



**PROYECTO DE FORTALECIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTITUCIONAL
PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
EN LA REPÚBLICA DOMINICANA A NIVEL NACIONAL
FASE 2**

**MANUAL DE CIERRE Y REHABILITACIÓN
SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTES**

OCTUBRE 2023



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Este manual ha sido elaborado bajo el proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional para la Gestión Integral de Los Residuos Sólidos en La República Dominicana a Nivel Nacional, Fase 2.

Viceministra de Gestión Ambiental

Indhira de Jesús

Director Programa para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos -PROGIRS-

John Grullón

Jefe de Equipo de Expertos de JICA

Akihiro Murayama

Coordinación Técnica

Maribel Chalas Guerrero, MMARN

Paula De León. Equipo de Expertos de JICA

Elaboración, Redacción y Revisión

Tomoari Sawanobori, Equipo de Expertos de JICA

Paula De León, Equipo de Expertos de JICA

Maribel Chalas, MMARN

Yvelisse Pérez, MMARN

Elvin López, LMD

Camilo Tapia, LMD

Edición y Diagramación

Jonathan de la Cruz Matías

Allan Pilarte Ferreira

Proyecto Financiado por:

Agencia de Cooperación Internacional de Japón – JICA-

República Dominicana, octubre 2023



MANUAL DE CIERRE Y REHABILITACIÓN SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTES

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1 GENERALIDADES	10
1.1 Marco legal para la disposición final en la República Dominicana	10
1.2 Rol de las Instituciones en la Disposición Final en RD	12
1.3 Conceptos básicos	13
2 DETECCIÓN DE SDF INADECUADO PARA SU REHABILITACIÓN Y/O CIERRE (FLUJO DE DECISIÓN)	15
2.1 Problemas previstos y definición de contramedidas técnicas	16
3 LINEAMIENTOS PARA EL CIERRE Y REHABILITACIÓN DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL	18
3.1 CIERRE TÉCNICO DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL	19
3.1.1 Aspectos técnicos	20
3.1.2 Cierre Técnico y terminación de un SDF	22
3.1.3 Preparación del proyecto de cierre o clausura	23
3.1.4 Definición del Nivel de cierre	23
3.1.5 Instalaciones principales para el Cierre	26
3.1.6 Plan de uso de suelo luego del cierre o uso postclausura	37
3.2 REHABILITACIÓN DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTE	38
3.2.1 Aspectos técnicos	39
3.2.2 Plan de Rehabilitación	39
3.2.3 Instalaciones principales para un SDF Rehabilitado	41
3.3 MANTENIMIENTO Y MONITOREO POST-CIERRE DEL SDF	43
3.3.1 Mantenimiento de las instalaciones principales	43
3.3.2 Monitoreos Ambientales	45
4 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	51

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de los SDF existentes en RD según Levantamiento 2021.	9
Figura 2: Etapas durante la Vida útil de un SDF sin rehabilitación.	14
Figura 3: Diagrama del flujo de decisión para la definición de un SDF existente.	15
Figura 4: Problemas comunes en los SDF inadecuados.	16
Figura 5: Diagrama sobre el concepto de Cierre y Rehabilitación de un SDF Existente.	18
Figura 6: Diagrama sobre el proceso de Cierre y Rehabilitación de un SDF Existente y la Construcción del SDF Nuevo.	19
Figura 7: Diagrama procedimiento del MMARN para la regularización de un SDF.	20
Figura 8: Nivel de cierre seguro para SDF.	24
Figura 9: Perfil de una rehabilitación o cierre típico de un SDF (Ejemplo del tipo C2).	26
Figura 10: Esquema de la cobertura final.	27
Figura 11: Vista cobertura final y capa vegetal en un relleno.	28
Figura 12: Instalación de Dique en área de residuos (izquierda) y dique en la base (derecha).	30
Figura 13: Ejemplo de una instalación sencilla para ventilación de gases.	31
Figura 14: Instalación de tubería venteo de gases en terreno plano (izquierda) e inclinado (derecha).	31
Figura 15: Vista en planta de un sistema de recolección de lixiviados.	32
Figura 16: Sección transversal de una laguna de lixiviados.	33
Figura 17: Detalle de la sección típica de la zanja de drenaje.	34
Figura 18: Esquema de una sección transversal de la carretera de mantenimiento.	34
Figura 19: Sección de una vía de mantenimiento.	35
Figura 20: Ejemplo de una verja típica con malla ciclónica.	35
Figura 21: Ejemplo de una verja típica con alambres de púas.	36
Figura 22: Cartel de señalización típico de un SDF.	36
Figura 23: Etapas Vida útil de un SDF con rehabilitación.	38
Figura 24: Ilustración del plan de rehabilitación de un SDF.	39
Figura 25: Proceso de planificación para la Rehabilitación del SDF.	40
Figura 26: Esquema conceptual del cierre para la preparación del proyecto.	41
Figura 27: Imagen del Sistema de impermeabilizante requerido.	43
Figura 28: Esquema de un pozo para el monitoreo de las aguas subterráneas.	47

TABLAS

Tabla 1: Problemas y posibles contramedidas.	17
Tabla 2: Niveles de cierre y parámetros necesarios.	25
Tabla 3: Nivel de construcción para los SDF.	42
Tabla 4: Frecuencia inspección de instalaciones.	45
Tabla 5: Parámetros medibles según Normas ambientales para la calidad del agua.	48
Tabla 6: Extracto tabla límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales. en masas de agua superficiales.	49
Tabla 7: Normas de calidad del aire.	50

