



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Gestión de los residuos sólidos urbanos en la región de  
Haina

Autor: Manuel Méndez Rodríguez de Tembleque

Director: María del Mar Cledera Castro

Co-Director: Susana Ortíz Marcos

Madrid

Septiembre de 2021



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Manuel Méndez Rodríguez de Tembleque DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en la región de Haina, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 30 de Agosto de 2021

**ACEPTA**

Fdo.....*Manuel Méndez*.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en la región de Haina** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2020/2021 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Manuel Méndez Rodríguez de Tembleque Fecha: 30/ 08/ 2021

*Manuel Méndez*

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Susana Ortíz Marcos

Fecha: 30/ 08/ 2021

Firmado digitalmente  
por Maria del Mar  
Cledera Castro  
Fecha: 2021.08.30  
10:56:44 +02'00'





# GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA REGIÓN DE HAINA

**Autor: Méndez Rodríguez de Tembleque, Manuel.**

Director: Cledera Castro, María del Mar y Ortíz Marcos, Susana.

Entidad Colaboradora: : ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## RESUMEN DEL PROYECTO

### Introducción

Haina es una localidad costera de República Dominicana situada en el municipio de San Cristóbal, en la isla de La Española [OID\_20]. Esta localidad, con 83.582 habitantes [ONE\_10], fue considerada en 2007 como una de las ciudades más contaminada del mundo por el Instituto BlackSmith [AMH\_20]. Esta calificación le fue impuesta por los altos niveles de contaminación por plomo que se encontraba entre la población (al menos un 90 % de los residentes tenían altos niveles de plomo en sangre) [BSL\_08]. Tales niveles de plomo en sangre fueron provocados por una empresa de reciclaje de baterías que se encontraba en la región y contaminaba las aguas y el aire del municipio, hasta que recientemente ha sido cambiada de localización.

Esta localidad es la base industrial de toda la República Dominicana, produciendo más del 50 % de la electricidad de todo el país y contando con uno de los puertos más grandes. La zona industrial se encuentra en Bajos de Haina, con más de 100 empresas dedicadas a la industria química, metalúrgica, de ensamblaje y farmacéutica [DJ\_10]; además de la única refinería de petróleo del país. Actualmente, a pesar de haber dejado de estar considerada como una de las ciudades más contaminadas del mundo, continúa con altos niveles de contaminación del suelo, aire y especialmente agua [CL\_18], causando, en una cantidad notoria de la población, asma, bronquitis, gripe e infecciones diarreicas agudas.

Uno de los principales problemas de la región es el vertedero a cielo abierto o “botadero” (Figura 1), el cual, sin cumplir con ninguna normativa de control y prevención, ha recibido los residuos de los habitantes de Bajos de Haina y de su zona industrial.



Figura 1: Localización e imágenes del vertedero de Haina. [INAPA\_15]

Como se puede observar en la figura superior, este vertedero no recibe la atención necesaria y carece de la infraestructura mínima para una operación que cumpla los requisitos de salubridad y protección del medio ambiente establecidos por la ley. Los residuos que entran y salen del vertedero no se controlan ni se tratan previamente, además, el recinto no está cercado por lo que es de acceso libre a cualquier persona. Los animales son atraídos por los olores y caminan libremente por el vertedero, se pueden ver vacas y otros animales de gran tamaño, pero también roedores e insectos que son vectores de muchas enfermedades.

El nulo tratamiento de los desechos previo a su disposición y la nula preparación del terreno donde se depositan generan graves problemas. Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la población son los gases emitidos por los frecuentes incendios que suceden en el vertedero (Figura 2). Estos incendios se producen debido a no evacuar los gases emitidos por la materia orgánica en descomposición, principalmente metano. Este metano encerrado entre toneladas de basura produce explosiones que terminan en graves incendios. Otro gran problema para el medio ambiente y la contaminación del agua cercana al vertedero es el manejo de los lixiviados. El suelo, la última capa de tierra antes de que comience la montaña de basura, no fue tratada para ser impermeable ni se colocaron tuberías para recolectar los lixiviados, lo que ocasiona que estos líquidos se filtren hacia el subsuelo, contaminando el agua subterránea y llegando hasta los ríos cercanos. Otro peligro que se encuentra el vertedero es el riesgo a derrumbarse. Toneladas de basura colocada sin cuidado y no siendo compactada genera un riesgo a un corrimiento de tierras, que gracias a los lixiviados está, además, más debilitada.



Figura 2: Vertedero de Haina incendiado. Fuente: [diariolibre.com](http://diariolibre.com)

La última actualización en cuanto a gestión de residuos tuvo lugar el 6 de Febrero de 2020. En esta ley, la “Ley general de gestión integral y co-procesamiento de residuos de la República Dominicana” [LGRD.20] se establecen las normas nacionales de gestión de residuos. Esta ley, entre otras cosas, marca las responsabilidades del gobierno nacional y especifica las responsabilidades propias de los gobiernos de cada municipalidad. Esta nueva ley también incluye un plan de inclusión social para los recolectores de base o buzos <sup>1</sup> (Título III. Capítulo X). De esta manera, los ayuntamientos deberán fomentar e incentivar la formalización de los buzos mediante su inscripción en el ayuntamiento como recicladores y la formación de empresas sociales que cumplan los derechos y obligaciones que les corresponden. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales por su parte, coordinará y apoyará a estos ayuntamientos que creen empresas sociales para la formalización de los buzos.

<sup>1</sup>Los buzos son los hombres, mujeres y menores, que utilizan como fuente de ingresos encontrar y recolectar materiales con posible valor en el mercado dominicano o valor de reutilización o reciclaje en condiciones de un alto grado de precariedad.

## Metodología

Para resolver los problemas ocasionados por el vertedero, y dado que el estado en el que se encuentra hace imposible su recuperación, se ha decidido desarrollar un plan de clausura enfocado en la viabilidad económica, sostenibilidad, aprovechamiento de recursos e inclusión social de los trabajadores del vertedero. La hoja de ruta contempla todos los aspectos necesarios para una clausura del vertedero lo más económica posible y que cumpla con todos los requisitos que garanticen el respeto al medio ambiente y la máxima protección posible hacia el suelo y hacia la población.

En primer lugar se deberán estabilizar los residuos. Los problemas asociados a una mala estabilización de los residuos son de gran relevancia, pues pueden ocasionar la movilización de una gran cantidad de residuos que resulte muy peligrosa para personas dentro del recinto del vertedero [EOI\_21]. Para ello se emplean principalmente dos máquinas, las palas de cadenas y las compactadoras de basura. El objetivo es conseguir unas pendientes de 3H:1V, es decir, por cada tres unidades de longitud horizontales una vertical.

La cobertura final suele consistir en un sistema de capas (“Capping system”) y se utiliza con numerosos objetivos. Cada capa cumple con una función específica, puede ser impermeabilizante, o porosa para la recogida de gases o tierra para reducir olores y la expansión de los residuos.



Figura 3: Capa de sellado general [ATE\_10]

La ventilación de los gases de vertedero es otra tarea de suma importancia a la hora de la clausura de un vertedero. Estas emisiones deben controlarse para evitar efectos no deseados, como pueden ser: toxicidad, olores, posibles explosiones y por su contribución al efecto invernadero. En algunos casos, si la cantidad de metano es la suficiente, puede resultar beneficioso su aprovechamiento. Para la extracción del gas de vertedero es necesario la colocación de los pozos de extracción de metano. La localización de los pozos de extracción, uno por cada dos hectáreas y como mínimo una por módulo, debe de ser en la mayor cota final sobre el módulo cubierto. Estas tuberías pueden construirse de diversas formas y con diversos materiales [COUNC17].

Al tratarse de un vertedero incontrolado, la separación del agua de limpia y del agua contaminada se hace impracticable. Por este motivo se realizará un análisis conjunto de las posibilidades para la recolección y recirculación del agua en el vertedero. Se realizarán zanjas perimetrales para extraer todo el agua que no atravesase el vertedero y unas barreras reactivas permeables (BRP) para limpiar el agua subterránea de la contaminación producida por los lixiviados.

El tratamiento de los lixiviados se hará mediante sistemas naturales, con las cuales se consiguen muy buenos resultados. La desventaja de estos sistemas es que requieren de mucho espacio, pero en este caso se dispone del espacio necesario para su instalación. Además, presentan muchas ventajas como funcionar para una cantidad variable de caudal de entrada (importante para la diferencia entre

la época de lluvias y la época seca) y que son los más económicos.

Por último, se proponen ideas para el uso del suelo post-clausura, las cuales tienen en común la intención de ayudar a la situación social que se vive en Haina incluyendo a mujeres y niñas que viven de la prostitución y a los buzos del vertedero que perderán su forma de sustento. Las ideas son las siguientes:

- Zona verde, incluyendo un parque, para eliminar contaminación procedente del vertedero y servir como respiro para las personas que viven en una zona totalmente industrializada.
- Talleres de reciclaje para fomentar el reciclaje en la población e incluir a personas en situación de precariedad para impartir estos talleres.
- Mercado de reciclados y de objetos de segunda mano con el objetivo de promover la reutilización de objetos en lugar de su disposición en el vertedero.

## Conclusiones

La gestión de residuos en República Dominicana es bastante ineficiente en todos los procesos que intervienen. Desde la pre-recogida, donde la separación en origen es baja y no se aplican incentivos para su realización, y la disposición de los residuos se hace de manera irregular; hasta la disposición final, que mayormente consiste en vertederos incontrolados sin gestión ni pre-tratamiento de los residuos. A todo esto se le suma que la recogida de los residuos se hace mayormente de manera mezclada (un solo camión para distintos tipos de residuos), lo que imposibilita la separación en una posible estación de transferencia aún inexistente. Pese a ello, el primer punto donde, por la gravedad de los problemas que genera es necesario actuar, es en el vertedero.

Las soluciones adoptadas en este trabajo implican la clausura del vertedero de manera económica y sostenible. Las materias primas necesarias se encuentran cerca del vertedero y, siempre y cuando sea posible, se busca la reutilización de materiales. Al cubrir el vertedero e instalar chimeneas se consigue eliminar los incendios y olores, utilizando en primer lugar arena para cubrir la totalidad del vertedero. El agua de lluvia se controla mediante canales perimetrales que evacuen este agua hacia un sistema de tratamiento de lixiviados que consiste en piscinas naturales, además, se disponen barreras reactivas permeables para minimizar la contaminación de las aguas subterráneas que se utilizan para el consumo humano. Para evitar la libre circulación de personas y animales, se deberá incluir un vallado perimetral con entradas y salidas controladas por las personas encargadas. La plantación de vegetación que ayude a limpiar el aire y el suelo tan contaminado también está presente en estas propuestas. Con esto se podría conseguir una zona verde que cambie el ambiente de una zona tan industrial.

## Bibliografía

- [OID\_20] Oficina de Información Diplomática. Ficha País República Dominicana 2020. [http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/REPUBLICADOMINICANA\\_FICHA%20PAIS.pdf](http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/REPUBLICADOMINICANA_FICHA%20PAIS.pdf)
- [ONE\_10] Oficina Nacional de Estadística. IX Censo Nacional de Población y Vivienda. Informe General 2010. <https://www.one.gob.do/Multimedia/Download?ObjId=2746>
- [CL\_18] Construyendo Legado. Bajos de Haina, altos niveles de contaminación en el aire, suelo y especialmente el agua. [urlhttps://construyelegado.org/bajos-de-haina-3/](https://construyelegado.org/bajos-de-haina-3/)
- [DJ\_10] Periódico Dia Joven. Realidad Socioeconómica de Haina. <https://diajoven.webnode.es/realidad-socioeconomica-de-haina/>
- [AMH\_20] Ayuntamiento Municipal de Los Bajos de Haina. Historia. 2020. <http://ayuntamientohaina.gob.do/historia/>
- [BSI\_08] BlackSmith Institute. Solving Pollution Problems. Saving lifes. Annual Report 2008. <https://www.pureearth.org/wp-content/uploads/2014/12/AR2008.pdf>
- [INAPA\_15] Yeny Cornelio Hernández y Consultora Ambiental y de Residuos Sólidos. Diagnóstico situación sector residuos sólidos en República Dominicana, Informe final. Consultado en 2021. <https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/4CAD6958-68E8-A0AB-E856-852720AD7CF8/attachments/Diagnostico%20RS%20Estrategia%20Nacional%20de%20Sanamiento.pdf>
- [LGRD\_20] Ley general de gestión integral y coprocesamiento de residuos de la República Dominicana. <http://www.senado.gov.do/mlx/DOCS/1C/2/11/66CE/7B8E.htm>
- [EOI\_21] EOI. Escuela de negocios. Máster en ingeniería y gestión medioambiental. Depósito de residuos en vertedero. Iván botamino García. Consultado en 2021. <https://www.eoi.es/es/file/18542/download?token=9C004mli>
- [ATE\_10] Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos. Unidad didáctica I: Conceptos básicos sobre la gestión de vertederos. 1 de Junio de 2010. [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_vert\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_vert_11_JUN_2010.pdf)
- [COUNC17] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y Universidad Nacional de Córdoba (U.N.C.) Argentina Facultad de Ciencias Económicas (F.C.E.). Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales e Impacto Ambiental. Módulo 3. <https://civilshare.files.wordpress.com/2016/05/civ-361-rsu-modulo3.pdf>



# URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE HAINA REGION

**Author: Méndez Rodríguez de Tembleque, Manuel.**

Director: Cledera Castro, María del Mar and Ortíz Marcos, Susana.

Collaborating entity: : ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## PROJECT SUMMARY

### Introduction

Haina is a coastal town in the Dominican Republic located in the municipality of San Cristóbal, on the island of Hispaniola [OID\_20]. This town, with 83,582 inhabitants [ONE\_10], was considered in 2007 as one of the most polluted cities in the world by the BlackSmith Institute [AMH\_20]. This rating was imposed by the high levels of lead contamination found among the population (at least 90% of the residents had high levels of lead in their blood) [BSI\_08]. Such levels of lead in blood were caused by a battery recycling company that was in the region and polluted the waters and air of the municipality, until it was recently relocated.

This town is the industrial base of the entire Dominican Republic, producing more than 50% of the electricity of the entire country and having one of the largest ports. The industrial zone is located in Bajos de Haina, with more than 100 companies dedicated to the chemical, metallurgical, and assembly and pharmaceutical [DJ\_10]; in addition to the only oil refinery in the country. Currently, despite having ceased to be considered one of the most polluted cities in the world, it continues with high levels of contamination of the soil, air and especially water [CL\_18], causing, in a notorious amount of the population, asthma, bronchitis, influenza and acute diarrheal infections.

One of the main problems in the region is the open-air landfill or “ dumpsite ” (Figure 1), which, without complying with any control and prevention regulations, has received the residents’ waste of Bajos de Haina and its industrial zone.



Figure 1: Location and images of the Haina landfill. [INAPA\_15]

As can be seen in the figure above, this landfill does not receive the necessary attention and lacks the minimum infrastructure for an operation that meets the health and environmental protection requirements established by law. The waste that enters and leaves the landfill is not controlled or

treated previously, in addition, the enclosure is not fenced so it is freely accessible to anyone. The animals are attracted by the smells and walk freely through the landfill, you can see cows and other large animals. size, but also rodents and insects that are vectors of many diseases.

The null treatment of the waste prior to its disposal and the null preparation of the land where it is deposited generate serious problems. One of the biggest problems that the population faces are the gases emitted by the frequent fires that occur in the landfill (Figure 2). These fires occur due to not evacuating the gases emitted by decomposing organic matter, mainly methane. This methane trapped between tons of garbage produces explosions that end in serious fires. Another great problem for the environment and the contamination of the water near the landfill is the management of leachates. The soil, the last layer of soil before the garbage mountain begins, was not treated to be impermeable nor were pipes laid to collect leachates, causing these liquids to seep underground, contaminating groundwater and reaching to the nearby rivers. Another danger encountered by the landfill is the risk of collapsing. Tons of garbage placed carelessly and not being compacted creates a risk of landslides, which, thanks to the leachate, is also more weakened.



Figure 2: Haina landfill set on fire. Source: [diariolibre.com](http://diariolibre.com)

The last update regarding waste management took place on February 6, 2020. In this law, the “ General law for the comprehensive management and co-processing of waste in the Dominican Republic ” [LGRD\_20], the national waste management standards are established. This law, among other things, sets out the responsibilities of the national government and specifies the responsibilities of the governments of each municipality. This new law also includes a social inclusion plan for base collectors or divers <sup>2</sup> (Title III. Chapter X). In this way, city councils must encourage and encourage the formalization of divers by registering with the city council as recyclers and forming social enterprises that comply with the rights and obligations that correspond to them. The Ministry of Environment and Natural Resources for its part, will coordinate and support these municipalities that create social enterprises for the formalization of divers.

## Methodology

To solve the problems caused by the landfill, and given that the state at which it stands makes its recovery impossible, it has been decided to develop a closure plan focused on the economic viability,

---

<sup>2</sup>Divers are men, women and minors, who use as a source of income finding and collecting materials with possible value in the Dominican market or reuse value or recycling under conditions of a high degree of precariousness.

sustainability, use of resources and social inclusion of the workers of the dump. The roadmap contemplates all the necessary aspects for a closure of the landfill as economically as possible and that complies with all the requirements that guarantee respect for the environment and the maximum possible protection for the soil and the population.

First of all, the waste must be stabilized. The problems associated with a poor stabilization of the waste are of great relevance, since they can cause the mobilization of a large quantity of waste that is very dangerous for people within the landfill site [?]. Two machines are mainly used for this, the chain shovels and the garbage compactors. The objective is to achieve slopes of 3H: 1V, that is, for every three horizontal units of length, one vertical.

The final covering usually consists of a system of layers (“ Capping system ”) and is used with numerous objectives. Each layer fulfills a specific function, it can be waterproofing, or porous for the collection of gases or earth to reduce odors and the waste expansion.



Figure 3: General sealing layer [ATE\_10]

Ventilation of landfill gases is another very important task when closing a landfill. These emissions must be controlled to avoid unwanted effects, such as: toxicity, odors, possible explosions and their contribution to the greenhouse effect. In some cases, if the amount of methane is sufficient, its use may be beneficial. For the extraction of landfill gas it is necessary to place methane extraction wells. The location of the extraction wells, one for every two hectares and at least one per module, must be at the highest final elevation on the covered module. These pipes can be built in different ways and with different materials [COUNC17].

As it is an uncontrolled landfill, the separation of clean water and polluted water becomes impractical. For this reason, a joint analysis of the possibilities for the collection and recirculation of water in the landfill will be carried out. Perimeter trenches will be made to extract all the water that does not pass through the landfill and permeable reactive barriers (BRP) to clean the groundwater of the contamination produced by leachates.

The treatment of leachates will be done through natural systems, with which very good results are achieved. The disadvantage of these systems is that they require a lot of space, but in this case the necessary space is available for their installation. In addition, they have many advantages such as operating for a variable amount of inflow (important for the difference between the rainy season and the dry season) and that they are the most economical.

Finally, ideas for post-closure land use are proposed, which have in common the intention of helping the social situation that exists in Haina including women and girls who live from prostitution and the divers from the landfill who will lose their livelihood. The ideas are as follows:

- Green area, including a park, to remove pollution from the landfill and serve as a respite for people living in a fully industrialized area.
- Recycling workshops to promote recycling in the population and include people in a precarious situation to give these workshops.
- Market of recycled and second-hand objects with the aim of promoting the reuse of objects instead of their disposal in the landfill.

## Conclusions

Waste management in the Dominican Republic is quite inefficient in all the processes involved. From the pre-collection, where the separation at source is low and incentives are not applied for its realization, and the waste disposal is done irregularly; until final disposal, which mostly consists of uncontrolled landfills without waste management or pre-treatment. To all this is added that the collection of waste is done mostly in a mixed way (a single truck for different types of waste), which makes it impossible to separate it in a possible transfer station that does not yet exist. Despite this, the first point where, due to the seriousness of the problems that it generates, it is necessary to act, is in the landfill.

The solutions adopted in this work involve the closure of the landfill in an economical and sustainable way. The necessary raw materials are located near the landfill and, whenever possible, the reuse of materials is sought. By covering the landfill and installing chimneys, fires and odors are eliminated, first using sand to cover the entire landfill. Rainwater is controlled through perimeter channels that evacuate this water to a leachate treatment system that consists of natural pools, in addition, permeable reactive barriers are provided to minimize contamination of groundwater used for human consumption. To prevent the free movement of people and animals, a perimeter fence must be included with entrances and exits controlled by the persons in charge. The planting of vegetation that helps clean the air and the highly polluted soil is also present in these proposals. With this, a green area could be achieved that changes the environment of such an industrial area.

## Bibliography

- [OID\_20] Oficina de Información Diplomática. Ficha País República Dominicana 2020. [http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/REPUBLICADOMINICANA\\_FICHA%20PAIS.pdf](http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/REPUBLICADOMINICANA_FICHA%20PAIS.pdf)
- [ONE\_10] Oficina Nacional de Estadística. IX Censo Nacional de Población y Vivienda. Informe General 2010. <https://www.one.gob.do/Multimedia/Download?ObjId=2746>
- [CL\_18] Construyendo Legado. Bajos de Haina, altos niveles de contaminación en el aire, suelo y especialmente el agua. [urlhttps://construyelegado.org/bajos-de-haina-3/](https://construyelegado.org/bajos-de-haina-3/)
- [DJ\_10] Periódico Dia Joven. Realidad Socioeconómica de Haina. <https://diajoven.webnode.es/realidad-socioeconomica-de-haina/>
- [AMH\_20] Ayuntamiento Municipal de Los Bajos de Haina. Historia. 2020. <http://ayuntamientohaina.gob.do/historia/>
- [BSI\_08] BlackSmith Institute. Solving Pollution Problems. Saving lifes. Annual Report 2008. <https://www.pureearth.org/wp-content/uploads/2014/12/AR2008.pdf>
- [INAPA\_15] Yeny Cornelio Hernández y Consultora Ambiental y de Residuos Sólidos. Diagnóstico situación sector residuos sólidos en República Dominicana, Informe final. Consultado en 2021. <https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/4CAD6958-68E8-A0AB-E856-852720AD7CF8/attachments/Diagnostico%20RS%20Estrategia%20Nacional%20de%20Sanamiento.pdf>
- [LGRD\_20] Ley general de gestión integral y coprocesamiento de residuos de la República Dominicana. <http://www.senado.gov.do/mlx/DOCS/1C/2/11/66CE/7B8E.htm>
- [EOI\_21] EOI. Escuela de negocios. Máster en ingeniería y gestión medioambiental. Depósito de residuos en vertedero. Iván botamino García. Consultado en 2021. <https://www.eoi.es/es/file/18542/download?token=9C004mli>
- [ATE\_10] Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos. Unidad didáctica I: Conceptos básicos sobre la gestión de vertederos. 1 de Junio de 2010. [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_vert\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_vert_11_JUN_2010.pdf)
- [COUNC17] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y Universidad Nacional de Córdoba (U.N.C.) Argentina Facultad de Ciencias Económicas (F.C.E.). Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales e Impacto Ambiental. Módulo 3. <https://civilshare.files.wordpress.com/2016/05/civ-361-rsu-modulo3.pdf>





# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Gestión de los residuos sólidos urbanos en la región de  
Haina

Autor: Manuel Méndez Rodríguez de Tembleque

Director: María del Mar Cledera Castro

Co-Director: Susana Ortíz Marcos

Madrid

Septiembre de 2021



# Índice

Resumen del Proyecto . . . . .	XI
Project Summary . . . . .	XVII
Índice General . . . . .	XXII
<b>1. Introducción y Objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	1
1.3. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) . . . . .	2
<b>2. Estudio Socioeconómico de Bajos de Haina</b>	<b>3</b>
2.1. República Dominicana: Descripción General . . . . .	3
2.1.1. Situación económica . . . . .	4
2.1.2. Situación social [PNUD19] . . . . .	6
2.2. Bajos de Haina: Panorama Económico . . . . .	10
2.2.1. Pobreza y prosperidad . . . . .	11
2.3. Bajos de Haina: Panorama Social . . . . .	11
<b>3. Gestión de Residuos Sólidos</b>	
<b>Urbanos</b>	<b>13</b>
3.1. Introducción . . . . .	13
3.2. Proceso . . . . .	16
3.2.1. Pre-recogida . . . . .	16
3.2.2. Recogida y Transporte . . . . .	19
3.2.3. Tratamiento y/o almacenamiento . . . . .	22
3.2.4. Análisis económico y político de la gestión de RSU [FE_16] . . . . .	32
3.2.5. Conclusiones: República Dominicana . . . . .	33
3.3. Casos de éxito . . . . .	40
3.3.1. Caso 1: Belice [BE_07] . . . . .	40
3.3.2. Caso 2: Wuhan: Vertedero de Jinkou [WU_05] . . . . .	41
<b>4. Estudio de los Bajos de Haina en la gestión de RSU</b>	<b>43</b>
4.1. Normativa medioambiental Bajos de Haina . . . . .	45
4.2. Vertedero de Bajos de Haina . . . . .	47
4.2.1. Normativa de los Rellenos Sanitarios . . . . .	49
4.3. Proyectos en el vertedero . . . . .	49
<b>5. Hoja de ruta</b>	<b>51</b>
5.1. ¿Intervención o clausura? . . . . .	51
5.2. Evaluación del sitio . . . . .	52
5.2.1. Información relevante del vertedero . . . . .	52
5.2.2. Información geotécnica e hidrológica . . . . .	53
5.2.3. Puntos de filtración y estancamiento de lixiviados . . . . .	54
5.2.4. Puntos de fuga de gases . . . . .	54

5.2.5. Uso de tierras contiguas . . . . .	54
5.2.6. Fuentes de material de cobertura . . . . .	55
5.3. Cierre seguro . . . . .	57
5.3.1. Estabilización de los residuos . . . . .	58
5.3.2. Cobertura final . . . . .	60
5.3.3. Ventilación de gases . . . . .	63
5.3.4. Recolección y recirculación de aguas y lixiviados . . . . .	67
5.3.5. Tratamiento de lixiviados . . . . .	88
5.4. Uso de suelo post-clausura . . . . .	92
5.5. Resumen e la hoja de ruta . . . . .	93
<b>6. Estudio de viabilidad de la propuesta</b>	<b>95</b>
<b>7. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>97</b>
<b>Anexos</b>	<b>99</b>
<b>A. Producto Interior Bruto (PIB) de República Dominicana 2019</b>	<b>101</b>
<b>B. Mapa hidrológico San Cristobal</b>	<b>102</b>
<b>C. Mapa de pendiente San Cristobal</b>	<b>104</b>
<b>D. Mapa capacidad productiva de la tierra San Cristobal</b>	<b>106</b>
<b>E. Mapa de uso y cobertura de la tierra, San Cristobal</b>	<b>108</b>
<b>F. Mapa de yacimientos mineros, San Cristobal</b>	<b>110</b>
<b>G. Factores para el cálculo del coeficiente de jardín</b>	<b>112</b>
<b>H. Tablas para el cálculo de la evapotranspiración</b>	<b>114</b>

# Índice de Figuras

1.	Localización e imágenes del vertedero de Haina. [INAPA_15]	VII
2.	Vertedero de Haina incendiado. Fuente: <a href="http://diariolibre.com">diariolibre.com</a>	VIII
3.	Capa de sellado general [ATE_10]	IX
1.	Location and images of the Haina landfill. [INAPA_15]	XIII
2.	Haina landfill set on fire. Source: <a href="http://diariolibre.com">diariolibre.com</a>	XIV
3.	General sealing layer [ATE_10]	XV
2.1.	Mapa de República Dominicana [OID_20]	3
2.2.	Crecimiento Económico en América Latina [BCRD20]	4
2.3.	Contribución de RD en comparación con otros países de latinoamérica en porcentaje del PIB 2012 [GBM_16]	5
2.4.	Pérdidas de transmisión y distribución de energía en RD [CEPAL19]	6
2.5.	Índice de desarrollo humano en RD (1990-2018) [PNUD19]	7
2.6.	Comparación IDH entre RD y otros países similares [PNUD19]	7
2.7.	IDH-D de República Dominicana en 2018 en comparación con países y grupos seleccionados	8
2.8.	Índice de Desarrollo de Género de República Dominicana en 2018 en comparación con países y grupos seleccionados	8
2.9.	Índice de Desigualdad de Género de República Dominicana en 2018 en comparación con países y grupos seleccionados	9
2.10.	IPM más reciente de República Dominicana y comparación con países seleccionados	9
2.11.	Ubicación de San Cristóbal y Bajos de Haina [ONE_15]	10
3.1.	Diagrama del proceso de gestión de residuos [CEPAL16]	13
3.2.	Jerarquía de Gestión Integral de los Residuos Sólidos [OPSD17]	14
3.3.	Composición global de residuos [GBM_18]	15
3.4.	Composición de residuos por nivel de renta [GBM_18]	15
3.5.	Proyección de la generación global de residuos [GBM_18]	16
3.6.	Modelos de recogida de RSU [MGD_07]	17
3.7.	Esquema de recogida selectiva [AGI_08]	17
3.8.	Residuos dispuestos de manera irregular en San Cristobal [JW__18]	18
3.9.	Código de colores en República Dominicana [OPSD17]	18
3.10.	Evolución de los residuos urbanos recogidos por tipo de residuo en España [ED__18]	19
3.11.	Tipos de recogida [AGI_08]	19
3.12.	Sistema neumático fijo de recogida de RSU [LIP_20]	21
3.13.	Sistema neumático móvil de recogida de RSU [LIP_20]	21
3.14.	Proceso de selección de residuos de envases en Leganés [LA__15]	24
3.15.	Proceso de compostaje. [FOC_17]	26
3.16.	Características de un vertedero. [REC_21]	29
3.17.	Vista aérea vertedero La Duquesa. Fuente: <a href="http://municipiosaldia.com">municipiosaldia.com</a>	31
3.18.	Flujo de materiales y residuos en República Dominicana. [JW__18]	34
3.19.	Datos de proyección de la cantidad de residuos generados en RD. [INAPA15]	34
3.20.	Contenedores o tanques en el municipio de Boca Chica, República Dominicana. [INAPA15]	35

3.21. Forma de eliminación de basuras, datos de zonas urbanas y rurales. [INAPA15] . . . . .	35
3.22. Empresas dedicadas al reciclaje. Mayo 2017. [FOC_17] . . . . .	36
3.23. Localización de vertederos en República Dominicana (2010) [INAPA15] . . . . .	37
3.24. Vertederos en República Dominicana [INAPA15] . . . . .	37
4.1. Producción de RSU en la República Dominicana [OPSD17] . . . . .	43
4.2. Datos RSU Bajos de Haina. [INAPA15] . . . . .	43
4.3. Porcentaje de recogida en Bajos de Haina. [GEO_07] . . . . .	44
4.4. Composición de residuos domésticos en Bajos de Haina. Datos: [PERA11] . . . . .	44
4.5. Vehículos de recogida de residuos en Bajos de Haina [AMH_21] . . . . .	45
4.6. Localización e imágenes del vertedero de Haina. [INAPA15] . . . . .	47
4.7. Residuos biomédicos en el vertedero de Haina. [MIMA14] . . . . .	48
4.8. Vertedero de Haina incendiado.Fuente: <a href="http://diariolibre.com">diariolibre.com</a> . . . . .	48
4.9. Buzos en el vertedero de Haina.Fuente: <a href="http://diariolibre.com">diariolibre.com</a> . . . . .	49
5.1. Flujo de un proyecto de sitio de disposición final (SDF) [FOCI17] . . . . .	51
5.2. Imagen satélite del vertedero de Bajos de Haina. Fuente: Google Maps . . . . .	52
5.3. Área ocupada por el vertedero de Haina. Fuente: <a href="http://arcgis.com">arcgis.com</a> . . . . .	53
5.4. Precipitaciones San Cristóbal ( <i>mm/h</i> ) [JELF08] . . . . .	54
5.5. Comportamiento de distintos materiales de cobertura. [MPM_90] . . . . .	55
5.6. Nuevo proceso de tratamiento de los lodos para su uso como material de cobertura [YJJ_14]. . . . .	56
5.7. Proceso de deshidratación de lodos para su uso como material de cobertura [YJJ_14]. . . . .	57
5.8. Evaluación del plan de clausura y post-clausura [UNEP05] . . . . .	58
5.9. Pendiente estable de un vertedero [UNEP05] . . . . .	58
5.10. Palas de cadenas y compactadora de basura [ATE_10] . . . . .	59
5.11. Factor de seguridad en la estabilidad de los residuos de vertedero [CEDEX_13] . . . . .	60
5.12. Capa de sellado general [ATE_10] . . . . .	61
5.13. Permeabilidades admisibles para rellenos sanitarios y capas de drenaje [JJ_02] . . . . .	62
5.14. Otras opciones de sellado de vertederos [AMS_16] . . . . .	62
5.15. Instalación de venteo de gases [UNEP05] . . . . .	63
5.16. Detalle de un pozo vertical [EJGV15] . . . . .	64
5.17. Usos del gas de vertedero en función de su contenido en metano [EJGV15] . . . . .	64
5.18. Factor K a aplicar para el cálculo de la emisión de $CH_4$ [EJGV15] . . . . .	65
5.19. Control de los parámetros de operación y vigilancia [EJGV15] . . . . .	67
5.20. Esquema general de entradas y salidas de agua en un vertedero [EJGV15]. . . . .	68
5.21. Observatorios cercanos al vertedero de Bajos de Haina [ONAMET] . . . . .	69
5.22. Diagrama ternario con los pesos de cada estación . . . . .	69
5.23. Trincheras perimetrales para la evacuación del agua de lluvia [UIS_05] . . . . .	70
5.24. Esquema ilustrativo de zanja drenante totalmente penetrativa de un terreno permeable [EJGV15]. . . . .	72
5.25. Posibles entradas de agua por recarga artificial [EJGV15]. . . . .	72
5.26. Humedad relativa de distintos materiales presentes en el vertedero [EJGV15]. . . . .	74
5.27. Escorrentía respecto a la lluvia útil a considerar en función de la permeabilidad del terreno y de la pendiente del terreno [EJGV15] . . . . .	80
5.28. Localización del Drenotube dentro de las capas del vertedero [JMF_15] . . . . .	81
5.29. Tecnología Drenotube para la recogida subterránea de aguas pluviales [JMF_15] . . . . .	81
5.30. Barrera reactiva permeable (PRB) para la limpieza de agua subterránea [EPA_01] . . . . .	84
5.31. Barrera reactiva permeable (PRB) de zanja continua <a href="https://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/ArtigoAsin-situ_000.pdf">https://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/ArtigoAsin-situ_000.pdf</a> . . . . .	85
5.32. Recta de agotamiento del hidrograma de caudales de lixiviados para calcular el coeficiente de agotamiento [EJGV15] . . . . .	87
5.33. Valores de humedad de entrada, capacidad de campo y variación de humedad [volumen de agua/volumen total] [EJGV15] . . . . .	88

5.34. Características del lixiviado joven y viejo [EG_01] . . . . .	89
5.35. Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (manejo de características problemáticas de los lixiviados) [EG_01] . . . . .	90
5.36. Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (Complejidad) [EG_01]	91
5.37. Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (Rendimientos) [EG_01]	91
5.38. Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (Costes) [EG_01] .	92
6.1. Desglose porcentual de costes en el cierre de un vertedero [UFSM21] . . . . .	95
G.1. Factores para el cálculo del coeficiente de jardín $k_L$ [EJGV15] . . . . .	113
H.1. Factores para el cálculo de la profundidad [EJGV15] . . . . .	114

# Índice de Tablas

3.1. Clasificación de residuos . . . . .	14
3.2. Principales retos de la gestión de residuos en RD [JW_18] . . . . .	38
3.2. Principales retos de la gestión de residuos en RD [JW_18] (continuación) . . . . .	39
3.2. Principales retos de la gestión de residuos en RD [JW_18] (continuación) . . . . .	40
5.1. Capas de sellado [MARN05] [AMS_16] . . . . .	61
5.2. Valores de MCF en función del tipo de vertedero [EJGV15] . . . . .	66
6.1. Desglose de costes . . . . .	96

# Abreviaturas

**HDPE** De sus siglas en inglés: Polietileno de alta densidad. 16

**RD** República Dominicana. XXIII, 5-7

**RSU** Residuos Sólidos Urbanos. XXIII, XXIV, 1, 2, 13, 16, 17, 21, 43



# 1 | Introducción y Objetivos

## 1.1. Introducción

El proyecto se sitúa en Bajos de Haina, una localidad costera de República Dominicana categorizada como una de las más contaminadas del mundo. Esta localidad es la base industrial de toda República Dominicana y cuenta con más de un centenar de industrias además de producir más del 50% de la electricidad del país y tener uno de los puertos con más tráfico de toda la isla.

Esta industrialización de Bajos de Haina a principios de los 70 se ha llevado a cabo sin ningún tipo de regulación medioambiental, lo que llevó a la ciudad a tener un índice de contaminación por plomo de los más altos del mundo debido a una empresa de reciclaje de baterías que se encontraba en la ciudad y que recientemente ha sido cambiada de localización. La mala gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un problema que afecta a toda la población y además supone la pérdida de un posible aprovechamiento de estos residuos que podrían generar una mejora económica en la ciudad.

Por último, esta mala gestión de los RSU se ve muy bien reflejada en el vertedero de la ciudad, constantemente incendiado por la mala o nula gestión y que genera humos tóxicos para la población. La situación en la que se encuentra este vertedero es muy precaria, el terreno no está preparado, no hay un tratamiento de los residuos previa a su almacenamiento y tampoco hay una gestión que intente solucionar estos problemas. Una buena gestión de este vertedero podría generar, a parte de un aumento de la calidad de vida, una mejora económica para personas en necesidad creando puestos de trabajo, una ventaja para las empresas que vierten sus residuos a este vertedero ya que se podrían beneficiar de la creación de una economía circular de aprovechamiento de estos residuos y por último, una mejora sustancial de la fauna y flora de la ciudad.

Posteriormente al inicio de este proyecto se comenzaron a realizar tareas de recuperación en el vertedero de Haina. Con el fin de dotar de mayor utilidad a este proyecto y dado el cambio de la situación del vertedero a la mitad del proyecto, se comentarán las soluciones adoptadas realmente en el vertedero y se justificará el diseño previamente ideado, comparando similitudes y diferencias.

## 1.2. Objetivos

Los objetivos del proyecto son variados y de distinta índole, pero se intentará abarcar principalmente la buena gestión del vertedero de Bajos de Haina (con la repercusión que esto tendría) y la inserción social de mujeres en busca de un trabajo digno y autosuficiente. Por ello, pese a que los objetivos del proyecto son esos dos, lo que verdaderamente se busca se explica a continuación:

- **Mayor aprovechamiento de recursos:** No se trata únicamente de realizar una buena gestión del vertedero, sino conseguir establecer un programa en el que estos recursos sean aprovechados y sirvan de punto de partida para generar otros productos.
- **Mejora de la calidad de vida en Bajos de Haina:** La ciudad de Haina está muy contaminada, y esto genera problemas de salud graves. Otro objetivo con una buena gestión del

vertedero es reducir el impacto que tiene sus incendios y mala gestión en la salud de esta población.

- **Mejora económica para personas en riesgo:** Otro objetivo del proyecto es la inserción laboral de personas en riesgo, fuera del programa de las Hermanas Oblatas, pues muchas personas viven de este vertedero. Las mismas personas podrían trabajar en este vertedero de manera regulada y así obtener un empleo digno con el que mejorar económicamente.
- **Mayor cuidado del medioambiente:** Por último, una mala gestión de los RSU genera un impacto muy negativo en el medioambiente de la ciudad, ya sea por los humos, que afectan a la calidad del aire, o por el lixiviado que acaba contaminando tierra, ríos y mares.

### 1.3. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

- **3. Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos y todas en todas las edades.** Los problemas para la salud que acarrea un vertedero descontrolado son severos. Con este proyecto se pretende dar una solución a estos problemas con una buena gestión de los residuos.
- **8. Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.** Actualmente hay personas que viven de este vertedero en situación de precariedad. Una parte de la buena gestión del vertedero pretende ir enfocada a estas personas, y que tengan un trabajo digno.
- **9. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.** El principal objetivo de este proyecto es crear la infraestructura necesaria para un buen almacenamiento de los recursos de manera que su uso sea sostenible y responsable con el medioambiente.
- **12. Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.** Con este proyecto también se pretende transmitir conciencia de la importancia de una buena gestión de los residuos e influir en la medida que se pueda en la perspectiva de producción de las empresas que utilizan este vertedero.

## 2 | Estudio Socioeconómico de Bajos de Haina

### 2.1. República Dominicana: Descripción General

La República Dominicana, con capital Santo Domingo, se encuentra en el archipiélago de las Antillas Mayores, siendo la segunda mas grande en extensión después de Cuba. Con una superficie de  $48.670 \text{ km}^2$  ocupa dos tercios de la isla de La Española, en la zona de América Central y el Caribe, estando Haití en el tercio restante y compartiendo una frontera terrestre de 270 km. Otras de sus fronteras son, al Norte con el océano Atlántico, al este con el canal de la Mona y al Sur con el mar Caribe. El último censo realizado por la Oficina Nacional de Estadística en 2010 calcula que la población dominicana está formada por 9.445.281 personas (50,17% hombres y 49,83% mujeres) [ONE\_10]. En la Figura 2.1 se muestra la localización de la isla y la distribución de las 31 provincias que conforman el país. [OID\_20]



Figura 2.1: Mapa de República Dominicana [OID\_20]

Dada su localización geográfica su clima es del tipo tropical cálido, que se caracteriza por una temperatura estable a lo largo del año, alrededor de 25 y 35 grados, aunque con excepciones en función de la altura de algunas zonas. Respecto a las estaciones, en República Dominicana se diferencian dos estaciones, estación seca y estación húmeda. Esta última ocupa generalmente los meses de Abril a Junio y de Septiembre a Noviembre. Además, su localización en esta zona del Caribe hace que se produzcan tormentas severas y huracanes entre Junio y Noviembre, lo que se conoce como

”temporada ciclónica”. Estas tormentas son frecuentemente una fuente de destrucción muy a tener en cuenta a la hora de analizar este país caribeño.

### 2.1.1. Situación económica

La economía de República Dominicana es una economía dinámica y que está progresivamente independizándose del sector primario, siendo líder en crecimiento, basándonos en el PIB, de toda Centroamérica y el Caribe con un crecimiento en 2019 del 5,1 %, tal y como se muestra en la Figura 2.2. Esta independencia lleva notándose varios años, siendo actualmente el sector servicios el que más contribuye al PIB con un 60,9 % seguido de la industria con un 26,68 % (A Anexo A). El mayor crecimiento relativo entre el año 2018 y 2019 <sup>1</sup> se ha dado en la construcción (10,4 %), servicios financieros (9 %) y energía y agua (7,5 %) [BCRD19]



Figura 2.2: Crecimiento Económico en América Latina [BCRD20]

Este alto nivel de crecimiento económico se debe a la intención de República Dominicana de convertirse en un país de alto ingreso para 2030, para lo cual está implementando unas políticas monetarias y fiscales más equitativas para reducir la brecha económica y reducir el porcentaje de la población en situación de alta necesidad. Estos objetivos se encuentran desarrollados en la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 [GRD\_12]. Pese a este crecimiento económico, República Dominicana se sigue considerando un país en vías de desarrollo con una clase social media-baja que conforma una gran parte de la población Dominicana. Esto se debe a distintos factores, evaluados por el Grupo del Banco Mundial (GBM) tras el cambio de gobierno en 2016. [GBM\_16] <sup>2</sup>

Los principales factores que convierten a República Dominicana en un país en vías de desarrollo son: la pobreza y prosperidad, la calidad y cobertura del gasto público, la calidad y eficiencia de servicios y la sostenibilidad del crecimiento. En primer lugar, destaca que el crecimiento económico del país no ha tenido como resultado una eliminación de la pobreza absoluta ni el logro de igualdad en el acceso a oportunidades. Esto se debe principalmente a la baja movilidad económica del país, es decir, existe una complejidad elevada para ascender de clase social en términos económicos. En la última década, solo un 2 % de la población ha conseguido subir de clase social. Actualmente, los

<sup>1</sup>Última cifra conocida antes del COVID-19

<sup>2</sup>Último documento redactado antes de las elecciones de 2020

datos de pobreza en República Dominicana muestran que un 21 % de la población se encuentra en estado de pobreza y un 2,7% en estado de pobreza extrema [ONE\_20].

Respecto a la calidad y cobertura del gasto público destaca la falta de cobertura en aspectos esenciales como el agua, el saneamiento, la electricidad y la conexión a internet, que pese a estar cubiertos por el gasto público carecen de continuidad y de calidad suficiente. Esta carencia de calidad en aspectos fundamentales afecta negativamente a la calidad de vida, la productividad y la capacidad competitiva de las personas. Entre otros motivos, existe el problema de la poca aportación de la población (impuestos) debido al alto nivel de informalidad de los empleos, que empujan a los trabajadores fuera de la seguridad social, lo que provoca una reducción de la contribución al gasto público por habitante. Esta contribución se encuentra por debajo de otros países de América Latina con un crecimiento económico inferior al de República Dominicana, tal y como se muestra en la Figura 2.3.

