ / Ton. de metal virgen	US EPA, (2006). Solid Waste Management and Greenhouse Gases - A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks 3rd Edition. United States Environmental Protection Agency, p22

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía relacionada.

- Factores de Emisión asociados al Consumos de Combustibles Fósiles:

Tabla 8. Factores de emisión directa para el diesel (b-10) (fuentes móviles)

	FACTOR DE EMISION (kgCO ₂ /gal)	FACTOR DE EMISION (kgCH ₄ /gal)	FACTOR DE EMISION (kgN ₂ O/gal)	Fuente
Diesel B10	10,2765	0,000037	0,000037	Guía Técnica Orientada al Cálculo y Gestión de la Huella Asociada al Manejo y Disposición de Residuos (Fundación Natura, 2016)
P.C.G	1	28	265	

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía relacionada

- Factores de Emisión asociados a la disposición final de residuos sólidos bajo la técnica de relleno sanitario:

Tabla 9. Factores de emisión y peso de gas metano (CH₄), asociados gases y lixiviados en relleno sanitario.

Aspecto	Unidad	Magnitud	Fuente
Peso del CH ₄	kg/m ³	0,68	Estimaciones propias a partir de información consultada del Relleno Sanitario
índice de generación de CH ₄ asociado al lixiviado	m ³ de CH ₄ /m ³ lixiv. Tratado	37	

Aspecto	Unidad	Magnitud	Fuente
Índice de generación de lixiviados	m3/Ton Biodegr. Dispuesta	0,80	
Índice de consumo de combustible de maquinaria en el relleno sanitario	Gal/Ton.Res.Dpta	0,55	
Índice de consumo de energía eléctrica por tonelada de residuos dispuesta	Kwh/Ton	0,74	
Índice de emisión de CO2 asociado al consumo de energía eléctrica	Ton CO2/Mwh	0,19	
Índice de generación estimada de biogás a partir de materia orgánica	m3/Ton	200	Lacoste, 1997.
Fracción de CH4 contenido en el biogás	%	55%	Panesso, et al (2011); Robles, M. (2008)

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía relacionada

Paso 4: Cálculo de la Huella de Carbono a Nivel Sectorial:

*Emisiones de GEI = Carga Ambiental * Factor de Emisión*

Entrada	Etapas	Salida	Cantidad	Unidad
Materias primas y recursos naturales	Obtención de materias primas y producción de bienes de consumo obsoletos que forman parte del flujo de RSUOR (de la cuna a la puerta)	Empaques y bienes de consumo obsoletos del sector residencial (RSUOR potenciales)	101.286,9	Ton/Año
		GEI Producción alimentos	58.186,3	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción papel	199.980,1	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción plástico	27.880,6	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción vidrio	6.664,7	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción metales	7.067,2	Ton. Eq. CO2/Año
		Total materias primas y manufactura	299.778,9	Ton. Eq. CO2/Año
Combustible (ACPM - Diesel) recolección y transporte RSUOR no aprovechados	Recolección y transporte de RSUOR hasta su fin de vida (disposición final)	Emisiones de GEI por recolección y transporte de RSUOR hasta su fin de vida		
		Emisiones de CO2 vehículos	933,8	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones de CH4 vehículos	0,1	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones de N2O vehículos	0,9	Ton. Eq. CO2/Año
	Total emisiones por recolección y transporte RSUOR	934,8	Ton. Eq. CO2/Año	
Impacto de los Residuos Sólidos dispuestos en el Relleno Sanitario	Disposición Final de los Residuos Sólidos en un Relleno Sanitario Autorizado	Emisiones de GEI por disposición final de RSUOR		
		CH4 por Biogás de Biodegradables	149.661,4	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI del Tratamiento de Lixiviados	40.344,2	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones CO2 de Maquinaria	567,6	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones CH4 Maquinaria	0,1	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones de N2O Maquinaria	0,5	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI del Consumo Eléctrico	14,2	Ton. Eq. CO2/Año
Total emisiones por disposición final en R.S. de los RSUOR	190.588,0	Ton. Eq. CO2/Año		
TOTAL HUELLA DE CARBONO EN EL MODELO DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO LINEAL (TON. EQ. CO2/AÑO)			491.301,7	Ton. Eq. CO2/Año

Imagen 14. Cálculo de la Huella de Carbono en el MPCL del municipio de Pereira 2017

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Paso 5: Interpretación de Resultados:

Tabla 10. Distribución de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MPCL del municipio de Pereira 2017.

Aspectos asociados a la generación de GEI, según etapas	HC (Ton. eq. CO ₂ /Año)	%
Obtención de materias primas y producción de bienes de consumo	299.778,9	61,02%
- GEI Producción alimentos	58.186,3	11,84%
- GEI Producción papel	199.980,1	40,70%
- GEI Producción plástico	27.880,6	5,67%
- GEI Producción vidrio	6.664,7	1,36%
- GEI Producción metales	7.067,2	1,44%
Recolección y transporte de RSUOR hasta su fin de vida	934,8	0,19%
- Emisiones de CO ₂ vehículos recolectores	933,8	0,19%
- Emisiones de CH ₄ vehículos recolectores	0,1	0,00%
- Emisiones de N ₂ O vehículos recolectores	0,9	0,00%
Fin de vida de RSUOR no aprovechados	190.588,0	38,79%
- Emisiones de CH ₄ en biogás por descomposición de residuos biodegradables	149.661,4	30,46%
- GEI del tratamiento de lixiviados (sistema anaeróbico)	40.344,2	8,21%
- Emisiones de CO ₂ asociadas a la operación de maquinaria en el relleno sanitario	567,6	0,12%
- Emisiones de CH ₄ asociadas a la operación de maquinaria	0,1	0,00%
- Emisiones de N ₂ O asociadas a la operación de maquinaria	0,5	0,00%
- GEI asociados al consumo de energía eléctrica (oficinas, PTARND y estación de lavado)	14,2	0,00%
HUELLA DE CARBONO TOTAL (Ton. Eq. CO₂/Año)	491.301,7	100%

Fuente: Elaboración propia.