TABLA DE FOTOS

Foto 1. Problemas típicos de los SDF inadecuados detectados en RD.	16
Foto 2. Proceso de instalación de un dique de terraplén para una celda.	29

Glosario de abreviaturas y acrónimos

ADN	Ayuntamiento del Distrito Nacional
APP	Alianza Pública-Privada
CAS	Consideraciones Ambientales y Sociales
ET	Estación de Transferencia
E/F	Estudio de Factibilidad
FEDOMU	Federación Dominicana de Municipios
FOCIGiRS	Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional para la gestión Integral de los Residuos sólidos
GIS	Sistema de Información Geográfica
GIRS	Gestión Integral de residuos sólidos
GPC	Generación per Cápita
LMD	Liga Municipal Dominicana
MEPyD	Ministerio de Economía Planificación y Desarrollo
MMARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MIREX	Ministerio de Relaciones Exteriores
MIRS	Manejo Integral de los residuos sólidos
MRS	Manejo de Residuos Sólidos
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PO	Plan de Operaciones
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente
PNSDF	Plan Nacional de gestión de Sitios de Disposición Final
PROGIRS	Programa para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos del MMARN
RD	República Dominicana
RS	Residuos sólidos
RSM	Residuos sólidos municipales
RSU	Residuos sólidos urbanos
SINGIR	Sistema Nacional para la Gestión Integral de los Residuos
SDF	Sitio de Disposición Final

INTRODUCCIÓN



En la República Dominicana, la mayoría de los sitios de disposición final (SDF) son vertederos a cielo abierto operados de manera inadecuada. Esta situación provoca problemas ambientales y sociales. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN) ha comenzado a establecer los instrumentos regulatorios relacionados directamente con la gestión de los residuos sólidos, luego de promulgada, en el año 2020, la Ley 225-20, primera ley específica en gestión de residuos sólidos. En el año 2021 se promulgó el Reglamento 320-21, Reglamento General para la aplicación de la Ley 255-20. Además, también en el 2021, MMARN emitió la Resolución 0036-2021 sobre el Plan de Regularización de SDF Existentes.

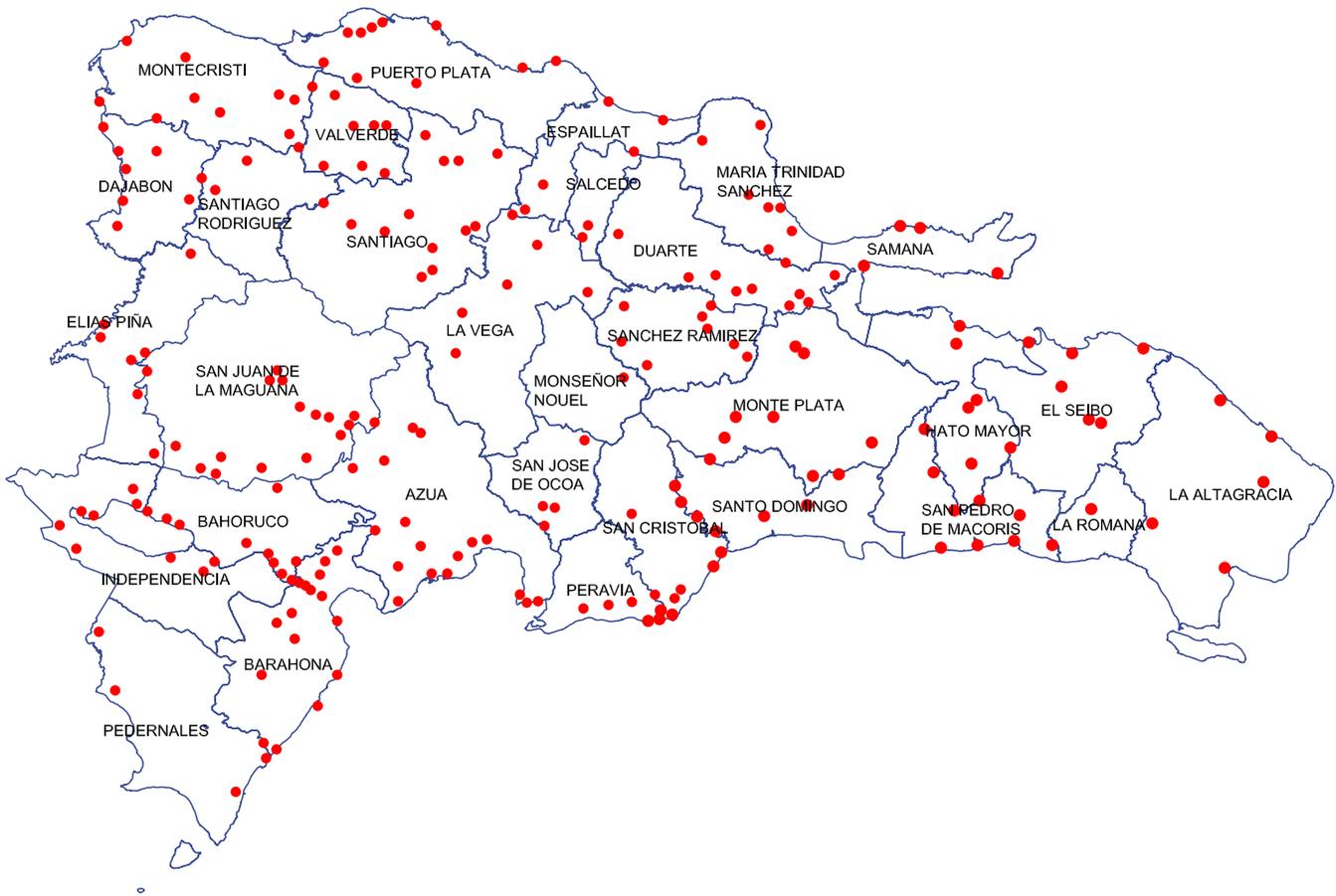
Bajo el escenario anterior, es oportuno elaborar manuales técnicos que especifiquen los requerimientos bajo los cuales los promotores y operadores de los SDF, sea un gobierno local y/o una empresa privada, puedan llevar a cabo la operación, rehabilitación o cierre adecuados para los SDF existentes.

