

## **Vida Útil de las Celdas en el Complejo Ambiental del Cantón Santo Domingo de los Colorados, Ecuador**

***Marcel Oswaldo Méndez Mantuano,***

Magister en Gestión Ambiental, Departamento de Investigación del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre, Ecuador

***Keyla Ximena Boderó Jiménez,***

Magister en Estadística con mención en Gestión de la Calidad y Productividad, Coordinadora de la carrera de Medición y Monitoreo Ambiental del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre de la ciudad de Daule, Ecuador

***Darwin Vicente Apolo Robles,***

Ingeniero Agroindustrial, Docente investigador del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre, Ecuador

***Ángel Raúl Huayamave Rosado,***

Ingeniero Agrónomo, Docente investigador del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre, Ecuador

Doi: 10.19044/esj.2019.v15n18p77 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n18p77](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n18p77)

---

### **Resumen**

La nueva tendencia ambiental es la minimización de los impactos causados por los residuos sólidos, a través de la formulación de políticas públicas que sean articuladas a las acciones locales; que permitan lograr la sostenibilidad ambiental, social y financiera en los 221 cantones del Ecuador, enfocando a la valoración de los recursos que son desechados y que poseen la potencialidad para ser reutilizados o reciclados. Para ello, es necesario que los municipios administren de manera ecoamigable y ecoeficiente sus pasivos ambientales (residuos contaminantes generados por actividad productiva o económica), asegurando que dichas áreas generan el menor impacto ambiental posible. Con estos antecedentes, el presente trabajo analiza la situación actual del Complejo Ambiental de Residuos Sólidos de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, con énfasis en el área de las celdas donde se depositan los residuos sólidos. Se tuvo por objeto determinar la vida útil de las celdas; analizar los principales pasivos ambientales generados, estableciendo introspectivamente los potenciales impactos ambientales y realizar una propuesta de mejora para lograr una efectiva articulación de la Gestión de Residuos Sólidos.

---

**Palabras clave:** Residuos sólidos, relleno sanitario, pasivos ambientales, impactos ambientales

---

## **Determination of the Useful Life of the Cells in the Environmental Complex of the Santo Domingo Canton of the Colorados, Ecuador**

***Marcel Oswaldo Méndez Mantuano,***

Magister en Gestión Ambiental, Departamento de Investigación del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre, Ecuador

***Keyla Ximena Boderó Jiménez,***

Magister en Estadística con mención en Gestión de la Calidad y Productividad, Coordinadora de la carrera de Medición y Monitoreo Ambiental del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre de la ciudad de Daule, Ecuador

***Darwin Vicente Apolo Robles,***

Ingeniero Agroindustrial, Docente investigador del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre, Ecuador

***Ángel Raúl Huayamave Rosado,***

Ingeniero Agrónomo, Docente investigador del Instituto Tecnológico Superior Juan Bautista Aguirre, Ecuador

---

### **Abstract**

The new environmental trend is the minimization of the impacts caused by solid waste. This is achieved through the formulation of public policies that are articulated to local actions, which allows the achievement of environmental, social, and financial sustainability in the 221 cantons of Ecuador. It focuses on the valuation of resources that are discarded and that have the potential to be reused or recycled. As a result, it is necessary that the municipalities should manage in an eco-friendly and eco-efficient manner their environmental liabilities (polluting waste generated by productive or economic activity), ensuring that these areas generate the least possible environmental impact. With this background, this paper focuses on analyzing the current situation of the Environmental Solid Waste Complex of the city of Santo Domingo de los Colorados, with emphasis on the area of the cells where the solid waste is deposited. The objective was to determine the useful life of the cells and analyze the main environmental liabilities generated by

establishing introspectively the potential environmental impacts. It also aims to make an improvement proposal to achieve an effective articulation of Solid Waste Management.

---

**Keywords:** Solid waste, landfill, environmental liabilities, environmental impacts

## **Introduction**

Las autoridades municipales, son los responsables directos de la correcta gestión en la disposición de los residuos sólidos que generan las grandes urbes o los pequeños cantones, esto representa un desafío constante, ya que deben ofrecer a los habitantes un sistema de gestión que sea efectivo y eficiente, pero dadas las limitaciones propias (en la mayoría de municipios latinoamericanos), estos abordan problemas que superan la capacidad técnica para resolverlos (Sujauddin *et al.*, 2008; Shekdar, 2009).

En la actualidad, el manejo de los residuos sólidos, es un complejo desafío para las autoridades de las principales ciudades en los países considerados en desarrollo, ya que en los últimos años, sus sistemas productivos han aumentado los ingresos de sus ciudadanos; y con ello, los niveles de contaminación ambiental, entre los que se encuentran de manera preponderante, los residuos sólidos urbanos. La disposición de los residuos, ha aumentado los presupuestos locales (principalmente municipales), esto como consecuencia del manejo inapropiado de los residuos generados; además, existe una falta de comprensión sobre la diversidad de factores que afectan las diferentes etapas del manejo de residuos y la deficiencia en vincular armónicamente todo el sistema de manejo (Abarca-Guerrero *et al.*, 2015; Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) del Ecuador, la generación de residuos a nivel mundial, constituye uno de los mayores problemas ambientales para actual generación poblacional, solo en el año 2012 la generación de residuos en el país correspondía a 406,8 kg *per cápita* al año, lo que representa la mitad, si lo comparamos con los residuos generados en países altamente industrializados, como por ejemplo Estados Unidos (828 kg/*per cápita/año*); sin embargo, comparando estos datos con la región Andina, Ecuador se encuentra antes de Chile, Brasil, Perú y Colombia (INEC, 2014).