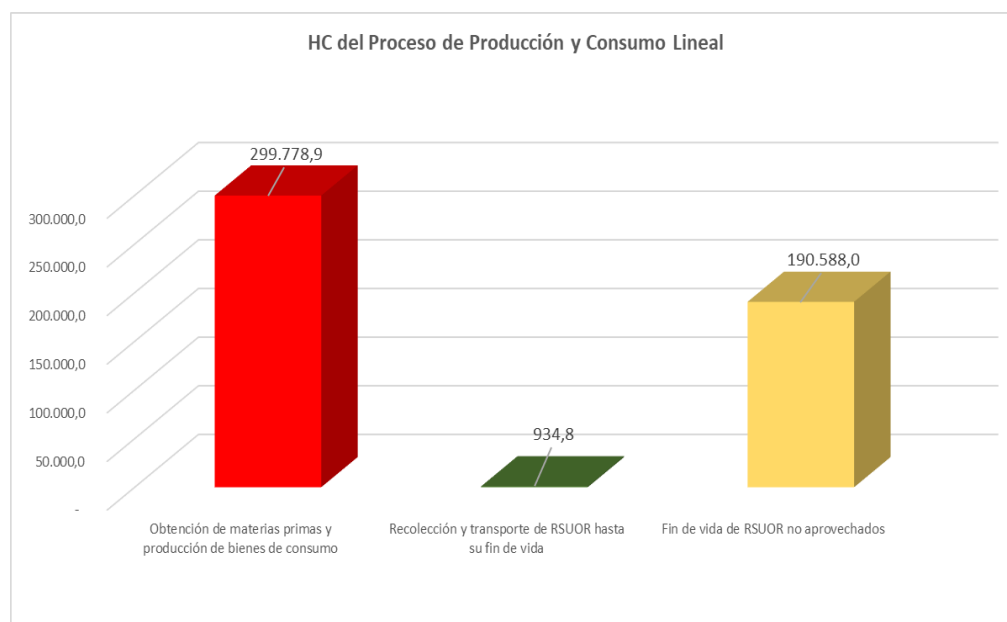


Gráfico 3. Distribución Gráfica de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MPCL del municipio de Pereira 2017.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede notar, el principal efecto en la Huella de Carbono se genera por la extracción de materiales vírgenes y la posterior producción de bienes de consumo (61,02%). El segundo efecto, se genera principalmente por las emisiones de gas metano y de lixiviados dentro del relleno sanitario (38,79%), situación que amerita dos acciones: i) Disminución de la Huella de Carbono en la producción reincorporando materiales reciclables al ciclo productivo y de esta manera evitando cada vez más, extraer materiales vírgenes y ii) Realizar un aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos con el fin de evitar al máximo nivel de detalle las emisiones de gas metano y de lixiviados.

5.2. Esquema general del modelo de economía circular con su respectiva huella de carbono

El modelo de economía circular – EC es un modelo alternativo y sostenible respecto al modelo de producción y consumo lineal – MPCL, debido a que promueve un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los materiales y la energía de productos y servicios disponibles en el mercado (Prieto Sandoval, Jaca García, & Ormazabal, 2017). Este modelo, impulsado en nuestro país principalmente desde la expedición del Documento Conpes 3874 de 2016, representa un desafío para las Autoridades encargadas de desarrollar Políticas Públicas en nuestro país, así como los agentes encargados de diseñar estrategias de incentivos y regulación como la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA. En este sentido, lo que busca este modelo en relación con la prestación del Servicio Público Domiciliario de Aseo es lo siguiente:





Imagen 15. Modelo de Economía Circular y Prestación de Servicio Público de Aseo

Fuente: Elaboración propia a partir de la Resolución 2184 del 26-12-2019.

En este modelo y de acuerdo al procedimiento para la determinación de la Huella de Carbono detallado en el punto 3.5, podemos identificar lo siguiente:

Paso 1: Selección de los Límites de Análisis:

- **Límite Territorial:** El análisis se desarrollará con base en los datos de generación de residuos del municipio de Pereira (Risaralda). Municipio ubicado en la región centro-occidente del país con una población actual cercana a los 500.000 habitantes según información de la Secretaría de Planeación Municipal 2017.
- **Límite Sectorial:** Se tendrá en cuenta la Huella de Carbono desprendida de la proyección de un modelo de economía circular bajo la concepción de dos proyectos: i) Ubicación de una Estación de Clasificación y Aprovechamiento – ECA para los residuos reciclables y ii) Ubicación de una Planta de Compostaje para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos.
- **Definición de Año Base:** Para el ejercicio el Año Base será el mismo 2017. Conforme a lo anterior, los datos serán los siguientes:

Generación residuos sólidos urbanos (Ton/Año)	155.826
Participación de RSUOR en los residuos urbanos (%)	65,00%
Capacidad Promedio de los Vehículos de Aprov. (Ton)	6,00
Distancia Promedio a la ECA (Km)	6,00
Capacidad Promedio de los Vehículos de Tto. (Ton)	8,00
Distancia Promedio a la Planta de Tto (Km)	12,00
Capacidad Promedio de los Vehículos de Inserv. (Ton)	14,00
Distancia Promedio al Relleno Sanitario (Km)	21,00

Metas De Aprovechamiento y Tratamiento propuestas:

Tabla 11. Metas de Aprovechamiento y de Tratamiento de Residuos propuestas en el MEC Pereira 2017.