Con la finalidad de proveer una herramienta de apoyo para la planificación, diseño, construcción y operación de sitios de disposición final controlados, así como el cierre y la rehabilitación de los vertederos a cielo abierto existentes, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales se complace en poner este documento en manos de las alcaldías y demás instituciones del país, responsables directas del manejo de los residuos sólidos, a fin de contribuir a la creación de las capacidades necesarias y, de esta manera, aunar esfuerzos decisivos para transformar la situación de uno de los más graves problemas ambientales que tiene hoy la República Dominicana.

En el año 2021, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN) realizó el levantamiento nacional sobre la situación actual de los sitios de disposición final existentes (SDF) en la República Dominicana. Según los resultados de la encuesta, se confirmaron 240 SDF en 158 municipios (incluido el Distrito Nacional) y 235 Distritos Municipales (DM), de los cuales 226 SDF son vertederos a cielo abierto. La mayoría de los SDF existentes en la República Dominicana requieren un cierre o rehabilitación para cumplir con la legislación.

De esos 240 SDF identificados, alrededor del 85% son gestionados de forma independiente o conjunta por menos de 2 Municipios/DM y operan con importantes deficiencias.

Por citar algunos de los problemas encontrados, hay pocos SDF implementando medidas contra los gases generados por los residuos y los lixiviados, y muchos municipios confirmaron que reciben constantes quejas de la comunidad por la existencia de humo y malos olores en sus SDF.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 1: Mapa de ubicación de los SDF existentes en RD según Levantamiento 2021.-

La mayoría de los SDF han generado contaminación ambiental y han causado daños durante mucho tiempo, aun después de que finalizan sus operaciones. Dado que se tarda mucho tiempo en estabilizar los residuos acumulados, las causas de la contaminación ambiental, como los lixiviados y los gases de vertedero, se generan continuamente en la zona de vertido.

El cierre físico consiste en las contramedidas o instalaciones necesarias para el almacenamiento seguro de los residuos, la pronta estabilización de estos y la prevención de la contaminación ambiental. Los requerimientos técnicos para un cierre seguro pueden incluir la cobertura final del sitio, la construcción de un muro e instalaciones para la ventilación de gases, así como otras medidas, en función del nivel de cierre definido. Además, el mantenimiento de las instalaciones y la gestión del SDF deben continuar incluso después de finalizar las operaciones de disposición de residuos.

El objetivo de este manual es proveer a la República Dominicana una herramienta técnica aplicable para el país en materia de Cierre y Rehabilitación de SDF.

1. GENERALIDADES

1.1 Marco legal de la disposición final en la República Dominicana

La República Dominicana cuenta con un amplio marco legal y jurídico relacionado, sea de forma directa o indirecta, con la disposición final de los residuos sólidos urbanos, tal y como definidos en la nueva Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos¹.

(1) La Constitución de la República Dominicana

El Art. 66, en su párrafo 2, establece la protección del medio ambiente como un derecho colectivo; en tanto que Art. 67 indica que el Estado tiene el deber de “prevenir la contaminación, proteger y mantener el medio ambiente en beneficio de las generaciones presentes y futuras”, al mismo tiempo que consagra el derecho de todos a “vivir en un medio ambiente sano”. Este artículo aplica ampliamente a la disposición final, ya que los vertederos a cielo abierto afectan la calidad del aire, del suelo/subsuelo y de los cursos superficiales de agua.

(2) Estrategia Nacional de Desarrollo (Ley 1-12)

El cuarto eje estratégico tiene como objetivo general el manejo sostenible del medio ambiente, encontrándose entre los objetivos específicos, el No. 4.1.3 que indica: desarrollar una gestión integral de desechos, sustancias contaminantes y fuentes de contaminación. Concretamente en el tema que nos ocupa la línea de acción No. 4.1.3.2 señala: Ampliar la cobertura de los servicios de recolección de residuos sólidos, asegurando un manejo sostenible de la disposición final de los mismos y establecer regulaciones para el control de vertidos a las fuentes de agua.

(3) Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ley 64-00)

Promulgada el 18 de agosto del año 2000, el Art. 15 establece los objetivos particulares de la Ley, entre los cuales el acápite (7) indica: Propiciar un medio ambiente sano que contribuya al sostenimiento de la salud y prevención de las enfermedades. Una disposición final correcta a largo plazo es un pilar para el logro de este objetivo.