Según los últimos datos del Ministerio del Ambiente en el proyecto de Gestión Integral de Desechos Sólidos en el año 2015, menciona que los ecuatorianos en el sector urbano producen alrededor de 0,73 kg/día de residuos sólidos. En el año 2014, de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), el 65 % dispone de sus residuos en botaderos a cielo abierto, quebradas y orillas de cuerpos de agua, mientras que el 35 % sitúa sus

residuos en rellenos sanitarios manuales, mecanizados y mancomunados. En el año 2014, se generaron alrededor de 11.341 toneladas (t) diarias de residuos, es decir, un aproximado de 4 millones de Tm/año (toneladas métricas por año), de los cuales 61,4 % son orgánicos; 9,4 % corresponde a papel + cartón; el 11 % son plásticos; 2,6 % a vidrio; 2,2 % es chatarra y el 13,3 % a otros tipos de residuos (Rondoy, 2017).

De acuerdo con la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), se considera “relleno sanitario” a la:

*“Técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en el menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y cubriendo la basura allí depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria al fin de cada jornada” (Meléndez, 2004).*

El objetivo de los rellenos sanitarios, es contener únicamente los residuos que no pueden ser aprovechados o reutilizados; sin embargo, no se cumple con esta disposición, ya que no existe una clasificación adecuada de los residuos, dado que en la mayoría de los vertederos se encuentran mezclados los residuos orgánicos e inorgánicos, lo que trae consigo que los primeros se degraden por efectos naturales, por la gran cantidad de agua que poseen; y estos, al entrar en contacto con los elementos inorgánicos se forman lixiviados que pueden filtrarse a capas freáticas de agua (Ulca, 2005).

Los rellenos sanitarios, básicamente consisten en celdas previamente impermeabilizadas, donde se depositan los residuos sólidos, posteriormente son compactados y nivelados, finalmente estos son cubiertos con tierra u otro material inerte (al menos una vez al día). El manejo de los subproductos generados de la descomposición de los residuos, es realizado en instalaciones cercanas a las instalaciones del relleno sanitario. La mayoría de los subproductos son líquidos percolados denominados lixiviados, los cuales se depositan en el fondo de las celdas y son enviados a lagunas para su respectivo tratamiento. También existe la presencia de biogases, los cuales son producidos por la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos, estos son recogidos mediante la instalación subterránea de una red de tuberías. Los gases son almacenados para su posterior utilización, o pueden ser incinerados para convertirlos en CO<sub>2</sub>. Finalizada la disposición de los residuos en cada una de las diferentes celdas, estas son aisladas mediante una barrera o cubierta adicional final (Noguera & Olivero, 2010).

Los lixiviados del vertedero de residuos, presentan cargas orgánicas altas y muy susceptibles a la degradación biológica, puesto que la antigüedad

y el tamaño del vertedero hacen que la fracción fácilmente degradable se transforme en biogás en el propio vertedero. Sin embargo, presentan una carga de nitrógeno amoniacal importante. Para la adecuada depuración de este tipo de lixiviados, se recomienda un tratamiento biológico de nitrificación-desnitrificación, ya que la acción combinada de las bacterias nitrificantes y desnitrificantes, permiten convertir el amonio ( $\text{NH}_4$ ) presente en los lixiviados en nitrógeno, a la vez que se reduce el contenido de materia orgánica biodegradable (COGERSA, 2011).

El proceso de nitrificación tiene lugar en presencia de oxígeno disuelto. Este oxígeno se aporta mediante compresores de aire que se encuentran cercanos a las piscinas contenedoras, con el objetivo de hacer circular la mezcla aire-lodo, favoreciendo la disolución del oxígeno y la homogeneización de los lodos en el interior de las piscinas. Las bacterias requieren una proporción adecuada de carbono-nitrógeno-fósforo (C/N/P) aproximadamente de 100/10/1 (COGERSA, 2011).

Este tipo de procesos, se utilizan cuando se requiere obtener una baja concentración de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) en los efluentes. Vale la pena esclarecer, que usualmente las concentraciones de DBO en los lixiviados son muy altas. Además, en la mayoría de piscinas se puede constatar la generación de espumas, ya que probablemente se deba a la precipitación de hierro; y en el caso de los lodos activados, quizás se deba a problemas para aceptar altas variaciones en las cargas hidráulicas y orgánicas que caracterizan a los lixiviados. Esto último, puede implicar que los sistemas requieran tanques de equalización de caudales como parte del tratamiento. Igualmente, y dependiendo de la forma de operación del proceso, se tiene una alta generación de lodos residuales. Por la naturaleza misma del proceso que se tiene, la operación de un proceso aerobio requiere mayor capacidad técnica por parte del operador, al igual que mayor necesidad de mantenimiento de equipos (Giraldo, 2001).