Material	Q	Meta (%)	Q*
Biodegradables	71.457,9	50,00%	35.729,0
Papeles	11.323,9	70,00%	7.926,7
Plásticos	10.250,2	70,00%	7.175,2
Vidrios	3.808,4	70,00%	2.665,9
Metales	1.174,9	70,00%	822,4
Otros	3.271,6	0,00%	0,0
Total	101.286,9		54.319,2

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Identificación y Clasificación de las Fuentes de Emisión de los GEI:

- Emisiones de GEI Directas:

Tabla 12. Identificación y clasificación de las fuentes directas de emisión de GEI para el MEC utilizado.

EMISIÓN	TIPO
Producción de Bienes de Consumo que finalmente se convierten en residuos	Dentro del modelo de EC, los residuos tienen su origen principalmente, en la extracción de materias primas vírgenes con una alta HC, sin embargo, en el mismo sentido en el que los materiales se incorporan nuevamente al ciclo productivo, se evita nueva extracción de materiales vírgenes y disminuye la HC.
Consumos de Combustibles Fósiles	En la medida en que los sitios de aprovechamiento queden ubicados a una menor distancia de donde está el relleno sanitario, se reduce el consumo de combustibles y disminuye la HC.

EMISIÓN	TIPO
Residuos Sólidos dispuestos en la Tierra	Disminuye la generación de CH ₄ en el relleno sanitario, sin embargo, se debe cuantificar la generación de CO ₂ en el proceso de tratamiento de residuos.
Tratamiento de Lixiviados (Aguas Residuales)	Tienden a disminuir en el proceso de tratamiento por la deshidratación desprendida del manejo aeróbico a anaeróbico.

Fuente: Elaboración propia

- Emisiones de GEI Indirectas debido al uso de energía: En cada uno de los sitios de destino (ECA, Planta de Tratamiento de Orgánicos o Relleno Sanitario) se utiliza energía la cual debe ser cuantificada dentro del proceso.

Paso 3: Recolección de Datos y Selección de los Factores de Emisión:

- Factores de Emisión asociados a la Producción de Bienes de Consumo que finalmente se convierten en residuos y/o materiales del proceso de economía circular: Los mismos del modelo anterior.
- Factores de Emisión asociados al Consumos de Combustibles Fósiles: Los mismos del modelo anterior.
- Factores de Emisión asociados al Tratamiento de Residuos Orgánicos:

Tabla 13. Factores de emisión de GEI para las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes del tratamiento biológico de RSUOR.

Tipo de tratamiento	Factores de emisión de CH ₄ (Ton. de CH ₄ /Ton. de RSUORO tratados)		Factores de emisión de N ₂ O (Ton. de N ₂ O/Ton. de RSUORO tratados)		Fuente
	Base seca	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	
Aeróbico	0,01	0,004	0,0006	0,0003	Arnold, M. (2005) comunicación personal; Beck-Friis (2002); Detzel et al. (2003); Petersen et al. 1998; Hellebrand 1998; Hogg, D. (2002); Vesterinen (1996). Citado en: Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de GEI. Volumen 5 – Desechos. Cuadro 4.1 – Factores de Emisión por
Anaeróbico	0,002	0,001	Se supone insignificante	Se supone insignificante	

Tipo de tratamiento	Factores de emisión de CH ₄ (Ton. de CH ₄ /Ton. de RSUORO tratados)		Factores de emisión de N ₂ O (Ton. de N ₂ O/Ton. de RSUORO tratados)		Fuente
	Base seca	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	
					Defecto para las Emisiones de CH ₄ y N ₂ O Procedentes del Tratamiento Biológico de los Desechos. Directrices del IPCC (2006).

Fuente: Elaboración propia

- Factores de Emisión asociados a la incorporación de materiales reciclables al ciclo productivo:

Tabla 14. Factores de reducción potencial de emisiones de GEI asociados a la HC de la actividad de tratamiento de RSUOR inorgánicos aprovechables (RSUORIA).

Material	Reducción potencial (Ton. Eq. CO ₂ /Ton. Material)		Fuente
	Mínimo	Máximo	
Papeles	0,60	3,20	Zaman, A., Lehman, S. (2013). The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a “zero waste city”. Journal of Cleaner Production. 50 (2013), 123-132.
Plásticos	0,95	1,88	
Vidrios	0,18	0,62	
Metales	1,40	17,80	

Fuente: Elaboración propia.

- Factores de Emisión asociados a la disposición final de residuos sólidos bajo la técnica de relleno sanitario: Los mismos del modelo anterior.

Paso 4: Cálculo de la Huella de Carbono a Nivel Sectorial:

$$\text{Emisiones de GEI} = \text{Carga Ambiental} * \text{Factor de Emisión}$$

Entrada	Etapas	Salida	Cantidad	Unidad
Materias primas y recursos naturales	Obtención de materias primas y producción de bienes de consumo obsoletos que forman parte del flujo de RSUOR (de la cuna a la puerta)	Empaques y bienes de consumo obsoletos del sector residencial (RSUOR potenciales)	101.286,9	Ton/Año
		GEI Producción alimentos	58.186,3	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción papel	199.980,1	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción plástico	27.880,6	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción vidrio	6.664,7	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI Producción metales	7.067,2	Ton. Eq. CO2/Año
	Total materias primas y manufactura	299.778,9	Ton. Eq. CO2/Año	
Combustible (ACPM - Diesel) recolección y transporte RSUOR aprovechados y no aprovechados	Recolección y transporte de RSUOR hasta su fin de vida (aprovechamiento, tratamiento y disposición final)	Emisiones de GEI por recolección y transporte de RSUOR hasta su fin de vida		
		Emisiones de CO2 vehículos	659,5	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones de CH4 vehículos	0,1	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones de N2O vehículos	0,6	Ton. Eq. CO2/Año
	Total emisiones por recolección y transporte RSUOR	660,2	Ton. Eq. CO2/Año	
Etapas de Aprovechamiento de Residuos Reciclables y Tratamiento de Residuos Orgánicos	Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos	Emisiones de GEI por aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos		
		Emisiones GEI por tratamiento orgánicos	4.001,6	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones GEI por reciclaje de papeles	-25.365,5	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones GEI por reciclaje de plásticos	-13.489,3	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones GEI por reciclaje de vidrios	-1.652,8	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones GEI por reciclaje de metales	-14.639,6	Ton. Eq. CO2/Año
	Total emisiones por aprovechamiento y tratamiento RSUOR	-51.145,6	Ton. Eq. CO2/Año	
Impacto de los Residuos Sólidos dispuestos en el Relleno Sanitario	Disposición Final de los Residuos Sólidos en un Relleno Sanitario Autorizado	Emisiones de GEI por disposición final de RSUOR		
		CH4 por Biogás de Biodegradables	74.830,7	Ton. Eq. CO2/Año
		GEI del Tratamiento de Lixiviados	20.172,1	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones CO2 de Maquinaria	263,2	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones CH4 Maquinaria	0,0	Ton. Eq. CO2/Año
		Emisiones de N2O Maquinaria	0,3	Ton. Eq. CO2/Año
	Total emisiones por disposición final en R.S. de los RSUOR	95.272,9	Ton. Eq. CO2/Año	
TOTAL HUELLA DE CARBONO EN EL MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR (TON. EQ. CO2/AÑO)			344.566,4	Ton. Eq. CO2/Año

Imagen 16. Cálculo de la Huella de Carbono en el MEC del municipio de Pereira 2017

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Paso 5: Interpretación de Resultados:

Tabla 15. Distribución de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MEC del municipio de Pereira 2017.

Aspectos asociados a la generación de GEI, según etapas	HC (Ton. eq. CO2/Año)	%
Obtención de materias primas y producción de bienes de consumo	299.778,9	87,00%
- GEI Producción alimentos	58.186,3	16,89%
- GEI Producción papel	199.980,1	58,04%
- GEI Producción plástico	27.880,6	8,09%
- GEI Producción vidrio	6.664,7	1,93%
- GEI Producción metales	7.067,2	2,05%
Recolección y transporte de RSUOR hasta su sitio D.F.	660,2	0,19%
- Emisiones de CO2 vehículos recolectores	659,5	0,19%
- Emisiones de CH4 vehículos recolectores	0,1	0,00%
- Emisiones de N2O vehículos recolectores	0,6	0,00%
Fin de vida RSUOR aprovechados	-51.145,6	-14,84%
- Emisiones de GEI por reciclaje de biodegradables	4.001,6	1,16%
- Reducción GEI por reciclaje de papeles	-25.365,5	-7,36%
- Reducción GEI por reciclaje de plásticos	-13.489,3	-3,91%
- Reducción GEI por reciclaje de vidrios	-1.652,8	-0,48%
- Reducción GEI por reciclaje de metales	-14.639,6	-4,25%
Fin de vida de RSUOR no aprovechados	95.272,9	27,65%
- Emisiones de CH4 en biogás por descomposición de residuos biodegradables	74.830,7	21,72%
- GEI del tratamiento de lixiviados (sistema anaeróbico)	20.172,1	5,85%
- Emisiones de CO2 asociadas a la operación de maquinaria en el relleno sanitario	263,2	0,08%
- Emisiones de CH4 asociadas a la operación de maquinaria	0,0	0,00%
- Emisiones de N2O asociadas a la operación de maquinaria	0,3	0,00%
- GEI asociados al consumo de energía eléctrica (oficinas, PTARNND y estación de lavado)	6,6	0,00%
HUELLA DE CARBONO TOTAL (Ton. Eq. CO2/Año)	344.566,4	100,00%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

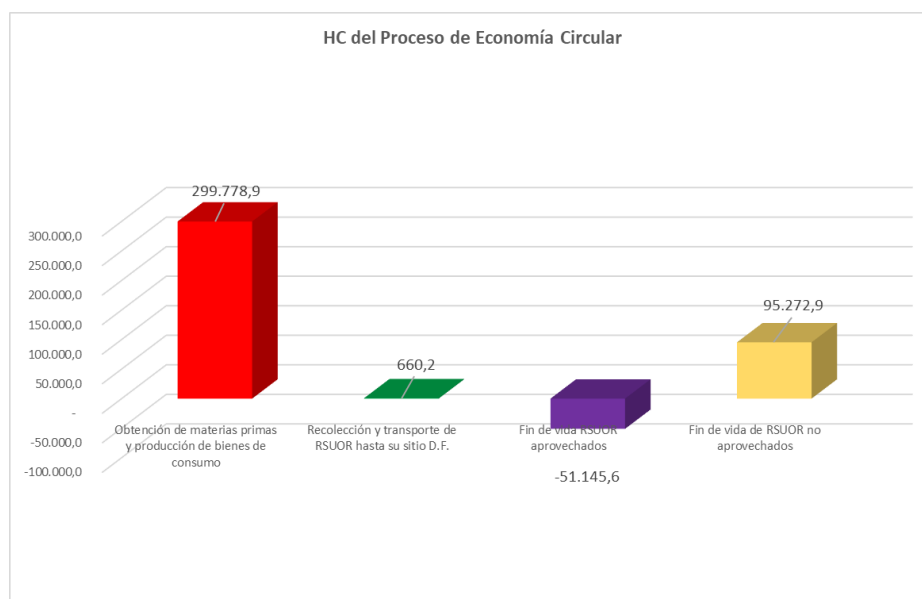


Gráfico 4. Distribución Gráfica de la Huella de Carbono en cada uno de los aspectos dentro del MEC del municipio de Pereira 2017.