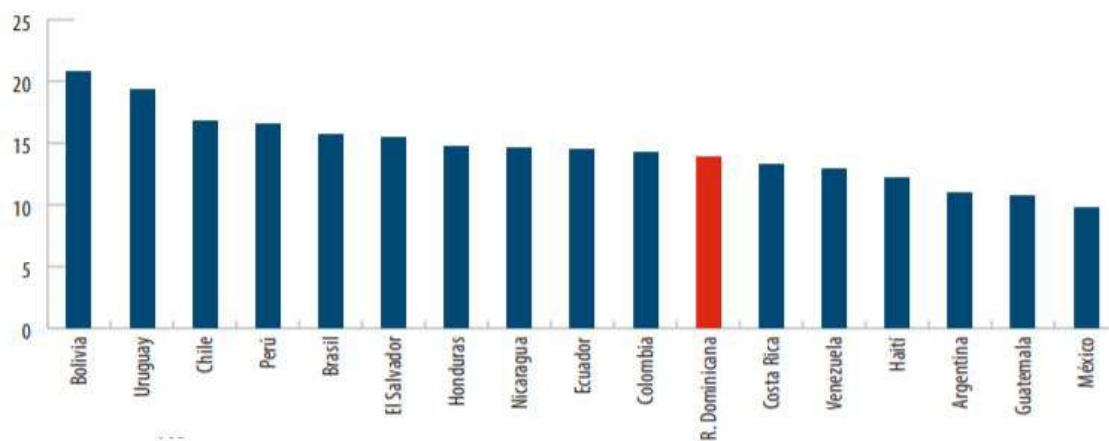


Figura 2.3: Contribución de RD en comparación con otros países de latinoamérica en porcentaje del PIB 2012 [GBM\_16]

En términos de calidad y eficiencia de los servicios, como se ha comentado anteriormente, la cobertura del gasto público en estos servicios básicos es pobre y genera intermitencia en el servicio. Respecto a los servicios de agua y saneamiento, un 78 % de los hogares consume agua embotellada y no de las redes públicas y menos del 80 % de las compañías abastecedoras de agua controlan la calidad del agua que distribuyen. Respecto a la distribución eléctrica, el sector también tiene un problema de intermitencia y una de las pérdidas de distribución más grandes de América Latina (Figura 2.4).

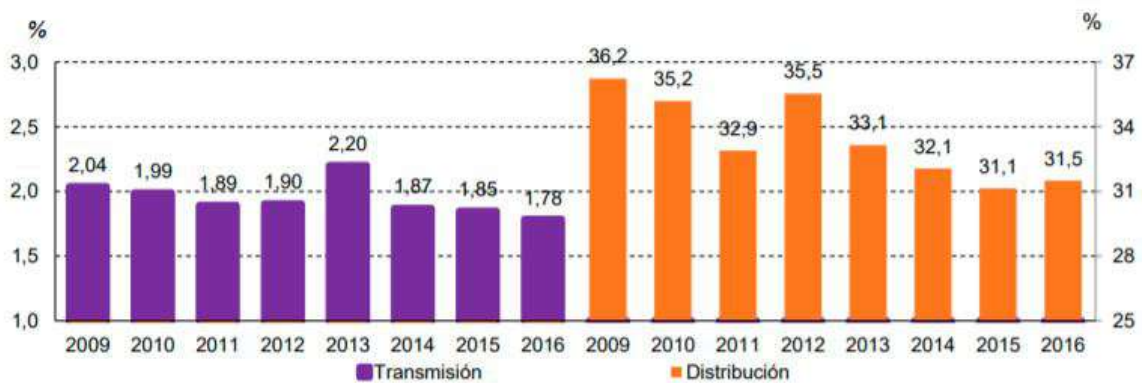


Figura 2.4: Pérdidas de transmisión y distribución de energía en RD [CEPAL19]

La baja calidad y poca eficiencia de los servicios se convierte en una carga para el gobierno, en constante atención a los fallos pero con escasa capacidad de hacer frente al desembolso económico, especialmente en el sector eléctrico y principalmente por la falta de organización y adecuación de precios a los costes de producción y distribución reales. Se considera que el 33% de las pérdidas eléctricas en República Dominicana, que se debe a un elevado nivel de obsolescencia de los equipos y al robo de electricidad, es el más bajo de la zona de América Latina y el Caribe, únicamente por debajo de Haití. Además de este problema de pérdidas, la República Dominicana cuenta con uno de los mayores índices de frecuencia de interrupción media de toda América Latina junto con una duración de interrupción promedio del sistema más altas de América Latina, lo que afecta muy negativamente a los hogares, especialmente a hogares pobres donde los cortes de suministro son más duraderos y frecuentes. Una empresa típica puede llegar a tener hasta 25 apagones al mes, comparado con 4 en la zona de América Latina y 8,8 en todo el mundo. Esto ha llevado a República Dominicana a ser considerada actualmente como el número 78 de 141 países en el Informe Global de Competitividad (Foro Económico Mundial) [GBM.16], donde sus peores puntuaciones se encuentran en la calidad del suministro eléctrico (12,3%), exposición a beber agua insalubre (62,4% de la población) y por último la fiabilidad de los servicios policiales (posición 132/141). [WEF.19]

Por último, en relación con la sostenibilidad de crecimiento, República Dominicana cuenta con un nivel de informalidad muy elevado, lo que se refleja en una falta de contribución ciudadana a las arcas públicas y altos niveles de fraude y evasión fiscal. Estos problemas deben ser atendidos con urgencia para conseguir un crecimiento sostenible a largo plazo y conseguir un nivel de bienestar nacional equiparable al crecimiento económico del que está siendo capaz de generar la República Dominicana. [GBM.16]

### 2.1.2. Situación social [PNUD19]

Para evaluar la situación social en República Dominicana se va a utilizar el Índice de Desarrollo Humano (IDH) junto con todas sus diferentes correcciones en función de tipos de desigualdad. De esta manera obtendremos un análisis más general de la situación en República Dominicana y sus principales fallas sociales. Posteriormente, en el análisis social de Bajos de Haina, se evaluarán con más exactitud los problemas sociales que se encuentran en esa región del país. Esto se hará así por las diferentes carencias que tienen las distintas zonas de República Dominicana.

El IDH es una medida elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para evaluar el progreso a largo plazo en tres niveles: la esperanza de vida, el acceso al conocimiento y un nivel de vida digno. El PNUD cuenta con una lista de 189 países y territorios, donde República Dominicana se encontró en 2018 en la posición 89 con un índice del desarrollo humano de 0,745. Este IDH se encuentra por debajo del de América Latina y el Caribe, con un promedio de 0,759. Los países más cercanos a República Dominicana en cuanto al IDH y en cuanto

a población son El Salvador y Jamaica, en las posiciones 124 y 96 respectivamente. Pese a este resultado, inferior al de los países de su entorno, en los últimos años República Dominicana ha crecido en muchos aspectos relacionados con este índice. En la Figura 2.5 se encuentra el progreso de RD desde 1990 hasta 2018 y en la siguiente figura (Figura 2.6) observamos la comparación del IDH entre República Dominicana, Jamaica y El salvador y también el promedio de América Latina y el Caribe.

	Esperanza de vida al nacer	Años esperados de escolaridad	Años promedio de escolaridad	INB per cápita (PPA en \$ de 2011)	Valor del IDH
1990	66.6	11.5	5.0	5,278	0.593
1995	68.2	11.9	5.8	6,263	0.624
2000	69.4	12.3	6.4	7,930	0.653
2005	70.8	12.6	7.0	8,665	0.675
2010	72.0	13.0	7.3	10,955	0.701
2015	73.2	14.1	7.8	13,127	0.733
2016	73.5	14.1	7.9	13,801	0.738
2017	73.7	14.1	7.9	14,197	0.741
2018	73.9	14.1	7.9	15,074	0.745

Figura 2.5: Índice de desarrollo humano en RD (1990-2018) [PNUD19]

	Valor del IDH	Clasificación según el IDH	Esperanza de vida al nacer	Años esperados de escolaridad	Años promedio de escolaridad	ING per cápita (en US\$ PPA de 2011)
República Dominicana	0.745	89	73.9	14.1	7.9	15,074
El Salvador	0.667	124	73.1	12.0	6.9	6,973
Jamaica	0.726	96	74.4	13.1	9.8	7,932
Latinoamérica y el Caribe	0.759	—	75.4	14.5	8.6	13,857
IDH alto	0.750	—	75.1	13.8	8.3	14,403

Figura 2.6: Comparación IDH entre RD y otros países similares [PNUD19]

El límite para que un país se considere como un país con un nivel de desarrollo humano alto es de 0,75, por lo que República Dominicana está cerca de conseguir este nivel, aunque por su puesto se observa que aún hay mucho espacio de mejora. Los dos factores en los que se encuentra por debajo de este IDH alto es en la esperanza de vida al nacer y en los años promedio de escolaridad, un problema generalizado en este país. A partir de este índice, se realizan ciertos ajustes atendiendo a distintas desigualdades presentes en los países en estos tres aspectos fundamentales mencionados. Esto significa que al IDH de un país se le descuenta el valor medio de la desigualdad en cada aspecto, dando lugar a lo que se conoce como el Índice de Desarrollo Humano ajustado por la Desigualdad (IDH-D).

El IDH-D de República Dominicana tiene un valor de 0,584, lo que significa una pérdida del 21,5% respecto al IDH. La pérdida del 21,5% se debe a la desigualdad en la distribución de los factores estudiados en el índice IDH. El Salvador y Jamaica obtienen unos resultados del 21,9% y el 16,7% respectivamente, y la reducción del IDH por causa de la desigualdad para los países con un índice de desarrollo humano alto está fijado en un 17,9% tal y como se muestra en la Figura 2.7. Estos resultados indican que en República Dominicana existe una desigualdad elevada, ya que en países similares el valor es menor, y además, no cumple con sus objetivos de convertirse en un país con un IDH alto.

	Valor del IDH-D	Pérdida total (%)	Coficiente de desigualdad humana (%)	Desigualdad en la esperanza de vida al nacer (%)	Desigualdad en la educación (%)	Desigualdad en los ingresos (%)
República Dominicana	0.584	21.5	21.4	17.0	19.1	28.1
El Salvador	0.521	21.9	21.6	12.5	29.1	23.2
Jamaica	0.604	16.7	15.9	10.0	5.6	32.0
Latinoamérica y el Caribe	0.589	22.3	21.7	11.6	19.5	34.1
IDH alto	0.615	17.9	17.6	10.0	14.8	27.9

Figura 2.7: IDH-D de República Dominicana en 2018 en comparación con países y grupos seleccionados

El índice de desarrollo de género es una medida que desglosa el IDH en función del género, y se define como la relación entre el IDH de las mujeres respecto al de los hombres. Este índice mide las desigualdades de género en base a las dimensiones básicas en las que se asienta el IDH. En este aspecto, el índice de desarrollo de género para República Dominicana es de 1,003, siendo el IDH de las mujeres de 0,744 y el de los hombres 0,742. Este índice es mayor que otros países comparables y mayor también que el límite establecido para los países con un IDH alto, lo que implica que en este aspecto República Dominicana tiene un desarrollo parejo entre ambos géneros. En la siguiente figura (Figura 2.8) se muestra un resumen de estos datos comparado con El Salvador y Jamaica, así como el promedio en Latinoamérica y el Caribe.

	Relación M-H	Valores del IDH		Esperanza de vida al nacer		Años esperados de escolaridad		Años promedio de escolaridad		Ingreso nacional bruto per cápita	
	Valor del Índice de Desarrollo de Género	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres
República Dominicana	1.003	0.744	0.742	77.2	70.8	14.8	13.5	8.3	7.6	11,176	18,974
El Salvador	0.969	0.654	0.675	77.6	68.2	11.9	12.2	6.6	7.3	5,234	8,944
Jamaica	0.986	0.719	0.729	76.0	72.8	13.9	12.4	10.0	9.5	6,326	9,559
Latinoamérica y el Caribe	0.978	0.747	0.764	78.6	72.3	14.9	14.1	8.6	8.5	9,836	18,004
IDH alto	0.960	0.732	0.763	77.8	72.7	14.0	13.6	8.0	8.6	10,460	18,271

Figura 2.8: Índice de Desarrollo de Género de República Dominicana en 2018 en comparación con países y grupos seleccionados

Este índice fue introducido en 2010, y refleja las desigualdades de género basadas en tres dimensiones: salud reproductiva, empoderamiento y actividad económica. Cada una de estas dimensiones se miden por medio de distintas tasas, la salud reproductiva se mide en función de la tasa de mortalidad materna y de fecundidad entre adolescentes; el empoderamiento se mide a través del porcentaje de escaños parlamentarios ocupados por mujeres, los logros de cada género en la educación secundaria y la educación superior; y la actividad económica se mide a través de la tasa de participación en el mercado laboral correspondiente a las mujeres y a los hombres. Este índice nos muestra la pérdida de desarrollo humano por la desigualdad entre los logros de las mujeres y los de los hombres. República Dominicana obtuvo un valor de 0.453, ocupando la posición 104<sup>o</sup> de 162 países. Este resultado tan bajo es tal mayormente por dos causas, la alta tasa de fecundidad entre las adolescentes (de 15 a 19 años) y el porcentaje de mujeres con al menos un año de educación secundaria, muy inferior al límite de un país con un IDH alto, tal y como se muestra en la Figura 2.9.

	Valor del Índice de Desigualdad de Género	Clasificación según el Índice de Desigualdad de Género	Tasa de mortalidad materna	Tasa de fecundidad entre las adolescentes	Esaños parlamentarios ocupados por mujeres (%)	Población con al menos un año de educación secundaria (%)		Tasa de participación en la fuerza de trabajo (%)	
						Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres
República Dominicana	0.453	104	92	94.3	24.3	58.6	54.4	50.9	77.6
El Salvador	0.397	92	54	69.5	31.0	39.9	46.3	46.1	78.9
Jamaica	0.405	93	89	52.8	19.0	69.9	62.4	60.4	73.9
Latinoamérica y el Caribe	0.383	—	68	63.2	31.0	59.7	59.3	51.8	77.2
IDH alto	0.331	—	56	33.6	24.4	68.9	74.5	53.9	75.6

La tasa de mortalidad materna se expresa como el número de muertes por cada 100,000 nacidos vivos; la tasa de fecundidad entre las adolescentes se expresa como el número de nacimientos por cada 1,000 mujeres de 15 a 19 años.

Figura 2.9: Índice de Desigualdad de Género de República Dominicana en 2018 en comparación con países y grupos seleccionados

El índice de pobreza multidimensional identifica a las personas que sufren múltiples privaciones superpuestas, se evalúa en tres dimensiones: salud, educación y nivel de vida. Para diferenciar a las personas pobres de las que no lo son se utiliza un límite del 33,3 % (un tercio de los indicadores ponderados). Si la puntuación es igual o superior a este 33,3 % se considera que el hogar se encuentra en un estado de pobreza multidimensional. Si la puntuación es superior al 20 % pero inferior al 33,3 % entonces se consideran como vulnerables a la pobreza multidimensional. Finalmente, si la puntuación es superior al 50 % se considera que las personas se encuentran en un estado de pobreza multidimensional extrema.

En la República Dominicana, el 3,9 % de la población vive en situación de pobreza multidimensional, mientras que el 0,5 % en pobreza multidimensional extrema. La intensidad de la privación en República Dominicana (puntuación media de la población en situación de pobreza multidimensional) es del 38,9 %, y el IPM (porcentaje de la población que sufre pobreza multidimensional, ajustado según la intensidad de las privaciones) se sitúa en 0,015 puntos, mientras que en El Salvador y en Jamaica se sitúan en 0,032 y 0,018 respectivamente. En la Figura 2.10 se muestra el dato de la pobreza económica para compararla con la pobreza multidimensional y dejar constancia que la pobreza económica no es el único problema, desglosando en el extremo derecho la aportación de las distintas dimensiones a la pobreza multidimensional. También se observa que el porcentaje de personas en estado de pobreza multidimensional es superior al de personas en estado de pobreza monetaria, lo que implica que personas que están por encima de la barrera de pobreza económica puede estar sufriendo pobreza en otros aspectos.

	Año de realización de la encuesta	Valor del IPM	Recuento (%)	Intensidad de las privaciones (%)	Porcentaje de población (%)			Contribución de las privaciones a la pobreza multidimensional global (%)		
					Vulnerable a la pobreza multidimensional	En situación de pobreza multidimensional extrema	Por debajo de la línea de pobreza monetaria	Salud	Educación	Nivel de vida
República Dominicana	2014	0.015	3.9	38.9	5.2	0.5	1.6	29.1	35.8	35.0
El Salvador	2014	0.032	7.9	41.3	9.9	1.7	1.9	15.5	43.4	41.1
Jamaica	2014	0.018	4.7	38.7	6.4	0.8	..	42.1	17.5	40.4

Figura 2.10: IPM más reciente de República Dominicana y comparación con países seleccionados

Desde 1990 hasta 2018 (últimos datos), la República Dominicana ha experimentado un incremento en su índice de desarrollo humano, caracterizado por un incremento de la esperanza de vida, los años de escolaridad y su índice de renta per cápita. Esta mejora es importante y merece recono-

cimiento, sin embargo, algunos de los factores analizados en este apartado son preocupantes para un país que aspira a pertenecer al grupo de índice de desarrollo humano alto, marcado por un IDH de 0,75. Como conclusión de este apartado, y para dar un enfoque más concreto al análisis realizado, a continuación se presenta un resumen de lo anterior profundizando en aquellos puntos relevantes y más preocupantes.

Un dato preocupante es el de la desigualdad del país, donde su índice percibe una pérdida del 21,5%. República Dominicana, pese a haber tenido un crecimiento económico elevado y sostenido, no ha sido capaz de transmitirlo a una mayor equidad entre los dominicanos. Esto se debe principalmente a la escasa inversión social y en la educación. En este último aspecto, la desigualdad alcanza el 19,1%. También, existe mucha desigualdad entre el ámbito rural y el ámbito urbano, esta diferencia abarca desde oportunidades de empleo hasta la propia infraestructura de las localidades. Otro dato muy preocupante es la tasa de mortalidad materna y la tasa de fecundidad entre adolescentes. Este problema tiene su raíz en la escasa inversión del país en el ámbito de la salud y en la poca concienciación poblacional en términos de educación sexual, que en términos generales, se puede globalizar en la escasa parte de la población con al menos 1 año de secundaria, únicamente el 58,6% de las mujeres y el 54,4% de los hombres.

## 2.2. Bajos de Haina: Panorama Económico

Bajos de Haina es una localidad situada en el municipio de San Cristóbal, en la costa caribeña de República Dominicana y muy cercana a la capital Santo Domingo (Figura 2.11). Esta localidad cuenta con una población de 83.582 habitantes en una superficie de 38,49  $km^2$  [ONE\_16]. Esta región de San Cristóbal esta situada en uno de los extremos del municipio, con el Mar Caribe al sur y colindante con las provincias de San Cristóbal, San Gregorio de Nigua y la capital Santo Domingo.



Figura 2.11: Ubicación de San Cristóbal y Bajos de Haina [ONE.15]

Bajos de Haina se convirtió en un municipio de la provincia de San Cristóbal el 27 de octubre de 1980 por la ley n° 178, y cuenta actualmente con dos secciones rurales, La Pared y El Carril. En sus inicios, previo a su constitución como municipio, Haina se dedicaba a la producción agrícola y a la pesca, hasta que en 1950 vivió un gran proceso de industrialización con la aparición de Central Río Haina, una empresa azucarera que surgió en el momento más importante de la industria del azúcar. Central Río Haina mantuvo la primacía de la industria local hasta 1980, momento en que la demanda del azúcar cayó. Esta empresa, además, indicó el inicio de una capacidad natural del municipio, la actividad portuaria. Tras el desplome de la industria azucarera, comenzaron a aparecer otro tipo de empresas, donde destacan una envasadora de gas propano y la primera central termoeléctrica del

país, que fue el comienzo a lo que se conoce como Complejo Termoeléctrico de Haina. [DJ\_10]

En 1973 se funda en Haina la Refinería Dominicana de Petróleo y en 1976 la Zona Industrial de Haina, un gran complejo industrial situado cerca del puerto y donde actualmente existen más de 50 empresas. Las principales ocupaciones de estas industrias eran la química, metalúrgica, de ensamblaje y la farmacéutica, que representan el 43% y concentran el 17% de los empleados de la zona. Otro hito importante de su crecimiento económico fue la instalación del parque Zona Franca Itabo, con 16 empresas dedicadas principalmente al ensamblaje de artefactos eléctricos, fabricación de fármacos y confección de textiles. Estas industrias constituyen el 54.3% del empleo de la zona industrial. [DJ\_10]

Actualmente, una de las características principales de Bajos de Haina es que cuenta con uno de los parques industriales más grandes de toda República Dominicana, en el cual se encuentran la única refinería de petróleo del país y empresas eléctricas que producen el 50% de la electricidad total consumida en República Dominicana. Además, el parque cuenta con más de un centenar de industrias de manufactura, químicos, productos farmacéuticos y artículos metalúrgicos entre otros. Aquí también se encuentra el puerto más importante del país, que alberga alrededor del 65% del movimiento total de mercancías [AMH\_20]. Todo esto convierte a la localidad de Bajos de Haina en el origen del 40% del PIB de toda República Dominicana [RTVE18].

Este uso de Bajos de Haina como zona industrial ha tenido consecuencias tanto en su economía como en su situación social, las cuales se analizan a continuación, pero también, la poca consciencia acerca de las condiciones medioambientales ha traído consecuencias para la salud y el medioambiente de esta zona de República Dominicana, siendo de las ciudades más contaminadas del mundo según un estudio de BlackSmith. [AMH\_20]

### 2.2.1. Pobreza y prosperidad

Bajos de Haina es una prueba de que la industrialización no tiene porque estar ligado a la prosperidad. Como se ha comentado, esta ciudad ha sufrido una fuerte industrialización y actualmente genera más del 40% del PIB del país [RTVE18]. Tanto poder económico concentrado en un solo municipio debería suponer un mejor nivel de vida de ese municipio, pero esto no sucede en Bajos de Haina.

El ayuntamiento de Haina percibe mensualmente 12 millones de pesos dominicanos (180.000 euros), de los cuales destina un 31% a servicios municipales, un 4% para salud y educación y un 40% en inversión. Desde 2004 se aprobó una ley que estableció que de la producción nacional, un 10% se devolvería a los ayuntamientos, pero esto está lejos de ocurrir. Con pocos recursos a pesar del valor generado en la zona, los bajohainenses tienen muchas necesidades insatisfechas por el ayuntamiento. Entre estas necesidades, las principales son la construcción de un acueducto, debido a la gran contaminación de acuíferos y pozos, la reconstrucción del hospital municipal, la distribución de energía eléctrica y la gestión de los residuos sólidos urbanos.

## 2.3. Bajos de Haina: Panorama Social

La precariedad en el empleo, los bajos sueldos por altas horas de trabajo y la alta tasa de fertilidad en adolescentes crean un panorama social muy difícil para los habitantes de Bajos de Haina [HO\_17]. A estos problemas se ha de sumar la contaminación causada por el vertedero que genera graves problemas de salud y la gran desigualdad que existe entre hombres y mujeres, donde la mujer adopta un papel subordinado al del hombre [CMF\_19].

El principal problema de Haina es la prostitución y la desigualdad entre hombres y mujeres, muy arraigada en la sociedad dominicana. Desde que nacen, se les instruye en unos valores diferentes entre hombres y mujeres, donde la mujer es la encargada de cuidar la casa y a los hijos mientras que el hombre tiene un rol protector y de superioridad económica. Además, sin pareja y con escasas oportunidades laborales, la prostitución es una salida muy utilizada como forma de supervivencia, incluso las propias madres llegan a obligar a sus hijas a la prostitución para poder comprar cosas. Todo esto es parte de la causa de la alta fertilidad en adolescentes, que desde muy jóvenes se ven encargadas de sus hijos sin poder trabajar o seguir formándose para poder tener una vida más digna.

Una de las organizaciones más presentes en mejorar esta situación son las Hermanas Oblatas del Santísimo Redentor, cuya misión es “la promoción de las mujeres, adolescentes y niñas que están en contextos de prostitución y/o violencia familiar y doméstica” [HO\_17]. Esta organización trabaja con población dominicana y haitiana en Bajos de Haina con el objetivo de mejorar la situación infantil y la de las mujeres que buscan un espacio de crecimiento y desarrollo personal. Se ofrece atención personalizada con talleres para que mujeres y niñas descubran sus talentos y puedan desarrollar una vida feliz fuera de las calles.

# 3 | Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

## 3.1. Introducción

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) es un conjunto de operaciones que abarca desde su recogida hasta su tratamiento en una planta adecuada o en un vertedero (Figura 3.1). Se considera un RSU cualquier residuo generado en un hogar, comercio, oficina y servicio, además de cualquier otro residuo que no pueda clasificarse de peligroso o que sus características puedan asimilarse a las de los residuos procedentes de los lugares citados anteriormente (industriales inclusive). Debido a que los residuos sólidos urbanos abarcan una gran cantidad de objetos, formas y materiales, su buena gestión es de vital importancia para un desarrollo sostenible de la actividad humana diaria. [UNED\_20]

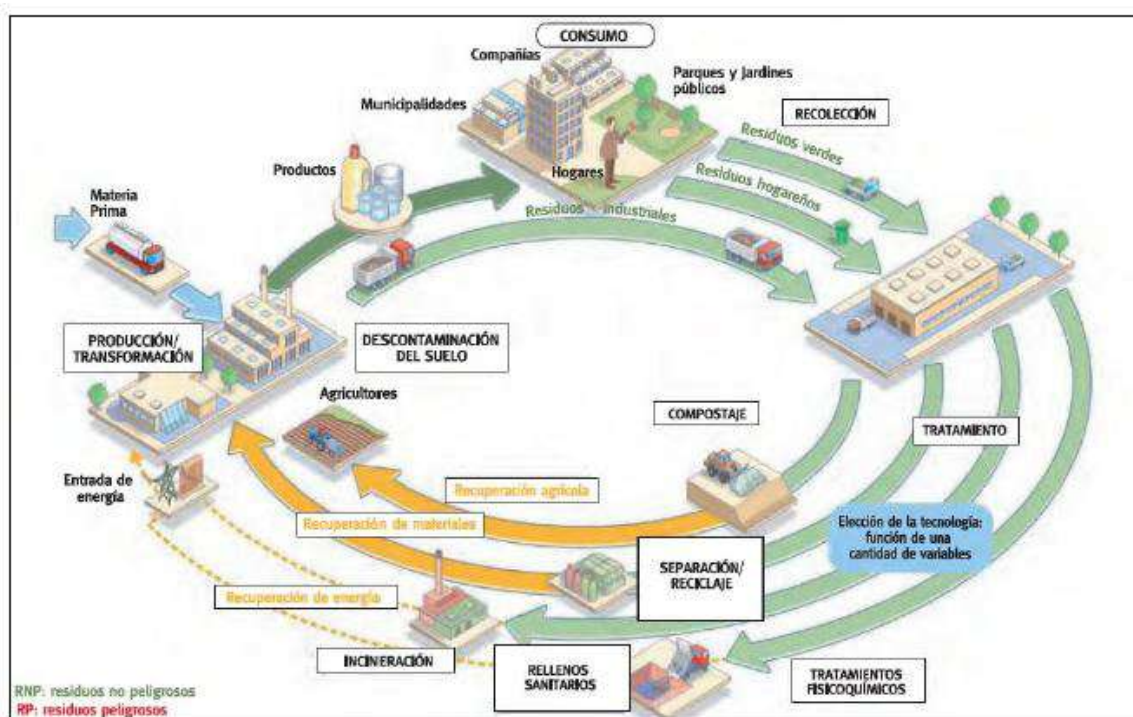


Figura 3.1: Diagrama del proceso de gestión de residuos [CEPAL16]

Alrededor de los años 90 comenzó a instalarse el término de Gestión Integral de Residuos Sólidos, que abarca todo el proceso de gestión de residuos desde su producción hasta su tratamiento o

almacenamiento. Con este término, también aparece una jerarquía de gestión de los residuos (Figura 3.2) donde la parte baja de la pirámide es la acción menos deseada, y la parte alta la que primero debe intentarse llevar a cabo. Con este término se pretendió poner el foco en la importancia de la reducción en origen y de la reutilización a la hora de gestionar los residuos. Es decir, ampliar el marco de la gestión de residuos no solo a como gestionar los residuos que consideramos en cuanto a cantidad y composición como inevitables, sino de buscar técnicas para reducir la cantidad de residuos producida y de fomentar la reutilización de materiales. Se suele referir a esta perspectiva como gestión “pre-consumo”, mientras que la visión tradicional de esta gestión ha sido “post-consumo”.



Figura 3.2: Jerarquía de Gestión Integral de los Residuos Sólidos [OPSD17]

Una buena gestión de los residuos urbanos es de gran importancia ya que tiene consecuencias en aspectos fundamentales como la salud y el medio ambiente. Es tal la importancia de estos dos aspectos, que los problemas relativos a la contaminación y deterioro generalizado del medio ambiente, relacionadas o no con la gestión de residuos sólidos urbanos, son ya consideradas igual o más importantes que los del aprovisionamiento de agua potable, alcantarillado, energía, transporte y comunicación. Esas actividades siempre consideradas esenciales, pasan a un segundo plano en poblaciones con problemas de supervivencia [CEPAL16].

La composición de los residuos sólidos urbanos es muy variada, los principales elementos que conforman estos son el vidrio, la madera, el plástico, papel y cartón, residuos orgánicos, textiles, metales y escombros (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Clasificación de residuos

Material	Residuos
Vidrio	Principalmente por envases o frascos de alimentos y botellas.
Madera	Principalmente por muebles y restos industriales.
Plástico	Principalmente por envases pero presente en numerosos elementos.
Papel y cartón	Principalmente por el empleado en periódicos, revistas y embalajes.
Residuos orgánicos	Restos de comida y vegetación.
Textiles	Ropa y otros elementos decorativos del hogar.
Metales	Latas, mobiliario, otros utensilios y restos industriales metálicos no peligrosos.
Escombros	Principalmente por pequeñas obras

Los residuos sólidos urbanos más generados a nivel mundial, Figura 3.3, son residuos orgánicos (44%), papel y cartón (17%) y vidrio (12%), según datos del *Grupo Banco Mundial* en 2018. Estos datos dependen esencialmente del nivel de vida de la población, el clima de ese año, las costumbres y los patrones de consumo [RED.09].

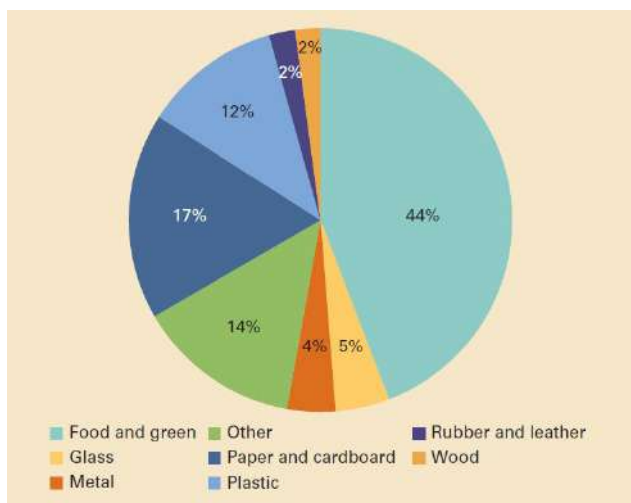


Figura 3.3: Composición global de residuos [GBM\_18]

En función del nivel de renta del país, los países de renta alta, tienden a desechar más papel, cartón, metal y plástico, que los países con renta baja, que más del 50 % de la composición de sus desechos se compone de residuos orgánicos. Otros materiales que también se ven muy afectados por el nivel de renta son la madera y el caucho, más consumidos en los países de mayor renta (Figura 3.4).

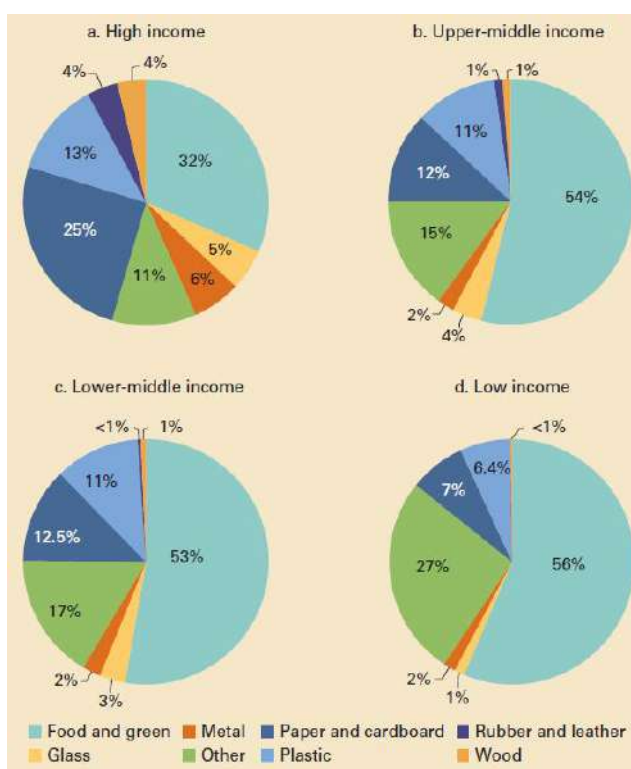
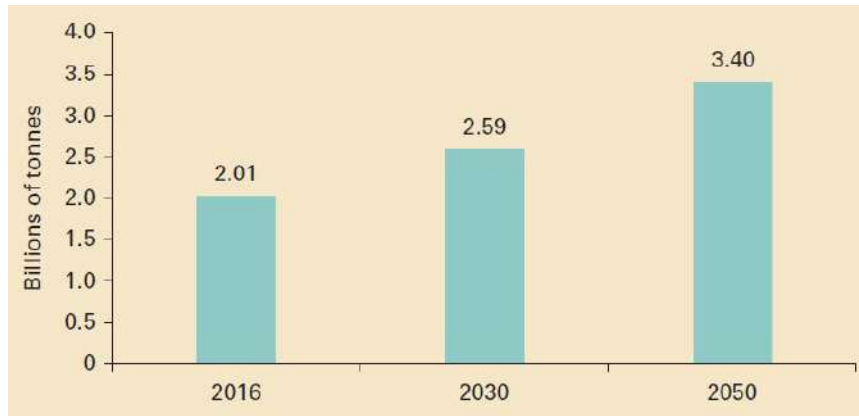


Figura 3.4: Composición de residuos por nivel de renta [GBM\_18]

El pronóstico según el *Grupo Banco Mundial* es que la cantidad de residuos generados por la humanidad va a sufrir un incremento de casi el 70% entre 2016 y 2050 (Figura 3.5) si no se toman medidas para una buena gestión. Esta gestión abarca desde la recogida de los residuos hasta su

tratamiento y/o almacenamiento en vertederos.



\*Billions of tonnes = Miles de millones de toneladas.

Figura 3.5: Proyección de la generación global de residuos [GBM\_18]

La gestión de los RSU es cara y puede llegar a suponer uno de los mayores gastos dentro de los presupuestos de una localidad de renta baja. Aproximadamente un 20 % de los recursos de una localidad de renta baja están destinados a esta actividad, mientras que en los países de renta media es un 10 % y en los de renta alta apenas llega al 4 % [GBM\_18]. La mayor parte de este gasto se invierte en la recogida y el transporte de los residuos.

## 3.2. Proceso

### 3.2.1. Pre-recogida

La *pre-recogida* consiste en la adecuada separación y caracterización de los distintos residuos. Al ser el punto de partida de todo el proceso, tiene un gran impacto en la calidad con la que se lleve a cabo esta gestión. En los últimos años se han estado facilitando medidas para que este proceso sea llevado a cabo con éxito, facilitando contenedores de distintos tipos y concienciando a la población de la importancia de esta fase. Este proceso está muy relacionado con el proceso de recogida que se realice posteriormente [AFCE06].

La primera vez que se comenzó a realizar esta tarea, no existía ningún tipo de diferenciación de los residuos, sin embargo, los métodos de recogida eran similares. En un principio, la recogida se hacía a granel, que consistía en que cada vivienda tenía un cubo no normalizado, y cuando pasaba el recogedor de basura vertía el contenido en un carro y, unos años más adelante en un vehículo de recogida. Después, el sistema pasó a recoger bolsas de basura que los usuarios depositaban en las aceras de sus casas y eran recogidas a mano por los servicios de recogida de residuos. Posteriormente se pasó a la recogida con recipientes individuales en el cual se ha colocado previamente una bolsa de plástico. Esta recogida se hacía de dos maneras, si el recipiente era normalizado se automatizaban los camiones de recogida, si no, se vertían las bolsas manualmente en el camión.

También existen métodos de pre-recogida colectivos, que se basan en contenedores de gran tamaño (770-800 litros) que pueden estar en las aceras (normalmente de plástico) o soterrados (normalmente de metal). En 1996 aparecen en España los primeros contenedores de gran tamaño, con modelos de 1.700, 2.400 y 3.200 litros, sin ruedas y que podían ser metálicos o de HDPE. Posteriormente, hubo una concienciación de la importancia de la separación de los residuos en su origen, lo que permite su reciclado y su revalorización. Esta concienciación llevó a implementar distintos cubos en los procesos de pre-recogida para separar en función de las características de los residuos. Normalmente

la separación se hace entre vidrio, papel, envases y orgánico y restos. Existen distintos modelos de recogida selectiva, donde destacan dos por ser los más utilizados (Figura 3.6).



Figura 3.6: Modelos de recogida de RSU [MGD\_07]

En el proceso de pre-recogida selectiva, existen varios factores que afectan a la calidad y a la rentabilidad del servicio (Figura 3.7), en el origen destacan las fuentes, la cantidad, la composición y el nivel de reducción en origen, y en el proceso de pre-recogida destacan otros factores a continuación comentados [AGI.08].

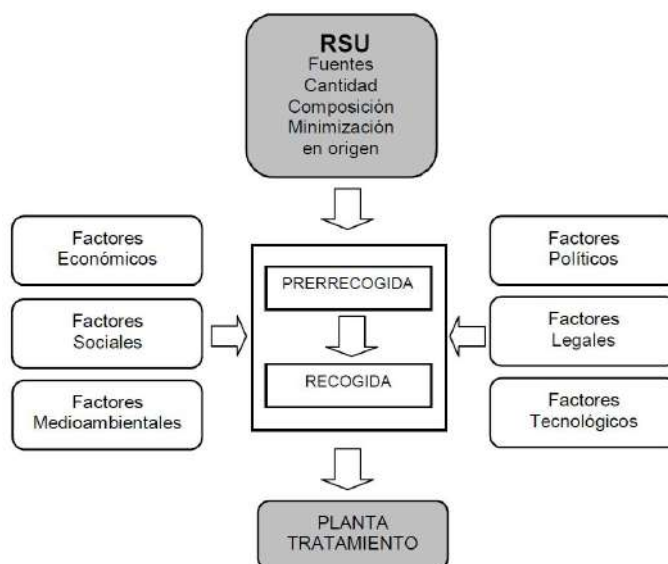


Figura 3.7: Esquema de recogida selectiva [AGI.08]

- Factores Económicos: se minimizan los costes de recogida, se recuperan materiales de gran valor, se crea una demanda de productos reciclados, se reducen los precios de la electricidad y combustibles con el aprovechamiento de los residuos para generar energía, etc.
- Factores Sociales: existe una demanda por parte de la sociedad para la implementación de programas de recogida selectiva.
- Factores Medioambientales: se minimizan los residuos y se restringen los niveles de emisiones.
- Factores Políticos: programas políticos desarrollados en la materia de residuos y reutilización.
- Factores Legales: el cumplimiento de las restricciones impuestas por organismos locales o mundiales.
- Factores Tecnológicos: desarrollo tecnológico para cumplir los objetivos establecidos.

### Pre-recogida en República Dominicana

En República Dominicana los mecanismos de pre-recogida son muy escasos y prima la separación irregular de residuos (donde personas se encargan de recolectar los residuos con algún tipo de valor) y posteriormente la disposición del resto en lugares sin la infraestructura necesaria donde esperan a su recogida. Situaciones como la dispuesta en la Figura 3.8 son típicas y se observa una separación nula de los residuos y la disponibilidad de un único contenedor, a rebosar de residuos.



Figura 3.8: Residuos dispuestos de manera irregular en San Cristobal [JW\_\_18]

Idflicamente, el modelo de recolección de residuos en república dominicana consta de seis colores, y distinguen los residuos procedentes de cocina, jardines, plástico, madera, papel y textiles. El código de colores utilizado y su significado se representa en la Figura 3.9.



Figura 3.9: Código de colores en República Dominicana [OPSD17]

### 3.2.2. Recogida y Transporte

La *recogida* y el *transporte* son el segundo y tercer paso, y han de realizarse en contenedores preparados con destino final una planta de tratamiento o de almacenamiento [AFCE06]. Este proceso ha ido evolucionando independientemente, y después, de la mano de las técnicas de pre-recogida mencionadas en el apartado anterior, se ha modificado para realizar una recogida y un transporte selectivo. En los últimos años la recogida de residuos de manera selectiva ha ido aumentando, de todas formas, la recogida de residuos mezclados sigue siendo mucho mayor que la de residuos separados (Figura 3.10).

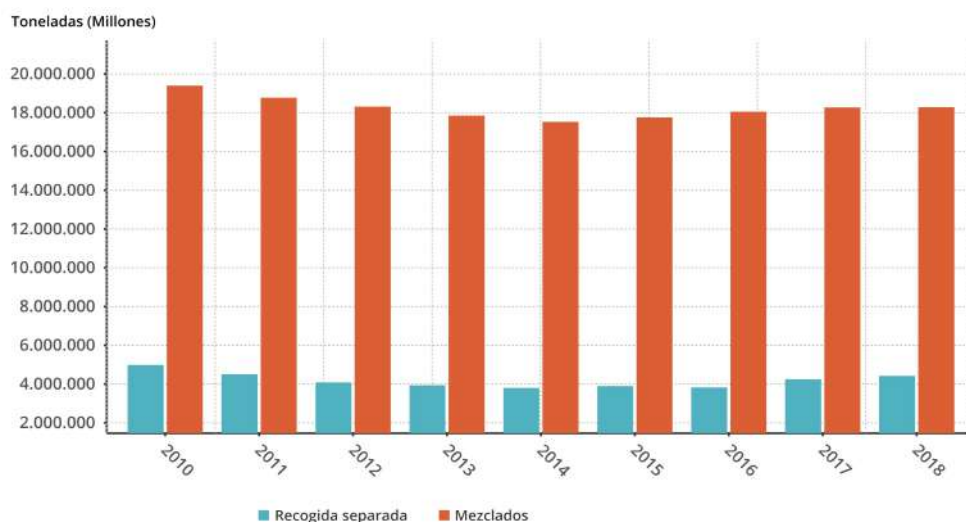


Figura 3.10: Evolución de los residuos urbanos recogidos por tipo de residuo en España [ED\_18]

Actualmente existen distintos tipos de recogida (Figura 3.11), la recogida en acera, recogida en áreas de aportación, recogida puerta a puerta y recogida en centros de aportación voluntaria. La recogida en acera consiste en recoger los residuos en contenedores situados a menos de 50 metros de los domicilios. Estos contenedores pueden ser propios del domicilio o situados en la vía pública, que pueden ser contenedores soterrados o de carga lateral. Los contenedores soterrados son una opción que cuida en mayor medida el impacto visual y el espacio disponible en la calle, sin embargo el coste es mayor que los contenedores de carga lateral.