(4) Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos (Ley 225-20)

Esta Ley, promulgada en octubre del 2020, constituye un gran logro para el país, luego de alrededor de 10 años de que el primer proyecto fuera introducido al Congreso. Tiene como objetivo prevenir la generación de residuos, así como establecer un régimen jurídico en la gestión integral para fomentar la reducción, reutilización, reciclaje, aprovechamiento y valorización, así como regular los sistemas de recolección, transporte, barrido; sitios de disposición final, estaciones de transferencia, centros de acopio, plantas de valorización, para garantizar el derecho de todos a vivir en un ambiente sano, protegiendo el bienestar de la población, así como reduciendo los "GEI" emitidos por los residuos.

1. La Ley 225-20 sustituye la terminología de residuos sólidos municipales por residuos sólidos urbanos.

Cabe destacar la creación en esta Ley de un mecanismo, el Fideicomiso para la Gestión integral de Residuos, para fortalecer la implementación de la GIRS en todas sus etapas y aspectos complementarios; incluyendo financiar el establecimiento de nuevas infraestructuras de manejo de residuos, entre las cuales los rellenos sanitarios; así como apoyar la sostenibilidad financiera durante la operación, asegurando un pago mínimo. Muy atado a este punto, la Ley establece la obligatoriedad del cobro, por parte del ayuntamiento o junta de distrito municipal (Art. 142), por el servicio completo de manejo de residuos que incluye recolección, transporte, transferencia y disposición final.

Dentro de la Ley 225-20, también se crea el **Sistema Nacional para la Gestión Integral de los Residuos -SINGIR-**, como un instrumento de gestión que propicia la coordinación interinstitucional y municipal, teniendo por objeto generar recomendaciones para la gestión integral de los residuos en los distintos ámbitos del gobierno, a efectos de lograr la homologación nacional en la gestión integral de los residuos, la cobertura total de los servicios, la disminución de riesgos y pasivos ambientales.

La Ley 225-20 ordena la preparación del **Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos -PLANGIR-**, con el propósito de establecer un marco para las prioridades, lineamientos y metas que deberán incluir los **Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos -PMGIR-** y programas sectoriales. Asimismo, ordena la preparación del **Programa Nacional de Remediación y Rehabilitación de Sitios Contaminados**, que permitirá establecer las acciones inmediatas para mitigar la contaminación en los vertederos existentes.

(5) Ley de Planificación Urbana (Ley 6232).

La "oficina de planificación urbana" como órgano técnico, asesor y consultor dentro de los ayuntamientos, es responsable de la emisión de los permisos para la construcción, incluyendo obviamente la instalación de un relleno sanitario.

(6) Ley de Planificación e Inversión Pública (Ley 498-06).

Crea el Sistema Nacional de Planificación e Inversión Pública. Los ayuntamientos pueden formular proyectos de infraestructura para la disposición final de residuos sólidos urbanos y acogerse a financiamiento, a través de la inclusión de estas obras en el presupuesto nacional.

(7) Ley sobre el Distrito Nacional y los Municipios (Ley 176-07)

El artículo 19, en su apartado (f), ordena a los municipios "Regular y gestionar la protección de la higiene y el saneamiento público para garantizar el saneamiento ambiental". Mientras que el (m), ratifica la competencia de los municipios en los servicios de limpieza y ornato público, recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

(8) Procedimiento de Evaluación Ambiental

Define categorías para procesos y/o instalaciones relativas al manejo de los residuos sólidos, según “el impacto ambiental potencial o bien el riesgo ambiental y/o a la introducción de modificaciones nocivas o notorias al paisaje y/o a los recursos culturales del patrimonio nacional”. Indica que las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos para poblaciones de más de 100,000 habitantes-equivalentes caen en categoría A, en tanto que para poblaciones menores caen en categoría B.

(9) Norma para la Gestión Ambiental de los Residuos Sólidos No Peligrosos

Esta norma emitida en junio de 2003 y modificada en abril 2009, establece los lineamientos para la gestión de los residuos sólidos urbanos no peligrosos y especifica los requisitos sanitarios que deben cumplirse en el almacenamiento, la recolección, el transporte y la disposición final.

1.2 Rol de las Instituciones en la Disposición Final en RD

La responsabilidad del manejo integral de los residuos sólidos es interinstitucional y debe ser asumida por todos los integrantes de la sociedad. El generador es el responsable del manejo de los residuos desde su generación hasta su disposición final y las instituciones deben cumplir con el rol asignado por la Ley:

(1) Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales es el organismo rector de la gestión del medio ambiente, los ecosistemas y de los recursos naturales, para que cumpla con las atribuciones que de conformidad con la legislación ambiental en general corresponden al Estado, con el fin de alcanzar el desarrollo sostenible.

De conformidad con su objetivo y funciones, el MMARN es la autoridad rectora de la política nacional y la regulación de la gestión de residuos, así como de aplicación en materia de residuos, con potestad para regular, dirigir y controlar la aplicación de la Ley 225-20. Como se mencionó en el acápite anterior, dicha Ley también ordenó la creación del SINGIR y el MMARN asume la Secretaría del mismo.