5.3. Análisis de Resultados

Como se puede notar, para el caso del municipio de Pereira (Risaralda), si se opta por la implementación de un proyecto de Economía Circular consistente en la construcción y operación de una Estación de Clasificación y Aprovechamiento – ECA para la recuperación de un 70% de los residuos reciclables y de una Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos para el aprovechamiento de un 50% de los residuos orgánicos, se obtendría una reducción de **146.735 Toneladas Equivalentes de CO₂** las cuales, podrían ser comercializadas en un Mercado Nacional por medio de Sujetos Pasivos del Impuesto Nacional al Carbono para certificar ser “Carbono Neutros”. Para el caso de este ejercicio, a un valor aproximado de **\$17.000/Tonelada CO₂ Equivalente**, se podría transar la operación por un valor de **\$2.494.500.611** que se podría utilizar para financiar los proyectos de aprovechamiento y tratamiento establecidos.

Por su parte, no basta con establecer el valor a remunerar producto de la implementación de los proyectos de aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos, ya que aún así, el agente económico se comportará finalmente de la manera en que maximice su función de utilidad, es decir, si el valor de la remuneración en este caso (\$2.494.500.611) no es suficiente para financiar la infraestructura requerida, el agente muy probablemente no migre hacia este comportamiento requerido. De esta manera, el Costo de la Infraestructura de Aprovechamiento y de Tratamiento más un Costo Ponderado de Capital – **WACC Sectorial** equivalente al **13,88%**, deben ser compensados por lo menos con el valor de la transacción de CO₂, situación que obligatoriamente debe llevar a mejorar de manera inmediata el precio base de la Tonelada de CO₂ Equivalente, la cual, como se explicó anteriormente, puede llegar a una UVT, es decir, a aproximadamente \$36.000/Tonelada.

Respecto a los Costos de Administración y Operación de las nuevas plantas construidas (Estación de Clasificación y Aprovechamiento – ECA y Planta de Tratamiento de Orgánicos), estos pueden ser compensados con el “Costo Evitado” que el prestador se gana por dejar de transportar y disponer los residuos de la forma convencional, ya que el principio que tiene el Regulador el día de hoy es de “Costo Indiferente” y por ende se espera que el suscriptor seguirá pagando la misma tarifa independientemente del esquema de gestión de residuos a que migre el prestador.

Finalmente, es importante tener en cuenta que si bien gran parte de los residuos sólidos pueden aprovecharse por medio del reciclaje, compostaje u otra técnica de aprovechamiento, siempre existirá una traza, conocida como “Rechazo” o “Material Inservible”, que deberá disponerse en un relleno sanitario, razón por la cual se hace necesaria la existencia de esta infraestructura en el país. Para esto, es indispensable a su vez revisar los efectos que puede tener sobre la tarifa, la disminución progresiva de las toneladas dispuestas toda vez que la función que reconoce su remuneración está estructurada sobre un modelo de “economía de escala” el cual supone un menor valor en la medida en que el tonelaje dispuesto sea más alto y viceversa.

6. Conclusiones

6.1. Los objetivos y metas que plantea el país para la gestión integral de residuos sólidos están planteados en el Documento Conpes 3874 de 2016 y son básicamente los siguientes:

Objetivos:

Tabla 16. *Objetivos y acciones en materia de residuos sólidos.*

Objetivo	Acción
Objetivo 1: Promover la economía circular a través del diseño de instrumentos en el marco de la GIRS.	1.2 Expedir norma con la definición de instrumentos para la internalización de los costos ambientales y a la salud e implementación de instrumentos en al menos tres corrientes de residuos.
	1.3 Expedir la reglamentación del incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos en el servicio público de aseo.
	1.4 Elaborar estudio que permita identificar el flujo de los residuos orgánicos y otras corrientes de residuos relevantes en el país (RCD, textiles, agrícolas no peligrosos, llantas, entre otros) a partir de sus fuentes generadoras y realizar recomendaciones sobre su gestión integral (residuos especiales, dos corrientes por año)
	1.5 Reglamentar la gestión de residuos especiales prioritarios
	1.8 Apoyar la implementación del esquema operativo de aprovechamiento adoptado mediante el Decreto 596 de 2016 en por lo menos las 13 principales ciudades del país.
	1.11 Elaborar una guía técnica y financiera para la estructuración de proyectos tipo de aprovechamiento o tratamiento de residuos.
	1.12 Expedir reglamentación para promover el uso de tecnologías complementarias y alternativas a rellenos sanitarios, así como la obligatoriedad de contar con sistemas de extracción, captura activa y pasiva para el manejo de gases y su reconocimiento dentro de las tarifas del servicio público de aseo.
	1.13 Expedir regulación para reconocimiento dentro de las tarifas del servicio público de aseo de la obligatoriedad de contar con sistemas de extracción, captura activa y pasiva para el manejo de gases.
	1.14 Realizar una evaluación integral detallada del estado actual de las instalaciones de gestión de residuos existentes en el país identificando sus características, condiciones, capacidades y necesidades
	1.15 Expedir instrumento normativo para la implementación de los estándares de desempeño en el manejo de la infraestructura de la GIRS que incluya un plan de incentivos para las empresas que gestionen residuos con dichos estándares
	1.16 Revisión y actualización del reglamento técnico para el servicio público de aseo en las actividades de corte de césped, poda de árboles, lavado de áreas públicas, cestas, limpieza de playas rivereñas y costeras, aprovechamiento, tratamiento de residuos sólidos
	1.17 Elaborar y presentar ante el Fondo Verde del Clima, un documento con la estructuración de las Acciones de Mitigación Nacionales-NAMA para el sector residuos como estrategia de financiamiento de tecnologías que contribuyen a la mitigación de gases de efecto invernadero