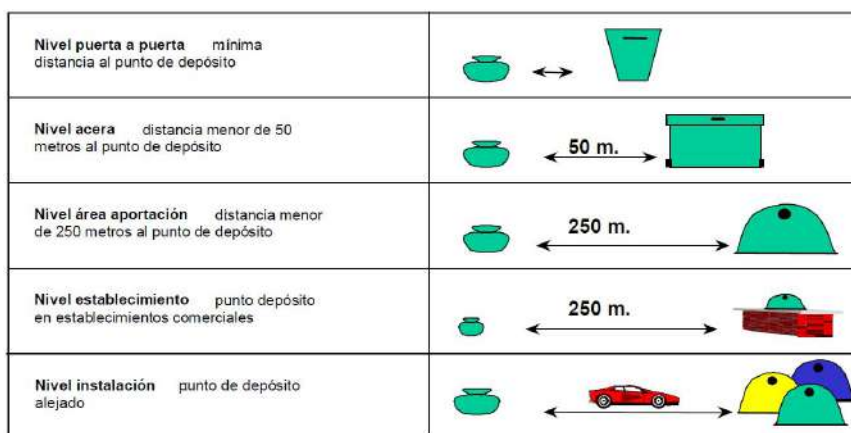


Figura 3.11: Tipos de recogida [AGI.08]

La recogida en áreas de aportación consiste en zonas dentro de las ciudades donde se agrupan contenedores para la recogida selectiva. En estas áreas normalmente se dispone de contenedores de vidrio, papel y cartón y plástico principalmente, y cada vez es más frecuente encontrar contenedores destinados a la recogida de materiales textiles. Aproximadamente estas áreas se sitúan a 150 metros de las viviendas y pretenden alcanzar una media de 500 habitantes/contenedor. La recogida puerta a puerta se efectúa directamente en la puerta de las viviendas y/o comercios, y recoge aquellos residuos de difícil gestión para garantizar su correcto tratamiento y evitar actitudes incívicas. Este método aplica también a calles estrechas donde no pueden acceder los servicios de recogida tradicionales. Normalmente, los residuos que se recogen mediante este método son muebles, restos de poda y animales muertos. Finalmente, los centros de aportación voluntaria consisten en instalaciones dotadas de contenedores específicos para residuos peligrosos de origen doméstico, residuos valorizables y residuos especiales a sacar del flujo normal de RU. La función principal de estas instalaciones es la de facilitar la separación de los distintos tipos de residuos y además se consigue separar los residuos peligrosos generados en el uso doméstico, evitar el vertido incontrolado de residuos, aprovechar los materiales contenidos en los residuos y buscar la mejor solución para cada tipo de residuo. [EOI\_07]

Cada uno de los tipos de recogida requiere de un tipo específico de transporte en función del recorrido, el volumen de residuos y del tipo de contenedor que se ha empleado. Además, el transporte puede realizarse de forma directa, mediante vehículos de recogida que se encargan de la recogida y el transporte hasta el centro de transformación, o mediante *plantas de transferencia*, donde se compactan los residuos para reducir su tamaño antes del transporte hasta la planta de tratamiento. Normalmente, el primer método se utiliza cuando la distancia entre el punto de recogida y el punto final de los residuos es menor a 15-20 km y el segundo método cuando la distancia excede de 15-20 km. Dentro del segundo método existen dos variedades en función del volumen de carga, si la cantidad de residuos es grande se utilizan estaciones fijas de compactación automatizadas, y si son pequeñas cantidades se utilizan contenedores abiertos o autocompactadores.

Los vehículos de recogida pueden ser de caja abierta o compactadores. Los vehículos de caja abierta no disponen de un sistema de compactación y pueden o no tener un sistema automático de carga (peine trasero, pluma, etc). Normalmente los vehículos de caja abierta se emplean para la recogida de muebles, restos de poda, vidrio y cartón, en general materiales de difícil compactación. Los vehículos compactadores son de caja cerrada y también pueden disponer o no de sistemas de carga automatizados (aunque normalmente disponen de ellos). Estos vehículos se emplean habitualmente para la recogida de residuos domésticos. En función del sistema de carga del que dispongan se clasifican en:

- De carga trasera: sistema habitual, los operarios acercan el contenedor a la parte trasera del vehículo hasta el dispositivo que lo eleva y se vacía automáticamente.
- De carga lateral: el vehículo recoge de forma automática los contenedores. Normalmente se utiliza con contenedores soterrados o contenedores de gran tamaño.
- De carga frontal: Similar al de carga trasera pero por la parte frontal.

La recogida bicompartida consiste en utilizar vehículos con compartimentos diferenciados para la recogida selectiva. Esto se introdujo principalmente para reducir el número de viajes a realizar. Por último, existen sistemas neumáticos de recogida de residuos. Estos sistemas consisten en que los residuos se transportan desde su lugar de origen hasta una central de recogida o un camión específico. El proceso consiste en que la basura se deposita en unos buzones instalados en el interior de los edificios, o en la vía pública, y se compacta en contenedores herméticamente cerrados antes de ser transportada al lugar en el que se procede a su tratamiento final. Existen dos tipos en función de si se encuentran en las viviendas o en la vía pública:

- Sistema fijo: “El ciclo de recogida se inicia en los rellanos de las viviendas o en la calle. Las bolsas son depositadas a través de una compuerta en un tubo vertical que hace las veces de bajante. Las basuras caen por efecto de la gravedad hasta la válvula que está instalada

en el sótano, y que se mantiene cerrada, donde son almacenadas. La válvula de funcionamiento neumático conecta con una red de conductos horizontales que llegan a la central de recogida.” [EOI.07]



Figura 3.12: Sistema neumático fijo de recogida de RSU [LIP\_20]

- Sistema móvil: “El ciclo de recogida se inicia en la calle, donde se han instalado unos buzones, conectados entre sí por debajo del suelo. La aspiración se realiza desde un camión que se conecta a uno de los extremos del circuito. Las basuras retenidas, son aspiradas por la corriente de aire al abrirse las válvulas situadas en los extremos inferiores de las bajantes verticales.” [EOI.07]

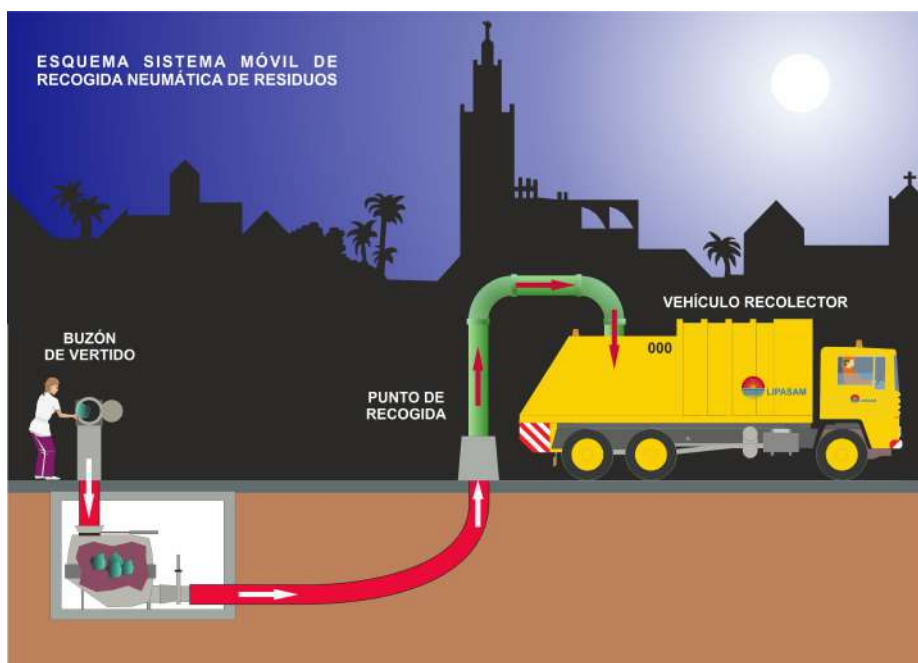


Figura 3.13: Sistema neumático móvil de recogida de RSU [LIP\_20]

### Recogida y transporte en República Dominicana

En República Dominicana los servicios de recogida son realizados mayormente por los ayuntamientos, a los cuales los usuarios pagan una tarifa mensual. Además, las ciudades más grandes tienen estos servicios externalizados en empresas privadas que se encargan de la tarea.

Respecto a los equipos, normalmente en las zonas urbanas los más utilizados contienen mecanismos de compactación o una placa empujadora e incluyen algún tipo de mecanismo de volteo (pueden ser de carga trasera, carga lateral o carga frontal). En las zonas rurales se utilizan más camiones de cama fija (llamado caja abierta en España) donde es el personal de recogida el encargado de recoger y lanzar la basura dentro del camión. Además, estos operarios normalmente necesitan colocar la basura dentro del camión para que este pueda contener la mayor cantidad posible. [OPSD17]

### 3.2.3. Tratamiento y/o almacenamiento

Por último, el *tratamiento*, este paso consiste en realizar las operaciones necesarias para devolver valor a los residuos o para convertirlos en un residuo almacenable que no ponga en riesgo a la salud ni al medioambiente. Este proceso ha de ser específico para cada tipo de residuo, por eso el paso de pre-recogida es muy importante, ya que debemos evitar contaminar un tipo de residuo con otros que no contengan las mismas características. Actualmente, las formas de devolver valor al residuo o almacenarlo son el reciclaje, la valorización energética y por último el vertido controlado (vertederos). [AFCE06]

Dentro del tratamiento y almacenamiento de residuos, existen diferentes sistemas cuya elección no es incompatible con otros sistemas, sin embargo, se elegirán en función de factores externos, mayormente aspectos legales y económicos. Según las sociedades avanzan estos sistemas se vuelven más complejos y más caros, pero los costes se pueden reducir con la generación de productos de mayor valor y la generación energética. Actualmente, los principales procesos se pueden resumir en plantas de clasificación de residuos, plantas de compostaje y biometanización, plantas incineradoras, de gasificación, termólisis y pirólisis y vertederos y otras instalaciones de eliminación. [EOI.07]

Los parámetros más importantes para la elección de los distintos procesos deben ser:

- Cantidad de residuos generados y características.
- Marco legal, objetivos de reciclado y valorización.
- Criterios económicos, inversiones y costes de explotación.
- Mercado de subproductos recuperables y energía.
- Respuesta social.
- Disponibilidad de terrenos. Elección del emplazamiento idóneo en función de criterios técnicos, medioambientales y económicos.

#### Plantas de clasificación de residuos

Las plantas de clasificación de residuos son instalaciones destinadas a la clasificación, separación, recuperación y expedición de productos reciclables para su procesado posterior. Desde una perspectiva general, las plantas de clasificación de residuos están compuestas por los siguientes procesos y maquinaria [EOI.07]:

1º Área de recepción de residuos.
2º Alimentación de residuos. Maquinaria para la carga de las líneas de proceso. - Pulpos en brazo hidráulico o en puente-grúa. - Pala cargadora. - Alimentadores de banda metálica.
3º Sistema de separación de residuos voluminosos. - Mediante cribas (trómel). - Triaje manual.
4º Sistema de apertura de las bolsas de residuos. - Abrebolsas. - Ganchos.
5º Sistema de alimentación de las líneas de proceso. - Separación por tamaños realizada por: + Cribas giratorias (trómel). + Cribas de barras. - Separaciones balísticas realizadas por: + Balísticas de lanzadera. + Balísticas de rebote. + Balísticas de plano inclinado.
6º Sistema de selección de productos - Triaje manual. - Separadores automáticos, fracciones metálicas principalmente, incluido bricks: + Separadores magnéticos “over-band” . + Separadores magnéticos de tambor. + Separadores electrostáticos. + Separadores de inducción. - Separadores automáticos de plásticos. + Separadores ópticos. + Campanas de aspiración y Ciclones.
7º Sistema de preparación para la expedición de productos. - Contenedores abiertos de productos (vidrio), y rechazos. - Prensado de productos (papel-cartón, plásticos y metales), y rechazos. - Compactación de rechazos.

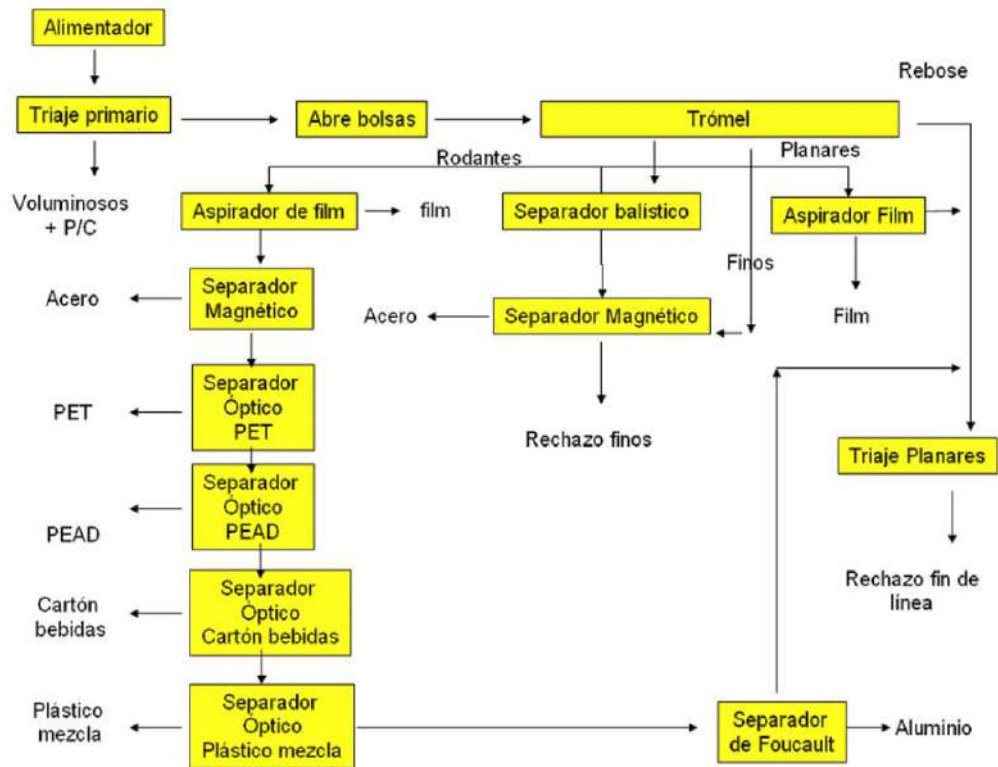


Figura 3.14: Proceso de selección de residuos de envases en Leganés [LA...15]

Normalmente, las plantas de clasificación se centran en la clasificación de envases ligeros y en la clasificación de la fracción de “todo uno” y restos.

Las plantas de clasificación de envases ligeros son infraestructuras que posibilitan la clasificación de lo que suele considerarse como “bolsa amarilla”, es decir, envases y resto. Para llevar a cabo esta clasificación, primero se realiza la separación de voluminosos (papel-cartón y plásticos de gran tamaño) para posteriormente, mediante cribas, separadores balísticos <sup>1</sup> o triaje manual separar el resto de componentes. [EOI.07]

El tamaño de las cribas (separación entre barras) se elige en función de los tamaños de las fracciones a separar y de los objetivos específicos de la planta (separar envases de impropios, separar envases por tamaños, etc). En el primer caso, la criba normalmente dejará pasar la componente de impropios, que serán restos de orgánicos y chatarra fina mayormente. La parte rechazada por las cribas se someterá a un triaje manual o a separadores automáticos capaces de diferenciar distintos tipos de envases; plásticos, metálicos y compuestos (bricks), e incluso impropios (vidrio y papel y cartón). Una planta de clasificación de pequeños envases debería ser capaz de distinguir los siguientes componentes:

<sup>1</sup>El separador balístico permite la separación del material por peso específico. Estos equipos son fácilmente regulables para adaptarse a los requerimientos del proceso y están dotados de grandes sistemas de seguridad y preparados para facilitar su mantenimiento.

Fracciones a separar	Metales	Metales férricos.
		Metales no férricos (aluminosos).
	Plásticos	Politereftalato de etileno (1-PET).
		Polietileno de alta densidad (2-PE-HD).
Polietileno de baja densidad (4-PE-LD).		
Polipropileno (5-PP).		
		Otros plásticos mezclados (7).
		Cartonajes compuestos (tetra-bricks y similares).
		Papel y cartón.
		Vidrio.

A continuación, las plantas de clasificación de la fracción de “todo en uno” y restos. Estas plantas requieren de una separación previa que diferencia la materia orgánica de otros productos valorizables que puedan estar presentes en las bolsas (papel, cartón, vidrio, etc). Si se realizase una correcta separación en origen, este paso podría eliminarse del proceso.

Si el objetivo del tratamiento es obtener compost o metanizar la materia orgánica, la planta debe contar como mínimo de un sistema de separación de voluminosos (papel-cartón y plásticos de gran tamaño), dispositivos abre bolsas, recuperación de vidrio y trómel (criba gravitatoria) de clasificación. El tamaño de la criba se decide en función de los tamaños de la fracción orgánica presente, que se situará normalmente entre 70 y 100 mm. La materia que sobrepase la criba será principalmente la fracción orgánica además de un porcentaje de impropios, los cuales es necesario extraer antes del compostaje o de la metanización. El rechazo de la criba (vidrio, plásticos, papel y cartón y chatarras) se conduce hacia cintas de triaje manual o automático para su particular tratamiento. Todo este proceso posibilita el aprovechamiento energético, con la biometanización, y el empleo de la materia orgánica como corrector de suelos, mediante el compost o el digerido de la biometanización. [EOI.07]

### Plantas de compostaje y biometanización

Las plantas de compostaje se emplean en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos. Este tipo de tratamientos son un adecuado procedimiento de valorización de residuos, los tratamientos biológicos en general, y en concreto el compostaje y la digestión anaerobia dan lugar a un compost que aporta materia orgánica al suelo, elemento muy necesario para el suelo. [EOI.07]

Para que el compost generado tenga demanda y sea algo económico de producir es necesario que tenga una buena calidad, esto consiste en un bajo contenido de impurezas, metales pesados, patógenos, etc, y que se utilice correctamente en el suelo. Para poder generar este compost de buena calidad, es imprescindible una recogida selectiva de la fracción orgánica de los RU, el tratamiento controlado y la vigilancia de su calidad. La utilidad del compostaje es la de mejorar los suelos, ya que da cuerpo a las tierras ligeras, disgrega a las compactas, evita la formación de costras y airea las raíces, regulando la permeabilidad y el drenaje de los mismos. Por ello, las actividades en las que se utiliza son agrícolas, y en concreto frutales, viñas, cítricos, olivos, cultivos hortícolas, floricultura y jardinería. Los sistemas de compostaje se pueden clasificar en dos grupos:

- **Sistemas abiertos.** El sistema más generalizado. Se trata de la realización de pilas (agrupamiento de residuos en montones que generalmente adoptan forma triangular, con una altura recomendada menor de 2,7 metros, y sin una limitación en cuanto a su longitud) con diferentes sistemas de aireación.
- **Sistemas cerrados.** Se trata de la utilización de un reactor o digestor. Los principales sistemas cerrados de compostaje son; en tambor, en túnel, en contenedor y en nave.

El compostaje consiste en un proceso biológico, **aeróbico** y termófilo (incremento progresivo de la temperatura) de descomposición de la fase orgánica de los residuos en fase sólida. Esta descomposición se hace de manera controlada para conseguir la transformación de estos residuos en un producto más estable que se pueda aplicar como abono a los suelos. El proceso propiamente de compostaje consta de dos fases [EOI.07]:

- Fase termófila. “En esta etapa se produce un aumento progresivo de la temperatura del material a compostar. Hacia los 70<sup>o</sup> C cesa prácticamente la actividad microbiana. La aireación de este compost provoca el reinicio del proceso.”
- Fase de maduración. “En esta etapa ya no se producen las variaciones tan acusadas de temperatura obtenidas en la fase anterior debido a la limitación de nutrientes, desarrollándose tanto organismos mesófilos como termófilos, con un descenso importante de la actividad microbiana.”

Los parámetros más importantes para conseguir un buen entorno para que los microorganismos desarrollen su actividad son: temperatura, humedad, pH, oxígeno y balance de nutrientes.

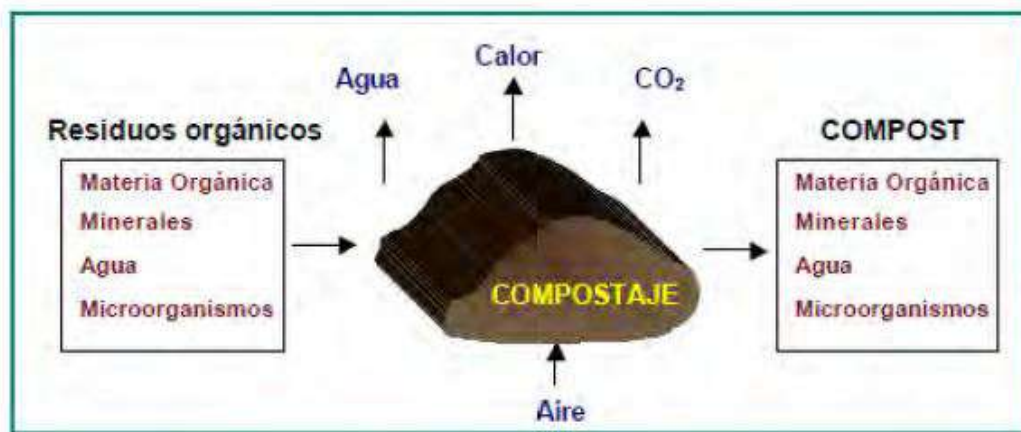


Figura 3.15: Proceso de compostaje. [FOC.17]

Respecto al proceso de biometanización, este proceso consiste en la **digestión anaerobia** de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos. La principal característica de este proceso es que se realiza en ausencia de oxígeno (anaeróbico) y que mediante bacterias, hongos y actinomicetos se genera biogás, con alto contenido en metano y dióxido de carbono (posible combustible para la generación de energía eléctrica).

Tras finalizar el proceso de digestión, el resto puede ser secado y compostado para convertirlo en abono, o también aplicarse directamente en función de la estabilización alcanzada en la digestión. Este compost presentará unas características más pobres que el producido en el proceso de compostaje, pues parte de la materia orgánica se ha consumido en el proceso [EOI.07].

Los distintos procesos de biometanización se pueden dividir en tres:

- Vía hidrolítica.
- Vía húmeda.
- Vía semihúmeda, también llamada seca.

Los procesos de esta forma de aprovechamiento son:

- Preparación de la materia orgánica a digerir.

- Proceso de digestión.
- Proceso de depuración del digerido obtenido.
- Aprovechamiento del biogás.

Este proceso, además, depende del contenido en sólidos volátiles biodegradables <sup>2</sup> (no sintéticos). Normalmente la cantidad de biogás producida se encuentra entre 450 y 500 metros cúbicos normales por cada tonelada de sólidos volátiles, y tarda entre 3 y 25 días. Dentro de estos grupos genéricos, atendiendo a la continuidad del proceso, los sistemas de gestión se dividen a su vez en sistemas continuos o discontinuos.

Las ventajas que presentan estos sistemas son:

- Escasa ocupación de suelo.
- Posibilita el tratamiento conjunto de RU, fangos procedentes de EDAR, y purines.
- Se genera energía eléctrica al utilizar el biogás como combustible.
- No se generan malos olores en los procesos de digestión anaerobia.
- Tiene buena aceptación social por la posibilidad de utilización del residuo final con fines agrícolas, o como corrector de suelos, en función de su composición.

Los inconvenientes que tiene en la actualidad este sistema son:

- Se trata de un proceso más complejo que el compostaje aerobio, y requiere de un control exhaustivo del material de entrada, homogeneidad, escasa proporción de inertes, etc. Ya que se trata de un proceso muy sensible a los cambios en los flujos de entrada. Este proceso tiene su origen en el aprovechamiento de gas generado en la digestión de purines.
- Se generan unos efluentes, como consecuencia del propio proceso, que deben ser tratados para adecuar su vertido, o reintroducirlos en el sistema.
- Presenta costes de inversión y de explotación más elevados que el compostaje, y muy principalmente,
- Es una tecnología que en España, hoy día, no presenta unos resultados satisfactorios.

### **Plantas incineradoras, de gasificación, termólisis y pirólisis**

Estos procesos se realizan con los residuos que no pueden ser reciclados, por lo que se usa el rechazo de los demás procesos usados para el aprovechamiento de los residuos. Con estos restos se pretende obtener valor a partir de tratamientos térmicos, aprovechando la energía liberada en estos procesos [EOI\_07].

Los distintos tratamientos térmicos se diferencian, dependiendo de las condiciones en las que se realiza la conversión térmica de los residuos pudiéndose clasificar en los siguientes grupos.

- **Incineración:** Consiste básicamente en la combustión en condiciones estequiométricas <sup>3</sup> de los RU. Para ello es necesario un exceso de aire y asegurar que el oxígeno llega a toda la masa de residuos. El calor generado posibilita el aprovechamiento energético de éstos.

<sup>2</sup>La porción de la materia orgánica que puede eliminarse o volatilizarse cuando una materia orgánica se quema en un horno. [OSMAN21]

<sup>3</sup>Cuando los reactivos de una reacción están en cantidades proporcionales a sus coeficientes estequiométricos. <https://estequiometriarocks.webnode.es/news/condiciones-estequiometricas/>

- **Gasificación:** término que se utiliza para describir el proceso de combustión parcial de los residuos no inertes en condiciones subestequiométricas. Mediante el proceso se genera un gas con altos contenidos en monóxido de carbono, hidrógeno y algunos hidrocarburos saturados, principalmente metano. El gas generado puede ser utilizado como combustible para producir energía.
- **Pirólisis:** La pirólisis consiste en la conversión térmica de los residuos en ausencia de oxígeno, para la obtención de combustibles líquidos o gaseosos. Se diferencia de la gasificación en que debe utilizarse una fuente externa de energía para hacer posibles las reacciones endotérmicas que tienen lugar en el proceso. Puede considerarse una destilación.
- **Termólisis:** Los residuos son sometidos a temperaturas intermedias en ausencia de aire, para producir combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

A día de hoy, únicamente la incineración ha conseguido dar unos resultados con las suficientes garantías técnicas y ambientales. Sin embargo, este tratamiento requiere de las mayores inversiones, personal más cualificado y mayores cuidados de mantenimiento. Esto implica que esta medida es la mejor opción cuando por restricciones geográficas mayormente, no puede emplearse otra. Estas restricciones se refieren a la falta de espacio para el vertido, lo que ocurre en grandes núcleos urbanos y en islas de pequeño tamaño. Es, en cualquier caso, un sistema empleado, fundamentalmente, en las zonas más desarrolladas del mundo. La incineración como sistema de tratamiento de los RU, presenta las siguientes ventajas [EOI\_07]:

- Escasa ocupación de suelo.
- Reducción en cantidades muy importantes de los residuos a verter (aproximadamente en un 80 %).

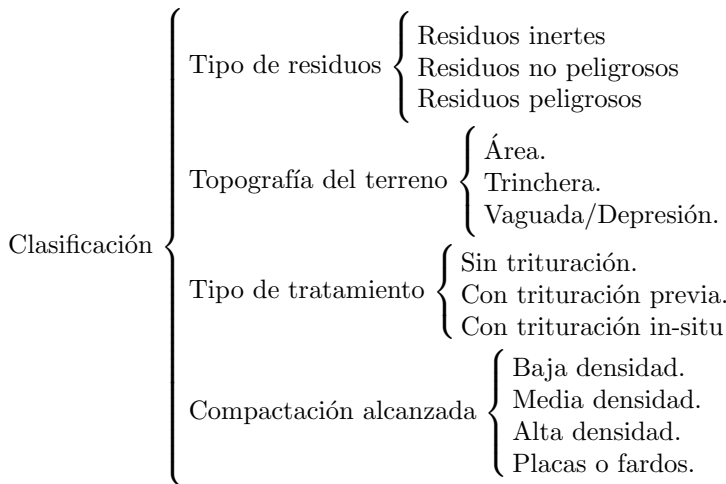
### **Vertederos y otras instalaciones de eliminación**

Un vertedero es una instalación de eliminación de residuos que puede ser subterráneo o en superficie. Estas instalaciones están diseñadas para que el tiempo de permanencia de los residuos sea superior al considerado como almacenamiento temporal [GOES20]. La vida útil de un vertedero es de alrededor de 13 años, aunque después de su clausura hacen falta alrededor de 30 años de post-mantenimiento [JFA\_16], mientras que el límite de tiempo de almacenamiento temporal es de 2 años si el residuo se va a destinar a revalorización y de 1 año si se va a destinar a eliminación [RM\_20]. Los vertederos son la última opción en el proceso de gestión y aprovechamiento de residuos, pero siguen siendo un elemento indispensable dentro de la gestión de residuos sólidos urbanos. Esto se debe a que [EOI\_21]:

- Las técnicas de reducción en origen (minimización, reciclado, valorización, etc.) no garantizan por sí solas la desaparición de los residuos.
- Algunas tecnologías de tratamiento de residuos generan a su vez nuevos residuos (como los lodos de tratamiento físico-químico, fangos de tratamiento biológico, cenizas de destrucción térmica, etc.) cuya única alternativa de gestión actual consiste en su almacenamiento controlado.

Existen dos tipos de vertederos, los vertederos incontrolados y los controlados [REC\_21]:

- Los vertederos incontrolados son vertederos que suelen estar en cualquier explanada, barranco, agujero, . . . donde se disponen de cualquier forma y sin ningún tipo de control los residuos. Esta práctica es realizada tanto por particulares que desean deshacerse de manera rápida de sus residuos y por empresas o gobiernos que por falta de medios emplean esta técnica.
- Los vertederos controlados son vertederos que cumplen los requisitos técnicos, ambientales y de salud necesarios para que esta acumulación de residuos no suponga un problema para el medio ambiente o para la población. Estos vertederos a su vez se pueden clasificar en [FCR\_13]:



El proceso de depósito en vertedero de residuos se puede dividir en varias fases, primero se debe llevar a cabo la preparación del terreno, es decir, impermeabilizar la superficie donde se van a situar los residuos para evitar que el lixiviado contamine aguas subterráneas. Esto se realiza primero con arcillas naturales. En segundo lugar, se deben colocar tuberías que conduzcan el lixiviado para que no se acumule y pueda ser tratado. Por encima de las tuberías se coloca otro recubrimiento sintético de hasta 60 mm de espesor. También se revisten todas las paredes laterales. Posteriormente, se cubren las paredes con arena, para evitar el drenaje y se colocan tubos soldados para fortalecer las paredes del agujero. Sobre todas estas capas irán colocados los residuos. [YT\_\_19]

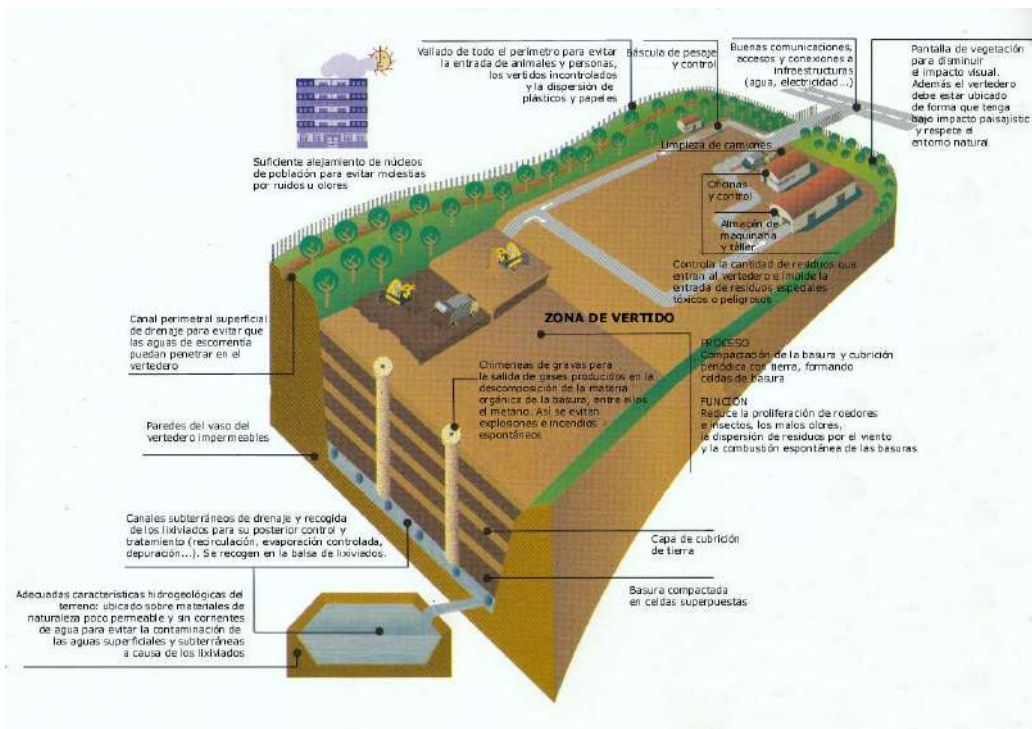


Figura 3.16: Características de un vertedero. [REC\_21]

Además de estos procesos descritos, todo el proceso a partir de la selección de la localización del vertedero hasta el comienzo de la explotación se compone de los siguientes apartados [RE\_21]:

- Limpieza: eliminación de cualquier impedimento que dificulte o imposibilite la operación de máquinas y equipos a la hora de gestionar el futuro vertedero (árboles, muros, ...).
- Adecuación: preparación del terreno en función de la clasificación por forma del vertedero y preparación de la superficie en función del grado de impermeabilidad exigido (dependerá del tipo de residuos a recibir).
- Accesos: construcción de caminos de acceso para permitir el paso de vehículos de recogida.
- Vallado periférico: protección del vertedero frente a animales o personas indeseadas (solo personal autorizado y/o capacitado debe acceder al recinto).
- Báscula: permite conocer la procedencia de los residuos entre los municipios con el fin de repartir gastos.
- Servicios: es necesaria la instalación de servicios auxiliares como pueden ser el agua, la luz y el teléfono.
- Red de desviación de pluviales: Se debe evitar que las aguas de escorrentía <sup>4</sup> superficiales entren en la zona de vertido, pues solo aumentaría la cantidad de lixiviados. Para esto se deben construir canales abiertos en la zona más elevada y que rodeen todo el área. Además por si se da el caso de que estas aguas penetran en el vertedero, se realiza una canalización en la parte subterránea del vertedero, convergiendo con el cauce normal externo una vez traspasada la zona de vertido.
- Pantalla ecológica y vegetal: con el objetivo de reducir el impacto visual y posibles olores, se debe situar una barrera formada por tierra y árboles.
- Sistema de recogida y tratamiento de lixiviados y gases (biogás): antes de depositar los residuos se debe colocar una capa de drenaje para recoger los lixiviados y canalizarlos (mediante tuberías) a un depósito de almacenamiento para su control y tratamiento. Para la conducción de gases, existen diversas maneras, entre las que destaca la colocación de pozos de captación ubicados entre los residuos [EJGV15]. Los materiales utilizados para la captación y canalización de gases y lixiviado son los geotextiles <sup>5</sup> y las georredes <sup>6</sup>. Para el aislamiento se utilizan arcillas naturales, aislantes arcillosos geosintéticos <sup>7</sup> y geomembranas <sup>8</sup>.
- Diseño del sistema de explotación.
  - Compactación “in situ”: consecuencia de la circulación de máquinas para distribuir los residuos, compactarlos y extender la capa de tierra utilizada como recubrimiento. Ventajas: reducción del volumen de residuos. Inconvenientes: una insuficiente compactación podría imposibilitar a las máquinas su circulación sobre los residuos. Además, es necesaria la cubrición con tierra para evitar la dispersión de residuos y la aparición de roedores, lo que imposibilita la penetración de oxígeno en los residuos y alarga su descomposición.
  - Trituración previa: se realiza una trituración de los residuos previa a su llegada al vertedero, obteniendo pequeños fragmentos. Se obtiene una masa más homogénea aumentando la densidad del relleno. La trituración debe ser la adecuada, pues si su tamaño es demasiado pequeño pueden producirse reacciones anaeróbicas formando bolsas de gas. Si el

<sup>4</sup> “Se llama escorrentía o escurrimiento a la corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales.” Fuente: [wikipedia.org](http://wikipedia.org)

<sup>5</sup> “Fibras de polipropileno o poliéster de alta permeabilidad, que se emplean para la protección de geomembranas y filtración de lixiviados.”

<sup>6</sup> “Redes porosas de polietileno de alta permeabilidad, que se utilizan como capas de drenaje de lixiviados y gases, como alternativa a capas de arena o grava. Suelen ir adheridos a un geotextil para evitar que se tupan.”

<sup>7</sup> “Combinación de arcilla (bentonita) y un material geotextil, formando capas de 1 cm de grosor. Baja permeabilidad. Se emplean como alternativa a las capas de arcilla compactada.”

<sup>8</sup> “Láminas plásticas de polietileno, PVC, poliamidas o poliestireno, flexibles de baja permeabilidad.”

tamaño es demasiado grande no se consigue la reducción del volumen deseada. Ventajas: no será necesario el recubrimiento diario (ahorro de material). Se reducen las filtraciones al suelo y se facilita la estabilización del terreno. Inconvenientes: se necesita una planta de trituración externa, y los residuos no triturables deben de disponer de un lugar especial.

- Trituración y compactación “in situ”: esto se basa en la compactación con desgarre simultáneo. Se pretende extender los residuos en capas finas fomentando la descomposición aerobia, lo que obliga a una superficie de vertido extensa. Con este proceso se consigue una alta densidad de compactación, lo que facilita el paso de la maquinaria necesaria para el extendido de residuos. Además, la dispersión de residuos es más improbable y no se producen olores, por lo que no se requiere de un recubrimiento diario.

Como se ha mencionado al principio del apartado, un vertedero suele tener una vida útil de alrededor de 13 años, sin embargo requiere de un tratamiento post-clausura de alrededor de 30 años. La clausura de un vertedero consiste en, una vez agotados los recursos del vertedero, cubrirlo definitivamente con un recubrimiento que aisle el contenido y no contenga fugas de residuos ni de olores. Tras este recubrimiento, comenzará un proceso de digestión anaerobia, mediante el cual los residuos se irán descomponiendo en ausencia de oxígeno. Este proceso genera gases que requieren una extracción controlada y que sirven como fuente de energía si se le dan los tratamientos necesarios.

### Tratamiento y/o almacenamiento en República Dominicana

La disposición final de los residuos en República Dominicana se basa principalmente en vertederos. Actualmente RD cuenta con más de 300 vertederos, en su mayoría incontrolados, para la disposición final de residuos. Este número de vertederos es muy elevado para un país insular del tamaño de República Dominicana [OPSD17]. El vertedero más grande del país es el de La Duquesa, situado en el Gran Santo Domingo, a 15 km de la ciudad y con una superficie de casi 127,810  $m^2$ . Este vertedero da salida a los residuos de Santo Domingo Este, Santo Domingo Oeste, Santo Domingo Norte, Los Alcarrizos, Pedro Brand y la junta Municipal de Palmarejos además de al Distrito Nacional [OPS\_03].



Figura 3.17: Vista aérea vertedero La Duquesa. Fuente: [municipiosaldia.com](http://municipiosaldia.com)

Respecto al tratamiento de los residuos, pese a que se conoce la posibilidad de generar riqueza a partir de la revalorización de residuos, es una práctica que generalmente no se realiza. La recuperación de elementos con valor en el mercado (como pueden ser el metal, vidrio, cartón, electrodomésticos, muebles, ...) es realizada casi exclusivamente por los llamados «buzos». Los buzos son los hombre, mujeres y menores que utilizan como fuente de ingresos encontrar y recolectar materiales con posible valor en el mercado dominicano o valor de reutilización o reciclaje. [OPSD17]

### 3.2.4. Análisis económico y político de la gestión de RSU [FE\_\_16]

La gestión de RSU tiene un fuerte carácter económico, pues las empresas, generadoras de los bienes de consumo que acaban siendo residuos, no están incentivadas a asumir los costes de una producción que tenga más en cuenta el medio ambiente y el destino final de los bienes que producen. Además, las distintas técnicas que existen en la actualidad para el tratamiento y almacenamiento de residuos también tienen una fuerte dependencia con lo mucho o poco rentables que sean y cuando es más o menos rentable utilizar una técnica u otra. Por último, en este apartado se van a mencionar algunas políticas públicas que podrían ayudar a incentivar el consumo responsable de productos y también el reciclaje.

#### Análisis económico de distintas técnicas

El *reciclaje* en los últimos años ha sido objeto creciente de estudio y popularidad por sus ventajas tanto económicas como ambientales. Dentro del reciclaje se incluyen las técnicas de *compostaje* y *biometanización*. Las principales ventajas del reciclaje son el ahorro de recursos naturales mediante la reutilización de residuos, un tratamiento más limpio de estos residuos a la hora de convertirlos en sub-productos con otra o la misma función, y su reversibilidad, pues no implica la destrucción completa del material en cuestión. A pesar de estas ventajas, el reciclaje también tiene desventajas desde el punto de vista económico, es decir, costes e inconvenientes. Michael Hoel, 1978, hace un análisis de los costes y explotación de recursos en el caso en que no haya un producto reciclado disponible, en el caso de que el productor principal también produzca el producto reciclado y en el caso en el que el producto original y el producto reciclado estén en competencia [HOEL78].

Respecto a la *incineración*, este método es costoso, ya que requiere una elevada inversión inicial y unos elevados costes de operación. Además, requiere especial cuidado y mantenimiento de los sistemas de retención de sustancias nocivas para controlar su emisión. Su carácter es irreversible, pues los materiales incinerados no se podrán recuperar. Esta tecnología está sujeta a economías de escala, lo que lleva a que su instalación solo será rentable a partir de una cierta cantidad de operaciones. Por último, la instalación de estas plantas tiene efectos negativos en el mercado de las viviendas situadas en sus proximidades.

El *vertedero* es el método tradicional más extendido, y económicamente puede verse desde dos perspectivas. Desde el punto de vista de las personas que vivan cerca de un vertedero, este presenta una externalidad negativa. Esto influye al precio de la vivienda, que será internalizado por las inmobiliarias, pero si ya se poseía la casa, no existen mecanismos de compensación por la construcción inesperada de un vertedero. Desde el punto de vista del organismo encargado de gestionar el vertedero, esta técnica puede considerarse como un gasto de inversión, ya que ahorra los costes de emplear otra tecnología. Además, el vertedero se puede considerar como un recurso agotable pero reemplazable, cuya localización y capacidad atienden a variables de decisión mayormente económicas.

#### Fallos de mercado en la gestión de residuos

En la fase de *producción y comercialización*, las empresas determinan el volumen y la composición de los residuos que generan sus procesos. Esto se realiza sin tener en consideración las siguientes fases de gestión de residuos. Respecto al volumen, si el generar menos residuos no se traduce en una compensación de algún tipo hacia la empresa, no es de esperar que esta haga un esfuerzo para reducir los mismos.

En la fase de *pre-recogida*, son los consumidores los que tienen un papel protagonista. Como separar los materiales y disponerlos en lugares adecuados supone una molestia, si no existen mecanismos de compensación, pese al deber moral que pueda o no sentir el usuario, el esfuerzo empleado en esta tarea va a ser insuficiente pese a su importancia. Además, los beneficios medio ambientales de esta

tarea son pocas veces percibidos directamente por los consumidores.

En la fase de *trasporte y tratamiento*, las decisiones también se rigen por criterios económicos, por lo que las consecuencias ambientales de emplear un método u otro son un factor secundario. Respecto al reciclaje, este tratamiento produce un ahorro en costes de evacuación e incineración, únicamente percibido por los operadores de estas plantas. Además, esta técnica produce beneficios ambientales que tampoco son directamente percibidos ni por productores ni consumidores. Por lo tanto, es de esperar que el esfuerzo del mercado en estas fases sea bajo.

### **Políticas públicas para incentivar una buena gestión**

Los *Tributos proporcionales a la cantidad de residuos generada y recogida* consisten en un impuesto o tasa proporcional a la cantidad de residuos que una persona/vecindario quieren desechar. Tradicionalmente, en los países industrializados se suele aplicar una tasa fija para disponer de los servicios de recogida y tratamiento de residuos, independientemente de la cantidad generada. El hecho de imponer un coste unitario sobre los residuos genera un incentivo para la reducción en origen. Una desventaja de este tipo de medidas puede ser que se comience a realizar un vertido incontrolado para evitar o reducir el pago de estas tasas.

Los *Impuestos sobre el empaquetado de productos de consumo* consisten en imponer un impuesto diferencial sobre envases reciclables y los no reciclables, dando ventaja a los primeros y perjudicando a los segundos. Este tipo de instrumentos ha sido muy empleado con los recipientes de bebidas, ya sean de plástico o de vidrio, en países como Alemania o Países Bajos. Respecto a los inconvenientes, existe la posibilidad de que estos impuestos repercutan en el precio final del producto y no en la reducción de los envases producidos. Otro inconveniente es que la aplicación de altos impuestos podría acarrear problemas de aceptabilidad social.

Los *Incentivos a la recuperación y el reciclaje de productos* están orientados a reducir los costes de eliminación de residuos e incentivar el reciclaje, utilizando productos que puedan sustituir a los usados actualmente. Un ejemplo puede ser un impuesto que penalice el uso de materiales nuevos en vez de materiales reciclados. Las desventajas de esos incentivos son que no se incentiva el uso de materiales reciclables o reciclados que no sustituyan a un material nuevo, simplemente incentivan el uso de materiales reciclables que actúan como sustitutos directos. Otra desventaja es que no se puede llevar un seguimiento del efecto de ahorro económico neto de los costes de eliminación, pues, en función del sector, cambia el coste marginal del reciclaje.