Con estos antecedentes, la actual investigación tiene entre sus propósitos identificar los principales procesos que se realizan en el Complejo Ambiental, calcular la vida útil de las celdas, analizar la situación de los principales pasivos ambientales generados y definir los potenciales impactos ambientales, y realizar una propuesta de mejora para una efectiva articulación de la Gestión de Residuos Sólidos en el cantón Santo Domingo de los Colorados.

## **Metodología**

La investigación se planteó con un enfoque cuantitativo y cualitativo. Inicialmente se describen los procesos que se realizan en el interior del Complejo Ambiental, se especifican los principales pasivos ambientales que se producen en el lugar, y se realiza una propuesta para lograr mejorar la

eficiencia en el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos; los cuales se desarrollan de manera cualitativa a través de la inducción, conjuntamente con la observación y la comparación de casos similares. El componente cuantitativo, se despliega en la utilización de las diferentes fórmulas de conocimiento general en la Gestión de Residuos (sólidos, líquidos y gaseosos), para determinar la vida útil de las celdas, donde se depositan los residuos dentro del Complejo Ambiental.

El diseño de la investigación es documental, dado que se realizan consultas bibliográficas referentes a los modelos de rellenos sanitarios dentro y fuera del Ecuador, además se analizan paralelismos legales de otras zonas geográficas y se las agrupa a través de una propuesta de mejora del actual Sistema de Gestión de Residuos Sólidos para el municipio de Santo Domingo de los Colorados. También se desdobra un diseño de campo, ya que la información sobre los detalles de los niveles de producción de residuos del cantón, la identificación de las áreas del Complejo Ambiental y su respectivo funcionamiento, fueron recolectados en una visita *in situ* al lugar anteriormente mencionado. El alcance de la investigación es explicativo.

Para la correcta interpretación de este apartado, se usará el término “celdas”, para puntualizar el área donde se depositan los residuos sólidos, líquidos y gaseosos, que son generados en la jurisdicción del cantón de Santo Domingo de los Colorados. Consecuentemente, el término “Complejo Ambiental” se refiere a la infraestructura de la institución pública, donde se realizan las operaciones integrales para brindar el servicio de la Gestión de los Residuos Sólidos.

## **Desarrollo**

### **Procesos realizados en el Complejo Ambiental**

Para el caso del análisis, se tiene al cantón de Santo Domingo de los Colorados de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (provincia de la costa ecuatoriana), cuya población es de aproximadamente 270.875 habitantes (según censo del 2010) y es la cuarta ciudad más poblada del Ecuador, además es punto de enlace entre otras ciudades importante del país como: Quito, Guayaquil, Portoviejo, Chone, Esmeraldas, Manta, Ambato, Quevedo, entre otras; por lo que convierte a la urbe en un puerto terrestre de intercambio comercial entre las regiones de la sierra y costa. La ciudad es el centro político-administrativo de la provincia y uno de los principales del país. Alberga grandes organismos culturales, financieros, administrativos y comerciales. Está dividida en siete parroquias urbanas, las cuales se subdividen en barrios (GAD Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas, 2019).

Según la dirección de Saneamiento Ambiental del municipio, Santo Domingo genera 250 toneladas de basura diarias, de las cuales, el casco central genera el 60 % de los desechos sólidos (150 toneladas), los mismos que son

depositados en las celdas emergentes del Complejo Ambiental con una capacidad para receptor 78 mil toneladas (cada celda).

En el Complejo Ambiental de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, existen las siguientes áreas diferenciadas: planta de separación, reciclaje y almacenamiento, planta de tratamiento de lixiviados, estación de compostaje, área de residuos hospitalarios, celdas de relleno sanitario I y II, y áreas administrativas; además, cuenta con canales de drenaje para aguas lluvias, garaje para maquinaria pesada, cerramiento con malla y parqueadero.

En primera instancia, los recolectores (vehículos transportadores) que llegan al Complejo Ambiental de Residuos Sólidos, son pesados en una báscula en el área de recepción. Estos vehículos realizan las rutas de recolección de residuos dentro del perímetro urbano de la ciudad y en las diferentes parroquias rurales del cantón.

Posteriormente estos desechos son trasladados al área de clasificación de residuos, donde se encuentran varias máquinas y equipos complementarios que ayudan a la correcta separación de los residuos, entre las que se pueden mencionar: cribas, bandas transportadoras, prensas (compactadora), carros contenedores, entre otros; cuya función general es realizar la separación de acuerdo a la composición orgánica e inorgánica, para que manualmente sean separados, para su posterior acopio en una estructura que se encuentra paralelamente al área antes mencionada.