Objetivo	Acción
	<p>1.18 Elaborar plan para el cierre de los botaderos a cielo abierto y otras formas inadecuadas de disposición final aún existentes en el país.</p> <p>1.19 Realizar cierre de principales botaderos a cielo abierto y otros sitios de disposición final inadecuada</p> <p>1.20 Incluir en nuevos marcos tarifarios las medidas regulatorias para incorporar los costos ambientales y desarrollar los modelos que permitan la remuneración del aprovechamiento y el tratamiento acorde con los costos y el comportamiento de los mercados.</p> <p>1.21 Promover la implementación de por lo menos tres técnicas complementarias o alternativas a rellenos sanitarios de tratamiento y valorización de residuos exitosas.</p>
<p>Objetivo 2: Mejorar la cultura ciudadana, la educación e innovación en GIRS con el fin de incrementar los niveles de separación en la fuente y de aprovechamiento.</p>	<p>2.1 Diseñar una estrategia de comunicación y cultura ciudadana del orden nacional con el apoyo del Ministerio de Educación y Asociación Nacional de Industriales-ANDI orientada a la participación efectiva de la población en la GIRS con énfasis en la prevención, reutilización y separación en la fuente</p> <p>2.2 Implementar una estrategia de comunicación y cultura ciudadana del orden nacional, orientada a lograr la participación efectiva de la población en la GIRS.</p> <p>2.3 Desarrollar al menos cinco investigaciones relacionadas con potenciales usos productivos para materiales de difícil aprovechamiento a través de la Unión Universitaria en Producción y Consumo Sostenible.</p> <p>2.4 Desarrollar talleres tipos y mesas de trabajo orientados a los docentes de los establecimientos vinculados a la experiencia de los Proyectos Ambientales Escolares-PRAE y a los delegados institucionales de los Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental-CIDEA para la consolidación de la experiencia educativa-ambiental en el territorio.</p> <p>2.5 Diseñar programa nacional para manejo adecuado de residuos en entidades públicas del país.</p>
<p>Objetivo 3: Generar un entorno institucional propicio para la coordinación entre actores que promueva la eficiencia en la GIRS.</p>	<p>3.1 Expedir norma nacional para el manejo de residuos de construcción y demolición promoviendo su separación, tratamiento y valorización y coordinando otras entidades para la efectividad de las medidas</p> <p>3.2 Apoyar técnicamente los proyectos sobre tratamiento con fines de valorización energética desarrollados por las entidades del Gobierno nacional.</p> <p>3.3 Definir los lineamientos para la separación, recolección selectiva y aprovechamiento y tratamiento de la corriente de residuos orgánicos.</p> <p>3.4 Fortalecer la "Alianza Nacional para el Reciclaje Inclusivo" como instrumento para promover el desarrollo social y la formalización de los recicladores de oficio en la prestación de la actividad de aprovechamiento de residuos sólidos.</p> <p>3.5 Construir de manera interinstitucional y presentar ante el Congreso de la República un proyecto de ley que defina los instrumentos económicos vinculantes y la estructura institucional para la gestión integral de residuos sólidos</p> <p>3.6 Formalizar mesa de seguimiento a sitios críticos de disposición final con participación de las autoridades ambientales para fortalecer la articulación en la vigilancia, seguimiento y control al componente de disposición final de la GIRS, con elaboración de informes anuales de seguimiento.</p> <p>3.7 Incluir como variable de monitoreo del Sistema General de Participaciones-SGP, el cumplimiento de las inversiones definidas en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS con recursos de esta fuente de recursos.</p> <p>3.8 Incluir la variable de impacto regional; como uno de los criterios de priorización para acceder a los recursos de los fondos del Gobierno Nacional en proyectos de infraestructura para el manejo de residuos sólidos.</p> <p>3.9 Expedir lineamientos para la articulación entre los instrumentos de planificación sectoriales y territoriales, para promover esquemas asociativos en proyectos de GIRS.</p> <p>3.10 Desarrollar estudios sobre instrumentos económicos (internalización de deseconomías por soluciones individuales) para incentivar soluciones de tratamiento y disposición de residuos sólidos de carácter regional en la GIRS.</p>
<p>Objetivo 4: Implementar acciones para mejorar el reporte, monitoreo verificación y divulgación de la información sectorial para el seguimiento de la política pública de GIRS.</p>	<p>4.1 Crear la Cuenta Ambiental y Económica de Residuos Sólidos como herramienta de información oficial para el seguimiento, control y toma de decisiones en la GIRS; así como definir los indicadores correspondientes</p> <p>4.2 Establecer los procedimientos para el control del movimiento transfronterizo de residuos sólidos no peligrosos destinados a tratamiento y aprovechamiento</p> <p>4.3 Reglamentar los procedimientos para el control del movimiento transfronterizo de residuos no peligrosos destinados al tratamiento y aprovechamiento</p> <p>4.4 Poner en funcionamiento el Observatorio Nacional de Reciclaje como herramienta para recolección y análisis de información que sirva para la toma de decisiones sobre la GIRS.</p> <p>4.5 Continuar con la publicación del informe de disposición final e iniciar la elaboración y publicación anual del informe sobre aprovechamiento en el marco del servicio público de aseo.</p>

Fuente: (Guillermo, Prado, Laguna, Andrés, & Sierra, 2018).

Metas:

Tabla 17. Metas nacionales en materia de gestión integral de residuos sólidos.