Los *Sistemas de depósito y reembolso* («*deposit-refund system*») consisten en la devolución de parte del precio pagado por el producto al devolver el envase a los puntos adecuados, normalmente dentro de los propios supermercados. Este sistema es una mezcla entre un impuesto al empaquetado junto con una subvención al reciclaje. Las ventajas de este sistema son la escasa dificultad de administración y el empleo directo del principio “quien contamina paga”. Respecto a las limitaciones, cabe mencionar que el efecto de este sistema depende del correcto funcionamiento del sector reciclaje.

### **3.2.5. Conclusiones: República Dominicana**

La República Dominicana ha sufrido un gran incremento poblacional en los últimos años, lo que conlleva a su vez un incremento en la cantidad de residuos generados. Este incremento de residuos requiere cada vez de una mejor gestión, gestión que a día de hoy tiene muchas irregularidades, donde destaca el vertido incontrolado, el escaso reciclaje y el alto nivel de contaminación por motivo de los residuos. El flujo de materiales y residuos en República Dominicana se muestra en la Figura 3.18, donde se observa que el grosor de los residuos acaba en los vertederos sin tratamiento previo.

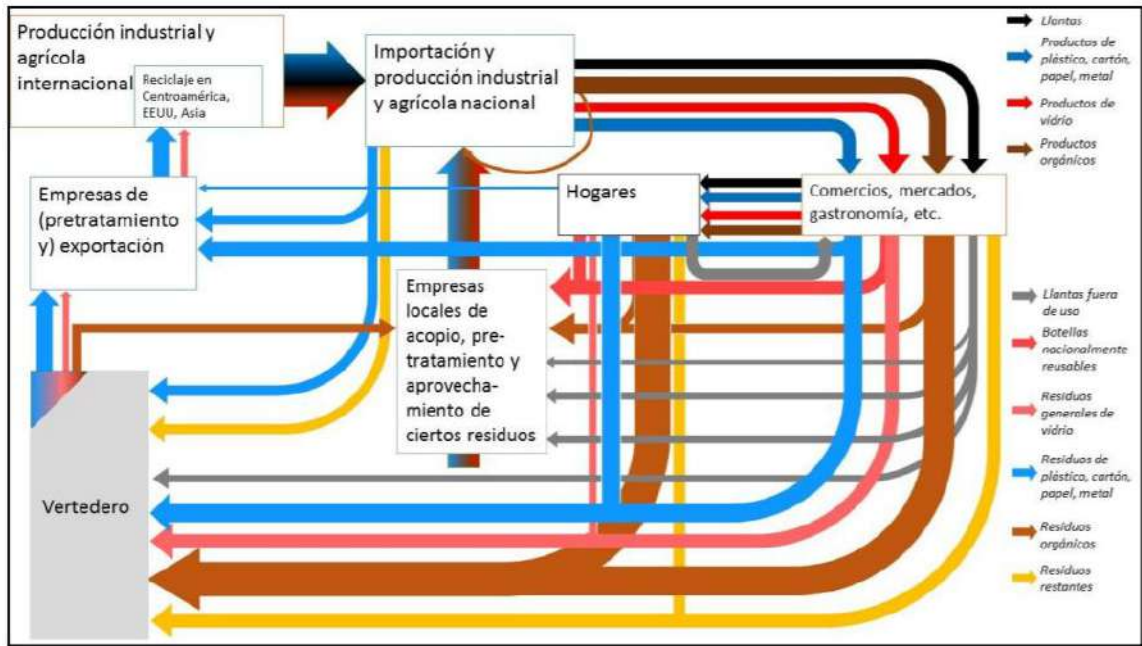


Figura 3.18: Flujo de materiales y residuos en República Dominicana. [JW\_18]

Los datos más recientes de generación de RSU de República Dominicana indican que se generan anualmente 4 millones de toneladas o lo que es lo mismo, 11.000 toneladas diarias (1,11 kilogramos de residuos por persona) [OPSD17]. Este número está por debajo de la media de los países del Caribe pero por encima de países latinoamericanos.

Años	Población	Generación (kg/hab/día)	Generación Total Ton/día
2010	9,478,612	1.26	11,943
2015	9,980,243	1.46	14,571
2020	10,448,499	1.66	17,344
2025	10,878,267	1.86	20,233
2030	11,253,284	2.06	23,181

Figura 3.19: Datos de proyección de la cantidad de residuos generados en RD. [INAPA15]

Además de estos problemas generales, hay una gran diferencia entre las zonas urbanas como puede ser la capital Santo Domingo, y las zonas rurales como Bajos de Haina y otras localidades. Entre estas diferencias están la densidad de población, el estado de las calles/caminos y la implicación del gobierno. A continuación se presenta un análisis de los distintos procesos en República Dominicana.

En los procesos de pre-recogida, pese a que cuentan con un sistema de colores para diferenciar los tipos de residuos y cómo se deben disponer, es una práctica que en la realidad no se lleva a cabo. En la mayoría de localidades los residuos son almacenados en bolsas de basura, que normalmente son de baja calidad y acaban rotas, y se depositan diariamente en las aceras a la espera de los servicios de recogida [INAPA15]. Las zonas más urbanizadas cuentan con los llamados tanques, contenedores de hierro de 50 galones (227 litros), colocados en las aceras y normalmente con la tapa abierta. Generalmente se produce la acumulación de residuos en los puntos de recogida, debido a la baja cobertura y frecuencia de recolección (mayormente 1 vez por semana [OPSD17]) y a la falta de un horario para la disposición de residuos (Figura 3.20). La frecuencia de recolección es más pobre en

las zonas rurales de República Dominicana, donde las carreteras están en peor estado y los gobiernos disponen de menos medios para proveer este servicio. La acumulación de bolsas de basura junto con el hecho de que muchas veces acaben rotas con el contenido esparcido favorece la proliferación de roedores y a la generación de malos olores, además dificulta su recogida y favorece la dispersión de los residuos por las calles.



Figura 3.20: Contenedores o tanques en el municipio de Boca Chica, República Dominicana. [INAPA15]

Otro factor que afecta a la dispersión de los residuos es el trabajo de los buzos. Los buzos son las personas, normalmente mujeres y menores de edad, que se encargan de abrir las bolsas, derramar el contenido en el suelo, y recoger lo que puede tener valor de mercado. Esta tarea es lo más cercano que se encuentra en República Dominicana al proceso de separación de residuos. Los buzos trabajan tanto en las calles como en los vertederos, sin regulación y en condiciones muy precarias, con el objetivo de recopilar los residuos con una posible revalorización, que luego serán vendidos a empresas de reciclaje.

En la Figura 3.21 se observan distintas formas de deshacerse de los desechos por parte de la población y los distintos porcentajes en función de si la zona está urbanizada o se trata de una zona rural.

Forma de eliminación de la basura	Urbana	% Urbana	Rural	% Rural	Total	% del Total
Total hogares	1.990.172	100	681.807	100	2.671.979	100
La recoge el ayuntamiento	1.694.739	85.2	260.840	38.3	1.955.579	73.2
La recoge una empresa privada	38.331	1.9	8.243	1.2	46.574	1.7
La queman	104.180	5.2	307.852	45.2	412.032	15.4
La tiran en el patio o solar	27.444	1.4	61.010	8.9	88.454	3.3
La tiran en un vertedero	57.687	2.9	21.606	3.2	79.293	3.0
La tiran en un río o cañada	45.121	2.3	16.851	2.5	61.972	2.3
Otro	22.670	1.1	5.405	0.8	28.075	1.1

Figura 3.21: Forma de eliminación de basuras, datos de zonas urbanas y rurales. [INAPA15]

En las zonas rurales, el porcentaje de residuos recogidos por el ayuntamiento es muy escaso, y el método más extendido es la quema de estos de manera irregular. Esta quema irregular es peligrosa y fuente de gases contaminantes peligrosos para las personas y para el medio ambiente.

En cuanto al tratamiento y revalorización de residuos, aunque es una práctica muy poco extendida, si que existen empresas dedicadas a esta tarea (Figura 3.22). Estas empresas realizan ellos mismos la separación de los residuos para encargarse de los que pueden ser revalorizados o compran estos materiales a los buzos [FOC\_17]. El promedio de reciclaje en la zona de Latinoamérica y el

Caribe (LAC) es de un 4,5%, mientras que en República Dominicana se estima en un 6%, superior a la media del LAC pero igualmente muy baja [JW\_\_18].

Empresa	Ubicación	Material recibido	Productos
Moldeados Dominicanos S.A. (MOLDOSA)	Santo Domingo	Periódico, papel no satinado, cartón	Envases para huevos, portavasos y bandejas desechables.
Recicladora del Cibao	Santiago de los Caballeros	Botellas plásticas, galones, huacales, cartón	Pacas de plástico compactado para para exportación
RIERBA	Santo Domingo	Papel y cartón	Pacas de papel y cartón compactado para exportación.
PLASTIFAR	Santo Domingo	Foam (residuos limpios)	Vasos, platos, sorbetes, envases
CAPOBIANCO Soluciones Ecológicas	Santo Domingo	Envases plásticos de aceite para vehículos, tubería de riego, fundas plásticas	Mobiliario urbano de interior y exterior (contenedores) y recipientes varios.
Metales Antillanos	Santiago de los Caballeros	Chatarra de hierro	Hierro para exportación
ECOSERVICIOS	Higüey	Plásticos, cartón, vidrio, metales, aceite usado de cocina y aceite usado de motor (mineral), baterías usadas.	Pacas de plástico, cartón y metales compactados y baterías ecológicas
Green Love	Santo Domingo	Papel, plástico, Tetra-Pak, vidrio, cartón, foam limpio,	Pacas de materiales compactados

Figura 3.22: Empresas dedicadas al reciclaje. Mayo 2017. [FOC\_17]

Por último, el almacenamiento final de los residuos. En República Dominicana la práctica mas extendida es la del vertido, contando el país con 350 vertederos a cielo abierto, según datos de 2010, y una extensión de  $148 \text{ km}^2$  [OPSD17]. De estos 350 vertederos, 325 están georreferenciados y se muestran en la Figura 3.23. Este número de vertederos es muy elevado para una isla del tamaño y población de República Dominicana, además, muchos de ellos se encuentran en estado incontrolado sin ningún tipo de gestión. El vertedero más grande del país es el de La Duquesa (Figura 3.24(a)), con una extensión de 127,8 hectáreas y localizado a 15 km de Santo Domingo, que recibe el vertido del Distrito Nacional y de Santo Domingo Este, Santo Domingo Oeste, Santo Domingo Norte, Los Alcarrizos, Pedro Brand y la junta Municipal de Palmarejos.

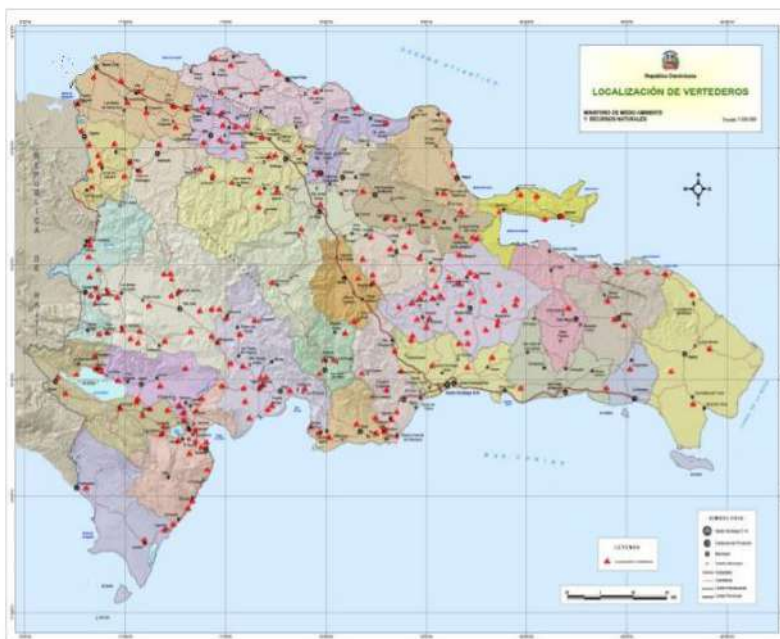


Figura 3.23: Localización de vertederos en República Dominicana (2010) [INAPA15]

Estos vertederos, a parte de estar incontrolados, se encuentran geográficamente mal localizados, con un 66 % de los vertederos situados en suelos aptos para la producción agrícola y pecuaria; el 60 % en suelos con una importancia hidrológica media o alta; el 17 % en suelos con un nivel freático menor a 50 m; el 6 % situados a menos de 100 metros de una fuente de agua; el 89 % a menos de 1.000 metros de un río, arroyo o cañada; y el 30 % situado en zona de inundaciones. [FOC.17]



(a) Vertedero de La Duquesa, Santo Domingo



(b) Vertedero de San Juan



(c) Vertedero de Moca



(d) Vertedero de Haina, San Cristobal

Figura 3.24: Vertederos en República Dominicana [INAPA15]

### Marco Legal

República Dominicana cuenta con un marco legal para la gestión integral de los residuos. La última actualización de este marco se ha dado el 6 de Febrero de 2020 con la incorporación de la “Ley general de gestión integral y co-procesamiento de residuos de la República Dominicana”. Además, República Dominicana cuenta con otras bases para la regulación de la gestión de residuos [JW\_18]:

- Constitución de la República, 2015
- Ley 1-12 de la Estrategia Nacional de Desarrollo (END), 2012
- Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, 1992
- Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales, No. 64-00, 2000
- Ley No. 218, que Prohíbe la Introducción al País por Cualquier Vía de Excrementos Humanos o Animales, Basuras Domiciliarias o Municipales y sus Derivados, Cienos o Lodos Cloacales, Tratados o no, así como Desechos Tóxicos, provenientes de Procesos Industriales, 1984
- Ley General de Salud No. 42-01, 2001
- Ley No. 176-07 del Distrito Nacional y los Municipios, 2007
- Norma para la Gestión Ambiental de Residuos Sólidos No Peligrosos, 2003
- Reglamento de Etiquetado e Información de Riesgo y Seguridad de Materiales Peligrosos, 2009
- Reglamento para el Transporte de Sustancias y Materiales Peligrosos, 2009
- Norma para la Gestión Ambiental de Desechos Radiactivos, 2003
- Norma para la Gestión Integral de Desechos Infecciosos
- Reglamento para la Gestión de Aceites Usados
- Reglamento técnico ambiental para la gestión de neumáticos fuera de uso, 2015
- Ley No. 57-07, de Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales. Reglamento, 2007
- Reglamento para la Gestión de Sustancias y Desechos Químicos Peligrosos, 2009

### Principales Retos

Tras este análisis, es evidente la necesidad de realizar numerosos cambios en la gestión de residuos sólidos urbanos de República Dominicana. Los principales retos a los que se enfrenta el país fueron redactados en 2018 y quedan agrupados en la siguiente tabla.

Tabla 3.2: Principales retos de la gestión de residuos en RD [JW\_18]

<b>Principales Retos</b>	
Flujo de residuos	Nivel básico de gestión de residuos, enfocando la recolección y disposición en vertederos a cielo abierto.
	Existen prácticas dañinas ambiental y climáticamente como la quema o el vertido de residuos en lugares no autorizados.
	Los vertederos causan serios problemas ambientales, climáticos, y a veces también sociales.

Tabla 3.2: Principales retos de la gestión de residuos en RD [JW\_18] (continuación)

<b>Principales Retos</b>	
Marco Jurídico	Aunque la ley establece responsabilidades, falta una infraestructura para el cumplimiento de estas.
	La legislación ambiental vigente no es lo suficientemente rigurosa como para que se haga correcta disposición de los residuos generados en los hogares y la industria.
	Falta de incentivos para valorización / aprovechamiento de residuos.
Gestión Institucional	Cortos períodos de gestión (4 años) – cambios en la gestión ponen en riesgo proyectos mayores a largo plazo.
	Existen casos de falta de transparencia, por ejemplo, con respecto a concesiones como la de la recolección y el transporte.
	Faltas de conocimiento y capacidades a nivel nacional y municipal. Específicamente, las Municipalidades presentan limitaciones para desarrollar modelos, propuestas, elaborar políticas públicas y formular programas de formalización de recicladores y recolección selectiva de residuos sólidos en sus distritos.
Estructura Financiera	Las tarifas inexistentes o extremadamente bajas, desde la perspectiva económica, convierten la disposición final en el vertedero a la solución más atractiva en comparación con soluciones más sostenibles. Y como el criterio financiero es el principal actualmente, se debilita o incluso impide el desarrollo de cadenas de valor para el aprovechamiento de los residuos.
Participación del Sector Privado	Faltan seguridad e incentivos financieros para facilitar la sostenibilidad/extender los modelos de negocios de valorización existentes – suben y caen según el mercado
	Hay interés del sector privado en pre-tratar residuos aprovechables, pero muchas veces falta la demanda de los residuos valorizados y no se logra formar una cadena de valor. Los recipientes sí estarían interesados en residuos valorizados, pero en cantidades, calidades y/o con un seguro de suministro a largo plazo que (económicamente) no es factible para potenciales proveedores. Por esta situación muchos materiales reciclables se exportan a la región, Estados Unidos o Asia.
Sociedad Civil	Las iniciativas son ejemplos muy positivos no obstante son limitados en su alcance. Se requiere una absorción /multiplicación por parte del sector público.

(sigue en la página siguiente)

Tabla 3.2: Principales retos de la gestión de residuos en RD [JW\_18] (continuación)

Principales Retos	
Cooperación Internacional	Es un punto débil que el apoyo técnico realizado no desembocan en un siguiente paso en la realización de las inversiones, por ejemplo, a través de la cooperación financiera.

(Fin de la tabla)

### 3.3. Casos de éxito

Los vertederos a cielo abierto siguen siendo una técnica muy expandida en todo el mundo y que presenta numerosos peligros ambientales y para la salud. Es por esto que en muchos países se están elaborando planes para convertir estos vertederos a cielo abierto incontrolados en un recurso para obtener beneficios mediante su control y conversión a rellenos sanitarios y/o zonas verdes. En este apartado se presentan dos casos de éxito de medidas tomadas, el primero en Belice, un país en la costa este de América Central y el segundo en Wuhan, una ciudad en la provincia de Hubei en China.

#### 3.3.1. Caso 1: Belice [BE\_07]

Belice, al igual que muchas zonas de América latina donde se incluye Bajos de Haina, realizan una gestión muy ineficiente de los residuos, donde la gran mayoría acaba en botaderos, o vertederos a cielo abierto.

En 2007, el gobierno de Belice recuperó un proyecto en pausa con el BID y el Fondo de la OPEP para el Desarrollo Internacional (OFID). Este proyecto se dividió en cuatro fases, todas orientadas a acabar con el problema más urgente, los botaderos. Antes de cerrar un botadero, era necesaria la construcción de un relleno sanitario como alternativa a la disposición final de los residuos, por ello, el plan de actuación incluía, además de la clausura del botadero, la apertura de un relleno sanitario y cinco estaciones de transferencia. Las estaciones de transferencia cumplen la función de ser un punto intermedio entre las ciudades y el relleno sanitario, y facilitar la separación de materiales.

Los principales retos que se encontraron a la hora de implementar este proyecto fueron tres. El primero fue la dificultad de separar los residuos debido al deficiente proceso de recogida. Al llegar la basura toda mezclada se hace muy difícil y costoso o incluso imposible su separación, sin embargo, era necesario crear las plantas de transferencia para conseguir una buena gestión en el futuro. En segundo lugar, la participación de las personas cuyos ingresos procedían principalmente de la recolección de residuos en los botaderos. A estas personas se las involucró activamente en el proyecto y se les concedieron áreas en las plantas de transferencia para que pudieran llevar a cabo su trabajo. Además, se les dieron unas mejores condiciones y también talleres y formaciones así como cursos sobre seguridad. En tercer lugar, la recuperación de costos. Uno de los temas más importantes para la operación de estas plantas y del relleno sanitario es la recuperación de costos, que principalmente se consigue aplicando una tarifa a las personas beneficiarias de estos servicios. Este último paso resultó en fracaso, pues el gobierno no quería imponer tasas por un servicio que antes se ofrecía gratis.

Los resultados de este proyecto han sido muy positivos para el país. Se mejoró la capacidad institucional y técnica de las autoridades competentes mediante programas de entrenamiento y formación. Se consiguió incorporar a los recicladores irregulares mejorando significativamente sus condiciones de trabajo. Finalmente, se benefició a alrededor del 39% de hogares de Belice, con 60 mil toneladas debidamente procesadas en el relleno sanitario en 2015.

### **3.3.2. Caso 2: Wuhan: Vertedero de Jinkou [WU\_\_05]**

Este vertedero fue cerrado en 2005 debido a su falta de cumplimiento con los requisitos sanitarios y problemas ambientales relacionados con gases contaminantes y filtración del lixiviado. La contaminación que generaba este vertedero hubiese tardado décadas en sufrir el proceso de degradación natural. Sin embargo, un proyecto llevado a cabo en 2014 pudo restaurar este vertedero.

Para poner una solución a esta situación se llevó a cabo un proyecto de restauración ecológica aerobio, en el cual se restauraron 52 hectáreas de superficie, mejorando el paisaje, el valor de la tierra en esa zona de la ciudad y la situación económica de las áreas que rodean esta zona. Además, se ahorraron 125 millones de dólares en comparación con un método de restauración más convencional.

Los objetivos de esta restauración eran mitigar los gases de efecto invernadero, creando una zona de captación de carbono con árboles y plantas locales, y capturar los gases procedentes del vertedero. Con la restauración de las 52 hectáreas de superficie consiguieron mejorar el ambiente de 100.000 personas viviendo en zonas cercanas, reducir la contaminación del aire y del agua, eliminar el riesgo de filtraciones de metano y explosiones, disminuir la temperatura de los alrededores al introducir un espacio verde, servir de zona de captación de agua, acortar el tiempo de degradación de los residuos, y contribuir al ecosistema local plantando especies locales en la zona restaurada.



## 4 | Estudio de los Bajos de Haina en la gestión de RSU

La contaminación por residuos sólidos urbanos es un problema generalizado en República Dominicana, sin embargo, cobra aún más relevancia en las zonas del país más urbanizadas y/o más industrializadas. Valdesia es la tercera región del país que más residuos genera, (Figura 4.1), a la cual pertenece San Cristobal y dentro del cual destaca Bajos de Haina por ser además una de las zonas más pobladas e industrializadas de esta provincia. En la gestión integral de residuos sólidos urbanos destaca la ineficiencia de los servicios y el vertido irregular como causas de la contaminación que castiga a los residentes del municipio, donde se ha señalado al Vertedero de Haina como fuente principal de contaminación del agua, tierra y aire de la zona.

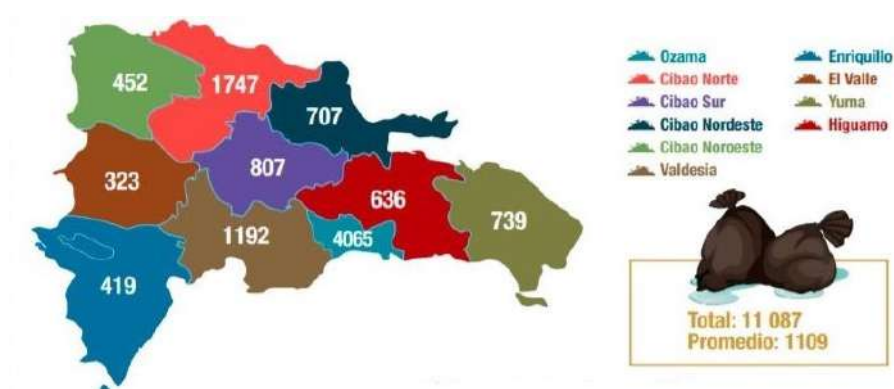


Figura 4.1: Producción de RSU en la República Dominicana [OPSD17]

Datos Técnicos	
Provincia:	San Cristóbal
Municipio:	Bajos de Haina
Distritos Municipales:	El Carril
Población:	124,193
Superficie:	39.7 km <sup>2</sup>
Densidad Poblacional:	3,130 hab/km <sup>2</sup>
Generación Estimada	156 ton/día
Porcentaje de Hogares sin recolección de basura	11%
Actividad Económica/Industria Relevante:	Agricultura, Zonas Franca y comercios.

Figura 4.2: Datos RSU Bajos de Haina. [INAPA15]

En Bajos de Haina se estima una generación de residuos de 156 ton/día (Figura 4.2), excluyendo los residuos generados por la zona industrial, y se estima la capacidad de recolección de residuos por parte del ayuntamiento o empresas subcontratadas en 273 ton/día. Aún con esta capacidad de recolección, se estima que aunque un 95 % (Figura 4.3) de la población es usuaria de este servicio, el 90 % recibe una recogida semanal, algo escaso para el nivel de generación de residuos. [PERA11]

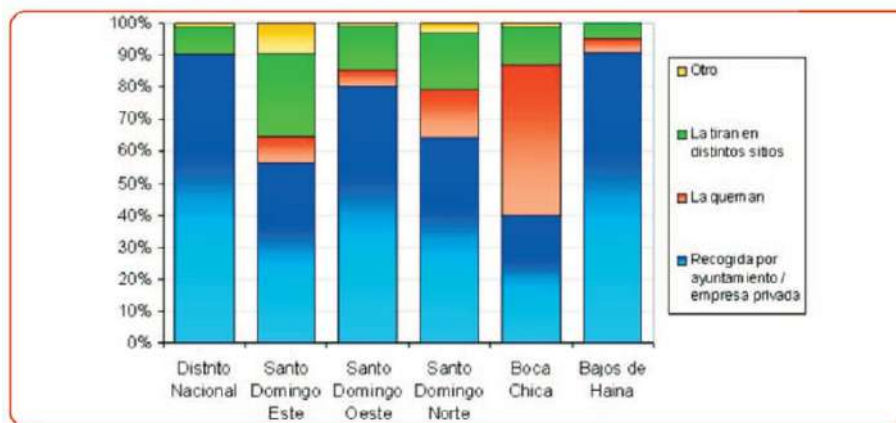


Figura 4.3: Porcentaje de recogida en Bajos de Haina. [GEO\_07]

La composición de los residuos generados en los hogares es similar a la de una región de renta baja, con un alto nivel de materia orgánica (Figura 4.4). Las tasas de reciclaje en origen se estiman en un 5 %, mientras que la reutilización en un 30 %. Dentro de los materiales reutilizados destacan los envases de vidrio, reutilizados en un 76 %, mientras que el plástico un 19 % y el papel casi un 15 %. [PERA11]

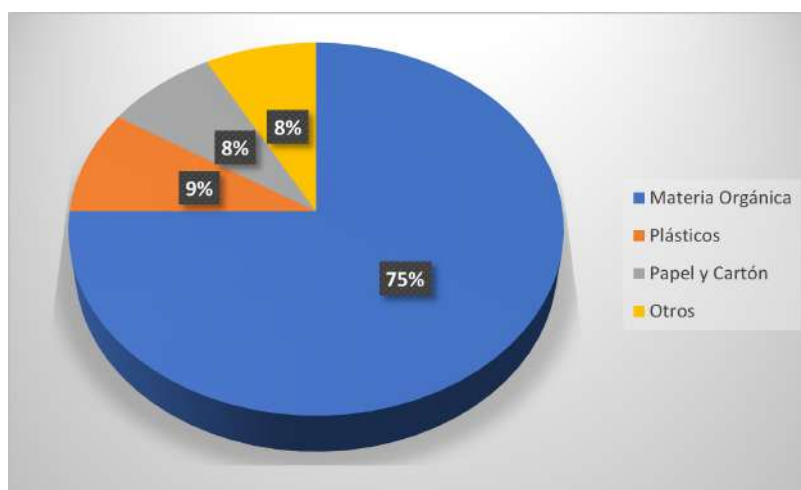


Figura 4.4: Composición de residuos domésticos en Bajos de Haina. Datos: [PERA11]

Respecto al proceso de recogida de residuos en Bajos de Haina, predomina la recogida puerta a puerta, donde cada vivienda debe sacar los contenedores a la acera los días específicos para su recogida. Este servicio se realiza teóricamente 2 veces por semana en cada zona en la que se ha dividido el municipio, sin embargo, esta frecuencia no es la reportada por la población. Para esta tarea el municipio cuenta con camiones compactadores para las zonas accesibles (Figura 4.5), para

las zonas de difícil acceso no se encuentra información acerca de como se realiza la tarea. La recogida puerta a puerta no se realiza de manera diferenciada, es decir, todos los residuos se recojan juntos o por separado, se mezclan en el interior del camión, lo que dificulta o imposibilita su reciclaje.



Figura 4.5: Vehículos de recogida de residuos en Bajos de Haina [AMH.21]

A pesar de que el proceso de recogida tenga una cobertura teóricamente alta, la disposición final de los residuos recolectados no se realiza de manera controlada. La mayor parte de los residuos recogidos tiene como destino final un vertedero incontrolado a cielo abierto en el cual no se cumplen las condiciones de salubridad ni seguridad apropiadas. Tanto el ayuntamiento, las empresas privadas que se encargan de parte de la recolección, como las industrias, vierten sus residuos de manera descontrolada en el llamado Vertedero de Haina.

Las tasas de reciclaje son muy escasas y los residuos recogidos llegan al vertedero de manera mezclada sin pasar previamente por una estación de transferencia donde separar los residuos. Es por esto que la mayor parte del reciclaje que se realiza viene de los llamados buzos, que se encargan de recoger materiales valiosos en el vertedero para venderlos a empresas de reciclaje o directamente a la población.

En líneas generales, la gestión de residuos en Bajos de Haina puede considerarse deficiente por diversos motivos. En primer lugar por no realizar una recogida selectiva, en segundo lugar por no tener un sistema post-recogida de separación de residuos para proceder a su tratamiento individualizado, y en último lugar y la causa de los mayores problemas de salud (relacionados con los RSU) de la región, el vertido incontrolado en vertederos a cielo abierto.

## 4.1. Normativa medioambiental Bajos de Haina

La última actualización en cuanto a gestión de residuos tuvo lugar el 6 de Febrero de 2020. En este ley, la “Ley general de gestión integral y co-procesamiento de residuos de la República Dominicana” se establecen las normas nacionales de gestión de residuos. El objeto de la ley es:

**Artículo 1.- Objeto.** La presente ley tiene por objeto prevenir la generación de residuos, además de establecer el régimen jurídico de su gestión integral para fomentar la reducción, reutilización, reciclaje, aprovechamiento y valorización, así como regular los sistemas de recolección, transporte y barrido; los sitios de disposición final, estaciones de transferencia, centros de acopio y plantas de valorización; con la finalidad de garantizar el derecho de toda persona a habitar en un medio ambiente sano, proteger la salud de la población, así como disminuir la generación de gases de efecto invernadero, emitidos por los residuos.

Esta ley, entre otras cosas, marca las responsabilidades del gobierno nacional y especifica las responsabilidades propias de los gobiernos de cada municipalidad. También, se clasifican los residuos sólidos urbanos en tres categorías: residuos orgánicos, residuos valorizables y residuos no valorizables. Los residuos valorizables son aquellos que tienen demanda en el mercado para su aprovechamiento, ya sea como materia o energía.

En cuanto a la recogida y el transporte de residuos urbanos, la ley obliga a la recogida selectiva (Artículo 94). Esta obligatoriedad aplica a cada municipio, los cuales serán los encargados de llevar a cabo esta tarea ya sea por sus propios medios o mediante la utilización de un organismo privado capacitado. Además, se establece una frecuencia mínima en zonas urbanas de 2 veces por semana. Los vehículos utilizados para la recogida y el transporte de residuos sólidos urbanos deben de ser cerrados o cubiertos y contar con un sistema de captación de lixiviados (Artículo 95).

En cuanto a la valorización y/o reciclaje, no existe obligatoriedad de realizar estas acciones, aunque sí se incentivan. Pese a no haber obligación hacia los ayuntamientos de valorizar los residuos recogidos, sí que la hay hacia las empresas generadoras de estos residuos. Las empresas generadoras de empaques y envases deben asumir ciertas obligaciones de reducción de materiales no reciclables, uso de envases que minimicen la generación de residuos, participar en sistemas de recuperación y/o implementar mecanismos de estímulo para la recuperación de los envases (Artículo 119). Respecto a los plásticos, las grandes empresas generadoras de plásticos deben implementar planes de recuperación y reciclaje de plásticos e incrementar anualmente el porcentaje de plástico reciclado en la fabricación de sus productos (Artículo 120).

La disposición final de los residuos se debe realizar por medio de relleno sanitario (Título IV. Capítulo X). Si actualmente algún sitio de disposición final no cuenta con las garantías de un relleno sanitario debe preparar un plan para regular su situación y solventar sus irregularidades con el objetivo de seguir funcionando. Si un espacio destinado a la disposición final de residuos no cumple unas condiciones específicas de salud y protección del medio ambiente y además no presenta ningún plan de acción será clausurado.

Esta nueva ley también incluye un plan de inclusión social para los recolectores de base o buzos (Título III. Capítulo X). De esta manera, los ayuntamientos deberán fomentar e incentivar la formalización de los buzos mediante su inscripción en el ayuntamiento como recicladores y la formación de empresas sociales que cumplan los derechos y obligaciones que les corresponden. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales por su parte, coordinará y apoyará a estos ayuntamientos que creen empresas sociales para la formalización de los buzos.

Las responsabilidades que se atribuyen a los ayuntamientos y juntas de distritos municipales están expresadas en el Artículo 16 del Capítulo I del Título II, y son:

1. Establecer y aplicar su propio Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos (PMGIR).
2. Aprobar las ordenanzas municipales necesarias para regular la clasificación, recolección selectiva y disposición final de los residuos.
3. Garantizar en el municipio el servicio de recolección selectiva, accesible, periódica y eficiente.
4. Proveer de los servicios de cuneteo, barrido de calles, vías, espacios públicos, ríos y playas.
5. Impulsar alternativas para la recogida selectiva como contenedores.
6. Promover las alianzas público-privadas necesarias para proveer de dichos servicios.
7. Verificar el cumplimiento de las regulaciones y llevar a cabo las sanciones necesarias en caso de incumplimiento.
8. Establecer el sistema de cobro por los servicios.

9. Realizar dicho cobro y destinar los beneficios a la operación y fortalecimiento de los servicios.
10. Realizar campañas educativas de sensibilización de la población, fomentando la cultura de recolección separada, limpieza de espacios públicos y gestión integral de residuos.
11. Promover e implementar programas separación en origen y recolección selectiva, incluyendo a los recicladores base y las apropiaciones presupuestarias anuales correspondientes.
12. Diseñar, implementar, evaluar y monitorear los instrumentos de gestión que le correspondan.
13. Promover iniciativas junto con otros ayuntamientos con el fin de generar economías de escala, menor impacto ambiental y social y mayor eficiencia.
14. Notificar al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales la contaminación de suelos con materiales y residuos peligrosos.

Por último, el artículo 140 del Capítulo XII del Título V establece la obligatoriedad del cobro de tarifas por parte del ayuntamiento con el objetivo de garantizar la sostenibilidad del servicio y su cobertura total. Los mecanismos de cobro disponibles son: la facturación y cobro de este servicio junto con el de agua potable y alcantarillado, energía eléctrica u otro servicio público local, siempre y cuando sean fácilmente diferenciables la cantidad cobrada de cada servicio; el convenio con otras entidades recaudadoras; y la facturación y el cobro directo. Además de estos sistemas, se ha establecido una filosofía de que “El que contamina paga”, lo que significa que será el propio responsable del posible daño causado por su contaminación el que pague la resolución necesaria y la multa impuesta.

Respecto al Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos del municipio de Bajos de Haina, no existe tal plan o no está documentado en los portales oficiales del ayuntamiento de Bajos de Haina.

## 4.2. Vertedero de Bajos de Haina

En Bajos de Haina, actualmente solo existe una opción para la disposición final de residuos, un botadero o vertedero a cielo abierto. Este vertedero se encuentra a las afueras de la ciudad, cerca de un río y de otros varios arroyos. Como se puede apreciar en la Figura 4.6, las condiciones en las que opera el vertedero son muy precarias. Este vertedero es la causa de mucha contaminación del aire y del agua además de ambiental, lo que genera serios problemas a la población cercana, donde problemas respiratorios y de intoxicación por plomo afectan a muchas personas.



Figura 4.6: Localización e imágenes del vertedero de Haina. [INAPA15]

Este vertedero no recibe la atención necesaria y carece de la infraestructura mínima para una operación que cumpla los requisitos de salubridad y protección del medio ambiente. En este vertedero se depositan los residuos procedentes de los hogares de Bajos de Haina y también los procedentes de su zona industrial, los cuales en algunos casos pueden considerarse residuos peligrosos (Figura 4.7). Los residuos que entran y salen del vertedero no se controlan ni se tratan previamente, además, el recinto no está cercado por lo que es de acceso libre a cualquier persona. Los animales son atraídos por los olores y caminan libremente por el vertedero, se pueden ver vacas y otros animales de gran tamaño, pero también roedores e insectos que son vectores de muchas enfermedades.



Figura 4.7: Residuos biomédicos en el vertedero de Haina. [MIMA14]

El nulo tratamiento de los desechos previo a su disposición y la nula preparación del terreno donde se depositan generan graves problemas. Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la población son los gases emitidos por los frecuentes incendios que suceden en el vertedero (Figura 4.8). Estos incendios se producen porque no se recogen los gases emitidos por la materia orgánica en descomposición, principalmente metano. Este metano encerrado entre toneladas de basura produce explosiones que terminan en graves incendios. Otro gran problema para el medio ambiente y la contaminación del agua cercana al vertedero es el manejo de los lixiviados. El suelo, la última capa de tierra antes de que comience la montaña de basura, no fue tratada para ser impermeable ni se colocaron tuberías para recolectar los lixiviados, lo que ocasiona que estos líquidos se filtren hacia el subsuelo, contaminando el agua subterránea y llegando hasta los ríos cercanos. Otro peligro que se encuentra el vertedero es el riesgo a derrumbarse. Toneladas de basura colocada sin cuidado y no siendo compactada genera un riesgo a un corrimiento de tierras, que gracias a los lixiviados está además más debilitada.



Figura 4.8: Vertedero de Haina incendiado. Fuente: [diariolibre.com](http://diariolibre.com)

De este vertedero viven ciertas personas, llamados buzos, que recogen y separan la basura que llega al vertedero en busca de algo valioso que les pueda generar ingresos ya sea vendiéndolo al público o a empresas de reciclaje (Figura 4.9). Estas personas trabajan en condiciones muy precarias y están constantemente expuestos a los humos, olores y demás peligros que existen en el vertedero.



Figura 4.9: Buzos en el vertedero de Haina. Fuente: [diariolibre.com](http://diariolibre.com)

#### 4.2.1. Normativa de los Rellenos Sanitarios

En 2017 se llevó a cabo un Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de los Residuos Sólidos a Nivel Nacional en la República Dominicana, en el cual se pretendía elaborar manuales para facilitar la información a los ayuntamientos para realizar su Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Dentro de este proyecto se desarrolló un Manual Sobre Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales, en el cual se establecen algunos requisitos técnicos para la planificación, diseño, construcción y operación de sitios de disposición final (SDF) [FOCI17]. Dicho documento será el utilizado en la hoja de ruta para convertir el vertedero de Haina en un vertedero sostenible.

### 4.3. Proyectos en el vertedero

Desde que se comenzaron a depositar los residuos en el vertedero de Haina, nunca ha recibido los tratamientos necesarios para no ser dañino para las personas y el medio ambiente. Desde sus orígenes, el vertedero ha sufrido numerosos incendios, a veces por motivos naturales y otras por motivos desconocidos pero intencionados. Las medidas de actuación sobre el vertedero de Haina han tenido constantemente un objetivo de mitigación de problemas, pero nunca han tenido un carácter preventivo, es decir, solucionar el problema y evitar que vuelva a ocurrir. Este tipo de actuación a ocasionado que el vertedero se incendia varias veces al año, envolviendo al municipio de Haina en un humo negro muy contaminante.

Por primera vez en la historia del vertedero, el Gobierno Nacional de República Dominicana ha emitido un decreto, el Decreto 62-221, por el cual “Se declara de interés nacional la intervención para la remediación y construcción de estaciones de transferencias de los vertederos a cielo abierto de Santo Domingo Este, Punta Cana, Puerto Plata, Haina, Las Terrenas, Nagua, Higüey y Samaná [GOB\_21]”. Tras este decreto, se ha puesto en marcha un Plan Nacional de Rellenos Sanitarios.

Para llevar a cabo este plan, bajo el nombre de ECO5RD <sup>1</sup> se están llevando a cabo las intervenciones necesarias para garantiza la seguridad del vertedero de Haina y de la construcción de

<sup>1</sup><https://propeep.gob.do/eco5rd/>

un relleno sanitario y una estación de transferencia para garantizar la correcta gestión de los residuos.

A veintiséis (26) de Abril de 2021, un 90% del vertedero ha sido tapado, se están instalando chimeneas para evitar los incendios y la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). También se están colocando canaletas y diseñando los sitios de destino final (SDF) además de la estación de transferencia. Por último, se está investigando la forma más viable del tratamiento de las aguas de lixiviación [ECO\_21].

## 5 | Hoja de ruta

En este apartado se pretenden dar las líneas a seguir para convertir el vertedero de Haina en un relleno sanitario seguro, que no ponga en riesgo la salud de los habitantes ni el medio ambiente. Para ello, se ha de partir de la situación actual del vertedero y de la capacidad económica de República Dominicana en general y de Bajos de Haina en concreto.

Dentro del flujo de un proyecto de este tipo, establecido por el Ministerio de Medio Ambiente en 2017 (Figura 5.1), el proyecto se encontraría en los dos últimos pasos. Es decir, establecer el plan para un cierre seguro y posteriormente encontrar el mejor uso posible del suelo tras la clausura. Al no haber realizado las fases previas del proyecto y tratarse de un vertedero a cielo abierto descontrolado, se vuelve de gran relevancia un cierre que asegure de la mejor manera posible la recuperación del suelo y la recolección de gases y lixiviados que dañarían a la población y a la fauna y flora de las proximidades.

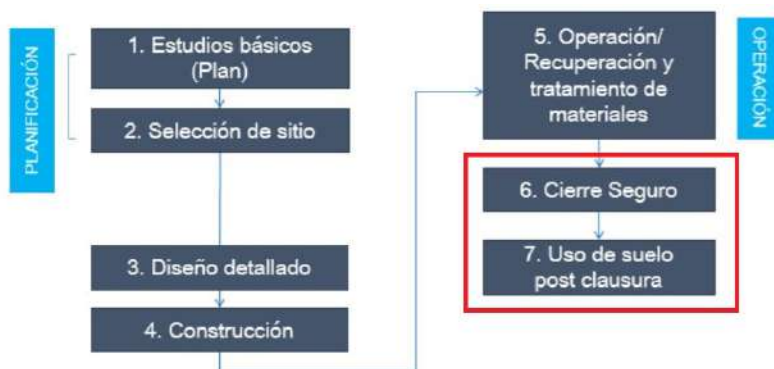


Figura 5.1: Flujo de un proyecto de sitio de disposición final (SDF) [FOCI17]

### 5.1. ¿Intervención o clausura?

Antes de disponerse a la clausura de un vertedero abierto, ha de tenerse en consideración primero la necesidad de su cierre o la posibilidad de convertirlo en un vertedero controlado antes de pasar al relleno sanitario. Las consideraciones principales para valorar esta necesidad son [UNEP05]:

- Capacidad del área: el área de eliminación disponible debe poder acomodar los desechos del área de servicio: (a) durante al menos tres años; (b) hasta el período en que se permita que el vertedero controlado opere, o; (c) cuándo se haya desarrollado un relleno sanitario.
- El vertedero a cielo abierto está en un área donde la contaminación de las aguas subterráneas no es crítico. Esto suele estar determinado por las características de formaciones subyacentes debajo del vertedero.

- El actual vertedero a cielo abierto no se encuentra dentro o próximo a zonas sensibles de receptores tales como: áreas edificadas, reservorio de agua subterránea o áreas de cuencas hidrográficas, peligros geológicos como fallas activas, o áreas propensas a la erosión o a inundaciones.



Figura 5.2: Imagen satélite del vertedero de Bajos de Haina. Fuente: Google Maps

En el caso de Bajos de Haina (Figura 5.2), su localización es muy cercana a la de la población, afectando gravemente a su calidad de vida (peligrosamente en momentos de grandes humaredas o fuertes olores). Además, en la zona se encuentran una gran cantidad de arroyos (Anexo B) y un nivel freático no muy alto, que unido al nulo tratamiento del suelo sobre el que se encuentra el vertedero genera un nivel de filtración muy alto. Estas filtraciones contaminan el suelo y el agua que se encuentra debajo del vertedero, que además transporta los contaminantes del vertedero más allá de sus límites.