Las operaciones que potencialmente realizan estos equipos son:

- La criba o trómel: es comúnmente empleada en la gestión de residuos sólidos urbanos, su diseño está basado en el diámetro y longitud de los residuos, velocidad de rotación, ángulo de inclinación, tasa de alimentación, entre las más importantes; las cuales ayudan a separar las diferentes porciones de residuos de acuerdo a sus características
- Las transportadoras: pueden ser de bandas o de cintas, son las encargadas de mover los residuos sólidos desde un punto a otro, esto facilita los procesos de flujo de descarga, selección, procesamiento y transporte. El objetivo principal de las transportadoras, es asegurar que el flujo de residuos sea constante
- Las prensas: también llamados compactadores de material, son fundamentales para la comercialización de los residuos recuperados, dado que el plástico, papel y cartón, son materiales voluminosos con poco peso, y con una compactación adecuada, es posible reducir los volúmenes de los materiales y con esto bajar los costos asociados de transportación, haciendo más eficiente el proceso

En el área de las celdas de relleno sanitario, se encuentran los repositorios de los residuos sólidos, cada celda tiene una capacidad para

receptar 78 mil toneladas de basura; sin embargo, la primera celda colapsó, mientras la segunda ha sobrepasado el límite y una tercera de menor capacidad se encuentra en construcción. Cada celda tenía proyectada una vida útil de 3 años (teóricamente), no obstante, se han rellenado 2 de las mismas en los últimos 3 años, es decir, que su durabilidad ha sido la mitad del tiempo estimado. Quizás se deba a estimaciones cautelosas realizadas, o a un incremento en la generación de residuos por la población de Santo Domingo de los Colorados.

Como se lo mencionó anteriormente, uno de los grandes problemas que generan los vertederos de residuos, son los líquidos que discurren a través de los residuos depositados y que rezuman a las capas inferiores de la tierra, es decir, los lixiviados. La primer etapa de tratamiento es el área de oxidación, donde los lixiviados con una alta carga orgánica derivados de los vertederos, son depositados en piscinas de oxidación para su almacenamiento y posterior disposición final, mediante un tratamiento biológico aeróbico (con la presencia del oxígeno).

Este sistema de depuración, se basa fundamentalmente en una depuración biológica, mediante bacterias nitrificantes y desnitrificantes (proceso de nitrificación-desnitrificación), en piscinas que constantemente son suministradas de oxígeno (aeróbicas), a través de mangueras de 6 pulgadas y puestas en los lixiviados. Entre los beneficios que se obtiene de forma adicional, es la sedimentación de los sólidos (Laines *et al.*, 2008).

En el Complejo Ambiental en análisis, coexiste el área del tratamiento físico-químico, donde se coagula, precipita y centrifuga los sólidos provenientes del proceso anterior, asegurando la calidad del lixiviado a tratar y por tanto la capacidad de la instalación; este proceso ayuda a que el tratamiento de los lixiviados por osmosis inversa no colapse, ya que ocasionalmente los lixiviados, pueden contener niveles elevados de sólidos en suspensión, estos niveles se concentran en las membranas de filtrado, provocando una saturación de la misma y que su vida útil se reduzca considerablemente.

Entre las últimas etapas, está el área de osmosis inversa, donde se reportan excelentes rendimientos de esta tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes, cabe indicar que la tecnología aplicada en el Complejo Ambiental procede de Alemania e implica altos costes de mantenimiento. Para la aplicación de la osmosis en los lixiviados, es necesario que estos posean concentraciones de DBO relativamente bajas (menores a 1000 mg/L), es decir, “lixiviados viejos”, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo. Las concentraciones de DBO de los lixiviados de los vertederos en el Complejo Ambiental de Santo Domingo de los Colorados, tienen concentraciones en los lixiviados jóvenes del orden de las decenas de miles de miligramos por litro, es decir, entre 10 y 40 veces más



concentrados que lo estipulados por las especificaciones técnicas de los fabricantes de las membranas de osmosis inversa, esto se deriva, por el ineficiente preproceso físico-químico, ya que el pretratamiento no cuenta con indicaciones técnicas necesarias que aseguren una reducción en los niveles de DBO.

Dentro de las múltiples ventajas que se reporta en la ósmosis inversa, están los bajos consumos energéticos que requiere la tecnología, cuando son comparados con otras tecnologías como la oxidación biológica o la evaporación. Esta tecnología es intensiva en cuanto a la operación y mantenimiento (Martínez-Lopez *et al.*, 2014).

Finalmente en el área de disposición final de los residuos hospitalarios, las trincheras se encuentran cubiertas por una geomembrana. Para el cierre técnico de estas, se ha contemplado la compactación de las trincheras, depositándose 1 kg de cal por cada 6 m<sup>2</sup> de trinchera, una vez finalizado este proceso, se recubre con una capa de tierra negra de 20 cm de espesor; adicionalmente se tiene proyectado recubrirlas con una cobertura vegetal de especies vegetales autóctonas de la zona.

### **Vida útil de las celdas**

Para que un “vertedero” sea considerado como “relleno sanitario”, debe reunir una serie de condiciones que eviten cualquier tipo de efectos nocivos sobre los seres humanos, o que generen algún tipo de deterioro ambiental al entorno; ya que estos residuos son depositados y compactados de forma diaria o en intervalos cortos de tiempo, sobre el suelo en capas de poco espesor, para luego ser cubiertos mediante un manto de tierra.

Esta sección, analizará la tentativa vida útil de las celdas del Complejo Ambiental de Residuos Sólidos de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados.