ODS	Nombre del Indicador	Descripción del Indicador	Línea Base 2015	Meta Intermedia a 2018	Meta Proyectada a 2030
8.4.	Generación de residuos sólidos y productos residuales frente al Producto Interno Bruto-PIB	Mide el número de toneladas de residuos sólidos generados, respecto al PIB.	24.932	22.755	15.788
8.4.	Porcentaje de residuos sólidos efectivamente aprovechados	Mide el porcentaje de residuos sólidos efectivamente aprovechados, con respecto al total de los residuos sólidos generados, en el ámbito nacional	17%	20%	30%
11.6.	Porcentaje de residuos sólidos urbanos dispuestos adecuadamente	Mide el porcentaje de residuos sólidos urbanos que se dispone en un sitio adecuado de disposición final con un instrumento de manejo y control autorizado por la Autoridad Ambiental Competente. Se consideran como sitios de disposición final adecuada los rellenos sanitarios, plantas integrales y celdas de contingencia	74,3%	76,6%	100%
12.5.	Tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos	Mide el porcentaje entre los residuos que son tratados o manejados para ser reintroducidos a los procesos de producción, respecto al total de la oferta de residuos sólidos.	8,6%	10%	17,9%

Fuente: (Guillermo, Prado, Laguna, Andrés, & Sierra, 2018).

Aparte de lo anterior, cada municipio o distrito, dentro de sus obligaciones de realización y actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de que trata el artículo 2.3.2.2.3.87. del Decreto 1077 de 2015 y Resolución 0754 de 2014, puede establecer metas y objetivos diferentes siempre y cuando se ajusten a las metas establecidas en la Política Pública Nacional.

6.2. Los mecanismos de remuneración con los que cuenta actualmente el país para cumplir los objetivos y metas trazadas en materia de gestión integral de residuos sólidos son los siguientes:

- Metodologías Tarifarias reglamentadas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico mediante Resolución CRA 720 de 2015 (Municipios con más de 5.000 Suscriptores en la Zona Urbana) y Resolución CRA 853 de 2018 (Municipios con menos de 5.000 suscriptores) en la cual se pueden ver los siguientes conceptos tarifarios: i) Concepto de Cargo Fijo (\$/Suscriptor-mes): Incremento en el Costos de Comercialización por Suscriptor – CCS; ii) Concepto de Cargo Variable (\$/Tonelada): Valor Base de Remuneración del

Aprovechamiento y iii) Costo de Tratamiento de Residuos Orgánicos (\$/Tonelada) pendiente por ajustar en Resolución CRA 720 de 2015 pero ya reglamentada en Resolución CRA 853 de 2018.

- Decreto 2412 del 24 de diciembre de 2018 el cual entró en vigencia el 1 de agosto de 2019 equivalente al 0,8% del SMMLV por tonelada, valor que será utilizado única y exclusivamente para la financiación de proyectos de aprovechamiento y tratamiento de residuos.

6.3. Agenda Internacional que desprende la necesidad de estas nuevas Políticas Públicas:

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
- Objetivos del Desarrollo Sostenible
- Conpes de adaptación del cambio climático: Conpes 3700 del 14 de julio de 2011.
- Conpes de Gestión Integral de Residuos Sólidos: Conpes 3874 del 21 de noviembre de 2016.
- Conpes de implementación de los ODS: Conpes 3918 del 11 de julio de 2018.

6.4. Para el caso de análisis (Municipio de Pereira – Risaralda) si se opta por la implementación de un proyecto de Economía Circular consistente en la construcción y operación de una Estación de Clasificación y Aprovechamiento – ECA para la recuperación de un 70% de los residuos reciclables y de una Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos para el aprovechamiento de un 50% de los residuos orgánicos, se obtendría una reducción de 146.735 Toneladas Equivalentes de CO₂ las cuales, podrían ser comercializadas en un Mercado Nacional por medio de Sujetos Pasivos del Impuesto Nacional al Carbono para certificar ser “Carbono Neutros”. Para el caso de este ejercicio, a un valor aproximado de \$17.000/Tonelada CO₂ Equivalente, se podría transar la operación por un valor de \$2.494.500.611 que se podría utilizar para financiar los proyectos de aprovechamiento y tratamiento establecidos.

6.5. Propuesta Normativa y Regulatoria para un mayor dinamismo del sector:

- Ampliar los Sujetos Pasivos del Impuesto Nacional al Carbono establecido en el artículo 221 de la Ley 1819 de 2016, ya que, en la actualidad, sólo aplica a la utilización de combustibles fósiles. Es importante que el Sujeto Pasivo sea ampliado a las actividades industriales que generan un alto impacto ambiental. La unidad de medida, debe seguir siendo la Tonelada Equivalente de CO₂ pero con la implementación de más tablas de equivalencias destinado a los otros sectores industriales.
- Desde la misma expedición de esta Ley 1819 de 2016 existía la intención de que el valor de referencia por tonelada de CO₂ fuera más alto (“La tarifa por tonelada de CO₂ se ajustará cada primero de febrero con la inflación del año anterior más un punto hasta que sea equivalente a una (1) UVT por tonelada de CO₂”), sin embargo, sería recomendable que el valor de referencia inicial fuera ajustado a un valor por encima de los \$25.000/Tonelada, ya que el valor actual de la UVT es de \$35.607/Tonelada.
- En este mismo sentido, se debe modificar el Decreto 926 de 2017, con el fin de que esos nuevos sujetos pasivos del Impuesto Nacional al Carbono, puedan compensar sus emisiones para llegar a ser Carbono Neutro y por ende, no tener que pagar dicho impuesto. En el mismo Decreto, sería recomendable darle alguna especie de prioridad a los proyectos que busquen el aprovechamiento y tratamiento de los residuos sólidos con alguna inclusión de población recicladora e impulsación de algún proyecto productivo (abonos, por ejemplo).
- Es recomendable crear una aplicación que tenga las siguientes funciones:
 - ✓ Calculadora de Carbono en Líneas Base de la Operación Tradicional de los municipios (MPCL).