(2) Fideicomiso para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos

Presidido por el MMARN, la Ley 225-20 ordena la creación de un Fideicomiso como herramienta financiera para operar y gestionar el fondo destinado a la gestión integral de residuos sólidos, a la operación de estaciones de transferencia, vertederos y rellenos sanitarios, así como el cierre de vertederos a cielo abierto y la remediación y rehabilitación de sitios contaminados, en virtud de lo establecido en dicha Ley. Su objetivo principal es gestionar adecuadamente los montos recaudados provenientes de la Contribución Especial para la Gestión de Residuos Sólidos, establecida en el mismo instrumento, y otros fondos provenientes de las tarifas en las estaciones de transferencia y vertederos. Este fideicomiso ha sido denominado desde el año 2021 como **DO Sostenible**.

(3) Ayuntamientos y Juntas de Distritos Municipales

Son responsables por la gestión de los residuos municipales, de la limpieza pública y la calidad ambiental de su jurisdicción. Es su responsabilidad establecer y aplicar en el ámbito de su demarcación, el Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos (PMGIR), con la participación de representantes de los distintos sectores sociales, compatibilizando con las políticas de desarrollo local y nacional, así como de establecer un sistema de cobro por concepto del manejo de los residuos, entre otras responsabilidades.

(4) Liga Municipal Dominicana

La Ley instruye a este organismo, que agrupa los municipios y Juntas de Distritos Municipales del país, un rol de acompañamiento importante, conjuntamente con el MMARN, para la elaboración de los Planes municipales para la Gestión de los Residuos Sólidos, como miembro del Consejo del fideicomiso y en el establecimiento de las tasas de servicio, incluida la correspondiente por la disposición final de los residuos.

1.3 Conceptos básicos

(1) Disposición final

Proceso de depositar los residuos sólidos urbanos que ya no pueden ser valorizables, mediante técnicas de ingeniería para evitar la contaminación, daños y riesgos a la salud humana y al medio ambiente².

(2) Cierre Técnico o Clausura

Se refiere a la etapa correspondiente al cierre definitivo de un sitio de disposición final de residuos sólidos cumpliendo con los requisitos técnicos para procurar la estabilidad, monitoreo sanitario y ambiental a largo plazo.

El cierre técnico amerita la aplicación de las medidas y/o instalaciones necesarias para el depósito seguro de los residuos, la prevención de la contaminación ambiental y la estabilización de los residuos. Es una actividad llevada a cabo para reducir la contaminación ambiental después que un SDF ha terminado su período de vertido de residuos, o para un SDF que no se gestiona adecuadamente y que ya no está apto para la disposición de residuos.

Es importante señalar que, en el desarrollo de este manual, los términos “Cierre” y “Clausura” siempre se referirán al “Cierre Técnico” propiamente definido más arriba.

(3) Terminación

La terminación de un SDF se refiere a un estado en el que se puede prescindir del mantenimiento y operación para un SDF ya clausurado. Como los residuos acumulados ya están estabilizados, aunque se generen lixiviados o gases de vertedero, estos no afectarán al medio ambiente, por lo que no es necesario llevar a cabo el monitoreo ambiental. Además, un SDF terminado puede ser utilizado para otros fines que no sea la disposición de residuos.

2. Definición en Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 2: Etapas durante la Vida útil de un SDF sin rehabilitación

(4) Uso post-clausura

Se refiere al uso que se dará al sitio una vez concluya el período de estabilización de la masa de residuos y se garantice que el área de vertido ha quedado desmantelada y recuperada totalmente. Es la fase que sigue a la terminación del SDF.

(5) Rehabilitación

Se refiere a la acción de recuperar o restituir la capacidad de un sitio de disposición final para continuar con el confinamiento de residuos sólidos, siempre y cuando se cumpla con un mínimo de requisitos en cuanto a la capacidad volumétrica del sitio, forma de operación, mecanismos de control, protección al ambiente y a la salud pública.

2. DETECCIÓN DE SDF INADECUADO PARA SU REHABILITACIÓN Y/O CIERRE (FLUJO DE DECISIÓN)

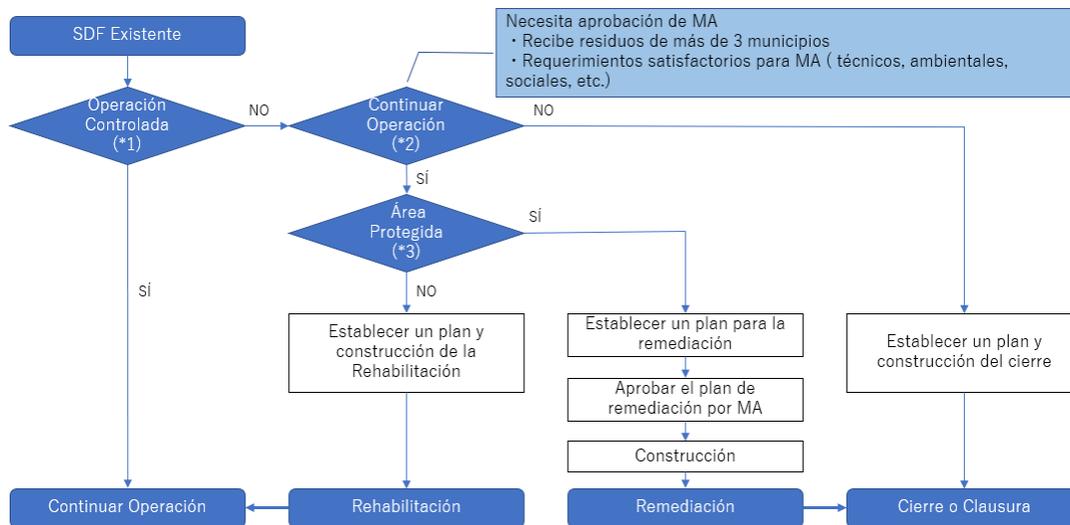
Antes de clausurar y/o rehabilitar un SDF inadecuado, este debe ser evaluado para determinar la posibilidad de mejorar su operación bajo condiciones controladas. Si no se puede mejorar a vertedero controlado, este debe cerrarse. Para ello, se debe realizar un buen diagnóstico en lo referente al tipo de residuos depositados, los riesgos potenciales y posibles emisiones al ambiente. Una correcta toma de decisiones está basada en este diagnóstico, además de que es el punto de partida para la planeación de acciones tendientes a mitigar los riesgos ambientales y a la salud.