Es por esto que la clausura del vertedero es imprescindible. Este vertedero debe de ser clausurado y un nuevo relleno sanitario abierto en una localización que cumpla las condiciones citadas anteriormente. Además, el nuevo relleno sanitario deberá contar con las máximas garantías en cuanto a seguridad y protección del medio ambiente y de las personas.

## 5.2. Evaluación del sitio

El primer paso para elaborar un plan para el cierre seguro y una futura explotación del terreno post-clausura es realizar una evaluación de la zona en la que se encuentra el vertedero. Esta evaluación debería contar con información acerca de la geología del sitio, profundidad del agua subterránea, volumen y tipos de desechos eliminados, informes, estudios y registros históricos sobre el vertedero; información acerca de los usos de la tierra existentes alrededor del área; información acerca de fuentes de suelo u otro material de cobertura para el sitio; información acerca de los puntos de filtración y estancamiento de lixiviados dentro y fuera del vertedero; información geotécnica para determinar la estabilidad de taludes; información acerca de la profundidad de los desechos vertidos; e información acerca de las fugas de gas dentro y en las áreas que rodean el vertedero. [UNEP05]

### 5.2.1. Información relevante del vertedero

Tal y cómo se ha comentado en la Sección 4.2, la situación del vertedero de Haina es insostenible. Los frecuentes incendios y el nulo control sobre la entrada y salida de residuos pone en un grave peligro tanto a la población como al medio ambiente de la zona.

Respecto a la cantidad de residuos, se supone una generación en Bajos de Haina de 156 ton/día (excluyendo industria) y un porcentaje de recolección del 89 % [INAPA15]. Esto nos daría que 138,84 toneladas de basura llegan al vertedero diariamente.

La composición de los residuos se puede aproximar en un 60 % de origen orgánico (83,3 ton/día) y un 40 % de origen inorgánico (55,5 ton/día).

EL área ocupada por el vertedero es aproximadamente de 52.140 metros cuadrados.



Figura 5.3: Área ocupada por el vertedero de Haina. Fuente: [arctgis.com](http://arctgis.com)

Respecto a los puntos de acceso, actualmente el vertedero cuenta con un punto de acceso principal en Cl. Melenciano de los Santos, Bajos de Haina 91000, sin embargo, es accesible por cualquier punto al no contar con ningún tipo de protección.

Los riesgos que se quieren eliminar con la clausura del vertedero de Bajos de Haina son:

- Contaminación del aire que afecta a las personas de Bajos de Haina.
- Contaminación de aguas subterráneas y del suelo.
- Contaminación de aguas superficiales.
- Contaminación de la fauna y flora del entorno.

### 5.2.2. Información geotécnica e hidrológica

Como se observa en los Anexos B y C, la zona que rodea al vertedero es una zona muy rica hidrológicamente hablando, con muchos arroyos superficiales y el río Haina relativamente cerca. Esto, pese a la falta de un mapa hidrológico de aguas subterráneas, nos indica que es muy probable que bajo la superficie exista también mucha agua subterránea que está sufriendo una alta contaminación por la filtración de los residuos procedentes del vertedero. En el mapa de pendientes del Anexo C no se valoran grandes pendientes en esta zona del país. Se trata de una zona llana.

Respecto al posible movimiento de tierras, no se encuentran indicios de que el movimiento de tierras sea una situación que se de con una frecuencia suficientemente relevante como para afectar al diseño del vertedero. Sin embargo, debido a las fuertes lluvias y vientos huracanados que pueden afectar a la zona en la época lluviosa, la estabilidad del suelo debe de ser vigilada para evitar que estas condiciones atmosféricas debiliten la estabilidad. Por esto es muy importante la impermeabilización máxima posible del vertedero.

La época de lluvias abarca desde Mayo hasta Octubre, aunque principalmente se concentran entre Mayo y Agosto (Figura 5.4). El plan de clausura deberá ser diseñado teniendo en cuenta estas temporadas de lluvias torrenciales, cuando una gran cantidad de agua podría acumularse.

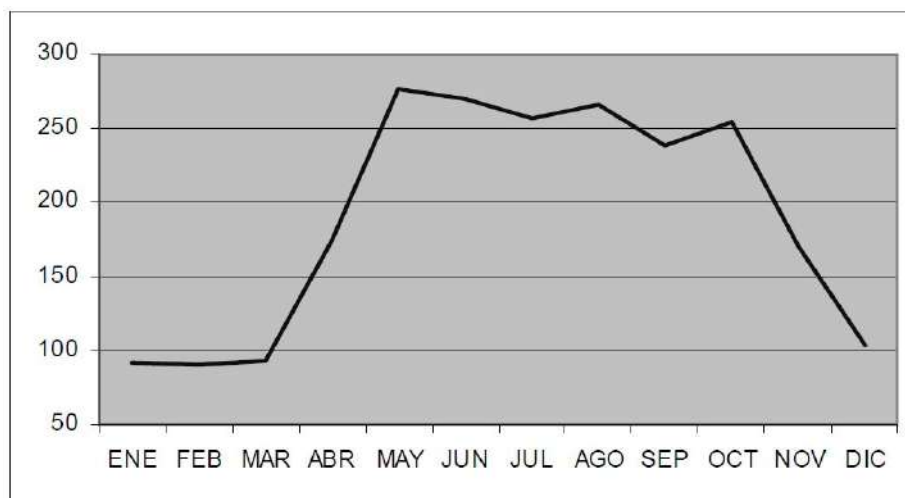


Figura 5.4: Precipitaciones San Cristóbal ( $mm/h$ ) [JELF08]

A partir de 60 mm/h se considera una lluvia como lluvia torrencial por lo que los más de 250 mm/h que suceden entre Mayo y Noviembre son un riesgo muy a tener en cuenta.

### 5.2.3. Puntos de filtración y estancamiento de lixiviados

Respecto a los puntos de filtración y estancamiento de lixiviados sería necesario un análisis “in situ” para evaluar las características del subsuelo, si existen balsas de agua en el interior del vertedero o cuales son los puntos mas susceptibles a la filtración del agua o al estancamiento de los lixiviados.

### 5.2.4. Puntos de fuga de gases

En el vertedero de Haina no han existido durante toda su vida útil como vertedero a cielo abierto ningún control respecto a los gases emitidos a raíz de la descomposición de la materia orgánica. Este descontrol convertía a toda la superficie cubierta de residuos en una cámara de gases. Entre estos gases se encuentran principalmente metano y dióxido de carbono.

Esta gran masa de gas puede producir graves incendios y explosiones, situación que ha ocurrido en Bajos de Haina. Los constantes incendios han llevado múltiples veces al pueblo de Haina a manifestarse y a pedir la intervención del gobierno. Tras estas intervenciones en diversas ocasiones, los incendios se volvían a producir en otro punto del vertedero debido a su gran extensión y a que los gases se concentran a lo largo de toda su superficie.

### 5.2.5. Uso de tierras contiguas

Las tierras contiguas al vertedero son mayormente zonas urbanas (Bajos de Haina). También, se encuentran zonas de escasa vegetación y por el norte del vertedero existen zonas de bosque latifoliado húmedo (<https://glosarios.servidor-alicante.com/bosques/bosque-latifoliado>). Estos bosques se caracterizan por especies angiospermas de hoja ancha como pueden ser la caoba, cedro, hormigo, granadillo, barba de jolote, redondo, nogal, maria, pochote. Un mapa de el uso de las tierras en República Dominicana se puede encontrar en el Anexo E.

Respecto a la capacidad productiva de las tierras contiguas al vertedero, estas son del tipo III o IV, es decir, cultivables y aptos para riego pero sólo con cultivos muy rentables o suelos cultivables pero no aptos para riego respectivamente. El primer tipo presenta una topografía llana, alomada o suavemente alomada y con factores limitantes de alguna severidad, y el segundo tipo presenta limitantes severos y requieren prácticas intensivas de manejo.

Debido a que la mayoría de las tierras contiguas al vertedero son tierras urbanas no explotadas para la agricultura se deberá poner especial atención a los olores y gases procedentes del vertedero, que sin un control especial, podrían seguir poniendo en riesgo a la población de Bajos de Haina.

### 5.2.6. Fuentes de material de cobertura

Existen diferentes materiales de cobertura que se utilicen en este tipo de proyectos. Para este proyecto en particular, el objetivo es encontrar el mejor material que además sea económicamente viable, cercano al lugar del vertedero para reducir los costes de transporte y, si fuera posible, obtenido de la manera mas sostenible.

Los parámetros más importantes de los materiales de cobertura son, la capacidad de captura de agua (afecta al encharcamiento y a la entrada de agua), la densidad (afecta a la estabilidad), la porosidad (afecta a la compactabilidad y al tránsito de maquinaria), la actividad respiratoria del suelo, el contenido orgánico y la cantidad de carbón orgánico (principal fuente de energía para los microorganismos del suelo). El último parámetro muy importante es la disponibilidad del material a partir de una fuente cercana al vertedero. Los materiales típicos son las gravas, arenas, arenas finas, arenas arcillosas y arcillas. En la Figura 5.5 se encuentran distintas cualidades de estos materiales.

<u>FACTORES</u>	<u>MATERIALES</u>				
	Gravas	Arenas	Arenas finas	Arenas arcillosas	Arcillas
Estabilidad	B	B	M	R	M
Compactabilidad	B	B	R	R	M
Tránsito de maquinaria	B	B	R	R	M
Erosión hídrica	B	R	R	R	M
Erosión eólica	B	R	M	B	R
Encharcamiento	B	B	R	R	M
Entrada de agua	M	M	M	B	B
Formación de polvo	B	R	M	R	B
Migración de contaminantes	B	B	R	R	M
Roedores	B	B	R	M	R
Insectos	M	M	R	B	B

B = Buen comportamiento. R = Aceptable. M = Malo.

Figura 5.5: Comportamiento de distintos materiales de cobertura. [MPM.90]

La provincia de San Cristóbal concentra 18 concesiones para la extracción de minerales, donde el 83,3% corresponden a roca caliza, el 11,1% a arena y el restante a caliche [PG\_17]. En el Anexo F se muestra el mapa de explotación minera de la provincia de San Cristóbal, que localiza en la zona de Bajos de Haina una alta capacidad de extracción de arena. Con la cercanía de fuentes de arena y las prestaciones que esta presenta parece que su uso es el más recomendado en cuanto a calidad y coste. Una característica que habría que mantener vigilada es su poca resistencia a la entrada de agua, que al estar sobre un suelo no impermeabilizado podría suponer una filtración constante de contaminantes a la tierra y al agua subterránea.

Para minimizar la entrada de agua, el uso de arenas arcillosas sobre la capa principal de arena puede ser efectiva. Dentro de la región de San Cristóbal se pueden encontrar también fuentes de arenas arcillosas, Anexo F.

Otros materiales de cobertura que se comienzan a utilizar son los lodos residuales tratados (puros o mezclados con arena) y el compost [MMB\_12]. Además de esta cobertura, la fitocaptación es un procedimiento muy utilizado para reducir el tiempo de vida del vertedero una vez clausurado. Esta tecnología consiste en la plantación de vegetación encima del material de cobertura para aumentar la retención de gases y agua, y para aumentar la actividad biológica en el material de cobertura.

Respecto a los lodos, en la zona de San Cristóbal, el proceso de tratamiento de las aguas residuales es el de lodos activados. Este proceso consiste en la depuración del agua por medios biológicos, introduciendo diversas bacterias que, junto con la agitación mecánica, permite la reutilización de estas aguas residuales [VINCI21]. El proceso de estabilización de los lodos y su adaptación para uso de manto de cobertura del vertedero consiste en la deshidratación de los lodos junto con cal y cenizas volantes.

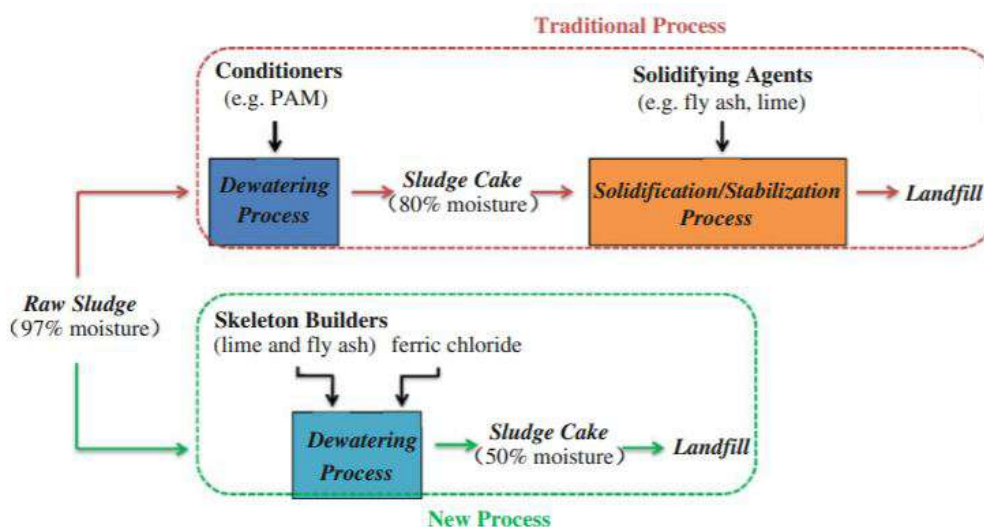


Figura 5.6: Nuevo proceso de tratamiento de los lodos para su uso como material de cobertura [YJJ\_14].

El proceso de deshidratación empleado se muestra en la Figura 5.7. Consta de tres etapas: acondicionamiento de lodos, alimentación de lodos y filtros de prensa de diafragma.

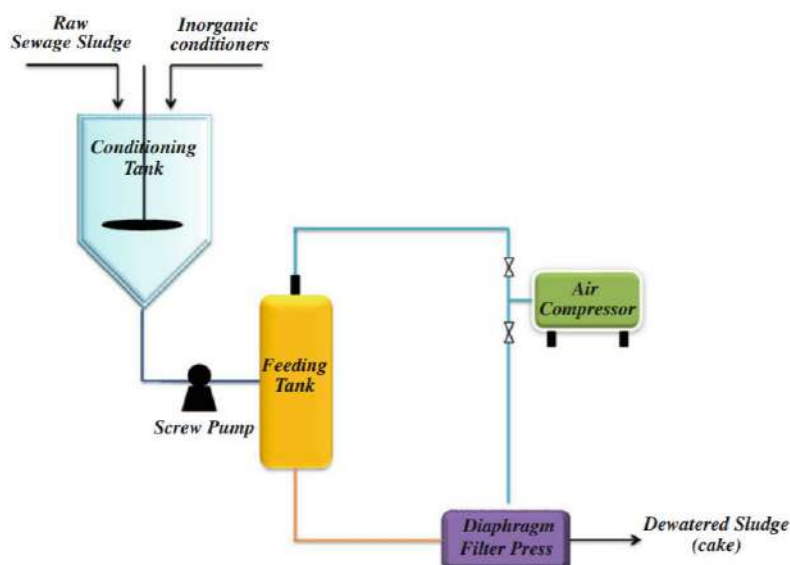


Figura 5.7: Proceso de deshidratación de lodos para su uso como material de cobertura [YJJ\_14].

Este nuevo proceso, si viable, podría sustituir a la cobertura tradicional con arena y evitar la sobre explotación de las minas de las que dispone República Dominicana. Si en un futuro se proponen cerrar los más de 350 vertederos que se encuentran en el país, el uso de los lodos tratados puede ser una forma sostenible de resolver el problema. En tal caso, debería estudiarse la capacidad de generación de lodos reutilizables de República Dominicana. Para el caso del vertedero de Haina, la generación de lodos necesaria para su uso como material de cobertura debería ser de al menos [STW\_85]:

$$67,3 \text{ toneladas/ha} \cdot 5,214 \text{ ha} = 350,9 \text{ toneladas} \quad (5.1)$$

### 5.3. Cierre seguro

Los requisitos básicos para clausurar un vertedero incontrolado de manera sostenible incluye proporcionar un recubrimiento del suelo, una capa de vegetación, un sistema de drenaje, un sistema de control de lixiviados y gases, un monitoreo general de todos los sistemas y un sistema de seguridad del recinto. Los requisitos mencionados son considerados requisitos básicos ya que es lo mínimo para el cierre seguro en un caso general, sin embargo, casos particulares podrían requerir de medidas adicionales para garantizar la seguridad de la población y del medioambiente [UNEP05].

Además de estas consideraciones técnicas (viabilidad técnica), es necesario tener en cuenta otros aspectos también fundamentales para la buena ejecución de un plan de clausura y post-clausura. Alrededor de un buen planteamiento técnico deben considerarse también a las diferentes personas involucradas y beneficiadas (o no) de la clausura del vertedero y las políticas de gestión de residuos que se les aplica. También, el objetivo del plan es una futura buena gestión de los residuos y del efecto que estos provocan al medio ambiente, por lo que deberá de ser ambientalmente sólido. Por último, la viabilidad financiera es siempre muy importante, y cobra mayor relevancia en países con pocos recursos en donde la eficacia debe de ser máxima.



Figura 5.8: Evaluación del plan de clausura y post-clausura [UNEP05]

### 5.3.1. Estabilización de los residuos

La estabilidad de los residuos es de vital importancia a la hora de realizar el cierre seguro. Los problemas asociados a una mala estabilización de los residuos son de gran relevancia, pues pueden ocasionar la movilización de una gran cantidad de residuos que resulte muy peligrosa para personas dentro del recinto del vertedero. Además, la recogida y saneamiento de los residuos son tareas muy complejas que acarrear un coste económico muy elevado. [EOI.21]

Para residuos sólidos urbanos se considera estable una pendiente de 3H:1V, es decir, por cada tres unidades de longitud horizontal una vertical (Figura 5.9).

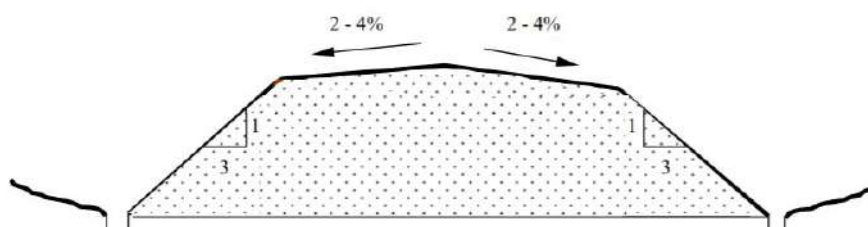


Figura 5.9: Pendiente estable de un vertedero [UNEP05]

La estabilidad de los residuos puede mejorarse mediante la adopción de alguna de las siguientes medidas [EOI.21]:

- Capas de poco espesor con un alto nivel de compactación de residuos.
- Mantenimiento de los sistemas de drenaje para limitar el porcentaje de humedad de los residuos.
- La compactación de los residuos de baja densidad mezclándolos con otros residuos previo a su vertido.

Para garantizar la pendiente de los residuos será necesario el uso de maquinaria específica para el movimiento de los residuos y su compactación. La maquinaria necesaria es:

- Palas de cadenas - Para extender los residuos.
- Compactadora de basura - Para compactar los residuos.



Figura 5.10: Palas de cadenas y compactadora de basura [ATE\_10]

Durante el extendido y mezclado de los residuos se usarán las **palas de cadenas**. Con esta máquina se pretenderá extender los residuos formando una pendiente de entre el 6 y el 10 % con el objetivo de facilitar la evacuación de las aguas. Los residuos deberían disponerse en distintas capas de entre 0,5 y 1,5 metros de alto. Dentro de una capa debería haber distintos tipos de residuos para garantizar la homogeneidad del terreno y no crear zonas blandas [ATE\_10].

Durante la compactación de los residuos se usara la **compactadora de basura**. El grado de compactación de los residuos es un parámetro muy importante, cuanto mayor sea este más estable será la masa de residuos. El proceso de compactación es un proceso sistemático, dando siempre no más de 6 pasadas. Otro de los objetivos de la compactación es evitar huecos, vacíos, agujeros, etc. Como se ha comentado anteriormente y se observa en la Figura 5.9, los laterales del vertedero se deberán conformar con una pendiente máxima de 30° [ATE\_10].

A parte de estas medidas, será necesario un estudio de la estabilidad de los residuos y un plan de control y vigilancia. Esto tiene gran relevancia debido al carácter dinámico de un vertedero, que implica que el vertedero puede sufrir alteraciones con el paso del tiempo que será necesario conocer y en su mayor medida prever y evitar.

### Estudio y control de la estabilidad de los residuos

A la hora de desarrollar un plan de control de la estabilidad de residuos se deberán conocer en la mayor medida posible los siguientes parámetros [MID\_11]:

- Propiedades del suelo de cimentación.
- Propiedades de resistencia de los residuos solidos.
- Inclinación de los taludes.
- Niveles de lixiviado y flujo dentro del relleno.
- Tipo de cobertura.
- Resistencia de la cobertura a la erosión.

Se considerarán actualizados los parámetros si la última fecha de medición es menor o igual a un año de antigüedad. Además, los residuos se considerarán estables en función del uso que se le da al suelo encima de ellos. Se utilizará un factor de seguridad para medir la capacidad del suelo de aguantar el uso al que esté o vaya a estar sometido. Se entiende como factor de seguridad al

cociente entre las fuerzas estabilizadoras (interacción entre los residuos y entre los residuos y el suelo de cimentación) y las fuerzas desestabilizadoras (resto de fuerzas que desestabilicen los residuos).

$$FS = \frac{S}{T} \quad (5.2)$$

Considerar un factor de seguridad aceptable o no dependerá del uso al que se someta el suelo y de la legislación concreta de los proyectos específicos en República Dominicana en concreto. En España, este factor deberá ser, en casos de riesgo alto, de al menos 1,5 tal y como muestra la Figura 5.11.

Riesgo	Tipo de residuo		
	Inerte	No peligroso	Peligroso
Bajo	1.3	1.4	1.5
Medio	1.4	1.5	1.6
Alto	1.5	1.6	1.8

Figura 5.11: Factor de seguridad en la estabilidad de los residuos de vertedero [CEDEX\_13]

Es importante tener en cuenta que en los primeros años tras la clausura de un vertedero, los residuos pueden sufrir unos porcentajes de asentamientos de más de un 20%. Estos asentamientos no suelen ser homogéneos, lo que genera estropicios en las capas de sellado y en las instalaciones de clausura. Es por eso por lo que en ocasiones se usa una cobertura provisional igual o mayor a 30 cm de suelo compactado para luego construir la capa de sellado definitiva de 2 a 4 años después [AMS\_16]. A continuación se comentará el proceso de cobertura final de un vertedero.

### 5.3.2. Cobertura final

La cobertura final suele consistir en un sistema de capas (“Capping system”) y se utiliza con numerosos objetivos, que son:

1. Protección de la salud humana y del medio ambiente.
2. Reducción de la infiltración de aguas de lluvia.
3. Barrera contra la escorrentía superficial.
4. Mejora de la generación y capacidad de captura del biogás.
5. Protección contra incendios.
6. Reducción de los malos olores.
7. Control de vectores infecciosos.

Este sistema de capas suele contar con 7 capas diferentes, cada una cumpliendo un objetivo particular de los mencionados. El orden de estas capas se muestra en la Figura 5.12. A continuación se describirán las características de cada una de las capas y los objetivos principales que debe cumplir. Una vez conocidos los objetivos principales de cada capa se podrá elegir el material que mejor se adapte a la función correspondiente.

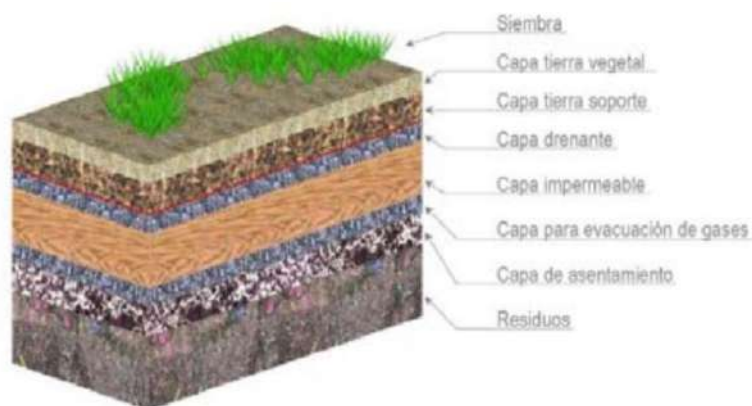


Figura 5.12: Capa de sellado general [ATE\_10]

Capa	Objetivo	Material	Espesor
Capa de regularización	Homogeneizar el suelo justo encima de los residuos. Sirve de base para el resto de capas superiores.	Arena o lodos tratados.	Mínimo 0.5 m
Capa de recogida de gas	Segunda capa de la cobertura. Su objetivo es almacenar el gas para que pueda ser sustraído.	Grava arenosa o escombros de construcción. Alta permeabilidad.	0.3 m
Capa impermeable	Barrera de baja permeabilidad para evitar que el agua penetre en la capa de recogida de gas.	Arcilloso. A veces protegido con una geomembrana.	0.4 m
Capa drenante	Recoger las aguas pluviales que penetren las capas superiores.	Granular (Arena o grava) o Geosintética (Geored o Geotextil).	Depende de la cantidad de agua.
Capa soporte	Minimizar la erosión y evitar la saturación de los poros de la capa permeable.	Geomalla	Indeterminado
Capa vegetal	Ultima capa para permitir el crecimiento de nueva vegetación.	Tierra	Mínimo 0.2 m (depende de las especies plantadas)

Tabla 5.1: Capas de sellado [MARN05] [AMS\_16]

La suma de los espesores de las capas de sellado deberá tener un mínimo de 100 cm y una permeabilidad <sup>1</sup> mínima de  $10^{-7} \text{ cm/s}$  [JJ\_02], como se observa en la Figura 5.13.

<sup>1</sup>Coficiente de permeabilidad asociado a la ley de Darcy, se refiere al flujo de fluidos a través de los suelos.

k (cm/s)	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
Drenaje	Bueno						Malo	Prácticamente impermeable				
Relleno sanitario	Pésimo									Bueno		
Tipo de suelo	Grava gruesa (cascajo)	Arena limpia, arena mezclada con grava			Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla				Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización			
		Suelo impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización										

Figura 5.13: Permeabilidades admisibles para rellenos sanitarios y capas de drenaje [JJ\_02]

Dentro de los materiales utilizados se encuentran los geosintéticos. Los geosintéticos son materiales muy utilizados tanto para el cubrimiento de los rellenos sanitarios como para la preparación del suelo antes de construir un relleno sanitario. Existen diferentes tipos y cada uno con distintas cualidades. Los mencionados en la Tabla 5.1 son [MJ\_21]:

- Geomembrana - Láminas poliméricas relativamente impermeables utilizadas como barreras de líquidos, gases y/o vapores.
- Geotextil - Se usan con fines de filtración o para proteger a las geomembranas de un punzonado.
- Geomalla - Se usan para reforzar el suelo de cobertura por encima de las geomembranas.
- Geored - Usadas en drenaje planar.

Este esquema de sellado definido resultaría el más completo y por lo tanto el más costoso (135.000 - 400.000 €/ha) [AMS\_16]. En el caso de Bajos de Haina este coste puede no ser asumible, por lo que otras opciones deberían ser también estudiadas (Figura 5.14).

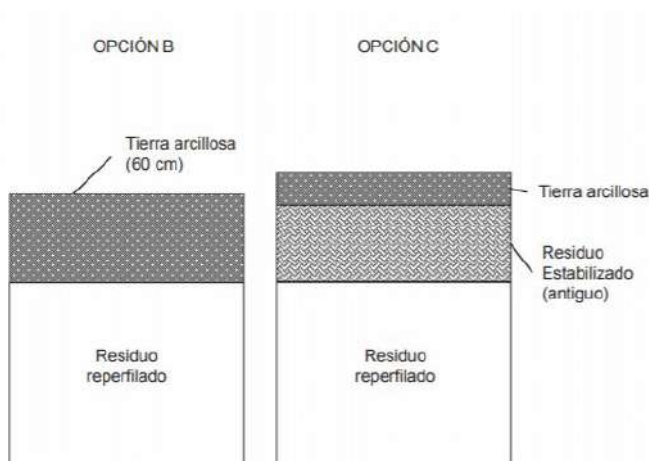


Figura 5.14: Otras opciones de sellado de vertederos [AMS\_16]

La opción B consistiría en una opción intermedia, colocando simplemente 60 cm de material arcilloso sobre los residuos. Si esta solución sigue siendo económicamente inasumible, se puede reducir la cantidad de arcilla necesaria, tal y como se muestra en la opción C. En esta opción, si los

residuos han ido degradándose al aire libre, se pueden utilizar residuos antiguos ya estabilizados por la descomposición natural como material de cobertura. Sobre esta capa de residuos estabilizados se colocará otra capa más fina que en la opción B de tierra arcillosa. [AMS.16]

Las opciones B y C son técnicamente viables ya que la arcilla es un material de muy poca permeabilidad, que sitúa al material lo más a la derecha posible en la Figura 5.13 con un coeficiente de permeabilidad hidráulica  $k = 10^{-2} - 10^{-6} \text{ cm/s}$ . En el caso C, la permeabilidad de los residuos estabilizados depende del nivel de compactación, si el grado de compactación es alto podría alcanzarse una permeabilidad entre  $k = 2,5 \cdot 10^{-6} - 5,9 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}$ , lo que lo convierte en un material de cobertura aceptable.

### 5.3.3. Ventilación de gases

La ventilación de los gases de vertedero es otra tarea de suma importancia a la hora de la clausura de un vertedero. Estas emisiones deben controlarse para evitar efectos no deseados, como pueden ser: toxicidad, olores, posibles explosiones y por su contribución al efecto invernadero. En algunos casos, si la cantidad de metano es la suficiente, puede resultar beneficioso su aprovechamiento. Estos casos suelen ser en los vertederos con más de 150.000 toneladas de residuos y un 50% de materia orgánica, de donde se suelen extraer al menos  $300 \text{ nm}^3/\text{h}$  con más del 50% de metano. [AMS.16]

En el caso de que las condiciones del vertedero no permitan una reutilización del metano económica, se suele optar por el venteo o el método de la antorcha. El venteo consiste en disipar a la atmósfera los gases de vertedero, sin tratamiento previo, pero evitando su acumulación. El método de la antorcha sirve para destruir el metano y otros gases contaminantes sin ningún aprovechamiento energético. En este caso, es necesario vigilar la temperatura de la llama, la calidad de la mezcla de gases de vertedero y aire de combustión previa a la llama y el tiempo de residencia de los gases en la antorcha; en caso de que no se controle, podrían producirse otros gases peligrosos, como  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , aunque también dioxinas y PAHs [EJGV15].

Para la extracción del gas de vertedero es necesario la colocación de los pozos de extracción de metano, Figura 5.15. La localización de los pozos de extracción, uno por cada dos hectáreas y como mínimo una por módulo, debe de ser en la mayor cota final sobre el módulo cubierto. Estas tuberías pueden construirse de diversas formas y con diversos materiales [COUNC17].

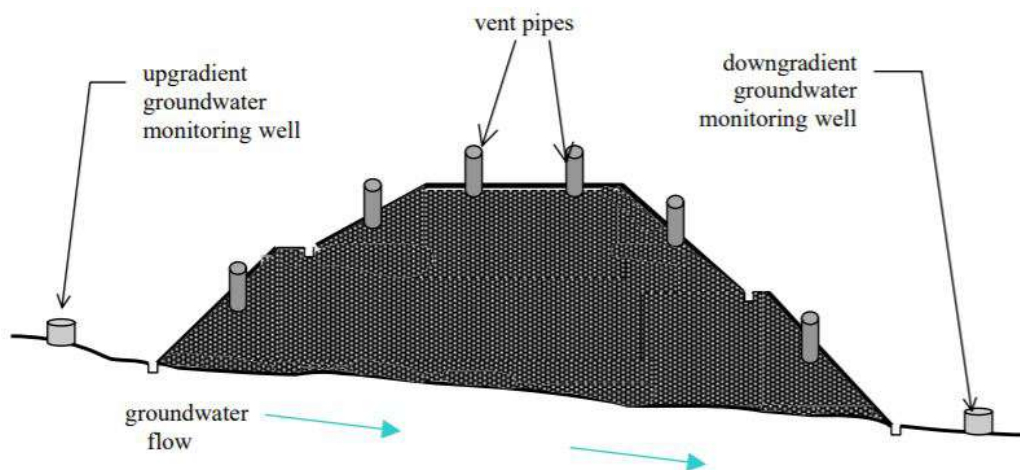


Figura 5.15: Instalación de venteo de gases [UNEP05]

El proceso de colocación de este tipo de pozos consiste en la abertura de una cavidad (excavada o perforada) sobre la que se colocará una tubería de HDPE en una capa de material grueso (por

ejemplo, grava, escombros, astillas de madera). En la parte superior de la campana se incorporan conexiones al sistema de captación así como a otros elementos, como una válvula para controlar la presión de aspiración en el pozo, puntos de muestreo para el análisis de la calidad del gas o un sifón para reconducir el agua condensada al interior del pozo o directamente a los residuos. El material utilizado para la tubería y el filtro del pozo suele ser polietileno (PE 100). Este material es resistente a la corrosión, rígido pero elástico en cierta medida, por tanto resistente a los asentamientos laterales. El diámetro del pozo (incluyendo la capa de material grueso, tipo grava) es de aproximadamente 80-120 cm. El diámetro exterior de la tubería de polietileno en el interior del pozo oscila entre 110-200 mm. En áreas con gran exceso de precipitaciones (o cuando se prevé que el sistema asuma grandes cantidades de agua), se recomiendan diámetros externos de 160 mm y superiores. Esto permite drenar el agua en caso de que los residuos situados en torno al pozo se sobresaturen [EJGV15].

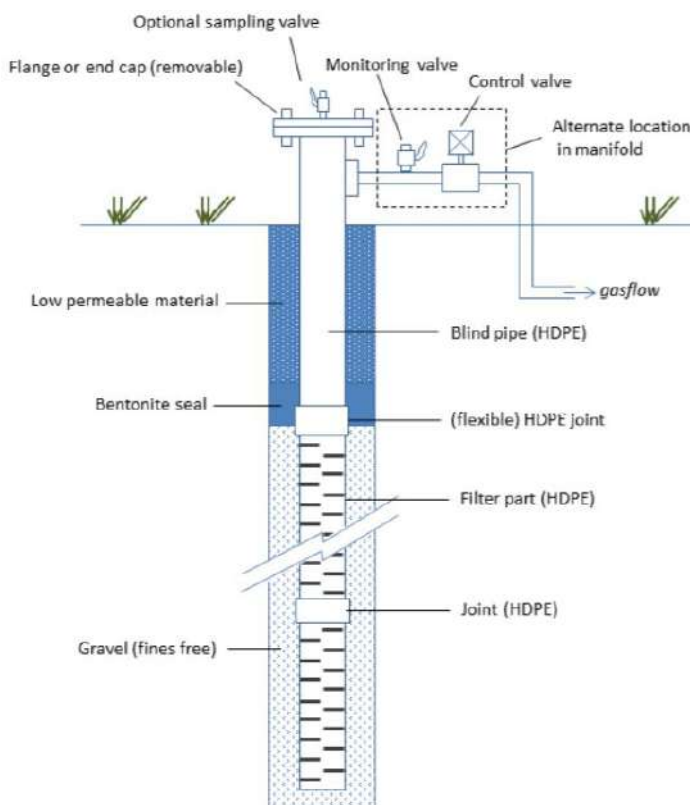


Figura 5.16: Detalle de un pozo vertical [EJGV15]

Si la producción de gas de vertedero supera los **300 nm<sup>3</sup>/h** con más del 50% del contenido en metano, podría ser una opción rentable su aprovechamiento. En función del porcentaje de metano, distintas alternativas pueden ser las más rentables (Figura 5.17).

Methane content	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
flare										
flare low calorific gas										
electricity production gas engine										
electricity production gas turbine										
direct use of LFG										
SNG production										

Figura 5.17: Usos del gas de vertedero en función de su contenido en metano [EJGV15]

Los criterios de elección más importantes entre las distintas opciones son:

- Existencia de posibles usuarios finales o la posibilidad de poder distribuir el gas (como gas de vertedero o como gas depurado) en las proximidades del vertedero (como máximo a una distancia de 5 km del vertedero).
- Preferencias de un posible socio involucrado en el proyecto. Este factor es importante, ya que las empresas de generación energética juegan a menudo un papel determinante en el desarrollo del método de aprovechamiento de los gases de vertedero y la mayoría de ellas disponen de una determinada experiencia y de preferencias respecto a un método u otro.
- Un elemento que también es importante y que influye en la recuperación de los gases de vertedero es la calidad mínima del gas necesaria para poder ser aprovechado. Algunos métodos (como por ejemplo, la depuración de los gases para obtener un gas con calidad de gas natural) requieren un contenido de metano más elevado que otros. Esto limita las posibilidades de optimizar la recuperación de los gases de vertedero mediante el aumento de la presión de aspiración en el pozo, por lo que se acepta, en consecuencia, una menor calidad del gas.

### Cálculo de la cantidad de gases emitidos

Para calcular la cantidad de gases emitidos si no se tienen medidores específicos consiste en:

1. Calcular la cantidad de metano emitida:

$$M_{CH_4} = L_o \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \tag{5.3}$$

$M_{CH_4}$  Generación de  $CH_4$  en el tiempo, (Tm/año)

$L_o$  Potencial de generación de metano (Tm  $CH_4$ /Tm residuo)

R Media anual de basura biodegradable-orgánica (Tm residuo/año) (sólo fracción biodegradable, la fracción inorgánica no se computa en R)

k Ratio generación de metano (1/año)

C Tiempo desde la clausura del vertedero (años)

T Tiempo desde la primera deposición de basura (años)

- Ratio de generación de metano (k): Este dato se puede obtener de la siguiente tabla.

K	Tipo de clima
0,04	Precipitación anual mayor de 625 mm
0,02	Precipitación anual menor de 625 mm

Figura 5.18: Factor K a aplicar para el cálculo de la emisión de  $CH_4$  [EJGV15]

- Potencial de generación de metano (Tm  $CH_4$ /Tm residuo) ( $L_o$ ): Depende del contenido orgánico del residuo y de la humedad. Se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$L_o = DOC \cdot DOC_f \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot MCF \tag{5.4}$$

- MCF. Factor de corrección de un vertedero.

Tipo de vertedero	MCF
Vertedero moderno gestionado	1
Vertedero no gestionado poco profundo ( $< 5m$ )	0,4
Vertedero no gestionado profundo ( $> 5m$ )	0,8

Tabla 5.2: Valores de MCF en función del tipo de vertedero [EJGV15]

- DOC. Fracción de carbono orgánico biodegradable en el residuo.

$$DOC = 0,4 \cdot A + 0,17 \cdot B + 0,15 \cdot C + 0,3 \cdot D \quad (5.5)$$

A Tanto por uno en peso de la fracción de papel y textiles.

B Tanto por uno en peso de la fracción de resto de podas de jardín y bosques.

C Tanto por uno en peso de la fracción de restos de alimentos.

D Tanto por uno en peso de la fracción de madera.

- $DOC_f$  Parte de la fracción de carbono orgánico degradable (DOC) que se convierte en gas de vertedero:

$$DOC_f = 0,014 \cdot T^a + 0,27 \quad (5.6)$$

- F Fracción de  $CH_4$  del gas de un vertedero gestionado, por defecto se toma 0,5.

- Para convertir la  $M_{CH_4}$  en volumen habrá que convertirlo dependiendo de la presión y de la temperatura.

## 2. Cálculo de la fracción restante de gases emitidos:

$$V_{CO_2} = V_{CH_4} \cdot \frac{40}{55} \quad (5.7)$$

$$V_{N_2} = V_{CH_4} \cdot \frac{5}{55} \quad (5.8)$$

$$V_T = V_{CH_4} + V_{CO_2} + V_{N_2} \quad (5.9)$$

## Vigilancia y mantenimiento del sistema de ventilación

El sistema de ventilación de gases debe estar constantemente vigilado y mantenido tras su implementación. A continuación se muestran en la Figura 5.19 distintos aspectos que deben controlarse.

	Método	Unidad	Frecuencia de control	de	Frecuencia de notificación de la información
<b>A: Pozos de gas</b>					
<b>Concentraciones de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y de O<sub>2</sub></b>	Medición	% en volumen	Mensual/bimestral		Ninguna
<b>Presión del gas (en el lugar de medición del caudal)</b>	Medición	mbar	Mensual/bimestral		Ninguna
<b>Nivel de condensado/lixiviados</b>	Medición	cm	Semestral		Ninguna
<b>B: Colectores del condensado</b>					
<b>Nivel de condensado</b>	Medición	cm	Semestral		Ninguna
<b>C: Estación de compresores</b>					
<b>Horas de funcionamiento del compresor</b>	Medición	hora	Semanal		Anual
<b>Caudal de gas</b>	Medición	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	Semanal		Anual
<b>Concentraciones de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y de O<sub>2</sub></b>	Medición	% en volumen	Continuamente		Anual
<b>Presión del gas (en el lugar de medición del caudal)</b>	Medición	mbar	Semanal		Anual
<b>Temperatura del gas (en el lugar de medición del caudal)</b>	Medición	°C	Semanal		Anual

Figura 5.19: Control de los parámetros de operación y vigilancia [EJGV15]

### 5.3.4. Recolección y recirculación de aguas y lixiviados

Al tratarse de un vertedero incontrolado, la separación del agua de limpia y del agua contaminada se hace impracticable. Por este motivo se realizará un análisis conjunto de las posibilidades para la recolección y recirculación del agua en el vertedero. Para conocer los flujos de agua y los lixiviados que se producen, necesario para controlar y realizar una adecuada gestión de los lixiviados y evitar la contaminación del suelo y las aguas, es necesario realizar un balance hídrico [EJGV15].

Un balance hídrico consiste en definir y cuantificar las entradas, flujos interiores y salidas de agua. Es importante tener en cuenta las variaciones interiores de agua, ya que la entrada y salida de agua no se produce de manera instantánea. Los objetivos de esta balance son conocer:

- Si el vertedero funciona correctamente o como se esperaba.
- Si pudiera existir alguna salida indeseada/inesperada de lixiviados hacia el medio o una acumulación de agua en el propio vaso de vertido.
- Si existe alguna entrada de agua oculta.

Tras la definición dada de un balance hídrico, la ecuación por la que se rige es la siguiente:

$$ENTRADAS = SALIDAS \pm VARIACION INTERIOR \quad (5.10)$$

A continuación, se comentará qué influye en cada uno de los factores de la ecuación, entradas, salidas y variación interior. Un esquema de eso puede verse en la Figura 5.20. En el caso de Bajos de Haina, no existe el área impermeabilizada que aparece en la imagen con una línea más gruesa bajo el vaso de vertido.

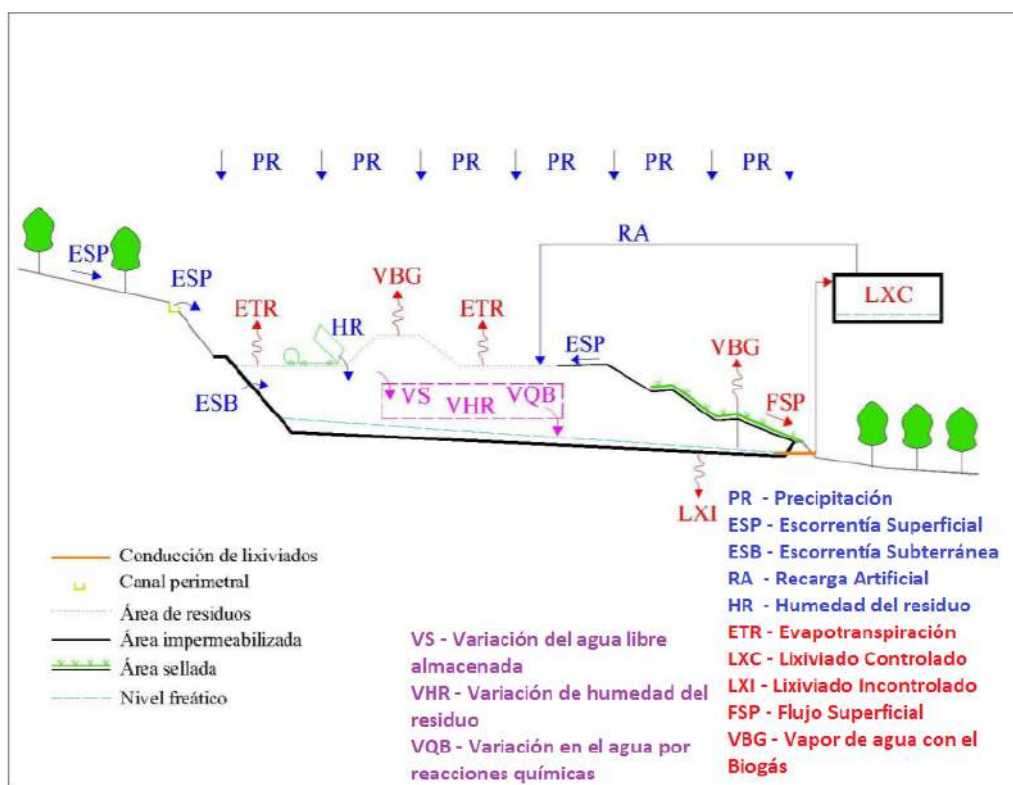


Figura 5.20: Esquema general de entradas y salidas de agua en un vertedero [EJGV15].