- ✓ Simulación de la reducción de CO₂ por implementación de proyectos de aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos.
- ✓ Organismo certificador nacional (ICONTEC o Similares).
- ✓ Mercado de Oferta y Demanda de CO₂ Equivalentes.
- ✓ Transacción final del contrato.

Referencia Bibliográfica

- Bank, A. M., Salgado, C. C. R., & Aires, R. F. D. E. F. (2013). *Guía metodológica para el cálculo de la Huella de Carbono Coporativa a nivel sectorial*.
- Cenicafé, C. N. de I. de C.-. (2013). *Estudio de la Huella de Carbono del sistema productivo del café en algunas de las fincas seleccionadas de los municipios de Caicedonia y Sevilla*. 1–6.
- Congreso de la República de Colombia. (2016). Ley 1819 de 2016 - Reforma Tributaria. *Ley*, 376. Retrieved from http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1819_2016.html
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2016). CONPES 3874 Política Nacional Para La Gestión De Residuos Sólidos. *Documento CONPES 3874, I*, 73. <https://doi.org/10.1186/s12913-018-3177-8>
- CÓRDOVA, C. R., ZORIO-GRIMA, A., & GARCÍA-BENAU, M. (2018). Nuevas Formas De Reporting Corporativo: Información Sobre La Huella De Carbono En España. *Revista de Administração de Empresas*, 58(6), 537–550. <https://doi.org/10.1590/s0034-759020180603>
- Cristina, M., & Rodríguez, L. (2017). *Los costos ambientales: un análisis de la producción científica en el periodo 1977-2016 y una revisión de herramientas y teorías subyacentes*. 15(27), 89–114.
- DIAN, D. de I. y A. N. (2019). *Informe de Rendición de Cuentas DIAN Enero – diciembre de 2018*.
- Dossier Cepsa. (2015). *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa*. 14. Retrieved from https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio Ambiente_Seguridad_Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- Ellen Macarthur Foundation, M. & C. (2012). *Hacia Una Economía Circular*. *Fundación Ellen*

- MacArthur*, 22. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf
- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Informacion Tecnologica*, 23(1), 163–176. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- Falconí, F., & Burbano, R. (2016). La discutible curva de Kuznets. *Flacso*, 1–19.
- Graziani Pietro. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos Oportunidades en América Latina. In *CAF*.
- Guillermo, A., Prado, I., Laguna, A., Andrés, J., & Sierra, R. (2018). *Análisis De La Inclusión Del Cambio Climático Y El Crecimiento Verde En La Regulación General*. 19–30. Retrieved from <http://www.cra.gov.co/documents/Cambio climatico.pdf>
- Hernández, S., & Corredor, R. L. (2016). Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI . *Journal of Technology*, 15(1), 57–76. Retrieved from https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&as_ylo=2017&q=+porque+los+residuos++plasticos+son+dificiles+de+degradarse+&btnG=
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLEERÍA. (2017a). *Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLEERÍA. (2017b). *Tercera Comunicación Nacional de Colombia*. Retrieved from http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023731/TCNCC_COLOMBIA_CMNUCC_2017_2.pdf
- Lamers, F. (2005). “*Estudio de tecnicas alternativas de tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento de residuos sólidos - Propuesta de ajuste a Decreto 838 de 2005*”. 1–238.
- Leandro, W., Salazar, B., & Montoya, D. H. (2014). *Environmental costs in business sustainability. Proposal for its valuation and accounting disclosure*. 173–195.
- Lucas Garín, A. (2019). Principios del derecho ambiental en el Acuerdo de París sobre Cambio Climático. *Revista Derecho Del Estado*, (44), 195–226.

<https://doi.org/10.18601/01229893.n44.08>

Markets, V. C. (2019). *Financing Emissions Reductions for the Future*.

Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2017). *Decreto 926 de 2017*. Retrieved from [http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO 926 DEL 01 DE JUNIO DE 2017.pdf](http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20926%20DEL%2001%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf)

Noguera, K., & Olivero-Verbel, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347–356.

OLIVERA, A., SAIZAR, C., MARTÍNEZ, G., SCALA, M., LIMA, C., & ARMANETTI, E. (2013). GESTIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO. (Spanish). *Innotec Gestión*, (5), 6–21. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=93430954&lang=es&site=ehost-live>

Prieto Sandoval, V., Jaca García, M., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 15(15), 85–95.

Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., ... Allen, S. K. (2013). Resumen para responsables de políticas RRP Autores del equipo de redacción: Autores contribuyentes del equipo de redacción. *Estados Unidos de América*, 1–30.

Raffo-Lecca, E., & Mayta-Huatuco, R. (2015). Valoración económica ambiental: el problema del costo social. *The Journal of Law and Economics*, 3(1), 61–77.

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Alejandro, G. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. *Manuales de La CEPAL*, 211.

Seeberg, C. (2010). Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor. *Medio Ambiente [Cambio Climático] Bioenergía – Monitoreo y Evaluación*, 39. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i1632s.pdf>

Solórzano, G. (2003). Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano. *Gaceta Ecológica*, 66(1), 7–15.

SSPD, D. (2017). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos*. 250.

[https://doi.org/ISSN: 2422-2941](https://doi.org/ISSN:2422-2941)

- Superservicios. (2018). Informe Nacional de aprovechamiento 2017. *Superintendencia de Servicios Públicos*, 57. Retrieved from <https://www.superservicios.gov.co/noticias/informe-nacional-aprovechamiento-2016>
- Tello, P., Campani, D., & Sarafian, D. (2018). Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. *Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS*.
- Unidas, N. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. 62301.