Para determinar la capacidad de un relleno sanitario o vertedero controlado, se deben estimar los siguientes parámetros y fórmulas:

#### ***Población de un año determinado (en número de habitantes)***

Fórmula:

$$p^{t+n} = p^t(1 + tca)^n$$

Dónde:

p<sup>t</sup> = población año (270.875),  
 n = número de años proyectados (9),  
 tca = tasa de crecimiento anual (1,56)

**Resultado:** 311.367 habitantes (para el año 2019)

#### ***Total de residuos generados al día (en toneladas)***

Fórmula:

Total de residuos de Santo Domingo de los Colorados = (PPC nacional \* Número de habitantes)/1000

Dónde:

PPC = Producción Per Cápita (0,73 kg/día), se divide para 1000 y se logra obtener el resultado en toneladas

**Resultado:** 227,3 t

*Toneladas de residuos orgánicos generados en Santo Domingo de los Colorados (en base a los 61,4 % que estima el Ministerio del Ambiente)*

Fórmula:

Residuos orgánicos generados = Total de residuos generados (t) \* Porcentaje de generación de residuos orgánicos

**Resultado:** 139,6 t

*Toneladas de residuos de papel + cartón generados (en base a los 9,4 % que estima el Ministerio del Ambiente)*

Fórmula:

Residuos de papel + cartón generados = Total de residuos generados (t) \* Porcentaje de generación de papel + cartón

**Resultado:** 21,4 t

*Toneladas de residuos de plástico generados (en base a los 11 % que estima el Ministerio del Ambiente)*

Fórmula:

Residuos plásticos generados = Total de residuos generados (t) \* Porcentaje de generación de plástico

**Resultado:** 25 t

*Toneladas de residuos de vidrio generados (en base a los 2,6 % que estima el Ministerio del Ambiente)*

Fórmula:

Residuos de vidrios generados = Total de residuos generados (t) \* Porcentaje de generación de vidrio

**Resultado:** 5,9 t

*Toneladas de residuos de chatarra generados (en base a los 2,2 % que estima el Ministerio del Ambiente)*

Fórmula:

Residuos de chatarra generados = Total de residuos generados (t) \* Porcentaje de generación de chatarra

**Resultado:** 5 t

De manera abreviada, se tiene que en la ciudad de Santo Domingo de los Colorados viven aproximadamente 311.367 habitantes, y se genera diariamente 227,3 t, de los cuales 139,6 son compuestos orgánicos; 21,4 t es papel o cartón; 25 t son plásticos; 5,9 t es vidrio y 5 t corresponden a chatarra.

Como se lo indicó previamente, cada celda tiene una capacidad de 78.000 t, si dividimos esta cantidad para el nivel de generación diaria de residuos para la ciudad en análisis (227,3 t/día), tenemos que cada celda tiene en promedio 343 días para ser llenada (completa de residuos), es decir, su vida útil es de 11 meses (aproximadamente); además, hay que señalar que cada celda ocupa un área de 2 hectáreas.

Si se estima el actual crecimiento demográfico y se lo aplica a un crecimiento lineal de la producción de residuos, se estima que las 90 hectáreas que componen el Complejo Ambiental de Residuos Sólidos de Santo Domingo de los Colorados, se llenarán completamente en 32 años.

### **Pasivos ambientales**

Entre los pasivos ambientales encontrados tenemos:

- El biogás producido por las celdas de residuos
- Los lixiviados acumulados en las piscinas de oxidación aeróbica

Los componentes que se encuentran en el biogás, en mayor proporción corresponden al metano ( $\text{CH}_4$ ) y al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que en su punto máximo de generación presentan una relación 1:21. El metano, es el segundo mayor contribuyente al calentamiento global entre los gases de efecto invernadero (después del dióxido de carbono); el potencial de calentamiento global del metano (en un horizonte temporal de 100 años), es 21 veces mayor que el del dióxido de carbono (IPCC, 1996).

La producción de biogás en las primeras etapas de vida de un relleno sanitario, puede ser mínima durante varios meses, sin embargo, en rellenos sanitarios con una vida útil media, la producción se puede encontrar en su máxima capacidad, tardando varios años en dejar de producir este biogás, incluso aún después de clausurado el relleno (Camargo & Vélez, 2009).

Teóricamente se ha estimado que la cantidad de biogás generado, en una tonelada de carbono biodegradable es de  $1868 \text{ Nm}^3$  (normal metro cubico, es una medida de volumen de un gas no condensable a  $0^\circ \text{C}$  y nivel del mar). Se considera que en los países industrializados, la cantidad de biogás que es producido corresponde a  $370 \text{ Nm}^3$  (cantidad variable en cada zona geográfica), mientras que en los países en desarrollo, este valor no ha sido estimado (Lohila *et al.*, 2007).

Se acepta la premisa que  $200 \text{ Nm}^3$  de volumen de biogás, se producen (de manera promedial) en una tonelada de residuos sólidos urbanos dispuestos en el relleno sanitario (Camargo & Vélez, 2009).