En primer lugar, las entradas. Como entradas se consideran precipitación (PR), escorrentía superficial (ESP), escorrentía subterránea (ESB), recarga artificial (RA) y humedad del residuo y de otros materiales depositados (HR).

### Precipitación

La precipitación es el mecanismo principal para la entrada de agua en un vertedero. Especialmente en lugares de alta precipitación como es República Dominicana se debe de tener un control exhaustivo de la cantidad de agua precipitada.

Los datos de la precipitación, a poder ser, deberán ser por hora y en caso contrario diarios. Estos datos se recogerán de observatorios situados preferentemente en el propio vertedero. En el caso de que el vertedero no cuente con su propio observatorio, se utilizarán los más cercanos al emplazamiento, siempre y cuando presenten aproximadamente las mismas condiciones climatológicas. La representatividad de estos observatorios dependen de diversos factores como altitud, orografía, exposición de los vientos, etc. Si no existe un observatorio suficientemente cerca y con una similitud climatológica alta, se utilizarán los tres observatorios más cercanos.

En el caso de Bajos de Haina, se utilizarán las tres estaciones más cercanas al no conocer de la existencia o no de un centro de observación en el propio vertedero. Los tres observatorios se encuentran en el Distrito Nacional, Nizao y San Cristóbal, a 13.38, 28.29 y 6.56 km respectivamente.

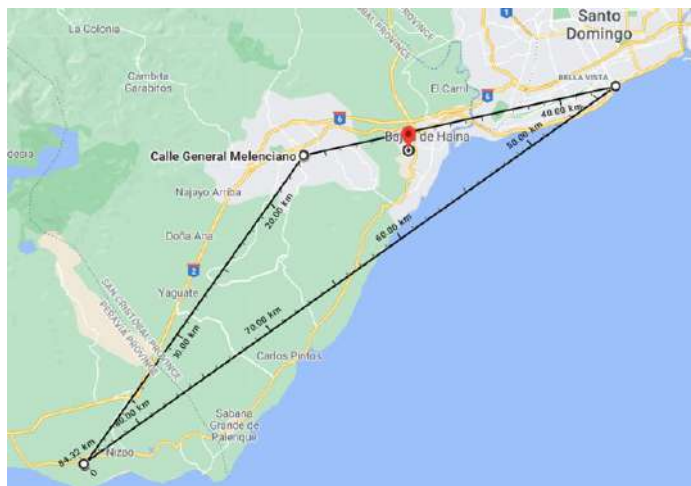


Figura 5.21: Observatorios cercanos al vertedero de Bajos de Haina [ONAMET]

Tras recopilar los datos de las tres estaciones, se ponderan en función de las distancias, dándole a cada una un peso por el que va multiplicado. La precipitación en el vertedero, siendo I el peso de cada una de las estaciones y P la precipitación medida en cada estación, será entonces:

$$P_{vertedero} = P_{E1} \cdot I_{E1} + P_{E2} \cdot I_{E2} + P_{E3} \cdot I_{E3} \tag{5.11}$$

Realizando el diagrama ternario con las distancias del vertedero a cada estación obtenemos:

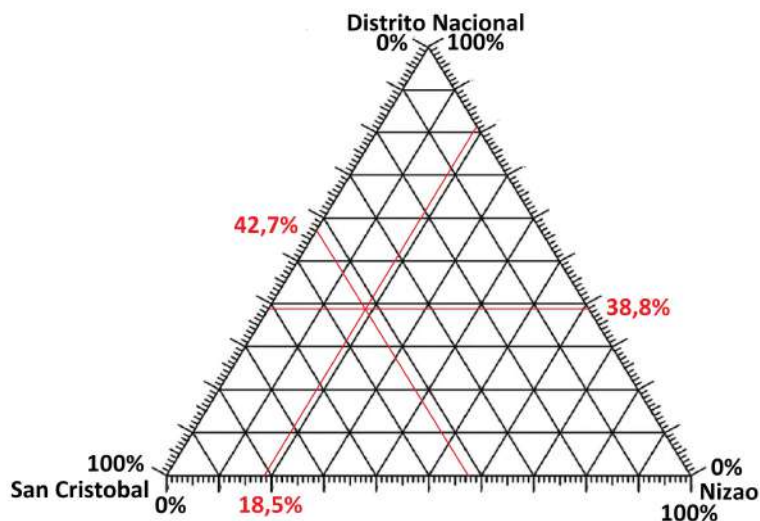


Figura 5.22: Diagrama ternario con los pesos de cada estación

Con estos porcentajes, el cálculo de la precipitación en el vertedero quedaría:

$$P_{vertedero} = P_{SC} \cdot 0,427 + P_{DN} \cdot 0,388 + P_N \cdot 0,185 \tag{5.12}$$

### Escorrentía superficial

La escorrentía superficial consiste en la entrada de agua por los laterales del vaso de vertido. Para evitar estas entradas, se debe garantizar una buena impermeabilización de la parte superior de los residuos y generar pendientes en estos y en la periferia para evitar su estancamiento. Por otro lado, también se deben construir canales en la periferia para que recojan las aguas de lluvia y las circulen hacia un lugar de almacenamiento y tratamiento [UCC.17].



Figura 5.23: Trincheras perimetrales para la evacuación del agua de lluvia [UIS\_05]

Estas trincheras perimetrales (Figura 5.23) pueden ser circulares, rectangulares o trapezoidales. Deben de estar impermeabilizadas para evitar que el agua penetre en la tierra y deben de tener una profundidad mínima de 40 cm para garantizar la evacuación total del agua de lluvia. En zonas como Bajos de Haina la profundidad deberá ser mayor debido a las lluvias torrenciales que suceden en los meses de lluvias.

Para dimensionar las trincheras perimetrales será necesario conocer el caudal de los cursos superficiales de agua como arroyos o regueros a partir de caudalímetros, y el caudal de escorrentía de ladera a partir de la precipitación, los datos de las superficies que generan escorrentía y los coeficientes de infiltración de dichas superficies. Para el cálculo del caudal de escorrentía de ladera existen dos procedimientos:

- Utilizar coeficientes de escorrentía <sup>2</sup> (C) que relacionan la escorrentía superficial (ESP) con la precipitación (PR) en la forma:

$$ESP = C \cdot PR \quad (5.13)$$

- A partir del valor de lluvia útil <sup>3</sup> (LLU) y aplicar sobre él un coeficiente de infiltración <sup>4</sup> (CI) de dicha lluvia útil para diferenciar las partes que se infiltran en el terreno y aquellas que derivan superficialmente.

$$ESP = CI \cdot LLU \quad (5.14)$$

### Escorrentía subterránea

En algunos casos, especialmente en vertederos sin impermeabilización del fondo, es posible la entrada de agua a través de las paredes del vaso. Estas entradas pueden ser puntuales o difusas, si se trata de un flujo generalizado que atraviesa el terreno donde se enclava el vertedero y el vaso donde se depositan los residuos o si consisten en emanaciones de agua que pueden aflorar en toda

<sup>2</sup>Página 195 del **Reglamento técnico para el diseño de obras e instalaciones hidro - sanitario del INAPA.**

<sup>3</sup>Cantidad de precipitación que no ha sido evapotranspirada y que, por tanto, puede discurrir superficialmente, infiltrarse o ambas cosas a la vez.

<sup>4</sup>Páginas 59 y 60 del **Documento guía para la realización de balances hídricos en vertederos.**

la superficie de contacto vaso-terreno.

Los primeros reciben el nombre de surgencias ocluidas, que pueden presentar caudales de entidad y persistencia en el tiempo. Los datos necesarios para estimar su aporte al balance hídrico se pueden obtener de:

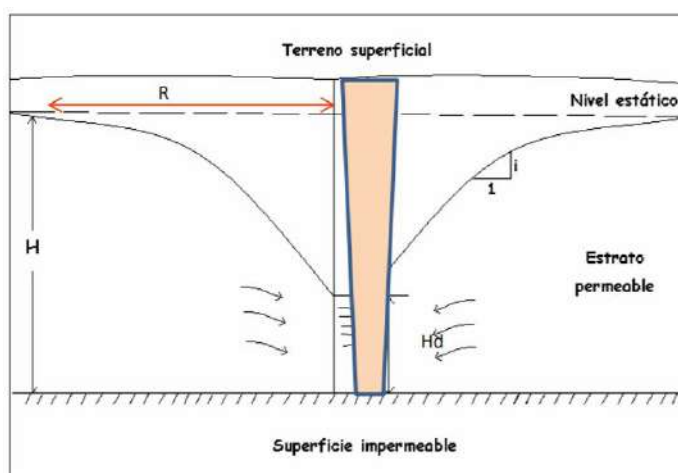
- El caudal determinado mediante aforos directos durante la realización del estudio hidrológico (si existen).
- Datos y controles históricos de la surgencia antes de la implantación del vertedero.
- Registros del inventario de puntos de agua de la cuenca.
- Estimación en función de la hidrología del emplazamiento.

Los segundos reciben el nombre de entradas difusas, que pueden presentar escaso caudal de forma unitaria, pero en su conjunto pueden suponer un caudal de entidad. Los datos necesarios para estimar su aporte al balance hídrico son:

- Coeficientes de permeabilidad del terreno, de la capa o sistemas dispuestos sobre la pared del vaso y de la masa de residuos. Determinados a partir de ensayos, otro tipo de estudios o a partir de referencias bibliográficas.
- Nivel freático exterior (en el terreno). Determinado mediante medición en pozos de control, deducción estimativa a partir de otro tipo de información relacionada con el medio externo o en caso de no disponer de datos de niveles externos ni de otra información que permita deducirlo, se admitirá que el nivel freático en el terreno se sitúa en el borde superior del vertedero.
- Nivel freático interior (en el vertedero). Determinado mediante medición en pozos de control o pozos de extracción de gas o en caso de no disponer de datos de niveles internos, se admitirá que el nivel freático en el vertedero se sitúa en el fondo o base del mismo.
- Configuración hidrogeológica del área y dirección de flujo subterráneo en el entorno.
- Geometría (dimensiones) del vertedero.

Los cálculos necesarios para estimar la entrada difusa de aguas responden a la siguiente ecuación, únicamente válida en el caso mostrado en la Figura 5.24:

$$q = k \cdot \frac{H^2 - Hd^2}{R} \quad (5.15)$$



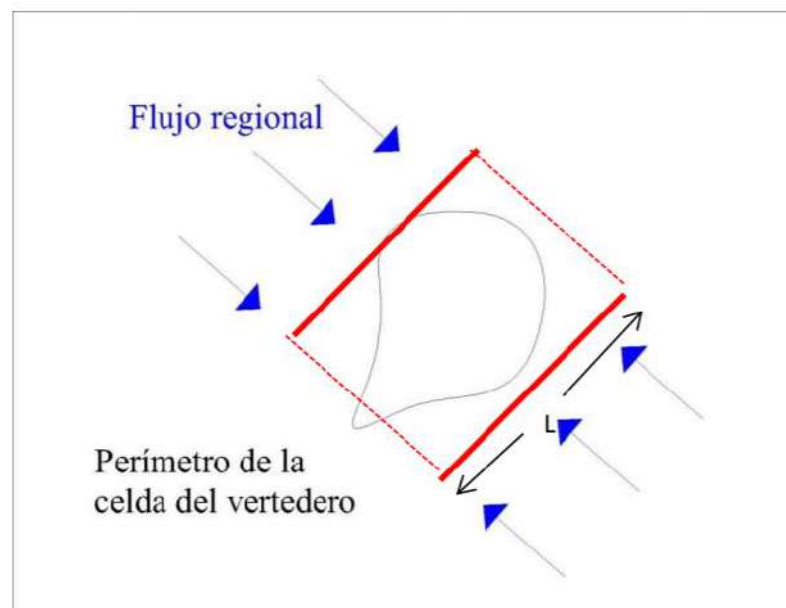


Figura 5.24: Esquema ilustrativo de zanja drenante totalmente penetrativa de un terreno permeable [EJGV15].

### Recarga artificial

Estas entradas consisten en entradas artificiales de agua al vertedero. Ejemplos de esto pueden ser: el riego con agua limpia para la prevención de incendios, riegos con recirculación de lixiviados, vertidos de aguas procedentes de instalaciones cercanas y/o fugas de depósitos o conductos de agua cercanos.

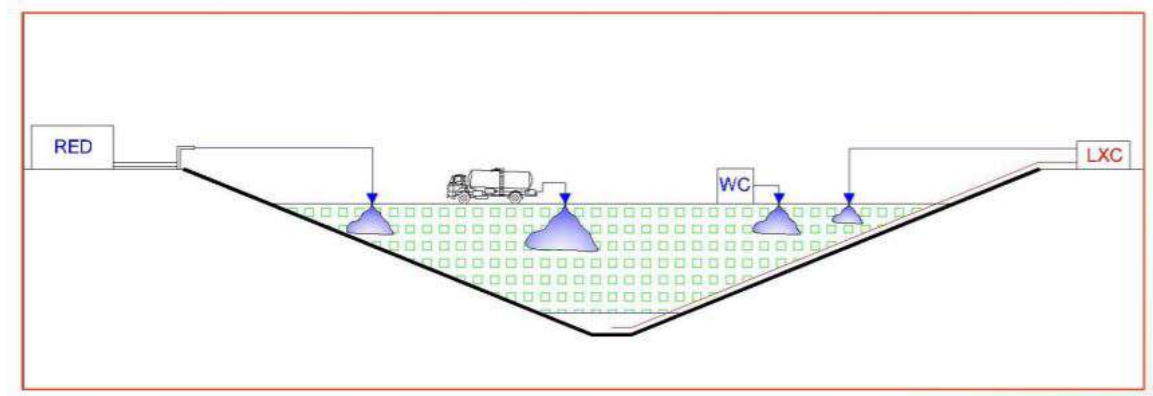


Figura 5.25: Posibles entradas de agua por recarga artificial [EJGV15].

Los datos necesarios para el cálculo de este parámetro serán obtenidos directamente mediante:

- Caudalímetros o contadores insertados en las conducciones de agua externa.
- Caudalímetros o contadores para el control de la recirculación de lixiviados.
- Contabilidad del volumen aportado mediante cisternas.
- En el caso de fugas: tipo, duración de la misma y caudal implicado.

Además, en el caso de riegos, se deberá contar con:

- Datos meteorológicos.
- Superficies de aplicación de los riegos.

Para el cálculo se distinguirán dos tipos de entrada:

- a) Riego sobre superficies extensas asimilables a una precipitación. El volumen total contabilizado deberá ser minorado descontando la evapotranspiración correspondiente. A partir de esto, se calculará por comparación con la lluvia útil, el “riego útil” (RIU) que corresponde de la siguiente manera:
  - Determinar el volumen de agua o lixiviado utilizado en el riego y la superficie de aplicación.
  - Calcular el equivalente en mm del riego en la superficie considerada (como si fuera una precipitación)(RI).
  - Determinar la evapotranspiración de acuerdo con lo indicado en el apartado 5.3.4.
  - Restar ambas cantidades:  $RIU = RI - ETR$ .
  - Determinar el equivalente volumétrico de esta cantidad (RIU) aplicada a la superficie regada.
- b) Vertidos o inyecciones concretas asimilables a la entrada de escorrentía en un punto. Se aceptará que no existe evapotranspiración y se tomará como entrada el volumen total contabilizado en caudalímetros u otros medidores.

### **Humedad del residuo**

Esta entrada consiste en la propia humedad de los residuos que entran al vertedero o del material de cobertura que se utilice.

Los datos de partida necesarios para calcular la entrada de agua al vertedero en forma de humedad del residuo son:

- Resultados de ensayos en laboratorios sobre los residuos que entran en el vertedero.
- Estimaciones a partir de información del vertedero o de los residuos.
- Estimaciones basadas en información previa de residuos comparables.
- Cantidades y tipos de residuos que han entrado en el vertedero durante el periodo considerado.

En ausencia de ensayos o información bibliográfica acerca de los residuos depositados en el vertedero, se podrán utilizar los valores que aparecen en la Figura 5.26.

Tipo de residuo	Rango de humedad (%)	Valor típico de humedad (%)
Residuos urbanos	15-40	20
Restos de alimentos	50-80	70
Papel y cartón	4-10	6
Plásticos	1-4	2
Textiles	6-15	10
Caucho, goma...etc.	1-4	2
Cuero	8-12	10
Restos de jardinería	30-80	60
Madera	15-40	20

Figura 5.26: Humedad relativa de distintos materiales presentes en el vertedero [EJGV15].

A partir de estos datos, los cálculos necesarios para establecer la cantidad de agua de entrada consiste en la multiplicación de la cantidad de cada residuo por su humedad correspondiente. Será necesario prestar especial atención a las unidades de la humedad, pues siempre es un porcentaje, pero puede venir dado a partir de relación de volúmenes (volumen agua/volumen total) o relación de pesos, que puede ser respecto al peso húmedo (peso agua/peso total) o al peso de las partículas secas (peso agua/peso partículas sólidas secas).

En segundo lugar, las salidas. Como salidas se consideran la evapotranspiración (ETR), flujo superficial derivado de la precipitación sobre cubiertas intermedias o áreas selladas que es derivada lateralmente (FSP), lixiviados controlados (LXC), lixiviados incontrolados (LXI) y el vapor de agua con el biogás (VBG).

### Evapotranspiración

La evapotranspiración consiste en la liberación de agua a la atmósfera por medio de la evaporación y la transpiración. No todo el agua que cae sobre la superficie del vertedero se reparte entre infiltración y escorrentía, existe parte de ella que vuelve a la atmósfera a través de este mecanismo. Si existe vegetación sobre la superficie sellada del vertedero la transpiración obtiene mayor importancia.

Para determinar la cantidad de agua que sale del vertedero mediante este mecanismo es necesario conocer las propiedades de los distintos tipos de terreno que existen en un vertedero además de hacer una cantidad relevante de cálculos. Típicamente existen cuatro tipos de terreno en un vertedero, lo que dará lugar a cuatro tipos diferentes de evapotranspiración. Los cuatro tipos de terreno son:

- Superficie expuesta de residuos, sin vegetación. El proceso que se produce es únicamente la evaporación.
- Superficie expuesta de materiales minerales para cubiertas y viales (tierras), sin vegetación. El proceso que se produce es también la evaporación.

- Superficie expuesta de algún tipo de impermeabilización (geomembrana por ejemplo) en la que se produce la evaporación desde dicha superficie.
- Superficie con vegetación, bien sea sobre los propios residuos bien sobre cualquier otro tipo de material, en la que se dan ambos procesos (evaporación y transpiración).

Para definir el cálculo de la evapotranspiración será necesario definir ciertos términos que se emplearan en los cálculos o en las medidas necesarias para obtener el resultado final:

- **Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>):** máxima evapotranspiración que se produciría si un determinado tipo de superficie estándar o de referencia no tuviera restricciones de agua. La superficie de referencia es un pasto de características específicas.
- **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>):** máxima evapotranspiración que se produciría si una superficie con un cultivo o vegetación diferente de la de referencia no tuviera restricciones de agua.
- **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET<sub>c aj</sub>) o evapotranspiración real del cultivo (ETR):** evapotranspiración que realmente se produce teniendo en cuenta las disponibilidades reales de agua (precipitación y riegos si los hay y las propias condiciones de humedad del material superficial).
- **Necesidad de agua de los cultivos:** volumen de agua del que deben disponer los cultivos (o vegetación en general) para crecer en buenas condiciones. No es lo mismo que la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ya que cuenta sólo el efecto de la transpiración vegetativa. Una superficie desnuda, sin vegetación, presenta evapotranspiración (evaporación en este caso) pero no tiene necesidad de agua de cultivo.
- **Balance del suelo:** método de cálculo de la evapotranspiración real (ETR) a partir de la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>) y de la precipitación realmente caída que tiene en cuenta, además, que parte de la evapotranspiración consume agua de la humedad de la capa más superficial del terreno.

Para el cálculo existen tres métodos, utilizando un lisímetro, utilizando un tanque de evaporación o a partir de datos meteorológicos. Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas e inconvenientes, sin embargo, en términos de precisión, están ordenados en orden decreciente. Suponiendo que en el vertedero de Haina no sea económicamente viable el uso de los dos primeros métodos, a continuación se presenta el método de cálculo a partir de datos meteorológicos.

Primero se calcula la **evapotranspiración del cultivo de referencia ET<sub>o</sub>**:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (5.16)$$

Para ello, calculamos:

- Constante Psicométrica

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{\epsilon \cdot \lambda} = 0,665 \times 10^{-3} \cdot P \quad (5.17)$$

$\gamma$  Constante psicométrica [kPa/°C]

P Presión atmosférica

$\epsilon$  Cociente del peso molecular de vapor de agua / aire seco: 0,622

$C_p$  Calor específico a presión constante:  $1,013 \times 10^{-3} [MJ/kg \cdot C]$

- Temperatura media del aire:

$$T_{media} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (5.18)$$

- Presión media de vapor de saturación:

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2} \quad (5.19)$$

La presión de vapor de saturación ( $e^0$ ) para una temperatura T dada se calcula mediante:

$$e^0(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad (5.20)$$

$e^0(T)$  Presión de saturación de vapor a temperatura T [kPa]

T Temperatura del aire [°C]

- Pendiente de la curva de presión de vapor:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)\right]}{(T_{media} + 237,3)^2} \quad (5.21)$$

$\Delta$  Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura media [kPa/°C]

$T_{media}$  Temperatura media calculada como promedio de la temperatura máxima y mínima [°C]

- Presión real de vapor:

$$e_a = \frac{e^0(T_{min}) \cdot \frac{HR_{max}}{100} + e^0(T_{max}) \cdot \frac{HR_{min}}{100}}{2} \quad (5.22)$$

$e^0(T)$  Presión de saturación de vapor a temperatura T [kPa]

HR Humedad relativa (máxima y mínima) [%]

- Radiación neta en la superficie, para calcular este parámetro primero es necesario calcular:

- Radiación extraterrestre (Ra)
- Radiación solar (Rs)
- Radiación neta solar o de onda corta (Rns)
- Radiación solar en un día despejado (Rso)
- Radiación neta de onda larga (Rnl)
- Radiación neta (Rn)

#### Radiación extraterrestre (Ra):

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r [\omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s] \quad (5.23)$$

Ra Radiación extraterrestre [ $MJ \setminus m^2 \cdot C$ ]

$G_{sc}$  Constante solar 0,082 [ $MJ \setminus m^2 \cdot C$ ]

$d_r$  Distancia relativa inversa Tierra-Sol [adimensional]

$\omega_s$  Angulo de radiación a la puesta de sol [rad]

$\varphi$  Latitud, positiva para hemisferio norte, negativa para el sur [rad]

$\delta$  Declinación solar [rad]

La distancia relativa inversa Tierra-Sol:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J\right) \quad (5.24)$$

J Número de día del año, de 1 a 365 (366 para años bisiestos)

La declinación solar:

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J - 1,39\right) \quad (5.25)$$

El ángulo de radiación a la puesta de sol:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (5.26)$$

**Radiación solar (Rs):**

$$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N}\right) \cdot R_a \quad (5.27)$$

Rs Radiación solar o de onda corta [ $MJ \setminus m^2 \cdot C$ ]

n Duración real de la insolación [horas]

N Duración máxima de la insolación [horas]

n/N Duración relativa de la insolación

Ra Radiación extraterrestre [ $MJ \setminus m^2 \cdot C$ ]

$a_s$  Constante de regresión, expresa la fracción de radiación que llega a superficie en días nublados, (n=0)

$a_s + b_s$  Fracción de la radiación que llega a la superficie en días despejados, (n=N)

**La radiación neta solar o de onda corta (Rns):**

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s \quad (5.28)$$

$R_{ns}$  Radiación neta solar o de onda corta [ $MJ \setminus m^2 \cdot C$ ]

$\alpha$  Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo de referencia: 0,23

Rs Radiación solar entrante [ $MJ \setminus m^2 \cdot C$ ]

**La radiación neta de onda larga ( $R_{nl}$ ):**

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left(\frac{T_{max,k}^4 + T_{min,k}^4}{2}\right) \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35\right) \quad (5.29)$$

$R_{nl}$  Radiación neta de onda larga [ $MJ \setminus m^2 \cdot C$ ]

$\sigma$  Constante de Stefan-Boltzmann,  $4,903 \times 10^{-9} [MJ \setminus K^4 \cdot m^2 \cdot dia]$

$T_{max,k}$  Temperatura máxima absoluta de un periodo de 24 h [ $K=^{\circ}C+273,16$ ]

$T_{min,k}$  Temperatura mínima absoluta de un periodo de 24 h [ $K=^{\circ}C+273,16$ ]

$e_a$  Presión de vapor real [kPa]

Rs Radiación solar calculada [ $MJ \setminus m^2 \cdot dia$ ]

$R_{so}$  Radiación solar en un día despejado [ $MJ \setminus m^2 \cdot dia$ ]

Finalmente, la **Radiación neta (Rn):**

$$Rn = R_{ns} - R_{nl} \quad (5.30)$$

- Flujo de calor del suelo (G):

$$G_{mes,i} = 0,07 \cdot (T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1}) \quad (5.31)$$

$G_{mes,i}$  Flujo de calor del suelo para un mes i [ $MJ/m^2 \cdot dia$ ]

$T_{mes,i}$  Temperatura media del aire en un mes i [ $^{\circ}C$ ]

$T_{mes,i-1}$  Temperatura media del aire en el mes anterior a i [ $^{\circ}C$ ]

$T_{mes,i+1}$  Temperatura media del aire en el mes posterior a i [ $^{\circ}C$ ]

- Velocidad del viento ( $U_2$ ):

$$u_2 = u_z \cdot \frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot z - 5,42)} \quad (5.32)$$

$u_2$  Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m/s]

$u_z$  Velocidad del viento a z m sobre la superficie [m/s]

z Altura de medición sobre la superficie [m]

Con los parámetros calculados previamente es posible obtener la evapotranspiración del cultivo de referencia  $ET_o$ :

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (5.33)$$

En segundo lugar, se calcula la **evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc)**:

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se determina a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia, aplicando un coeficiente adimensional sobre este valor.

$$ET_c = k \cdot ET_o \quad (5.34)$$

Este coeficiente (k) difiere entre superficies sin vegetación y superficies con vegetación. Para el primer caso se utilizará un valor de  $k=1,05$ , lo que nos deja:

$$ET_{c(sin\ vegetacion)} = 1,05 \cdot ET_o \quad (5.35)$$

En el caso de superficies con vegetación se utiliza el coeficiente de jardín ( $k_L$ ), que se calcula a partir de otros tres factores: el factor de especie o vegetación ( $k_v$ ), el factor de densidad ( $k_d$ ) y el factor de microclima ( $k_{mc}$ ). Esto nos deja un  $k_L$  de:

$$k_L = k_v \cdot k_d \cdot k_{mc} \quad (5.36)$$

El **factor de especie o vegetación** ( $k_v$ ) depende del tipo de vegetación según su porte y de si existe diversidad de especies en relación a su capacidad de evapotranspirar agua. El **factor de densidad** ( $k_d$ ) hace referencia a la densidad superficial de la vegetación. El **factor de microclima** ( $k_{mc}$ ) viene determinado por las características propias del emplazamiento, por ejemplo, su orientación, zonas de sombra, zonas con radiación reflejada, efecto de la canalización del viento, etc. Estos factores están tabulados y se encontrarán en el Anexo G.

Por último se realiza el **balance del suelo**, esto es, el cálculo para obtener la evapotranspiración real (ETR).

En primer lugar se parten de las siguientes consideraciones:

- La  $ET_c$  calculada representa el máximo posible si hubiera suficiente agua de precipitación, riego o humedad. La ETR será inferior ya que no siempre existe agua de precipitación, riego o humedad en la capa superior.
- Cuando se producen precipitaciones o riegos:
  - Si  $ET_c < \text{riego/precipitación}$  entonces existirá un exceso de agua que podrá infiltrarse y/o escurrir superficialmente.
  - Si  $ET_c > \text{riego/precipitación}$  todo el agua será evapotranspirada.
- Dado que la evapotranspiración ocurre también en los primeros centímetros-decímetros de la capa superior, existe en esta capa cierta cantidad de agua que debe tenerse en cuenta. Esta cantidad de agua puede alcanzar la capacidad de campo (máxima cantidad que puede retener el terreno sin libre circulación de la misma).

A partir de estas consideraciones, el balance del suelo se realizará teniendo en cuenta la precipitación diaria (PR), la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar diaria ( $ET_c$ ) y el agua disponible para la evapotranspiración en la capa superior de terreno en un momento dado (ADE) (comprendida entre el punto de marchitez <sup>5</sup> y la capacidad de campo, de tal manera que la ADE máxima será CC-PM). El procedimiento general será:

- Se forma una tabla con los valores diarios de PR,  $ET_c$ ,  $ADE_{max}$  (este último constante si no cambian las condiciones de la superficie a lo largo del tiempo), dejando casillas para el cálculo de los valores de ADE, ETR y lluvia útil (LLU).
- Se parte de la cantidad de ADE existente en el momento de inicio del período (inicio del primer día o fin del día anterior al de inicio del período) ( $ADE_0$ ) y se hace la siguiente consideración para el primer día (día 1):.
  - Si  $PR_1$  es mayor que  $ET_{c1}$ , entonces  $ETR_1 = ET_{c1}$  y el exceso de  $PR_1$  se dirige a ADE de tal forma que se sumaría a  $ADE_0$  hasta, como máximo, la  $ADE_{max}$  que se produce cuando la capa superficial está a capacidad de campo. Si completando  $ADE_1$  hasta  $ADE_{max}$  queda aún un exceso, este exceso será la lluvia útil de este día ( $LLU_1$ ) que podrá discurrir superficialmente o infiltrarse hacia los materiales infrayacentes.
  - Si  $PR_1$  es menor que  $ET_{c1}$ , entonces la evapotranspiración coge agua de ADE. Dependiendo de la cantidad de agua que haya en ADE al final del día anterior ( $ADE_0$ ), puede suceder que:
    - \*  $PR_1 + ADE_0$  sea mayor que  $ET_{c1}$ , entonces  $ETR_1 = ET_{c1}$  y para determinar  $ADE_1$  se restará de  $ADE_0$  la cantidad retirada de este almacenamiento ( $ETR_1 - PR_1$ ).
    - \*  $PR_1 + ADE_0$  sea inferior que  $ET_{c1}$ , entonces  $ETR_1 = PR_1 + ADE_0$  y  $ADE_1 = 0$  (se habrá retirado todo el agua del almacenamiento).
  - Reiterando día a día este procedimiento se completará finalmente la tabla hasta obtener valores diarios de evapotranspiración real (ETR) y lluvia útil (LLU).

El valor de  $ADE_{max}$  depende considerablemente de la profundidad considerada y del tipo de terreno (residuos, vegetación, tierra, ...). Por ello, teniendo en cuenta la vegetación y la profundidad, se considerará:

- En zonas superficialmente impermeabilizadas (geomembrana) se admitirá que no existe capa superficial susceptible de almacenar agua para una evapotranspiración posterior.
- En zonas sin vegetación (residuos expuestos, cubiertas intermedias de tierras, etc.), se admitirá que la profundidad que alcanza la evaporación es 0,15 m.
- En zonas con vegetación se estimará la profundidad que alcanza la zona radicular de las plantas. Para ello, si no se cuenta con datos específicos, se usarán las tablas del Anexo H.

<sup>5</sup>humedad "residual" de un suelo que no puede ser extraída por las plantas.

### Flujo superficial

El flujo superficial está formado por las salidas de agua mediante escorrentía superficial antes de que estas contacten con los residuos y generen lixiviados. En los vertederos en los que se instale una impermeabilización artificial mediante una geomembrana habrá mayor cantidad de flujo superficial. En los vertederos cuyo sellado se realice mediante tierras naturales u otros materiales que permitan cierta infiltración parte del agua de lluvia se convertirá en lixiviado.

Los datos necesarios para el cálculo del flujo superficial son: datos meteorológicos, datos de las superficies que generan escorrentía y los coeficiente de infiltración de dichas superficies.

Para el cálculo se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Se calcula la lluvia útil, para ello será necesario:
  - Determinar la precipitación (PR).
  - Determinar la evapotranspiración (ETR).
  - Restar ambas cantidades:  $LLU = PR - ETR$
  - Determinar el equivalente volumétrico de LLU aplicada a la superficie estudiada.
2. Si se dispone de impermeabilización (geomembrana) se supondrá que todo el agua circulará superficial o subsuperficialmente a dicha capa. Sin infiltraciones.
3. En caso de que no se disponga de impermeabilización, se asumirá que existe cierta impermeabilización. En este caso la escorrentía superficial se calculará multiplicando la LLU por un coeficiente que depende del tipo de suelo y de la pendiente. Este coeficiente se muestra en la Figura 5.27.

Permeabilidad del terreno		Escorrentía (% lluvia útil) según pendiente (P)			
Categoría	K (m/s)	P > 30%	10%<P<30%	5%<P<10%	P < 5 %
Muy baja	$< 10^{-7}$	98-100	97-98	96-97	95-96
Baja	$10^{-5} - 10^{-7}$	91-95	87-91	84-87	80-84
Media	$10^{-4} - 10^{-5}$	70-80	60-70	50-60	40-50
Alta	$10^{-3} - 10^{-4}$	35-40	30-35	25-30	20-25
Muy alta	$> 10^{-3}$	15-20	10-15	5-10	0-5

Figura 5.27: Escorrentía respecto a la lluvia útil a considerar en función de la permeabilidad del terreno y de la pendiente del terreno [EJGV15]

El agua recogida en los laterales del vertedero fruto del flujo superficial deberá ser circulada hacia una balsa de retención, donde será analizada y tratada junto con el resto de lixiviados (ya que no se puede asegurar que se trate de agua limpia dadas las condiciones del vertedero). Además, el agua que acabe infiltrándose, para evitar que se convierta en lixiviado incontrolado, sería beneficioso su recogida antes de que llegue a los residuos.

Para la recogida de agua en las capas de drenaje previas a los residuos (Figura 5.28) se podría instalar un sistema que absorba el agua y la recircule hacia estos canales perimetrales. Una opción que podría ser viable sería el uso de tubos de EPS (Poliestireno Expandido) tal y como muestra la Figura 5.29.

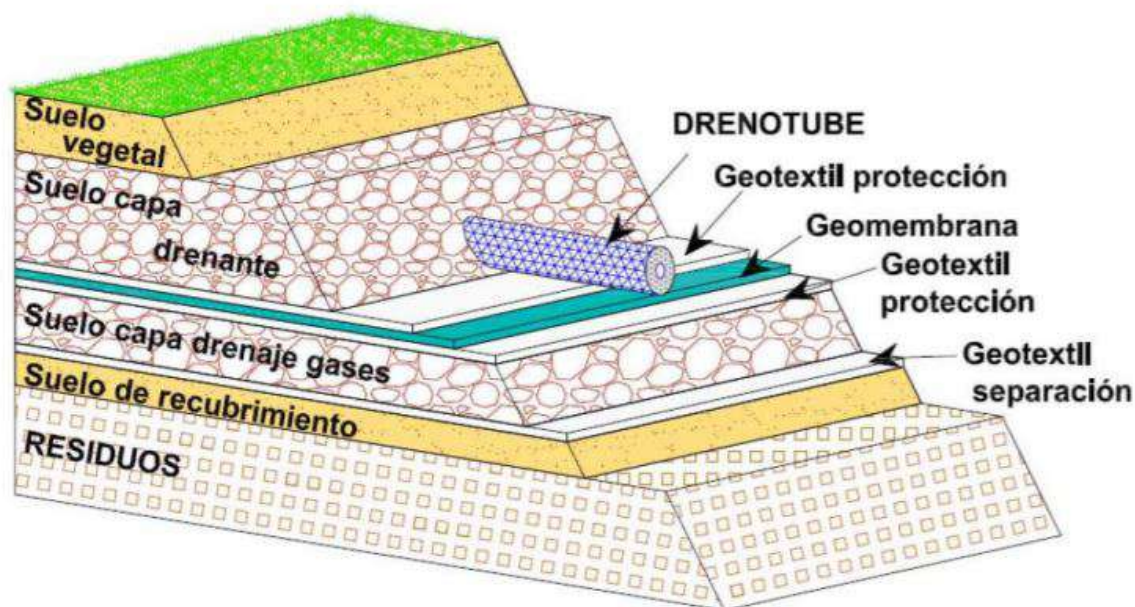


Figura 5.28: Localización del Drenotube dentro de las capas del vertedero [JMF\_15]

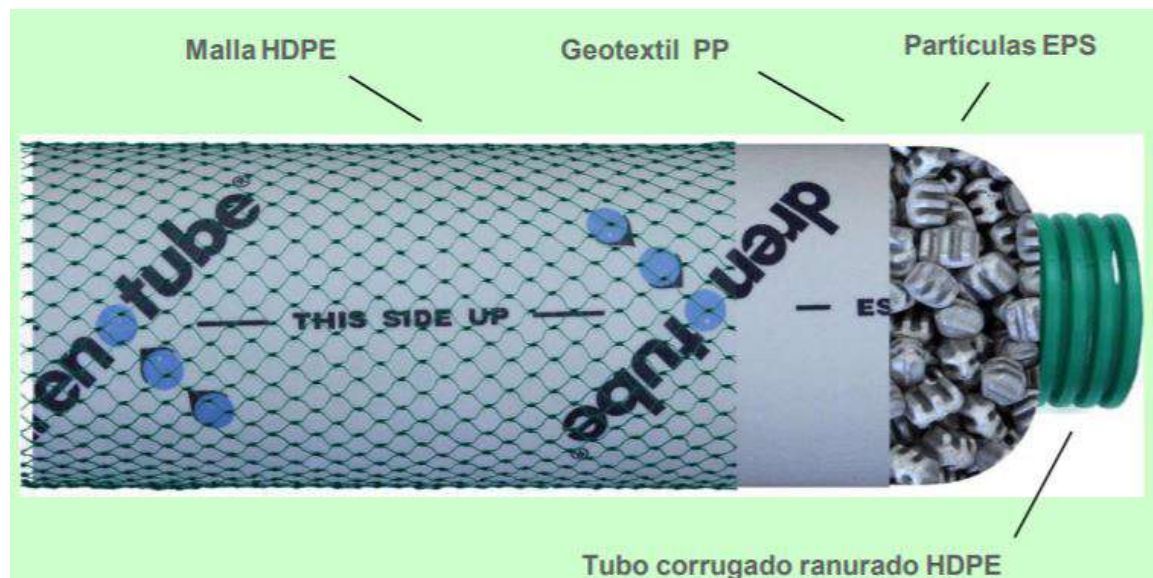


Figura 5.29: Tecnología Drenotube para la recogida subterránea de aguas pluviales [JMF\_15]

Este sistema consiste en el aprovechamiento de residuos de EPS, que como residuo de vertedero no se descompone y ocupa mucho espacio [JMF\_15]. De esta manera se le da una segunda vida a este residuo tan molesto y se consiguen que parte del agua infiltrada no acabe en contacto con los residuos. Este material puede ser típico en los embalajes de distintas industrias como podría ser la

farmacéutica, por lo que podría encontrarse en la cantidad necesaria en el polígono industrial de Bajos de Haina.

El drenotube está formado por un tubo corrugado ranurado de doble capa rodeado de partículas geosintéticas envueltas en una malla de polietileno de alta tenacidad que está embridada por ambos extremos del tubo. Hay un filtro geotextil entre la malla y el agregado geosintético. El filtro previene la intrusión de la tierra. [DR...21]

Las ventajas de este sistema son un mayor rendimiento que los sistemas de gravas o arenas, una instalación fácil y más económica, menores volúmenes de excavación lo cual también abarata la instalación, la reciclabilidad de todos los componentes y totalmente seguros para el medio ambiente.

### **Lixiviados controlados**

Aquí se incluyen a los lixiviados que son extraídos del vertedero de manera controlada por medio de algún método de extracción de lixiviados. En el caso de Bajos de Haina, al no ser viable esta extracción controlada de los lixiviados, todos los lixiviados se considerarán incontrolados.

### **Lixiviados incontrolados**

Esta salida esta conformada por los lixiviados que, a diferencia de los anteriores, no son evacuados de forma controlada. En el caso de Bajos de Haina, esta salida constituirá la salida total de los lixiviados.

Dentro de estos lixiviados, hay que analizar por separado dos situaciones diferentes, los lixiviados incontrolados que surgen en la superficie y los lixiviados incontrolados que se filtran subterráneamente hacia el terreno.

Para los primeros, los datos necesarios son datos, observaciones y aforos directos, que permitan determinar los lugares de surgencia, el caudal y el destino de los lixiviados. También harán falta caudalímetros, contadores o medidores directos de volumen en el caso de que se utilice algún sistema de evacuación, ya sea temporal o permanente.

Para los segundos, los datos necesarios son:

- Coeficientes de permeabilidad del terreno, de la capa o sistemas dispuestos sobre la pared del vaso y de la masa de residuos. Determinados a partir de ensayos, otro tipo de estudios o a partir de referencias bibliográficas.
- Nivel freático exterior (en el terreno). Determinado mediante medición en pozos de control, deducción estimativa a partir de otro tipo de información relacionada con el medio externo o en caso de no disponer de datos de niveles externos ni de otra información que permita deducirlo, se admitirá que el nivel freático en el terreno se sitúa en el borde superior del vertedero.
- Nivel freático interior (en el vertedero). Determinado mediante medición en pozos de control o pozos de extracción de gas o en caso de no disponer de datos de niveles internos, se admitirá que el nivel freático en el vertedero se sitúa en el fondo o base del mismo.
- Configuración hidrogeológica del área y dirección de flujo subterráneo en el entorno.
- Geometría (dimensiones) del vertedero.

A partir de estos datos, el cálculo del caudal se hará mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K \cdot A \cdot I \quad (5.37)$$

- Q: caudal de las filtraciones ( $m^3/s$ ).  
 K: coeficiente de permeabilidad del terreno (m/s).  
 A: superficie en la que se producen filtraciones (proyección horizontal) ( $m^2$ ).  
 I: gradiente hidráulico. Se tomará como 1 suponiendo una infiltración máxima (zona saturada).

En este último caso, todos los lixiviados que se infiltren al terreno, al no poder recogerse, la medida más recomendada para prevenir un mayor riesgo para el medio ambiente es el tratamiento de estos junto con el agua subterránea desde el exterior del vertedero (Figura 5.30). Este agua se limpiará en la mayor medida posible para que no continúe contaminando. En función del uso que se le pretenda dar a este agua (riego, extracción para el consumo, etc) se deberá garantizar un nivel de limpieza u otro.

En el caso de la provincia de San Cristóbal, un 4% de los hogares utilizan agua de los pozos como fuente principal de abastecimiento, mientras que la media del país es del 7% (como fuente principal). En términos generales, el uso del agua subterránea es en un 81% para riego, en un 13% para uso doméstico, en un 2% para uso industrial y en un 4% para otros usos [MM\_04]. El INAPA<sup>6</sup> comenzó en 2020 la mejora de los pozos existentes y la creación de tres nuevos para abastecer a 88.000 habitantes del municipio de Haina [INAPA20]. Con estos datos se evidencia la dependencia de los habitantes de Haina del agua subterránea para su abastecimiento, lo que implica que los estándares de limpieza del agua subterránea deberán ser máximos.

La limpieza del agua subterránea es cara y una tarea muy compleja y a veces incluso imposible. El proceso general consiste en eliminar la fuente de contaminación, monitorear la extensión de las sustancias contaminantes y finalmente tratar el agua del acuífero [CK\_21]. En el caso de Bajos de Haina la fuente de contaminación (el vertedero) no se puede eliminar, por lo que solucionar este problema de forma definitiva se hace aún más difícil.

El primer paso debería ser identificar perfectamente los cursos de agua subterránea y los contaminantes presentes en ella. Una vez conocido el comportamiento del agua y su composición se podrá comenzar a buscar la solución más óptima. Las soluciones que implican la extracción del agua, su limpieza y su posterior reinserción serán descartadas por no ser económicamente viables, pues son aún más caras que los tratamientos in situ.