Para un SDF existente, se puede determinar la acción correspondiente que debe llevarse a cabo, es decir, si la operación continúa, si se puede proceder a una rehabilitación, o en definitiva a una remediación y posterior cierre, basándose en el proceso de flujo de decisión que se muestra a continuación en la Figura 3.

El primer criterio se basa en definir si el SDF está operando de manera controlada o no controlada; si la operación es controlada, el SDF existente puede continuar con su operación.

Si la operación no es controlada, según la Ley 225-20, se aplicaría el segundo criterio: el SDF debe cerrarse en un plazo de 3 años, no obstante, bajo ciertas condiciones, MMARN puede aprobar la continuidad operativa del SDF. Si el MMARN no aprueba la continuidad operativa, no hay razón para que el SDF continúe operando, por lo que se debe establecer un plan para el cierre y su ejecución posterior.

Si MMARN aprueba la continuidad operativa, se aplica el tercer criterio: si el SDF se encuentra fuera de un área protegida, se establece un plan para la construcción correspondiente a una rehabilitación del SDF y la continuidad operativa posterior. Si el SDF se encuentra dentro de un área protegida, se debe establecer un plan de remediación y posterior cierre del SDF. Según la Ley, está prohibido tener un SDF en un área protegida. El plan debe ser aprobado por MMARN.



*1: La operación controlada se define según las siguientes condiciones: a) vertido de residuos en el área indicada, b) se implementa el recubrimiento del terreno al menos 3 veces a la semana, c) se tiene una instalación de ventilación de gas, d) se tiene instalado un drenaje, e) la descarga de lixiviados es controlada, f) se tiene instalada una verja perimetral y una puerta de entrada.

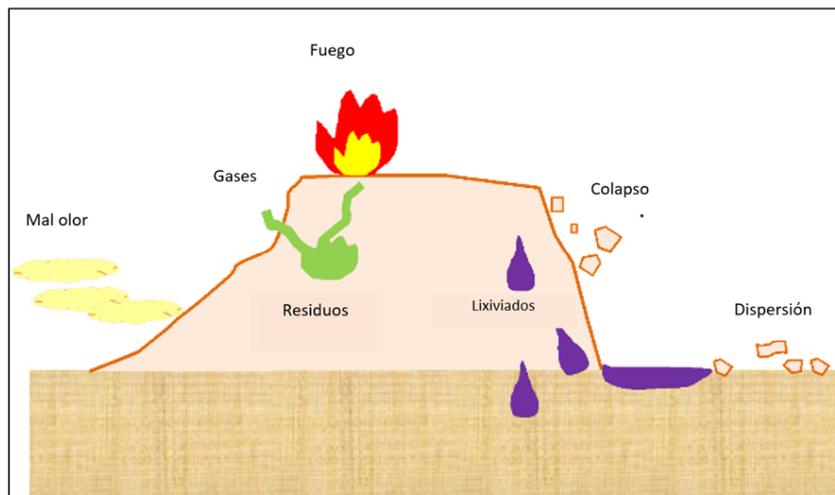
*2: Según la Ley 225-20, los SDF inadecuados deben cerrarse para Octubre 2023 (en tres años). Sin embargo, tomando en cuenta la situación actual, MA puede aprobar que se continúe la operación bajo algunas condiciones.

*3: Área Protegida por Ley como Parque Nacional, Reserva Forestal, entre otros.

Figura 3: Diagrama del flujo de decisión para la definición de un SDF existente

2.1 Problemas previstos y definición de contramedidas técnicas

En general, en la mayoría de los SDF con manejo inadecuado, hay problemas como el mal olor, el fuego, los gases de vertedero, los lixiviados, el colapso de la capa de residuos y la dispersión de los residuos, como se muestra en la Figura 4.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 4: Problemas comunes en los SDF inadecuados

Estos problemas pudieron ser constatados en el levantamiento nacional sobre la situación actual de las SDF existentes, realizado en el 2021 por el MMARN, en todo el territorio nacional.



Fuego y humo



Residuos dispersos



Colapso



Lixiviados

Fuente: Equipo de expertos de JICA

Foto 1: Problemas típicos de los SDF inadecuados detectados en RD.

Las contramedidas técnicas deben reducir la contaminación ambiental causada por los problemas en los SDF existentes. Por lo tanto, es necesario estudiar y aplicar contramedidas eficaces para cada problema. La Tabla 1 muestra los principales problemas en los SDF y las contramedidas aplicables para cada uno de ellos.