Existe un alto potencial de producción de biogás en el área del Complejo Ambiental, aproximadamente se generan 45.460 Nm<sup>3</sup> en un día, teniendo al CH<sub>4</sub> como el principal gas producido en los procesos biológicos, como producto de la descomposición de la materia orgánica de los residuos depositados; también se obtienen altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, entre otros; los mismos que contribuyen al efecto invernadero que provoca el aumento de la temperatura terrestre (Powell *et al.*, 2015).

Dentro del Complejo Ambiental, no existe ningún método que contribuya en la recolección de estos gases, o que aproveche su potencial energético para producción de energía eléctrica, o que permita la incineración, ya que el CH<sub>4</sub> es altamente combustible y al quemarse se producen moléculas de CO<sub>2</sub>, que son partículas menos dañinas para el medio ambiente.

Según estudios realizados, se estima que por cada hectárea (10.000 m<sup>2</sup>) se produce aproximadamente 64,42 m<sup>3</sup>/día de lixiviados en la época de lluvias, mientras que en la época seca, se generan aproximadamente 19,9 m<sup>3</sup>/día de los mismos compuestos (Pellón *et al.*, 2015). Es decir, en el Complejo Ambiental en la época lluviosa, se producen en las 4 hectáreas 257,68 m<sup>3</sup>/día de lixiviado y en la época seca 79,6 m<sup>3</sup>/día de los mismos líquidos.

Hipotéticamente, los lixiviados que se producen en el área, tienen un tratamiento que permiten que la disposición final, cumpla con los estándares requeridos por el Ministerio del Ambiente. Al calcularse los niveles de generación de lixiviados en la época seca (donde se realizó la visita técnica), se obtuvo que se generan aproximadamente 79,6 m<sup>3</sup>/día, pero en las piscinas de lixiviados, se obtienen una cantidad inferior a los 10 m<sup>3</sup>/día, es decir no se está captando la totalidad de lixiviados que se producen en las 4 hectáreas de residuos, y se puede deducir que los mismos son simplemente incorporados de manera accidental al suelo.

Los principales impactos ambientales provocados en las instalaciones donde se depositan residuos sólidos, ya han sido abordados de manera general, sin embargo, se los detalla para poder esclarecer de manera concreta las medidas a tomar para mejorar la situación actual.

Para esquematizar de mejor manera los impactos potenciales, primeramente se clasifican en tres los residuos que generan un relleno sanitario, los cuales son:

- Residuos sólidos,
- Residuos líquidos y
- Residuos gaseosos.

En base a la clasificación anterior, se realiza la siguiente matriz de impactos:

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Efecto</b>	<b>Impacto ambiental</b>	<b>Impactos potenciales futuros</b>
Sólidos	Pérdida de suelos cultivables	La presencia de aceites, grasas, metales pesados, ácidos, entre otros residuos contaminantes, altera las propiedades físicas, químicas y de fertilidad de los suelos, que se encuentran alrededor del Complejo Ambiental	Reducción de los niveles de producción en los cultivos y finalmente toxicidad de los mismos
	Pérdida paisajísticas	Si persiste la degradación ambiental en el área del Complejo Ambiental, esto conllevaría costos sociales y económicos tales como la devaluación de propiedades que se encuentran alrededor, pérdida de la calidad ambiental y sus efectos en el turismo	Reducción de visitantes a los lugares turísticos de la zona
		La poca o nula aprovechabilidad de los materiales que son usados para la elaboración de envases y productos desechables. Disminución de recursos naturales no renovables, como los minerales o petróleo	Contribución a la subida de los precios, de las materias primas, lo que provoca la reducción del poder adquisitivo de las personas con menores ingresos
Líquidos	Lixiviados	Los lixiviados provenientes del Complejo Ambiental, contienen altos niveles de metales pesados como plomo, cadmio, arsénico y níquel. La exposición a estos metales puede provocar enfermedades a la sangre, huesos; así como daños en el hígado, reducción de las capacidades mentales, daños neurológicos, entre otros (Universidad Nacional del Mar de la Plata, 2016)	Contaminación de los cuerpos de aguas cercanas a la zona. Aumento de enfermedades en los moradores de los lugares cercanos al Complejo Ambiental
	Contaminación de cuerpos de agua	El agua superficial que proviene de lluvias es contaminada por los residuos orgánicos e inorgánicos que tienen contacto con el agua	Contaminación del agua que se potabiliza. Incremento de los gastos para potabilizar el agua. Aumento de

			enfermedades infecciosas
Gaseosos	Biogás	La degradación de la materia orgánica presente en los residuos, produce una mezcla de gases conocida como biogás, compuesta fundamentalmente por metano y dióxido de carbono (CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> ), los cuales son reconocidos gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al proceso de cambio climático	Aumento de gases de efecto invernadero
	Contaminación del aire	Los residuos sólidos depositados en las celdas, deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa del polvo que se levanta por efecto del viento en los períodos secos; asimismo se pueden transportar microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de existir molestias por los desagradables olores procedentes del Complejo Ambiental	Aumento de enfermedades respiratorias

### Propuesta de mejora

En la actualidad, el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos, se ha centrado especialmente en un único aspecto, el cual consiste en la eliminación de los residuos o simplemente hacerlos desaparecer de la vista de las personas, a través de basurales, rellenos no tecnificados, quema por medio de incineradores, etc. Estas soluciones simplistas, como se las denomina, no tienen en consideración la necesidad de reducir el consumo de materias primas o de energía, y plantean serios riesgos para el medio ambiente y la salud de las personas.