La composición típica de los lixiviados de un vertedero se puede dividir en cuatro grupos [PMAT02]:

- Materia orgánica disuelta, cuantificada como demanda química de oxígeno (DQO) o Carbono Orgánico Total (COT), ácidos grasos volátiles (que se acumulan durante la fase ácida de la estabilización de residuos) y compuestos más refractarios tales como compuestos de tipo fúlvico y húmico.
- Macrocomponentes inorgánicos: calcio ( $Ca_2^+$ ), magnesio ( $Mg_2^+$ ), sodio ( $Na^+$ ), potasio ( $K^+$ ), amonio ( $NH_4^+$ ), hierro ( $Fe_2^+$ ), manganeso ( $Mn_2^+$ ), cloruro ( $Cl^-$ ), sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) e hidrogenocarbonato ( $HCO_3^-$ ).
- Metales pesados: cadmio ( $Cd_2^+$ ), cromo ( $Cr_3^+$ ), cobre ( $Cu_2^+$ ), plomo ( $Pb_2^+$ ), níquel ( $Ni_2^+$ ) y zinc ( $Zn_2^+$ ).
- Compuestos orgánicos xenobióticos (XOC) que se originan a partir de productos químicos domésticos o industriales y están presentes en concentraciones relativamente bajas (generalmente menos de 1 mg / l de compuestos individuales). Estos compuestos incluyen entre otros una variedad de hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas y plastificantes.

<sup>6</sup>Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados.

La solución adoptada deberá, teóricamente, ser capaz de tratar estos compuestos presentes en los lixiviados y que supondrían un riesgo para la salud humana en caso de consumo y muchos de ellos un riesgo también para el medio ambiente.

Una solución posible para reducir el contenido en contaminantes del agua subterránea podría ser el uso de las denominadas barreras reactivas permeables (PRB por sus siglas en inglés). Esta solución consiste en paredes permeables que se construyen bajo la superficie para eliminar la contaminación. La permeabilidad consiste en pequeños agujeros que dejan pasar el agua a través de ella. Los reactivos se emplean para atrapar las sustancias dañinas o transformarlas en sustancias inofensivas [EPA.01].

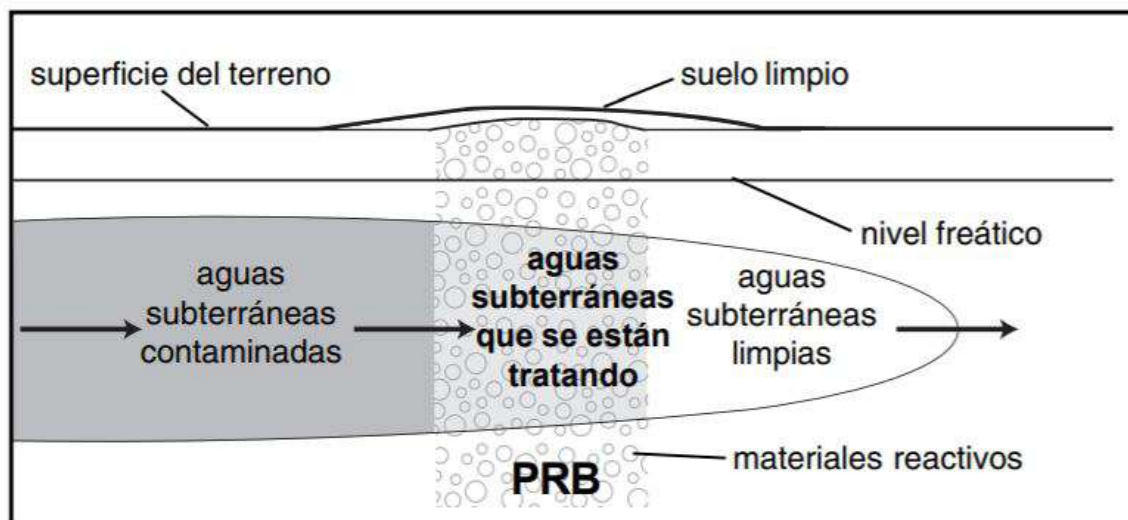


Figura 5.30: Barrera reactiva permeable (PRB) para la limpieza de agua subterránea [EPA.01]

En función del tipo de sustancia a eliminar se empleará un reactivo diferente. Los mecanismos mas frecuentes de eliminación de contaminantes son:

- Atrapando o sorbiendo las sustancias químicas en su superficie.
- Precipitando las sustancias disueltas en agua. Las sustancias químicas salen del agua y se depositan como sólidos que quedan atrapados en la pared.
- Transformando las sustancias químicas dañinas en inofensivas.
- Estimulando a los pequeños organismos o microbios en el suelo a que se coman las sustancias químicas.

Existen dos configuraciones posibles, las BRP (Barrera Reactiva Permeable) de zanja continua y las de compuerta y pantalla. Las segunda altera más el curso del agua subterránea, por lo que preferiblemente se usará la primera de las configuraciones, representada en la Figura 5.31.

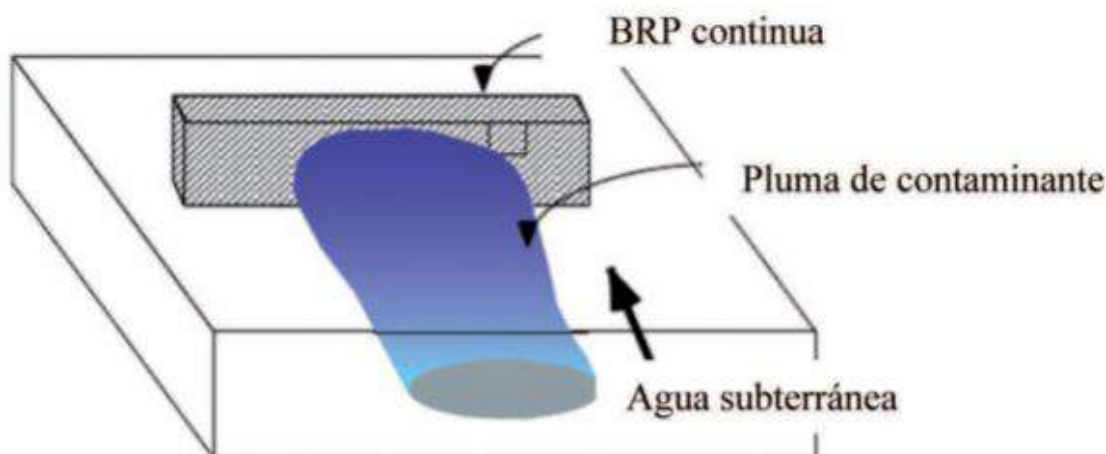


Figura 5.31: Barrera reactiva permeable (PRB) de zanja continua [https://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/ArtigoAsin-situ\\_000.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/ArtigoAsin-situ_000.pdf)

Es importante tener en cuenta que la aplicación de este sistema está limitado a una profundidad de 15 y 20 metros. Su viabilidad deberá ser estudiada tras realizar los análisis pertinentes acerca del suelo y de las aguas subterráneas en profundidad, contenido de contaminantes y tipos de contaminante. De estas características también dependerá el tipo de reactivos utilizados, habiendo principalmente cuatro tipos [JAAM.09]:

- Barrera tipo 1: Precipitación y control de la acidez: calcita y mezclas de calcita con gravas silíceas o materiales similares que proporcionan una porosidad adecuada.
- Barrera tipo 2: Reducción química con control de acidez y precipitación de sulfuros: calcita, hierro metálico.
- Barrera tipo 3: Reducción biológica del sulfato con control de acidez y precipitación de sulfuros: una fuente de materia orgánica (lodos de depuradora, compostaje, madera), una fuente de bacterias (lodos de zonas anaerobias de riberas locales y arroyos) y un agente neutralizador de la acidez que puede ser la caliza.
- Barrera tipo 4: Reducción química y biológica del sulfato con control de acidez y precipitación de sulfuros: la composición de esta barrera es igual a la anterior, pero se añade hierro metálico para aumentar la capacidad de reducción del sulfato

### Vapor de agua con el biogás

Los gases emitidos por el vertedero cuentan con una proporción de agua en forma de vapor. Este proceso, por lo tanto, constituye una salida de agua que pese a no ser observada “físicamente”, genera una variación en el balance hidrológico. Generalmente se trata de una cantidad pequeña, pero en algunos casos puede convertirse en una cantidad de agua relevante.

Los datos necesarios para el cálculo del vapor de agua liberado con el biogás serán, para Bajos de Haina, la cantidad de residuos almacenada y su composición. Para calcular el valor de este agua se multiplicará el volumen de gas emitido (calculado en el apartado 5.3.3) por el valor típico de contenido en agua de 0,035 kg de agua por  $m^3$  de gas.

$$M_{agua} = V_{gas} \cdot 0,035 \quad (5.38)$$

Por último, la variación interior. Como variación interior se consideran la variación en el agua libre almacenada (VS), la variación en la humedad del residuo y otros materiales (VHR) y la variación en el agua por reacciones químicas y biológicas (VQB).

### Variación en el agua libre almacenada

Los residuos dentro del vertedero forman en su conjunto un sistema hidrológico en el cual el agua se localiza principalmente de dos maneras:

- En forma de humedad de los residuos y otros materiales, es decir, adherida a las partículas sólidas o en poros que no están interconectados y que, por ello, no permiten el movimiento del agua.
- En forma libre, es decir, en los poros interconectados existentes entre las partículas sólidas de tal forma que es susceptible de movilizarse y circular en el interior del vertedero. Respecto a este tipo de agua (libre), pueden distinguirse típicamente dos zonas dentro de la masa de residuos:
  - Una zona inferior con los poros llenos de agua-lixiviado (zona saturada).
  - Una zona superior con parte de los poros con agua-lixiviado pero parte sin ella (zona no saturada), cuyo límite con la anterior está señalado por el nivel freático.

En condiciones óptimas, la zona saturada debe ser lo más pequeña posible o inexistente. En el caso que nos ocupa, debido a la heterogeneidad de los residuos, pueden generarse bolsas de agua<sup>7</sup> dentro del vertedero.

Las variaciones de la cantidad de agua libre almacenada han de ser tenidas en cuenta, pues puede resultar que la falta de salidas de agua se deba a su almacenamiento en el interior del vertedero y no a pérdidas o fugas desconocidas. Para realizar el cálculo del agua libre almacenada es preferible que el periodo de balance sea en estiaje<sup>8</sup>, de esta manera las variaciones y la incertidumbre del cálculo serán mínimos. Los datos necesarios para el cálculo son el hidrograma de los caudales de lixiviados y las precipitaciones o recargas del vertedero. Para realizar el cálculo de este término se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (5.39)$$

Q: caudal de lixiviados en un momento dado (o “futuro”) [ $m^3/s$ ].

$Q_0$ : caudal de lixiviados en un momento anterior (o “presente”) [ $m^3/s$ ].

e: 2,718... base de logaritmo natural.

$\alpha$ : coeficiente de agotamiento, en unidades de tiempo<sup>-1</sup> (en general días<sup>-1</sup>)

t: tiempo entre  $Q_0$  y Q (en unidades inversas de  $\alpha$ )

Si se poseen los caudales de lixiviados evacuados durante un periodo en ausencia de precipitaciones o recargas, entonces, el procedimiento de cálculo es el siguiente:

1. Se representan los caudales de lixiviados en una gráfica. Esto servirá para visualizar mejor los periodos de descenso donde aplicar el método.
2. Se escoge un periodo y se vuelven a representar en escala logarítmica (Figura 5.32). Lo típico es que aparezca primero una curva y después una recta.

<sup>7</sup>Niveles freáticos colgados con lugares saturados desconectados de la zona saturada de la base del vertedero.

<sup>8</sup>El estiaje es el nivel de caudal mínimo que alcanzan los ríos, lagunas o el acuífero.

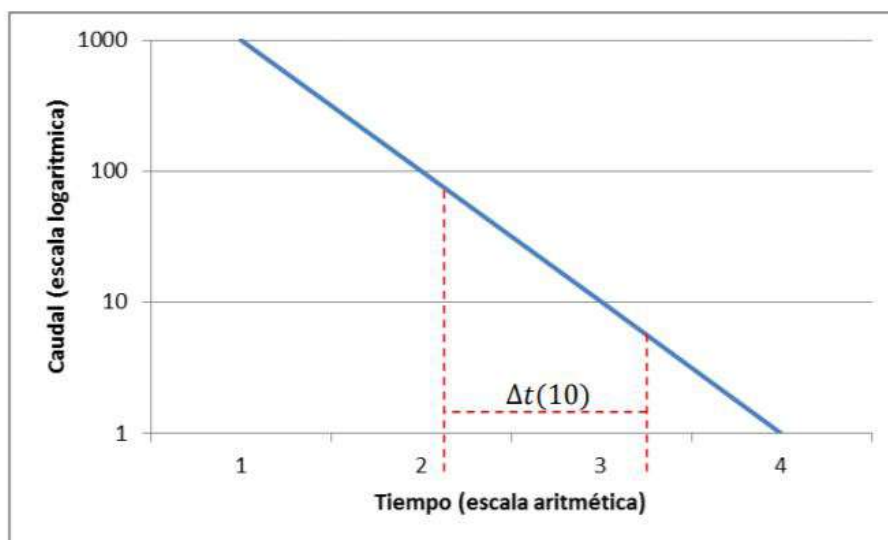


Figura 5.32: Recta de agotamiento del hidrograma de caudales de lixiviados para calcular el coeficiente de agotamiento [EJGV15]

3. Con esta recta, y de forma gráfica, se medirá el intervalo de tiempo ( $\Delta t(10)$ ) que corresponde a un período logarítmico de caudales (por ejemplo entre 1 y 10 o entre 10 y 100 o entre 100 y 1.000) y se calculará el coeficiente aplicando la ecuación:

$$\alpha = \frac{2,3}{\Delta t(10)} \quad (5.40)$$

A partir de este parámetro es posible calcular la cantidad de agua que aún queda por salir del vertedero. Comparando dos momentos diferentes (momentos entre los que se quiere realizar el balance) se puede obtener la variación del agua libre almacenada. Para realizar eso se calcula la variación de los volúmenes dinámicos de la siguiente forma:

$$V_d = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (5.41)$$

$$VS = Vd_2 - Vd_1 \quad (5.42)$$

### Variación en la humedad del residuo

Además del agua libre mencionada anteriormente, también se puede producir, en función del tipo de residuo, una variación del agua adherida a las partículas sólidas de los residuos.

Los datos necesarios para calcular la variación de humedad de los residuos son la humedad de entrada de los residuos y su capacidad de campo<sup>9</sup>, la cantidad de residuos y datos de la capa superficial sujeta a evapotranspiración. Los valores recogidos en la siguiente imagen (Figura 5.33) representan la variación de la humedad como diferencia entre la humedad de entrada y la capacidad de campo.

<sup>9</sup>máxima cantidad que puede retener sin libre circulación de la misma

Tipo	Humedad entrada		Capacidad de campo		Variación	
	Rango	Típico	Rango	Típico	Rango	Típico
Residuos urbanos	0,07-0,30	0,15	---	0,30	0,0-0,23	0,15
Arenas	0,02-0,17	0,09	0,07-0,17	0,12	0,0-0,15	0,07
Limos	0,12-0,36	0,24	0,28-0,36	0,32	0,0-0,24	0,12
Arcillas	0,20-0,40	0,30	0,32-0,40	0,36	0,0-0,20	0,10

Figura 5.33: Valores de humedad de entrada, capacidad de campo y variación de humedad [volumen de agua/volumen total] [EJGV15]

### Variación en el agua por reacciones químicas y biológicas

El carácter “vivo” de los vertederos viene de las reacciones físicas, químicas y biológicas que suceden en el interior de este. En algunos casos estas reacciones pueden generar variaciones en el contenido de agua del vertedero. Estas variaciones pueden venir dadas por liberación de agua como producto de determinadas reacciones, bien por fijación de la misma (fraguado), bien por consumo durante las propias reacciones químicas o por parte de microorganismos.

Algunas de estas reacciones generan biogás, que al ser emitido por el vertedero se integra como salida para destacar la salida física del agua en forma de vapor. En otras ocasiones, estas variaciones se producen en el interior del vertedero, sin salida física de agua.

Los datos necesarios para el cálculo de la variación de agua por reacciones físicas o químicas es la cantidad de gas emitido por el vertedero (estimado en apartados anteriores). A partir de este dato se tomarán las siguientes consideraciones:

- Consumo de agua en la generación: 0,215 kg de agua por  $m^3$  de gas que se genera.
- Emisión de agua como vapor: 0,035 kg de agua por  $m^3$  de gas.

### 5.3.5. Tratamiento de lixiviados

Todos los líquidos recogidos deberán ser reconducidos hacia una balsa de retención. Será en este lugar donde se realizará el tratamiento de los lixiviados. Existen numerosas técnicas para el tratamiento de lixiviados, que, en función de la calidad del lixiviado, cantidad de lixiviado y precio pueden resultar o no viables/idóneas. A continuación se presentarán las distintas opciones comentando las características más relevantes de las que dependen.

Primero será necesario tener claro que tipo de lixiviado se va a tener en el vertedero de Haina. Los lixiviados pueden ser jóvenes, maduros o viejos en función de la antigüedad de los residuos que los generan. Cada tipo de lixiviado tiene unas características diferentes, en la Figura 5.34 se presentan las características del lixiviado joven y del lixiviado viejo (más de 5 años) [EG...01].

CARACTERÍSTICA	LIXIVIADO JOVEN	LIXIVIADO VIEJO
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
Amoniaco	Muy alto	Alto
Fósforo	Usualmente Deficiente (1)	Suficiente
pH	Muy bajo	Bajo
Detergentes	Muy Altos	Bajos
Sales disueltas	Muy Altas	Bajas (relativamente)
Agentes Incrustantes (Fe, Ca, Mg)	Muy Altos	Bajos
Metales Pesados	Muy Altos	Bajos

Figura 5.34: Características del lixiviado joven y viejo [EG...01]

La principal diferencia se encuentra en la concentración de todos los parámetros, que son mucho mayores en los lixiviados más jóvenes. La biodegradabilidad es mucho mayor en los lixiviados jóvenes que en los viejos (relación  $DBO^{10}/DQO^{11}$ ), la concentración de metales pesados y sales disueltas es mucho mayor en los jóvenes, lo que genera problemas de toxicidad a la hora de usar tratamientos biológicos para eliminar el DBO, también la concentración de agentes incrustantes es mas alta en el joven, lo que genera tapones en muchos conductos, el pH también puede ser un problema si es muy bajo para algunas tecnologías, como lo es en el lixiviado joven. En el caso de Haina, al seguir en funcionamiento parcial, se obtendrán lixiviados jóvenes y viejos que no podrán ser separados, por lo que habrá que estudiar la mezcla final y valorar sus características.

También, la cantidad de lixiviados es un parámetro importante ya que afecta al rendimiento de los procesos de tratamiento. Algunos procesos tienen un caudal nominal de lixiviados donde consiguen su máximo rendimiento y otros, los que pueden ser modulables, requieren de una inversión mayor. Otra opción es utilizar tanques de almacenamiento, que incluiría una inversión adicional a la del sistema de tratamiento [EG...01].

Por último, los vertederos en los que se depositen residuos industriales como es el de Bajos de Haina, pueden tener un alto contenido de compuestos orgánicos volátiles (COVs). Estos compuestos son volátiles y tóxicos, lo que hace que utilizar sistemas que desprendan a la atmósfera estos compuestos puede ser muy contaminante. Esto puede ocurrir con los sistemas de inyección de aire o con los sistemas anaerobios, aunque en menor medida [EG...01].

Los sistemas que existen en la actualidad para el tratamiento de lixiviados son procesos anaerobios, procesos aerobios, sistemas naturales, evaporación, recirculación de lixiviados o sistemas de membranas (biorreactores con membranas u ósmosis inversa). La recirculación de lixiviados y la evaporación son dos sistemas que en el caso de Bajos de Haina no son viables por motivos técnicos. El primero por posibles desestabilizaciones del terreno, ya de primeras poco controlado, y el segundo por la necesidad de recolección del gas de vertedero, escenario que no tendrá lugar en este vertedero. Otra opción a tener en cuenta es la unificación de los lixiviados recogidos con las aguas residuales municipales para ser tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR<sup>12</sup> o EDAR en castellano) de San Cristóbal, pues si la planta está preparada sería la opción más eficiente.

<sup>10</sup>Demanda bioquímica de oxígeno

<sup>11</sup>Demanda química de oxígeno.

<sup>12</sup>Vinci-Constructions:

[wastewater-treatment-system/](https://www.vinci-construction-projets.com/es/realisations/wastewater-treatment-system/)

<https://www.vinci-construction-projets.com/es/realisations/>

El uso de procesos anaerobios reportan altas eficiencias en la eliminación de la DBO, pero, debido a problemas con la toxicidad por amoníaco y minerales disueltos (que afectan a los microorganismos utilizados), este tratamiento suele usarse como pre-tratamiento antes de un proceso aerobio. Los procesos aerobios tienen problemas con la generación de espumas y con la precipitación del hierro, por lo que normalmente se usa como post-tratamiento después de un proceso aerobio. Además, este sistema no resiste bien los cambios de carga, por lo que seguramente sería necesario el uso de un tanque de equalización. Los sistemas de membranas incluyen la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración, la ósmosis inversa, la ósmosis directa y la pervaporación. El uso de biorreactores con membranas (MBR) introduce complicaciones de operación y reducción de los rendimientos por taponamiento de las membranas. El ahorro posible por la reducción del tamaño de los tanques y el aumento de los rendimientos se compensa con el incremento de los costes de operación y mantenimiento. En el caso de la ósmosis inversa, los rendimientos suelen ser muy altos en países desarrollados, donde las cantidades de DBO en los lixiviados son menores, sin embargo, las altas cantidades de materia orgánica que se encuentran en países subdesarrollados podrían suponer problemas similares a los que ocurren con los biorreactores con membranas. La limpieza de las membranas y la capacidad de sustitución si necesario también puede dar problemas en países subdesarrollados. Por último, los sistemas naturales sufren menos problemas que todos los sistemas anteriores, aunque requieren mayores tiempos y mayores cantidades de lixiviado. Pese a esto, el problema principal sería únicamente el requerimiento de espacio para situar los grandes tanques.

ITEM	PROBLEMAS CON	TECNOLOGÍA						
		AEROBIO	ANAEROBIO	EVAPORACIÓN	RECIRCULACIÓN	MEMBRANAS	SISTEMAS NATURALES	TRATAMIENTO EN PTAR
1	Formación de Precipitados	++	+++	+	++	+++	+	No
2	Toxicidad a los microorganismos	++	++	No	No	No (1)	+	Potencial
3	Formación de espumas	+++	+	++	+ (1)	Variable (2)	No	Baja
4	Emisión de COV	+++	+	++	+	Variable (2)	+	Baja
5	Sensibilidad a variaciones de caudal	++	++	+	+	+	No	No
6	Producción y manejo de lodos	+++	+	+	No	+		No
7	Requerimientos de área	Baja	Baja	Muy baja	Baja	Baja	Alta	No

(1) Pueden formarse en los tanques de almacenamiento

(2) Si los sistemas son aerobios, la problemática puede ser alta.

(\*) Una cruz significa como afecta negativamente la característica al proceso en cuestión. Entre más cruces más negativamente lo afecta.

Figura 5.35: Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (manejo de características problemáticas de los lixiviados) [EG...01]

La complejidad tecnológica también es un parámetro importante a la hora de elegir el proceso más adecuado para tratar los lixiviados. Cuanto más compleja sea la tecnología más cara será su operación. Como se observa en la Figura 5.36, los sistemas aerobios y los sistemas de membranas son de los más complejos, además de que ambos suelen usarse junto con otros procesos de pre-tratamiento o post-tratamiento. Los sistemas más sencillos son los sistemas naturales y el tratamiento en la PTAR del municipio.

ITEM	PROBLEMAS CON	COMPLEJIDAD TECNOLÓGICA						
		AERÓBICO	ANAERÓBICO	EVAPORACIÓN	RECIRCULACIÓN	MEMBRANAS	SISTEMAS NATURALES	TRATAMIENTO EN PTAR
1	Necesidad de insumos químicos	+++ (1)	+++ (1)	++ (2)	-	+++ (1)	-	-
2	Necesidad de insumos operacionales (v. gr. membranas)	++	+	+	+	+++	-	-
3	Necesidad de suministro de partes	++	-	+	+	+++	-	+
4	Suministro de Energía Eléctrica	+++	+ (4)	- (5)	+	+++	+ (3)	+
5	Complejidad Operacional	+++	+	++	+	+++	-	-

- (1) Requiere un extenso pretratamiento
- (2) Puede requerir pretratamiento, algunos sistemas usan sustancias para control de pH, espumas.
- (3) Puede requerir si hay necesidad de bombear el lixiviado. Usualmente no requiere.
- (4) Puede requerir en el sistema de pretratamiento
- (5) Puede llegar a ser autosuficiente. Algunas tecnologías así están diseñadas.

Figura 5.36: Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (Complejidad) [EG...01]

En cuanto a los rendimientos, dependen del factor a considerar, lo que hace a veces necesario la combinación de distintos procesos como se ha comentado anteriormente. En relación a este aspecto se buscará la mejor relación entre costes y rendimientos. Es necesario tener en cuenta que los rendimientos que aparecen en la Figura 5.37 son los que aparecen en la literatura para países desarrollados, pudiendo estos variar en países como República Dominicana. El uso de la evaporación produce los mejores rendimientos, pero requiere de la instalación de un sistema de captación de gases para su operación, lo que aumenta mucho los costes.

ITEM	PROBLEMAS CON	RENDIMIENTOS						
		AERÓBICO	ANAERÓBICO	EVAPORACIÓN	RECIRCULACIÓN	MEMBRANAS	SISTEMAS NATURALES	TRATAMIENTO EN PTAR
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Muy altos	Altos	Muy altos	Intermedios	Muy altos	Muy altos	Muy altos
2	Nutrientes	Altos (1)	Muy bajos	Muy altos	Bajos	No (1)	No	Variables (4)
3	Metales	Intermedios(2)	Altos	Muy altos	Intermedios	Altos	Altos	Altos
4	Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	Altos (3)	+	Muy altos	+	No (1)	+	Variables (5)
5	Patógenos	Bajos	Bajos	Muy altos	Bajos	Muy altos	Variables(4)	Variables(4)

- (1) Pueden ser altos o bajos dependiendo del diseño
- (2) Cuando hay pretratamiento pueden tener remociones muy altas
- (3) La remoción se hace por arrastre en el tanque de aireación. Este genera problemas d impacto ambiental
- (4) Puede ser muy altos si así se requiere
- (5) Puede generar problemas en las conducciones

Figura 5.37: Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (Rendimientos) [EG...01]

En cuanto a los costes, cuanto más completo es el tratamiento mayor es el precio del mismo. Los sistemas más rentables serían los humedales (sistema natural) y la ósmosis en dos etapas (sistema de membranas). Con ambos tratamientos además se consiguen buenos rendimientos aunque la complejidad técnica del segundo es bastante elevada.

TRATAMIENTO	Costo US\$/m <sup>3</sup>
Proceso aeróbico con remoción de nitrógeno	20
Osmosis Inversa en dos etapas	7 - 10
Proceso Biológico + Carbón Activado + Precipitación	25 - 35
Proceso biológico + Osmosis Inversa + Evaporación del Concentrado	35 - 40
Evaporación	5
Humedales	1
CONSUMO ENERGÉTICO	CANTIDAD
Osmosis Inversa - Nanotración	8,5 Kwh/m <sup>3</sup>
Evaporación al vacío	12 Kwh/m <sup>3</sup>

Nota: Estos son costos reportados en la literatura internacional para países desarrollados. Debe tenerse cuidado al usarlos. Se presentan como punto de referencia.

Figura 5.38: Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados (Costes) [EG\_01]

Por lo tanto, los tratamientos más factibles de implementación en el vertedero de Haina serían los sistemas naturales y el tratamiento por ósmosis inversa en dos etapas. Entre estas dos opciones, si el espacio físico lo permite, se elegirá el sistema natural dada la simplicidad técnica y la capacidad de resistir variaciones importantes de caudal de lixiviados en las épocas de lluvias, aunque el estudio de la viabilidad de la incorporación de los lixiviados a las aguas residuales tratadas en la PTAR de San Cristóbal deberá estudiarse antes de tomar una decisión.

Los sistemas naturales consisten en lagunas y humedales, cuya ventaja principal es la simplicidad del tratamiento junto la capacidad de lograr diferentes niveles de tratamiento. Pueden tener igualmente una excelente eliminación de contaminantes y un buen manejo de los principales problemas asociados al tratamiento de los lixiviados. Esto se consigue usando altos tiempos de retención hidráulica en los sistemas, suficientes volúmenes de almacenamiento de precipitados y lodos, bajas tasas de reacción, y mayores áreas que las tecnologías anteriores. Además de esto, la sencillez y simplicidad tecnológica es un factor importante en lugares donde la sostenibilidad operativa pueda suponer serios problemas.

## 5.4. Uso de suelo post-clausura

En este apartado se proponen algunos usos de la zona del vertedero tras su clausura. Normalmente se suele dar el uso de zona verde (ej. parque) dado que la vegetación plantada ayuda a la eliminación de contaminantes. El uso final de este terreno se decidirá en función de las necesidades de Bajos de Haina en el momento de la planificación, sin embargo, de cara a fomentar el reciclaje, la reutilización y la limpieza del aire se proponen las siguientes ideas.

En primer lugar, una zona o la totalidad de la superficie se podría emplear como zona verde, incluyendo un parque, para eliminar contaminación procedente del vertedero y servir como respiro para las personas que viven en una zona totalmente industrializada. Para darle una aplicación social al vertedero y se pueda aprender de los errores cometidos en el pasado y que se siguen cometiendo se proponen también actividades municipales a realizar en este área. Entre estas actividades se podrían realizar talleres de reciclaje para fomentar el reciclaje en la población e incluir a personas en situación de precariedad para impartir estos talleres. De esta manera se podría generar empleo y fomentar el reciclaje. Además, se podría poner en marcha un mercado de reciclados y de objetos de segunda mano. Con esta idea se pretende promover la reutilización de objetos en lugar de su disposición en el vertedero, la separación en el origen para darle una segunda vida a materiales reciclables vendiéndolos como materia prima o como un nuevo objeto, generar empleo a partir de los residuos y como objetivo final, crear una comunidad concienciada con el reciclaje, la reutilización y

los efectos de las buenas acciones en este ámbito.

## 5.5. Resumen e la hoja de ruta

Para finalizar este capítulo y con el fin de dar una visión más concisa del plan de cierre, se presenta un resumen con las soluciones y metodologías adoptadas para el cierre seguro del vertedero de Bajos de Haina.

En primer lugar, se debe garantizar la estabilidad de los residuos, lo que se consigue dotando a los residuos de una pendiente de 3H:1V (tres unidades de longitud horizontal por cada una vertical). Esto se consigue utilizando palas de cadenas para extender los residuos y compactadoras de basura para aumentar el nivel de compactación de los residuos (cuanto más alto mejor pero siempre dando menos de 6 pasadas). Tras este proceso, se debe realizar un estudio de la estabilidad de los residuos, teniendo como valor objetivo un factor de seguridad específico.

Respecto a la cobertura final, las capas necesarias son seis: capa de regularización, capa de recogida de gases, capa impermeable, capa drenante, capa de soporte y una capa vegetal. Para la capa de regularización se utilizará arena obtenida de fuentes cercanas al vertedero; para la capa de recogida de gases se utilizará grava arenosa o escombros de construcción; para la capa impermeable se pueden utilizar residuos antiguos ya estabilizados; para la capa drenante se puede utilizar grava si se quiere prescindir del uso de geosintéticos (en este caso el uso del drenotube puede ser muy beneficioso, ver apartado 5.3.4); para la capa soporte se puede utilizar una geomalla aunque esta capa no es tan necesaria si se pretenden reducir costes; y por último para la capa vegetal se utiliza tierra para permitir el crecimiento de nueva vegetación.

Para la recogida de agua y lixiviados, a parte de las capas impermeables que evitan que el agua recorra toda la basura hasta llegar al subsuelo, también es necesario realizar zanjas en el perímetro del vertedero para recoger el agua de lluvia y la escorrentía superficial. A pesar de las capas impermeabilizantes, una cantidad considerable de agua se filtrará al subsuelo como lixiviado. Para tratar este agua se colocarán barreras reactivas permeables en perpendicular al flujo de agua con lixiviados.

Por último, para recoger los gases y liberarlos a la atmósfera se colocarán chimeneas. Estas chimeneas liberarán los gases de vertedero directamente a la atmósfera ya que no se han dispuesto mecanismos para su tratamiento o aprovechamiento.

El tratamiento de los lixiviados elegido será el de sistemas naturales, ya que es la más barata, consigue muy buenos resultados y se dispone del área necesaria para su implementación.



## 6 | Estudio de viabilidad de la propuesta

En este capítulo se intentarán aproximar algunos costes para tener una idea de la inversión necesaria para la clausura del vertedero. A falta de una visita al terreno, los números presentes en este capítulo serán orientativos y podrán variar significativamente.

En primer lugar, se utilizará como referencia el coste del cierre del vertedero de La Duquesa (Santo Domingo). El cierre de este vertedero de 120 hectáreas fue de 4 millones de dólares [DL\_20]. Las condiciones de este vertedero eran muy similares a las del vertedero de Haina, vertedero a cielo abierto, incontrolado y con acceso libre a personas y animales. El vertedero de Haina cuenta con 52 hectáreas, lo que supondría un coste de 2 millones de dólares. Para desglosar este coste total del cierre del vertedero se utilizará la Figura 6.1.

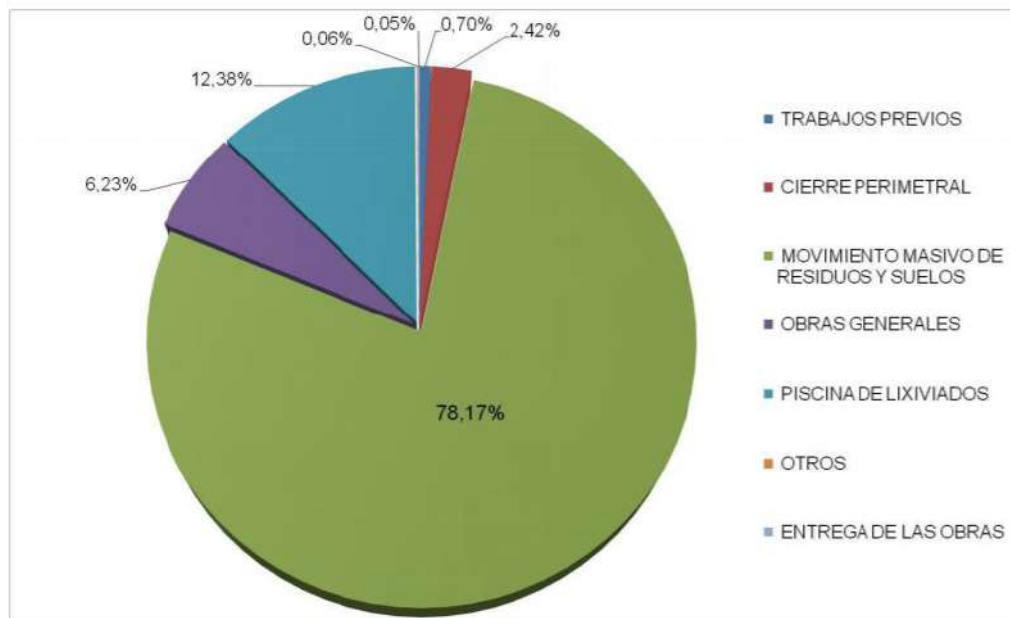


Figura 6.1: Desglose porcentual de costes en el cierre de un vertedero [UFSM21]

Utilizando estos porcentajes se puede deducir el coste que conllevarán cada tipo de operación en el proceso de cierre, quedando lo siguiente:

<b>Elemento</b>	<b>Coste</b>
Trabajos previos	14.000 \$
Cierre perimetral	48.400 \$
Movimiento masivo de residuos y suelos	1.563.400 \$
Obras generales	124.600 \$
Piscina de lixiviados	247.600 \$
Otros	2.200\$
<b>Total</b>	<b>2 M\$</b>

Tabla 6.1: Desglose de costes

Los beneficios del cierre de este vertedero son incalculables, pues es una acción necesaria para garantizar la salud y el bienestar de las personas de la zona, la generación de empleo alrededor del vertedero y ayudar a la conservación de fauna y flora.

## 7 | Conclusiones y trabajo futuro

La necesidad de intervenir en el vertedero de Haina es imperiosa, las condiciones en las que se encuentra, la nula gestión de las entradas y salidas del vertedero, y la inexistente preparación del terreno previo a su uso como vertedero, hacen que sea insostenible para cualquier tipo de vida y fuente de agua de los alrededores.

La gestión de residuos en República Dominicana es bastante ineficiente en todos los procesos que intervienen. Desde la pre-recogida, donde la separación en origen es baja y no se aplican incentivos para su realización, y la disposición de los residuos se hace de manera irregular; hasta la disposición final, que mayormente consiste en vertederos incontrolados sin gestión ni pre-tratamiento de los residuos. A todo esto se le suma que la recogida de los residuos se hace mayormente de manera mezclada (un solo camión para distintos tipos de residuos), lo que imposibilita la separación en una posible estación de transferencia aún inexistente.

El vertedero, tras muchos años en funcionamiento en estas condiciones supone un riesgo muy alto. Suceden incendios constantes que liberan gases contaminantes a la atmósfera y ponen en riesgo a la población que reside cerca del vertedero. También, los casos de asma causados por la contaminación del aire y la contaminación por plomo presente en el agua pone en alto riesgo a la salud de las personas. Además, al no estar vallado, los animales pueden campar a sus anchas, convirtiéndose en vectores de enfermedades y poniendo en riesgo su propia vida. El escaso reciclaje que se realiza lo llevan a cabo los buzos, que trabajan en condiciones pésimas separando los residuos con algún tipo de valor presentes en el propio vertedero.

Las soluciones adoptadas en este trabajo implican la clausura del vertedero de manera económica y sostenible. Las materias primas necesarias se encuentran cerca del vertedero y, siempre y cuando sea posible, se busca la reutilización de materiales. Al cubrir el vertedero e instalar chimeneas se consigue eliminar los incendios y olores, utilizando en primer lugar arena para cubrir la totalidad del vertedero. El agua de lluvia se controla mediante canales perimetrales que evacuen este agua hacia un sistema de tratamiento de lixiviados que consiste en piscinas naturales, además, se disponen barreras reactivas permeables para minimizar la contaminación de las aguas subterráneas que se utilizan para el consumo humano. Para evitar la libre circulación de personas y animales, se deberá incluir una vallado perimetral con entradas y salidas controladas por las personas encargadas. La plantación de vegetación que ayude a limpiar el aire y el suelo tan contaminado también está presente en estas propuestas. Con esto se podría conseguir una zona verde que cambie el ambiente de una zona tan industrial.

Tras la clausura del vertedero, se proponen algunas opciones para el uso del terreno. Estas opciones tienen en cuenta la situación social que existe en Bajos de Haina, y están principalmente enfocadas hacia la creación de empleo para mujeres y niñas que viven de la prostitución y hacia los buzos que perderían sus puestos de trabajo, que a pesar de las condiciones en las que trabajan, el vertedero es en muchos casos su único sustento. Un objetivo a cumplir para el futuro uso del terreno es la concienciación sobre el reciclaje y la reutilización de residuos a partir de talleres y mercados de segunda mano.

En cuanto al trabajo futuro, queda mucho por hacer en cuanto a la gestión de los residuos en Bajos de Haina. Una buena gestión de los residuos, es decir, una gestión integral de los residuos, comienza en el origen, haciendo responsable a las empresas generadoras de los residuos en los que sus productos se convierten. También es necesaria mucha concienciación de la población para conseguir aumentar la separación en origen y la reutilización, además de que venga apoyada por el gobierno, con incentivos y una recogida selectiva que consiga que el esfuerzo de los ciudadanos tenga al menos una recompensa moral. Sin embargo, por lo que respecta al vertedero, también queda trabajo por realizar.

En primer lugar, un viaje a terreno es necesario para ver las condiciones reales del vertedero, el tamaño, la producción de lixiviados, la cantidad de agua subterránea, la producción de gases, la cantidad de lluvia y los niveles de evapotranspiración y permeabilidad del terreno. También será necesario hablar con los ejecutores del proyecto, es decir, el ayuntamiento, para ver la capacidad real de actuación que existe y si es posible otra salida a los residuos hasta que se cree un relleno sanitario en condiciones. Por último, hablar con los habitantes de la zona para ver las necesidades reales de las personas en cuanto a el uso del suelo y el nivel de limpieza del agua necesario. También, algunas propuestas presentes en este trabajo están pendientes de un estudio de viabilidad, como por ejemplo el uso de la EDAR de San Cristóbal para tratar los lixiviados, el uso de las aguas residuales como material de cobertura, la cantidad de EPS disponible a partir de las industrias para la incorporación del Drenotube y la profundidad del agua subterránea para incorporar las barreras reactivas permeables (BRP).