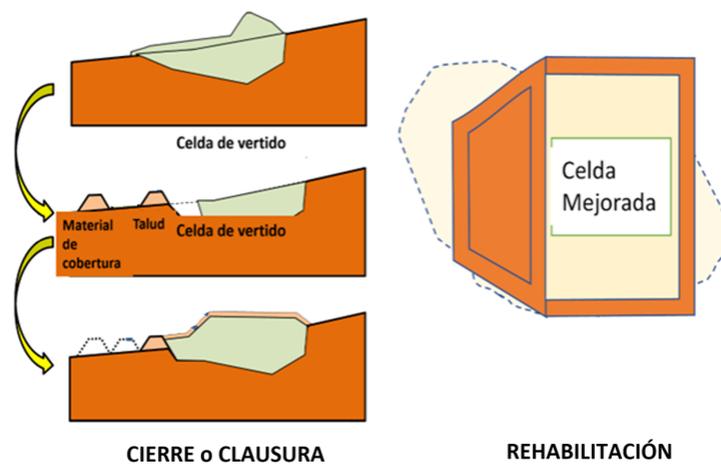
Tabla 1: Problemas y posibles contramedidas

Problema	Contramedida
Deslizamiento de tierra/colapso	El deslizamiento y el colapso de la capa de residuos acumulados pueden ser causados por un apilamiento inadecuado y una compactación insuficiente de los residuos vertidos. La contramedida de lo anterior es hacer un talud estable con la compactación adecuada.
Contaminación del agua	La contaminación de las aguas superficiales o subterráneas puede ser causada por sistemas de recolección/control de lixiviados inadecuados o inexistentes, así como por instalaciones de gestión de la escorrentía inadecuadas. Como contramedida, se puede instalar un sistema de drenaje de escorrentía adecuado, así como una instalación correcta de cobertura de suelo y de los elementos de recolección y control de lixiviados.
Contaminación del suelo Fuego	La contaminación del suelo se debe a un sistema de recolección y control de lixiviados inadecuado o inexistente, ya que los lixiviados migran a través de los residuos alcanzando el suelo circundante. La medida para contrarrestar lo anterior es la instalación de un sistema adecuado de recolección y control de lixiviados. Los incendios pueden ser causados por la reacción del biogás, el oxígeno (aire) con una alta temperatura en el interior de los residuos. Una contramedida es la compactación efectiva de los residuos para reducir los huecos y limitar la entrada de aire; la cobertura diaria de los residuos y la compactación adecuada del material de cobertura.
Dispersión	La dispersión puede ser causada por daños en la cubierta superior de los residuos y debido a los fuertes vientos. Una medida para contrarrestar la dispersión es el mantenimiento adecuado de la cubierta superior y los diques, así como la compactación rápida y la cobertura diaria de los residuos.
Malos olores	El mal olor puede deberse a la presencia de residuos frescos en la zona de trabajo antes de ser cubiertos. Una medida para combatir el mal olor es proporcionar una cobertura diaria con material terreo o equivalente sobre los residuos en la zona de trabajo y una cobertura final de tierra.

Fuente: Equipo de expertos de JICA

3. LINEAMIENTOS PARA EL CIERRE Y REHABILITACIÓN DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL

El concepto de cierre y rehabilitación tiene especial importancia en el caso de la RD, visto que en la introducción de este Manual se indicó la existencia de 240 vertederos a cielo abierto para el año 2021. El cierre se refiere a la actividad “esperada” para un SDF que no opera bajo los criterios mínimos, en tanto que la rehabilitación consiste en el cierre de una porción del sitio mal operado y el inicio de operaciones controladas en otra porción del mismo terreno, incluyendo la construcción de las celdas e instalaciones auxiliares, bajo los criterios mínimos para un SDF nuevo.



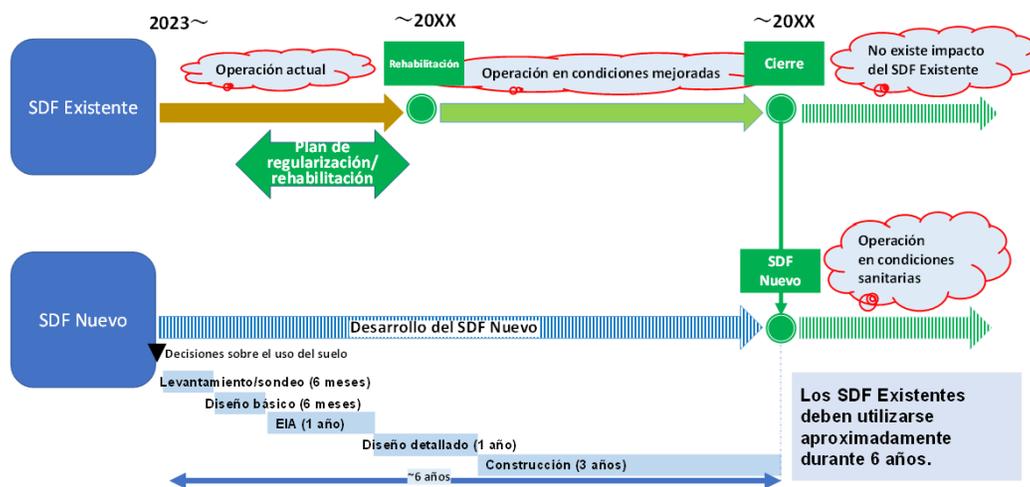
Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 5: Diagrama sobre el concepto de Cierre y Rehabilitación de un SDF Existente.