La Constitución de la República del Ecuador, establece los derechos de la naturaleza, contemplados en la sección II, el Artículo 14 menciona:

*“Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay”, y además “se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la*

*prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.*

En este contexto, los gobiernos municipales se constituyen en verdaderos entes locales, que velan por el bienestar de sus habitantes.

Bajo este marco legal, es preciso generar análisis que terminen en propuestas viables, que contribuyan al diseño y formulación de estrategias que favorezcan el mejoramiento de la calidad del medio ambiente. Es por ello, que debe considerarse una obligación moral de quienes conformamos las municipalidades, el diseño, creación e implementación de diferentes modelos de complejos ambientales, para que estos sean sustentables y sostenibles; y cuya meta final sea crear sinergia entre los actores involucrados, detectando a tiempo los potenciales problemas, y paralelamente investigando en posibles alternativas de mejoras.

Por ello, se debe delinear enfoques integrados multidimensionales, para lograr mejoras que permitan un verdadero “Sistema Integral de Residuos de Sólidos”, sostenible en el contexto de los marcos normativos y jurídicos nacionales, el arreglo institucional, la tecnología apropiada, la gestión operativa y financiera, así como la concienciación y participación del público. De acuerdo con este enfoque, se ha propuesto un plan de acción genérico que podría adaptarse a la situación actual del municipio de Santo Domingo de los Colorados.

Actualmente no existe una aplicación apropiada y suficiente de un principio básico, que consiste en sancionar al que más contamina, debido a la falta de instrumentos legales que permitan realizarlo. No obstante, a nivel local existen propuestas de ordenanzas municipales que permiten sancionar a personas que generan residuos sólidos. Un ejemplo de ello, lo tiene la ciudad de Loja, quien posee ordenanzas que entienden la problemática de excesiva generación de residuos y su poca aprovechabilidad, esta ordenanza en su Art. 170 sostiene que:

*Está prohibido a los peatones y personas que se transporten en vehículos públicos o privados arrojar basura o desperdicios a la vía pública. El peatón que infringiere esta norma y sea encontrado in fraganti por un inspector o Policía Municipal, será llamado a la atención y reconocer su infracción, así mismo debe allanarse a la orden de recoger el desperdicio, no se impondrá alguna sanción económica; caso contrario de que no se quiera acatar, se sancionará con multa.*

Además, hay que demarcar en la importancia de dar a entender el objeto de este principio y que no se desvirtúe, o que se interprete de tal manera que el ciudadano que pague se sienta con el derecho de contaminar.

Para llegar a este nivel aplicativo, Loja y otras ciudades empezaron con la educación de sus conciudadanos, entendiéndose que la instrucción es la base en la que se establece el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos.

Dentro de este aspecto, el eje integrador debe ser la creación de una cultura ambiental en la ciudadanía, para que la misma realice acciones espontaneas que vayan encaminadas principalmente a mejorar la armonía, convivencia y sensibilización ambiental, en un entorno ambientalmente controlado. Por ello, se deben considerar las siguientes estrategias para poder cumplir con este objetivo:

1. Considerar las políticas públicas locales, el código de ordenamiento territorial y leyes ambientales del Ecuador, para la regulación de los residuos sanitarios, industriales y peligrosos, que actualmente no se gestionan de manera adecuada.
2. Elaborar mecanismos mediante ordenanzas municipales, para la regulación y operación de mercados y centros de comercios, en donde se condicione los permisos de funcionamiento y se especifique la responsabilidad de usar contenedores estandarizados, para el adecuado manejo de los desechos que se producen.
3. Reducir los residuos desde la fuente; para ello se deben realizar campañas de concientización dirigidas a la ciudadanía, con el objetivo de crear una cultura ambiental de la separación de residuos desde su origen. Donde se aprovechen los desechos orgánicos domiciliarios, para establecer autocultivo ecológico en huertos domésticos, mediante el compost originado de la materia orgánica producida.
4. Capacitar continuamente a los colegios, agrupaciones barriales, recicladores, etc., en temas de sensibilización ambiental, siendo el GAD municipal el enlace con gestores autorizados.

De llegarse a cumplir con los ítems planteados, se tendría como resultado final, la reducción de desechos para su disposición final y se alargaría la vida útil de las celdas, donde se depositan los residuos del cantón Santo Domingo de los Colorados.

De optimizarse los procesos en el Complejo Ambiental de Residuos Sólidos de Santo Domingo, las celdas del relleno sanitario pueden convertirse en macro celdas, las cuales podrían captar mayor cantidad de residuos, en un volumen similar de espacio y llegar a períodos de duración de hasta 10 años por cada macro celda (Röben, 2002).



## Conclusiones

En el Complejo Ambiental de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, se En la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, se generan diariamente 227,3 t de residuos, de los cuales 139,6 son compuestos orgánicos; 21,4 t es papel o cartón; 25 t son plásticos; 5,9 t es vidrio y 5 t corresponden a chatarra.