# Anexos



# A | Producto Interior Bruto (PIB) de República Dominicana 2019

Cuadro 13.1  
REPÚBLICA DOMINICANA: Producto Interno Bruto (PIB) valor agregado de actividad económica, según sector de origen, por trimestre, enero-  
(en millones RD\$)



Valor agregado por actividad económica Sectores de origen	2019*					
	Enero-marzo		Abril-junio		Julio-septiembre	
	Valores	(%)	Valores	(%)	Valores	(%)
Producto Interno Bruto (PIB)	1.089.803,76	100,00	1.119.016,14	100,00	1.123.244,65	100,00
Valor agregado	1.007.756,90	92,47	1.039.236,60	92,87	1.038.364,37	92,44
Impuestos a la producción neta de subsidios	82.046,86	7,53	79.779,55	7,13	84.880,28	7,56
Agropecuario	53.293,49	4,89	62.190,66	5,56	56.217,06	5,00
Subsector agrícola	33.926,21	3,11	41.914,11	3,75	36.211,78	3,22
Ganadería, silvicultura y pesca	19.367,28	1,78	20.276,55	1,81	20.005,28	1,78
Industrias	290.718,80	26,68	304.026,97	27,17	312.216,10	27,80
Explotación de minas y canteras	19.451,38	1,78	18.006,05	1,61	21.523,38	1,92
Manufactura local	115.312,66	10,58	119.702,98	10,70	118.120,58	10,52
Industrias de alimentos	45.137,96	4,14	47.652,48	4,26	43.815,40	3,90
Elaboración de bebidas y productos derivados del tabaco	13.399,77	1,23	15.770,83	1,41	14.842,39	1,32
Fabricación de productos de la refinación de petróleo y otras manufacturas	10.878,54	1,00	11.220,77	1,00	12.033,33	1,07
Manufactura zonas francas	45.896,40	4,21	45.058,90	4,03	47.429,47	4,22
Construcción	34.157,65	3,13	36.821,11	3,29	38.580,08	3,43
Servicios	121.797,10	11,18	129.496,83	11,57	133.992,06	11,93
Energía y agua	663.744,60	60,90	673.018,97	60,14	669.931,21	59,64
Comercio	16.479,76	1,51	17.334,72	1,55	19.239,49	1,71
Hoteles, bares y restaurantes	105.638,17	9,69	114.649,23	10,25	113.474,50	10,10
Transporte y almacenamiento	92.131,90	8,45	84.395,23	7,54	77.364,75	6,89
Comunicaciones	93.392,95	8,57	94.692,18	8,46	94.841,84	8,44
Intermediación financiera, seguros y actividades conexas	9.094,77	0,83	9.147,93	0,82	9.506,52	0,85
Actividades inmobiliarias y de alquiler	48.691,99	4,47	43.536,15	3,89	48.168,78	4,29
Enseñanza	84.177,17	7,72	85.406,07	7,63	86.418,00	7,69
Enseñanza de mercado	57.179,82	5,25	62.225,63	5,56	58.393,41	5,20
Enseñanza no de mercado	23.763,22	2,18	22.475,18	2,01	22.509,49	2,00
Salud	33.416,60	3,07	39.750,46	3,55	35.883,91	3,19
Salud de mercado	34.522,59	3,17	35.362,50	3,16	35.629,58	3,17
Salud no de mercado	23.215,89	2,13	23.455,93	2,10	23.622,86	2,10
Otras actividades de servicios de mercado	11.306,70	1,04	11.906,57	1,06	12.006,71	1,07
Administración Pública y Defensa; Seguridad Social de afiliación obligatoria y otros servicios	82.757,97	7,59	83.472,80	7,46	82.520,88	7,35
de afiliación obligatoria y otros servicios	39.677,50	3,64	42.796,54	3,82	44.373,46	3,95

Fuente: Informe de la Economía Dominicana, Banco Central de la República Dominicana (BCRD)

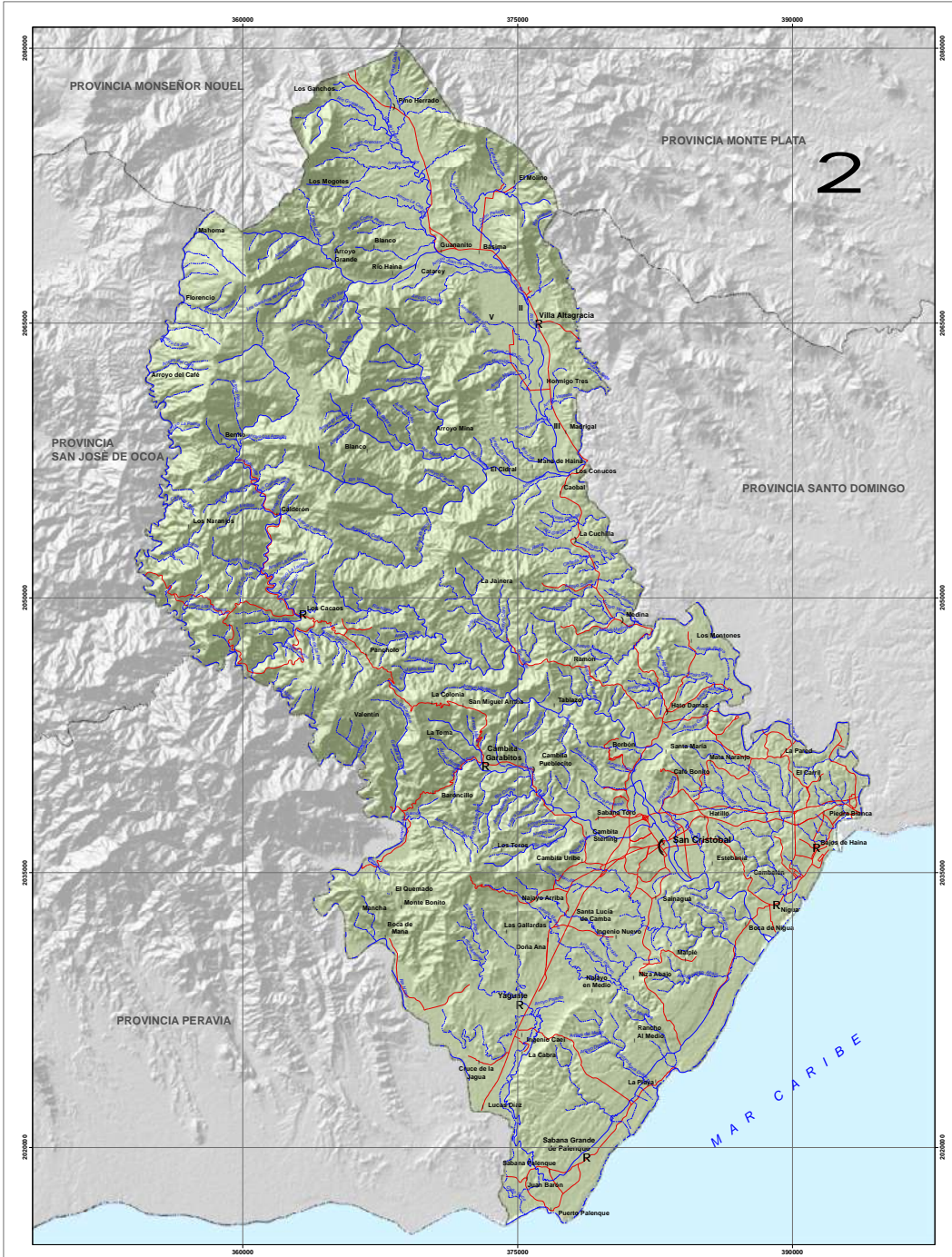
Nota: Año base 2007

\*: Cifras sujetas a rectificación

#: Ponderación por actividad económica

## B | Mapa hidrológico San Cristobal

# PROVINCIA SAN CRISTÓBAL



## HIDROLÓGICO

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Escala: 1:100,000

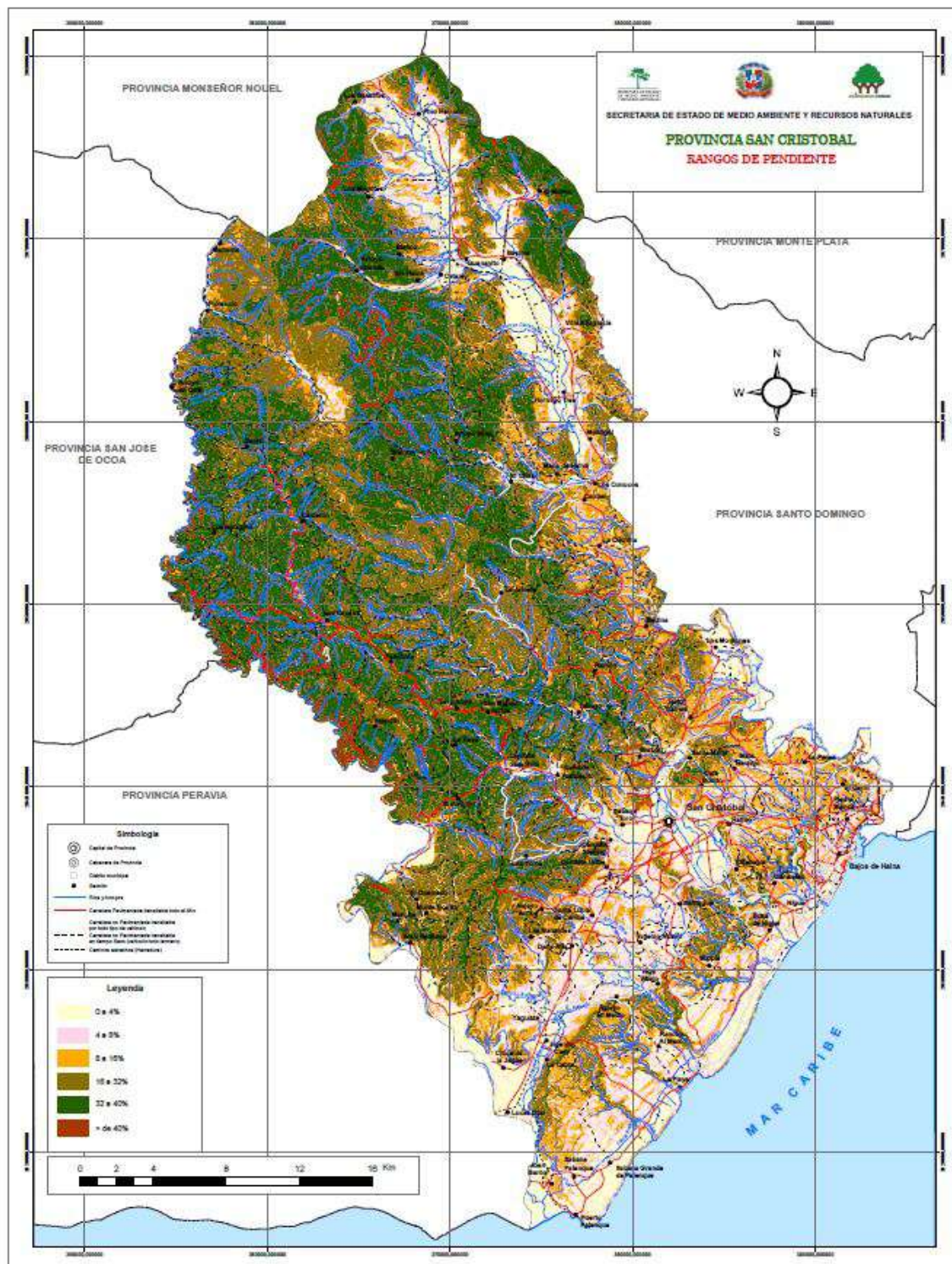
SIMBOLOGIA	
	Ríos y Arroyos
	Cameras Pavimentada Transitable Todo el Año
	Cameras no Pavimentada Transitable por Todo Tipo de Vehículo
	Cameras no Pavimentada Transitable en Tiempo Seco (Vehículo Todo Terreno)
	Límite Provincial



Edición: Mayo, 2013  
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

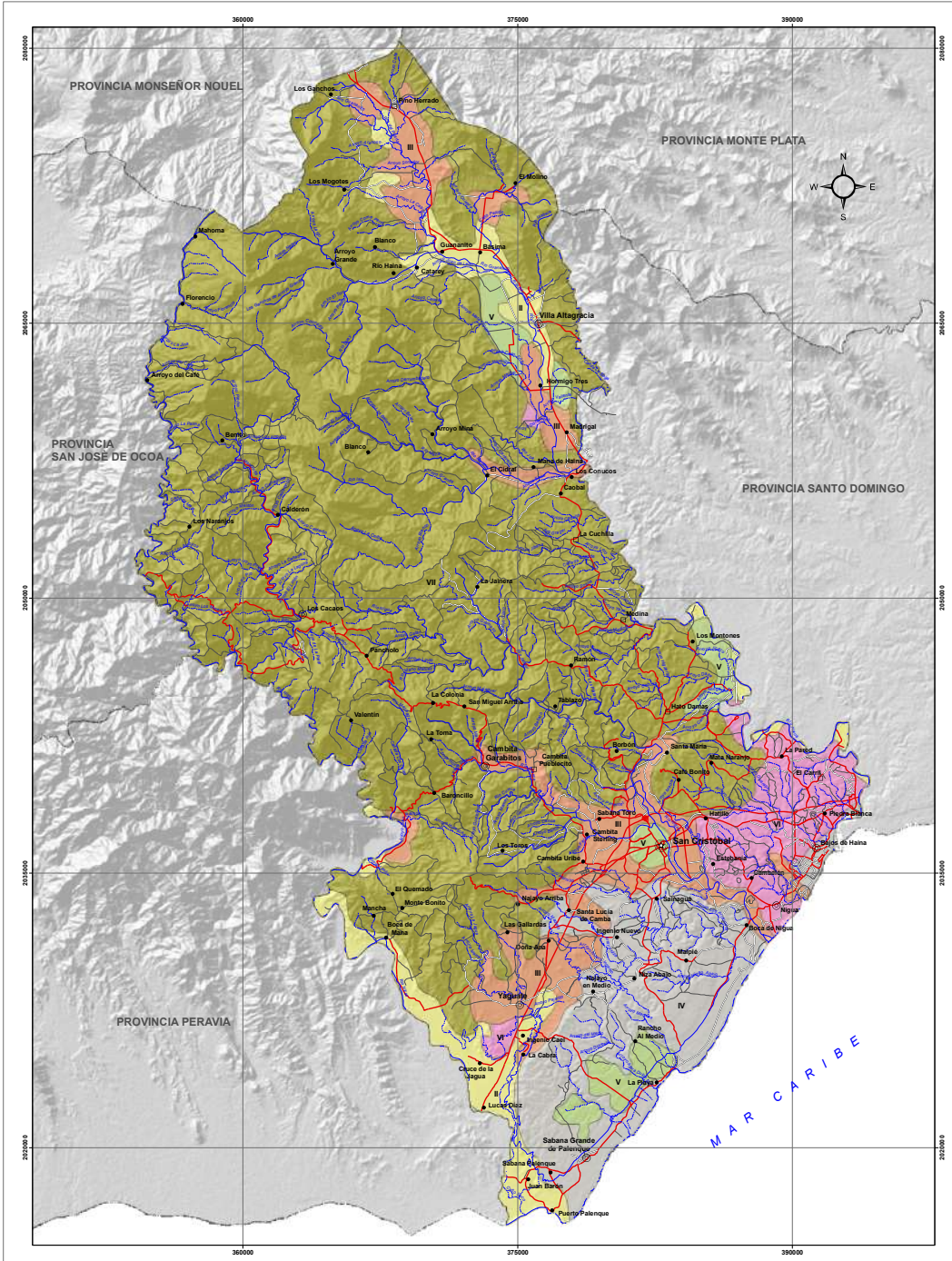
## C | Mapa de pendiente San Cristobal

Mapa de pendiente San Cristobal



## D | Mapa capacidad productiva de la tierra San Cristobal

# PROVINCIA SAN CRISTÓBAL



## CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA TIERRA

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Escala: 1:150,000

LEYENDA			
Clases	Descripción	km <sup>2</sup>	%
II	Cultivables, aptos para riego. Topografía llana, ondulada o suavemente alomada, con factores limitantes no severos. Productividad alta con buen manejo.	65.28	5.28
III	Cultivables, aptos para riego, sólo con cultivos muy rentables. Topografía llana, alomada o suavemente alomada y con factores limitantes de alguna severidad. Productividad mediana con prácticas intensivas de manejo.	115.61	9.35
IV	Suelos limitados para cultivos, no aptos para riego, salvo con cultivos muy rentables. Presentan limitantes severos, y requieren prácticas intensivas de manejo.	119.63	9.69
V	Presentan limitantes de drenaje. Aptos para pastos y cultivos de arroz, con productividad alta si se realizan buenas prácticas de manejo.	35.72	2.89
VI	Aptos para bosques, pastos y cultivos de montañas. Sienten limitantes muy severos de topografía, profundidad y rocosidad.	53.63	4.35
VII	Incluye terrenos de montañas, con topografía accidentada. No cultivables, aptos para fines de explotación forestal.	846.01	68.43

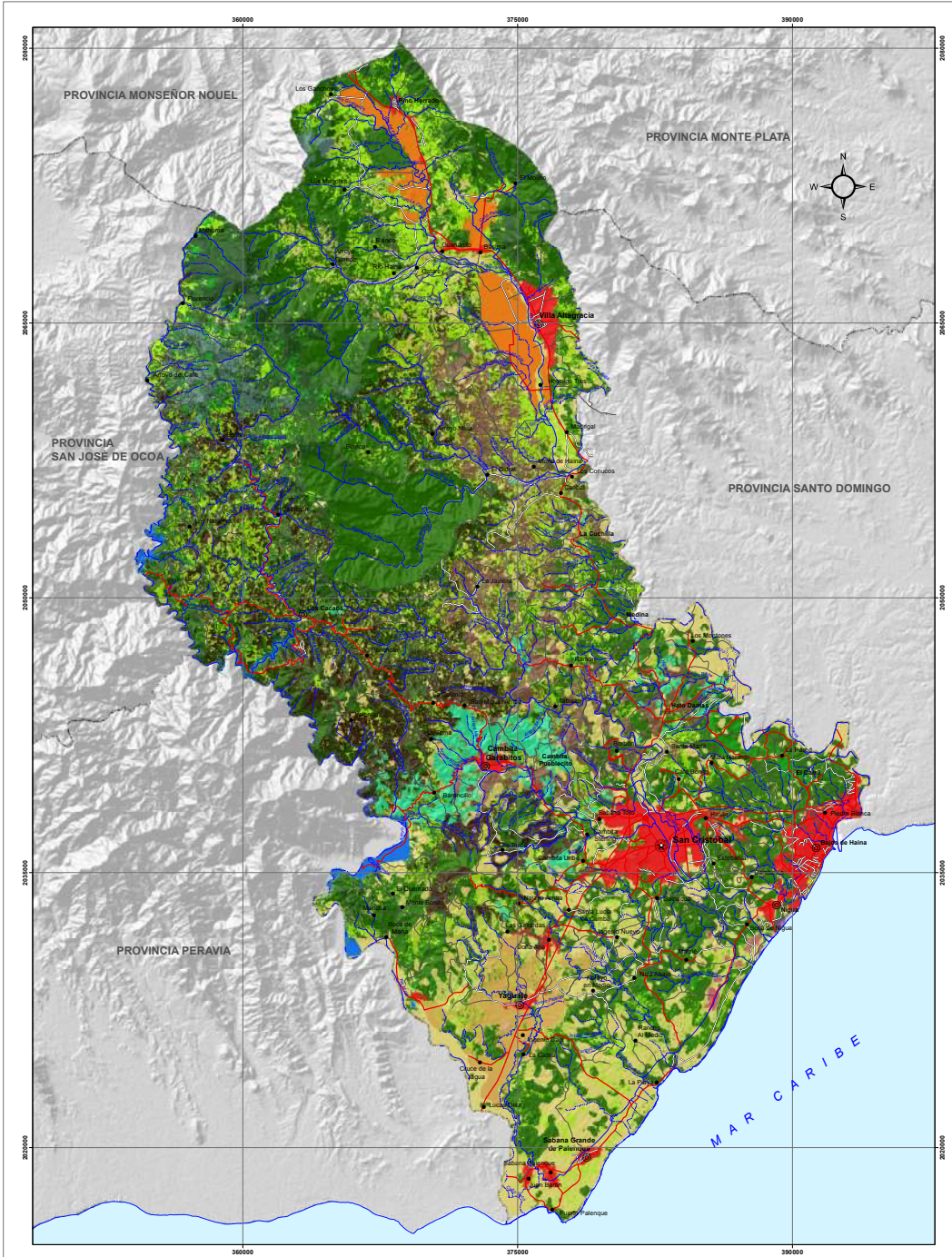
SIMBOLOGIA	
	Ríos y Arroyos
	Camiones Pavimentados Transitable Todo el Año
	Camiones no Pavimentados Transitable por Todo Tipo de Vehículo
	Camiones no Pavimentados Transitable en Tiempo Seco (Vehículo Todo Terreno)
	Límite Provincial



Edición: Febrero, 2010.  
Fuente: Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

## E | Mapa de uso y cobertura de la tierra, San Cristobal

# PROVINCIA SAN CRISTÓBAL



  
**MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**  
**USO Y COBERTURA DE LA TIERRA 2012**  
 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES Escala: 1:150.000

**Leyenda**

	km <sup>2</sup>	%
Agricultura / Pasto	200.60	16.21
Aguacate	29.20	2.36
Arena	1.50	0.12
Bosque Conifera Densa	79.00	6.39
Bosque Latifoliado Humedo	418.80	33.85
Bosque Latifoliado Nublado	15.80	1.26
Bosque Latifoliado Semi_Humedo	40.20	3.25
Cacao	71.10	5.75
Cafe	110.40	8.92
Caña	25.70	2.08
Citrico	25.80	2.09
Coco	1.50	0.13
Cultivos Intensivos	0.10	0.01
Escasa Vegetacion	0.40	0.03
Humedales Salobres	0.20	0.02
Mangles	0.40	0.03
Matorral Latifoliado	5.70	0.46
Matorral Seco	3.70	0.30
Pasto	153.00	12.36
Presas	7.10	0.57
Rios	1.20	0.10
Zona Urbana	45.90	3.71

**SIMBOLOGIA**

Capital de Provincia	Rios y Arroyos
Cabecera de Municipio	Carretera Pavimentada Transitable Todo el Año
Distrito Municipal	Carretera no Pavimentada Transitable por Todo Tipo de Vehículo
Sección Municipal	Carretera no Pavimentada Transitable en Tiempo Seco (Vehículo Todo Terreno)
Laguna y Lagunas	Límite Provincial
Presa	



Edición: Mayo, 2014.  
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2012.

F | **Mapa de yacimientos mineros,  
San Cristobal**





# G | Factores para el cálculo del coeficiente de jardín

Tipo de vegetación	Factor de especie o de vegetación ( $K_s$ )		
	A	M	B
Árboles	0,9	0,5	0,2
Arbustos	0,7	0,5	0,2
Tapizantes	0,7	0,5	0,2
Vegetación mixta	0,9	0,5	0,2
Césped	0,8	0,7	0,6

A, M, B: demanda general de agua de la especie existente: alta, media, baja

(a) Factor de especie o de vegetación a aplicar para el cálculo del coeficiente de jardín en función de la demanda general de agua que presentan las especies existentes

Tipo de vegetación	Factor de densidad ( $K_d$ )		
	A	M	B
Árboles	1,3	1,0	0,5
Arbustos	1,1	1,0	0,5
Tapizantes	1,1	1,0	0,5
Vegetación mixta	1,1	1,1	0,6
Césped	1,0	1,0	0,6

A, M, B: densidad alta, media, baja

(b) Factor de densidad a aplicar para el cálculo del coeficiente de jardín en función de la densidad superficial de la vegetación existente

Tipo de vegetación	Factor de microclima ( $K_{m,c}$ )		
	A	M	B
Árboles	1,4	1,0	0,5
Arbustos	1,3	1,0	0,5
Tapizantes	1,2	1,0	0,5
Vegetación mixta	1,4	1,0	0,5
Césped	1,2	1,0	0,8

A: Alto, efecto microclimático que aumenta la evapotranspiración  
 M: Medio, sin efecto microclimático, las condiciones son similares a las de referencia  
 B: Bajo, efecto microclimático que disminuye la evapotranspiración

(c) Factor de microclima a aplicar para el cálculo del coeficiente de jardín en función de la incidencia de factores microclimáticos en la evapotranspiración

Figura G.1: Factores para el cálculo del coeficiente de jardín  $k_L$  [EJGV15]

## H | Tablas para el cálculo de la evapotranspiración

Vegetación	Arena fina	Arena limosa	Limo	Limo arcilloso	Arcilla
Herbáceas de raíces someras	0,50	0,50	0,65	0,40	0,25
Herbáceas y arbustos de raíces medias	0,75	1,0	1,0	0,80	0,50
Herbáceas y arbustos de raíces profundas	1,0	1,0	1,25	1,0	0,70
Arbolado y bosques	2,70	2,0	2,0	1,6	1,2

(a) Profundidad (m) típica de la zona radicular en función del tipo de vegetación y terreno

Tipo de terreno	Punto de marchitez	Capacidad campo	Agua máxima disponible
Residuos urbanos	0,07	0,30	0,23
Cenizas (como arenas)	0,05	0,12	0,07
Arenoso	0,02-0,07	0,07-0,17	0,05-0,11
Arenoso franco	0,03-0,10	0,11-0,19	0,06-0,12
Franco arenoso	0,06-0,16	0,18-0,28	0,11-0,15
Franco	0,07-0,17	0,20-0,30	0,13-0,18
Franco limoso	0,09-0,21	0,22-0,36	0,13-0,19
Limoso	0,12-0,22	0,28-0,36	0,16-0,20
Franco arcillo limoso	0,17-0,24	0,30-0,37	0,13-0,18
Arcillo limoso	0,17-0,29	0,30-0,42	0,13-0,19
Arcilloso	0,20-0,24	0,32-0,40	0,12-0,20

(b) Punto de marchitez, capacidad de campo y agua máxima-potencial disponible para la evapotranspiración según el tipo de terreno

Figura H.1: Factores para el cálculo de la profundidad [EJGV15]

# Bibliografía

- [OID\_20] Oficina de Información Diplomática. Ficha País República Dominicana 2020. [http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/REPUBLICADOMINICANA\\_FICHA%20PAIS.pdf](http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/REPUBLICADOMINICANA_FICHA%20PAIS.pdf)
- [BCRD20] Banco Central de la República Dominicana. 2020. <https://www.bancentral.gov.do/a/d/4792-economia-dominicana-crece-47-en-enero-de-2020>
- [BCRD19] Banco Central de la República Dominicana. Informe de la economía Dominicana (Enero-Diciembre 2019). Marzo 2019. <https://cdn.bancentral.gov.do/documents/publicaciones-economicas/informe-de-la-economia-dominicana/documents/Infeco2019-09.pdf>
- [DJ\_10] Periódico Dia Joven. Realidad Socioeconómica de Haina. <https://diajoven.webnode.es/realidad-socioeconomica-de-haina/>
- [GRD\_12] Gobierno de la República Dominicana. ESTRATEGIA NACIONAL DE DESARROLLO 2030. <https://mem.gob.do/wp-content/uploads/2019/01/Ley-No.-1-12-sobre-Estrategia-Nacional-de-Desarrollo-2030.pdf>
- [GBM\_16] Grupo Banco Mundial. Para construir un mejor futuro juntos, notas de política de República Dominicana, 2016. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/301811481618376794/pdf/DR-Policy-Notes-in-Spanish-FINAL.pdf>
- [GBM\_14] Grupo Banco Mundial. Cuando la Prosperidad no es Compartida. Los Vínculos Débiles entre el Crecimiento y la Equidad en la República Dominicana. [https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/LAC/reporte\\_DR.pdf](https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/LAC/reporte_DR.pdf)
- [ONE\_20] Oficina Nacional de Estadística. Boletín de Estadísticas Oficiales de pobreza monetaria No 7. 2020. <https://www.one.gob.do/sociales/pobreza-asistencia-social-y-condiciones-de-vida>
- [CEPAL19] Comisión Eléctrica de los Países de América Latina. Estadísticas de producción de electricidad de los países del Sistema de Integración Centroamericana (SICA). Datos preliminares a 2018. Julio 2019. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44661/4/S1900507\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44661/4/S1900507_es.pdf)
- [PNUD19] Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano 2019. Desigualdades del desarrollo humano en el siglo XXI. Nota informativa para los países acerca del Informe sobre Desarrollo Humano 2019. República Dominicana. [http://hdr.undp.org/sites/all/themes/hdr\\_theme/country-notes/es/DOM.pdf](http://hdr.undp.org/sites/all/themes/hdr_theme/country-notes/es/DOM.pdf)
- [ONE\_10] Oficina Nacional de Estadística. IX Censo Nacional de Población y Vivienda. Informe General 2010. <https://www.one.gob.do/Multimedia/Download?ObjId=2746>
- [WEF\_19] World Economic Forum. The Global Competitiveness Report. 2019. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf)

- [ONE\_16] Oficina Nacional del Estado. Tu municipio en cifras, Bajos de Haina. Diciembre 2016. <https://www.one.gob.do/Multimedia/Download?ObjId=30335>
- [ONE\_15] Oficina Nacional del Estado. Condición de la infraestructura del sistema vial urbano. Bajos de Haina. República Dominicana. 2015. <https://web.one.gob.do/media/ntpdnkt/atlascondici%C3%B3ndelainfraestructuradelsistemavialurbanobajosdehainarepdom2015.pdf>
- [AMH\_20] Ayuntamiento Municipal de Los Bajos de Haina. Historia. 2020. <http://ayuntamientohaina.gob.do/historia/>
- [UNED\_20] Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED. Los residuos urbanos y su problemática, 2020. <https://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm>
- [GBM\_18] Kaza, Silpa, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Frank Van Woerden. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1329-0. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30317/9781464813290.pdf?sequence=12&isAllowed=y>
- [FE\_16] Francisco J. André y Emilio Cerdá. Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. 2016. [https://www.researchgate.net/publication/277260510\\_Gestion\\_de\\_residuos\\_solidos\\_urbanos\\_analisis\\_economico\\_y\\_politicas\\_publicas](https://www.researchgate.net/publication/277260510_Gestion_de_residuos_solidos_urbanos_analisis_economico_y_politicas_publicas)
- [RTVE18] Santiago Riesco Pérez. Radio televisión española. Bajos de Haina, la esperanza renacida. 2018. <https://www.rtve.es/television/20180227/bajos-haina-esperanza-renacida/1685660.shtml>
- [AFCE06] André, Francisco & Cerdá, Emilio. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. [https://www.researchgate.net/profile/Francisco\\_Andre/publication/277260510\\_Gestion\\_de\\_residuos\\_solidos\\_urbanos\\_analisis\\_economico\\_y\\_politicas\\_publicas/links/560baa5f08ae80232a3f22c3/Gestion-de-residuos-solidos-urbanos-analisis-economico-y-politicas-publicas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Andre/publication/277260510_Gestion_de_residuos_solidos_urbanos_analisis_economico_y_politicas_publicas/links/560baa5f08ae80232a3f22c3/Gestion-de-residuos-solidos-urbanos-analisis-economico-y-politicas-publicas.pdf)
- [MGD\_07] Manuel García De Diego, 2007. EOI. Escuela de negocios. Máster en ingeniería y gestión medioambiental. Pre-recogida de residuos urbanos. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45934.pdf>
- [AGL\_08] Alejandro Gallardo Izquierdo. Estudio de los modelos de recogida selectiva de residuos urbanos implantados en ciudades españolas: grado de separación de materiales en origen. [http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2564\\_AGallardo.pdf](http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2564_AGallardo.pdf)
- [ED\_18] Evolución de los residuos urbanos recogidos por tipo de residuo en España, 2018. <https://www.epdata.es/residuos-mezclados-suman-18-millones-toneladas-38-recogida-separada/49fd4540-f291-4a6f-a64c-0e25b6238bc5>
- [OPSD17] Observatorio de políticas sociales y desarrollo, 2017. <http://www.opsd.gob.do/media/22321/boletin-11-residuos-solidos-urbanos-en-republica-dominicana.pdf>
- [EOI\_07] EOI. Escuela de negocios. Máster en ingeniería y gestión medioambiental. Francisco Barras Quilez. Módulo: Contaminación por Residuos, Residuos Urbanos o Municipales, 2007. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45745.pdf>

- [LIP\_20] LIPASAM. Recogida neumática de residuos. <https://www.lipasam.es/la-empresa/servicios/recogida-neumatica-de-residuos>
- [LA\_15] Ayuntamiento de Leganés, Planta de selección de residuos de envases, 2015. [http://www.leganes.org/GestionDeResiduos/?page\\_id=661](http://www.leganes.org/GestionDeResiduos/?page_id=661)
- [JW\_18] Judith Wolf, Santo Domingo, República Dominicana. Situación Actual de Gestión de Residuos en República Dominicana, 2018. <https://cambioclimatico.gob.do/phocadownload/Documentos/giz/Wolf,%20Judith%20-%20Informe%20Final,%20Estado%20GIRS%20Rep.Dom.%20Nov.%202018.pdf>
- [OSMAN21] Observatorio de salud y medio ambiente de Andalucía. Junta de Andalucía. Consultado en 2021. <https://www.osman.es/diccionario/definicion.php?id=14067>
- [GOES20] Gobierno de España. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Sistemas de tratamiento. Vertederos. Consultado en 2021. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Deposito-en-vertedero.aspx>
- [REC\_21] Reciclame. Gestión de Residuos. Vertederos Controlados. 2021. <https://www.reciclame.info/gestion-de-residuos-2/vertederos-controlados/>
- [EOI\_21] EOI. Escuela de negocios. Máster en ingeniería y gestión medioambiental. Depósito de residuos en vertedero. Iván botamino García. Consultado en 2021. <https://www.eoi.es/es/file/18542/download?token=9C004mli>
- [YT\_19] YouTube 2019. Como se debe realizar un vertedero. Consultado en 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=vRa8-QJ7W2U>
- [RE\_21] Reciclame. Vertederos controlados. Consultado en 2021. [reciclame.info/gestion-de-residuos-2/vertederos-controlados/](https://www.reciclame.info/gestion-de-residuos-2/vertederos-controlados/)
- [RED\_09] Aguilar Q., Taboada P. A., Armijo C., Ojeda S., Aguilar X. REDISA. Red de ingeniería en saneamiento ambiental. Composición de los residuos sólidos domésticos en Vicente Guerrero México, una comunidad rural. 24 y 25 de Septiembre de 2009. <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/Clasificacion/Composici%C3%B3n%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20dom%C3%A9sticos%20en%20Vicente%20Guerrero%20M%C3%A9xico.pdf>
- [CEPAL16] Estefani R. T., Marcel S. N., Juan Francisco P., Eduardo C., Alejandro G. CEPAL. Naciones Unidas. 2016 <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407>
- [OPS\_03] Organización Panamericana de la Salud. Evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales. Diciembre 2003. Consultado en 2021. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/31150/TC-0311.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [EJGV15] Eusko Juariaritz, Gobierno Vasco. Documento guía sobre la reducción de emisiones de gases de vertedero, 2015. Consultado en 2021. [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guia\\_gas\\_vertederos/es\\_def/adjuntos/guia\\_gas\\_vertederos.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guia_gas_vertederos/es_def/adjuntos/guia_gas_vertederos.pdf)
- [HOEL78] Michael Hoel. Resource Extraction, Substitute Production, and Monopoly, 1978. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022053178900534>
- [JFA\_16] Joan E.A., Francisco José C.M., Antonio G.I. Herramienta de cálculo para el diseño y explotación de vertederos. [http://www.ategrus.org/wp-content/uploads/2016/12/5a-JOAN\\_ESTEBAN-Univ.-Jaume-I\\_vertederos-2015.pdf](http://www.ategrus.org/wp-content/uploads/2016/12/5a-JOAN_ESTEBAN-Univ.-Jaume-I_vertederos-2015.pdf)

- [RM\_20] Región de Murcia. Agua, agricultura, ganadería, pesca y medioambiente. Preguntas más frecuentes sobre residuos. <https://www.carm.es>
- [FCR\_13] Fernando C.R., Vertedero de Residuos Sólidos. Ategrus formación. Consultado en 2021. [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/fcalvo\\_residuos\\_solidos.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/fcalvo_residuos_solidos.pdf)
- [FOC\_17] Focimirs, Fortalecimiento de la capacidad institucional en el manejo integral de residuos sólidos. Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de los Residuos Sólidos a Nivel Nacional en la República Dominicana, 2017. <https://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/10/04-Reciclaje-y-Tratamiento-Intermedio.pdf>
- [INAPA15] Yeny Cornelio Hernández y Consultora Ambiental y de Residuos Sólidos. Diagnóstico situación sector residuos sólidos en República Dominicana, Informe final. Consultado en 2021. <https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/4CAD6958-68E8-A0AB-E856-852720AD7CF8/attachments/Diagnostico%20RS%20Estrategia%20Nacional%20de%20Sanemaiento.pdf>
- [BE\_07] Infraestructura para el desarrollo Volumen 1, no. 3. Departamento de Infraestructura y Energía del BID. Cómo mejorar la gestión de residuos en Belice. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Infraestructura-para-el-desarrollo---Vol-1-No-3-C%C3%B3mo-mejorar-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-en-Belice.pdf>
- [WU\_05] C40 Cities. Case of study: Wuhan, Jinkou landfill. [https://www.c40.org/case\\_studies/](https://www.c40.org/case_studies/)
- [PERA11] Eva Peralta, Aurelyn Del Rosario y Carolina Vélez. Diagnóstico socioeconómico y ambiental del manejo de residuos sólidos domésticos en el municipio de Haina. CIENCIA Y SOCIEDAD, Volumen XXXVI, Número 2, Abril-Junio 2011. <https://revistas.intec.edu.do/index.php/ciso/article/view/909/pdf-PeraltadelRosario>
- [AMH\_21] Ayuntamiento Municipal de Los Bajos de Haina. Recogida de basura. 2021. <http://ayuntamientohaina.gob.do/recogida-de-basura/>
- [MIMA14] Política para la gestión de residuos sólidos municipales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales (MIMARENA). Febrero 2014. [urlhttps://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/12/Politica-Residuos-Solidos-Municipales.pdf](https://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/12/Politica-Residuos-Solidos-Municipales.pdf)
- [GEO\_07] Consejo Nacional De Asuntos Urbanos (CONAU), Universidad Autónoma De Santo Domingo (UASD), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). GEO Santo Domingo. Perspectiva del Medio Ambiente Urbano. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9309/-Perspectiva\\_del\\_Medio\\_Ambiente\\_Urbano\\_-\\_GEO\\_Santo\\_Domingo-2007GEO\\_SantoDomingo\\_2007.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9309/-Perspectiva_del_Medio_Ambiente_Urbano_-_GEO_Santo_Domingo-2007GEO_SantoDomingo_2007.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- [FOCI17] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y JICA. Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de los Residuos Sólidos a Nivel Nacional en la República Dominicana (FOCIMIRS). Manual Sobre Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales. Mayo, 2017. <https://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/10/05-Disposici%C3%B3n-Final-RSM.pdf>
- [GOB\_21] Decreto 62-21. Gobierno de la República Dominicana. 05 de Febrero de 2021. <https://presidencia.gob.do/decretos/62-21>
- [ECO\_21] ECO5RD, Transformando el sistema. Programas Especiales y Estratégicos de la Presidencia (PROPEEP). <https://propeep.gob.do/eco5rd/>

- [UNEP05] Training module: Closing an open dumpsite and shifting from open dumping to controlled dumping and to sanitary land filling. United Nations Environment Programme (2005). SDG 3 - Good Health and Well-being. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8444/SPC\\_Training\\_Module\\_1.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8444/SPC_Training_Module_1.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- [MPM\_90] M. del P. Manrique. Selección de emplazamientos para vertederos controlados. Departamento de Proyectos y Planificación Rural E.T.S. de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica. <https://core.ac.uk/download/pdf/194511813.pdf>
- [MMB\_12] Marlies Hrad, Marion Huber-Humer, Bernhard Wimmer, Thomas G. Reichenauer, Design of top covers supporting aerobic in situ stabilization of old landfills – An experimental simulation in lysimeters, Waste Management, Volume 32, Issue 12, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.06.004>.
- [VINCI21] Vinci Constructions. Sistema de tratamiento de aguas residuales. <https://www.vinci-construction-projets.com/es/realisations/wastewater-treatment-system/>
- [PG\_17] Pablo García, 2017. Periódico Nacional ElDinero. República Dominicana tiene minería en 24 provincias. <https://eldinero.com.do/35465/republica-dominicana-tiene-mineria-en-24-provincias/>
- [YJJ\_14] Y. L. Li, J. W. Liu, J. Y. Chen, Y. F. Shi, W. Mao, H. Liu, Y. Li, S. He, J. K. Yang. Int. J. Environ. Sci. Technol. (2014). Reuse of dewatered sewage sludge conditioned with skeleton builders as landfill cover material. 10.1007/s13762-013-0199-y. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13762-013-0199-y.pdf>
- [ATE\_10] Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos. Unidad didáctica I: Conceptos básicos sobre la gestión de vertederos. 1 de Junio de 2010. [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_vert\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_vert_11_JUN_2010.pdf)
- [JELF08] Josefina Gómez Mena, Eduardo Julia Mera, Lourdes Meyreles y Fátima Portorreal. Historia natural y social del río Haina. Primera Parte: Características físico naturales de la cuenca de Haina. 2008. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87012672001.pdf>
- [MID\_11] Marcos Iván Duarte. Estabilidad de taludes en vertederos para residuos sólidos. Febrero, 2011. [http://oa.upm.es/6297/1/TESIS\\_MASTER\\_MARCOS\\_IVAN\\_DUARTE.pdf](http://oa.upm.es/6297/1/TESIS_MASTER_MARCOS_IVAN_DUARTE.pdf)
- [AMS\_16] Amaya Lobo García de Cortázar, Marcel Szantó Narea y Susana Llamas. Cierre, sellado y re inserción de antiguos vertederos. Experiencias en iberoamérica. <https://pdfs.semanticscholar.org/8917/d96aa4ba6517fc5d2f82212f3976d15d6c12.pdf>
- [MARN05] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México. Guía para la realización de planes de regularización conforme a la Nom-083-SEMARNAT-2003. [http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia\\_regularizacin\\_NOM\\_083.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_regularizacin_NOM_083.pdf)
- [JJ\_02] Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. 2002. <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
- [MJ\_21] M. Bouazza y J. Zornberg. Geosintéticos en Rellenos Sanitarios. International Geosynthetic Society – IGS. <https://www.geosyntheticssociety.org/wp-content/plugins/resources/documents/Landfills/Espanol.pdf>

- [STW\_85] S. A. Wilson, T. M. Rahe, y W. B. Webber, Jr. Municipal wastewater sludge as a soil amendment for revegetating final landfill cover. <https://www.jswnonline.org/content/40/3/296/tab-references>
- [COUNC17] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y Universidad Nacional de Córdoba (U.N.C.) Argentina Facultad de Ciencias Económicas (F.C.E.). Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales e Impacto Ambiental. Módulo 3. <https://civilshare.files.wordpress.com/2016/05/civ-361-rsu-modulo3.pdf>
- [EJGV15] Eusko Juariaritz, Gobierno Vasco. Documento guía para la realización de balances hídricos en vertederos, 2015. Consultado en 2021. [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/balances\\_hidricos\\_vertederos/es\\_def/adjuntos/guia\\_balances\\_hidricos\\_vertederos.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/balances_hidricos_vertederos/es_def/adjuntos/guia_balances_hidricos_vertederos.pdf)
- [UCC\_17] L. Y. D. Benavides y A. C. V. Valles. Universidad Católica de Colombia. Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica - Cesar. 2017. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15489/1/Dise%C3%B1o%20de%20relleno%20sanitario%20para%20Aguachica%20Cesar.pdf>
- [UIS\_05] D.C.D. Gutierrez y R.J.D. Ariza. Universidad Industrial de Santander. Propuesta metodológica para clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basura. 2005. [http://ambides.com/pdf/PROPUESTA\\_PARA\\_CLAUSURA\\_Y\\_POSTCLAUSURA\\_DE\\_RELLENOS\\_SANITARIOS\\_Y-O\\_BOTADEROS\\_COLOMBIA.pdf](http://ambides.com/pdf/PROPUESTA_PARA_CLAUSURA_Y_POSTCLAUSURA_DE_RELLENOS_SANITARIOS_Y-O_BOTADEROS_COLOMBIA.pdf)
- [ONAMET] Oficina Nacional de Meteorología, ONAMET. Estaciones meteorológicas automáticas. <http://onamet.gob.do/index.php/publicaciones/estaciones-automaticas>
- [MM\_04] McPherson, Matthew. (2004). Análisis de los Usuarios de Aguas Subterráneas de la República Dominicana (Analysis of the Users of Groundwater in the Dominican Republic). [https://www.researchgate.net/publication/294582435\\_Analisis\\_de\\_los\\_Usuarios\\_de\\_Aguas\\_Subterranas\\_de\\_la\\_Republica\\_Dominicana\\_Analisis\\_of\\_the\\_Users\\_of\\_Groundwater\\_in\\_the\\_Dominican\\_Republic/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/294582435_Analisis_de_los_Usuarios_de_Aguas_Subterranas_de_la_Republica_Dominicana_Analisis_of_the_Users_of_Groundwater_in_the_Dominican_Republic/citation/download)
- [INAPA20] INAPA inicia trabajos para resolver problema de agua potable en Haina y Nigua. Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA). Lunes, 09 de Noviembre de 2020.
- [CK\_21] Limpiando el agua subterránea. CK-12 Conceptos de ciencias de la tierra. Mayo 2021. <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/6.18/primary/lesson/limpiando-el-agua-subterr%C3%A1nea>
- [PMAT02] Peter Kjeldsen, Morton A. Barlaz, Alix P. Rooker, Anders Baun, Anna Ledin & Thomas H. Christensen (2002) Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32:4, 297-336, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380290813462>
- [EPA\_01] United States Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response. Guía del Ciudadano para las Barreras Reactivas Permeables. Diciembre 2001. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/prb-sp-12-6.pdf>
- [DR\_21] Drenotube. Drenaje enterrado. <https://drenotube.com/es/>

- [JMF\_15] Josep Madurell Fernández. El drenaje sostenible de aguas pluviales en la clausura de vertederos. XV Conferencia Ategrus. 14 y 15 de Octubre de 2015. [http://www.ategrus.org/wp-content/uploads/2016/12/9a-JOSEP-MADURELL-DRENOTUBE\\_vertederos-2015.pdf](http://www.ategrus.org/wp-content/uploads/2016/12/9a-JOSEP-MADURELL-DRENOTUBE_vertederos-2015.pdf)
- [EG\_01] Eugenio Giraldo. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances Recientes. 2001. <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.16924/riua.v0i14.538>
- [CEDEX\_13] José Estaire Gepp y Fernando Pardo De Santiyana. Criterios de estabilidad en el diseño de un vertedero, basado en la normativa española. CEDEX, 2013. <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/download/358/339/>
- [DL\_20] S. T. Puntos. Duquesa, el costo millonario de un proyecto que no avanzó. 07 de mayo de 2020. <https://www.diariolibre.com/actualidad/medioambiente/duquesa-el-costo-millonario-de-un-proyecto-que-no-avanzo-A018704466>
- [UFSM21] Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Región de Valparaíso. Universidad Técnica Federico Santa María. Anexo 16. Estimación costos Cierre Vertederos. [https://web.quillota.cl/transparencia/wp-content/uploads/secplan/manejo\\_residuos/ANEXO%2016%20Estimaci%3b3n%20de%20costos%20cierre%20vertederos.pdf](https://web.quillota.cl/transparencia/wp-content/uploads/secplan/manejo_residuos/ANEXO%2016%20Estimaci%3b3n%20de%20costos%20cierre%20vertederos.pdf)
- [CMF\_19] Meneses Falcón, C. (2019). Desigualdad y estrategias de supervivencia en la población femenina de Haina, R. Dominicana. iQual. Revista de Género e Igualdad, (2), 93–113. <https://doi.org/10.6018/iQual.342281>
- [HO\_17] Hermanas Oblatas. 2017. Reconocimiento de la misión oblata en República Dominicana. <https://www.hermanasoblatas.org/noticias/reconocimiento-del-trabajo-nuestras-hermanas-republica-dominicana>
- [JAAM\_09] JOSÉ LUIS CORTINA, ANTONIO M.A. FIÚZA, AURORA SILVA Y MARTA I. LITTER (2009). Tecnologías de tratamiento in-situ de aguas subterráneas. Capítulo 7. [https://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/ArtigoAsin-situ\\_000.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/ArtigoAsin-situ_000.pdf)