Con una de población de 311.367 habitantes, cada celda de 2 hectáreas de área, tiene un promedio de vida útil de 11 meses.

Diariamente se generan 45.460 Nm<sup>3</sup> de biogases (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, entre los principales) y 79,6 m<sup>3</sup> de lixiviados (en la época seca), de los cuales únicamente se receptan en las piscinas 10 m<sup>3</sup>/día.

Entre los principales impactos ambientales observados están: pérdida de suelos cultivables, del panorama paisajístico y de los recursos no renovables; aumento en la producción de lixiviados y biogases y contaminación de cuerpos de agua y del aire.

La propuesta para mejorar el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos consiste en los siguientes ejes: ordenamiento de los rellenos sanitarios por medio de políticas públicas, regulación a través de ordenanzas municipales de espacios como mercados municipales y comercios, campañas de concientización para realizar separación de residuos desde la fuente y capacitaciones continuas a grupos sociales del cantón.

La mejor estrategia para reducir los desechos, es interiorizar que todos somos consumidores y responsables de la basura que generamos en relación a la calidad y la cantidad. Por lo tanto, también jugamos un papel fundamental en la responsabilidad social y ambiental, para diseñar propuestas que ayuden a mejorar de forma técnica y administrativa, los espacios donde se receptan los residuos que producimos.

## References:

1. Abarca-Guerrero, L., Maas, G. & Hogland, W. (2015). Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo. *Tecnología en Marcha*, 28 (2), 141-168. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v28i2.2340>
2. Camargo, Y. & Velez, A. (2009). Emisiones de biogas producidas en rellenos sanitarios. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009.
3. COGERSA (2011). Tratamiento de lixiviados. España: Compañía para la Gestión de los Residuos Sólidos en Asturias. Recuperado de <https://www.cogersa.es/metaspacerportal/14498/19173>
4. GAD Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas (2016). Cantones y Parroquias. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Recuperado de <http://www.gptsachila.gob.ec/index.php/15-la-provincia>

5. Giraldo, E. (2001). Tratamiento de Lixiviados. *Revista de Ingeniería*, 14 (1), 44-55. DOI: <http://dx.doi.org/10.16924%2Friaui.v0i14.538>
6. Hoornweg, D. & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste. A Global Review of Solid Waste Management. Washington: World Bank. Recuperado de [http://www.prepare-net.com/sites/default/files/what\\_a\\_waste2012\\_final.pdf](http://www.prepare-net.com/sites/default/files/what_a_waste2012_final.pdf)
7. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2014). Información Ambiental en hogares (2014). Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Hogares\\_2014/Documento\\_tecnico\\_Modulo\\_Ambiental\\_Hogares\\_2014.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares_2014/Documento_tecnico_Modulo_Ambiental_Hogares_2014.pdf)
8. IPCC (1996). Revised IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch6ref1.pdf>
9. Laines, J., Goñi, J., Adams, R. & Camacho, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33 (1), 22-28
10. Lohila, A., Laurila, T., Tuovinen, J., Aurela, M., Hatakka, J., Thum, T. & Vesala, T. (2007). Micrometeorological Measurements of Methane and Carbon Dioxide Fluxes at a Municipal Landfill. *Environ. Sci. Technol.*, 41 (8), 2717-2722. DOI: 10.1021/es061631h
11. Martínez-Lopez, A., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O., Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, M., Hernández-Lara, J., Elvira-Hernández, E., Méndez, G., Tinoco-Magaña, J. & Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 9 (1), 37-47.
12. Meléndez, C. (2004). Guía práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos. PROARCA. Recuperado de [http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd65/guia\\_celdas\\_rellenos\\_final.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd65/guia_celdas_rellenos_final.pdf)
13. Noguera, K. & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 34 (132), 347-356
14. Pellón, A., López, M., Espinosa, M. & González, O. (2015). Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36 (2), 3-16.
15. Powell, J., Townsend, T. & Zimmerman, J. (2015). Estimates of solid waste disposal rates and reduction targets for landfill gas emissions. *Nature Climate Change*, 6, 162-165. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2804>

16. Röben, E. (2002). Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. Recuperado de [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_rsm/e/fulltext/loja.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/fulltext/loja.pdf)
17. Rondoy, C. (2017). Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos en la Reserva Marina Costera Puntilla de Santa Elena del Cantón Salinas [tesis de grado]. Universidad Técnica Partículas de Loja, Loja, Ecuador.
18. Shekdar, A. (2009). Sustainable solid waste management: An integrated approach for Asian countries. *Waste Management*, 29 (4), 1438-1448. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.025>
19. Sujauddin, M., Huda, M. & Hoque, R. (2008). Household solid waste characteristics and management in Chittagong, Bangladesh. *Journal of Waste Management* 28 (9), 1688-1695. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.06.013>
20. Ullca, J. (2005). Los Rellenos Sanitarios: La Granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, (4), 2-17.
21. Universidad Nacional del Mar de la Plata (2016). La basura: consecuencias ambientales y desafíos. Mar del Plata: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Recuperado de <https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1611-la-basura-consecuencias-ambientales-y-desafios>