No importa donde se ubique ni cuando se vaya a establecer el SDF Nuevo, es imprescindible mejorar el SDF Existente, visto que este último deberá utilizarse durante aproximadamente 6 años después de tomada la decisión del cierre. El período de uso del SDF existente dependerá del proceso de desarrollo del SDF Nuevo.

Seleccionar un terreno para el desarrollo de un SDF Nuevo lleva mucho tiempo, pero tampoco es imposible. Los municipios interesados deben centrarse en un Proyecto Piloto para el mejoramiento del SDF existente en lo que se completa el proceso para la construcción de su SDF nuevo.

Durante la conversión a un vertedero controlado o relleno sanitario se deberán tener presentes el confinamiento de los residuos, el control de la fauna nociva, la reubicación de los recicladores y el plan operativo del sistema de disposición final (OPS, 2004).



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 6: Diagrama sobre el proceso de Cierre y Rehabilitación de un SDF Existente y la Construcción del SDF Nuevo.

La clausura del vertedero municipal es ignorada en la planificación del nuevo relleno sanitario. Para la clausura del sitio se deben reservar los recursos económicos correspondientes para garantizar la ayuda a los recicladores y tener presentes dos metas básicas: primero, dotar al sitio de la infraestructura mínima para evitar futuros daños al entorno y, segundo, tomar medidas que sean técnicas, prácticas y de bajo costo³.

Existen tres métodos para hacer el cierre de un vertedero:

- Cierre cubriendo los residuos en el sitio:**
 Que consiste en dejar los residuos en el lugar y cubrirlos con una capa de suelo local y aplicar revegetación
- Cierre con remoción de los residuos del sitio:**
 Que consiste en remover los residuos del vertedero y trasladarlos a otro SDF, generalmente un relleno sanitario apropiado. Cabe mencionar que este método es muy poco probable que se aplique debido al costo de remoción de los residuos y a que difícilmente sea factible movilizarlos, salvo una remediación necesaria de un lugar bajo condiciones ambientales especiales (humedal, área protegida, entre otros).
- Cierre con transformación del vertedero en un sitio controlado o en un relleno sanitario:**
Rehabilitación: Que consiste en el proceso de transformación del sitio a un sistema de disposición final técnico, sanitario y ambientalmente adecuado, pasando de un vertedero a cielo abierto a un SDF controlado o un relleno sanitario, en el caso de que se utilice otra porción del mismo predio. Es lo que se describe en este manual como Rehabilitación.

3.1 CIERRE TÉCNICO DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL

El cierre técnico es el proceso mediante el cual un vertedero o sitio de disposición final, ya no recibe residuos y se está preparando para el mantenimiento posterior al cierre de acuerdo a un plan aprobado y un programa de construcción. Este proceso se hace de acuerdo con los estatutos, reglamentos y leyes locales vigentes en ese momento⁴.

Las obras de construcción tanto para el cierre técnico como la rehabilitación de un SDF requieren contramedidas para reducir la contaminación ambiental, como la cobertura de suelo final, la instalación de un sistema de ventilación de gases,

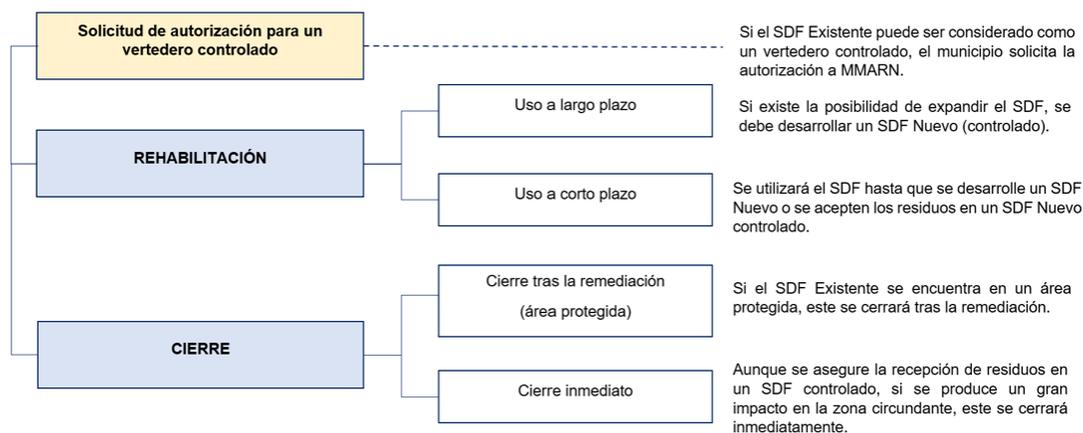
3. J. Jaramillo en la Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, 2002

4. Wochnick, 2014

etc. Además de los trabajos de construcción mencionados, un SDF clausurado también requiere un monitoreo ambiental, esto debido a que incluso si la operación del SDF ha concluido, la estabilización de los residuos está en curso y los lixiviados y gases del vertedero todavía deben ser gestionados como parte del proceso de mantenimiento y operación post-cierre de un SDF.

3.1.1 Aspectos técnicos

El cierre o la rehabilitación de un sitio de disposición final de RSU requieren de la elaboración de estudios previos de manera tal que se cuente con la información y parámetros básicos. Estos estudios preliminares se consideran importantes para llevar a cabo el proyecto de ingeniería para I) cierre, II) rehabilitación a corto plazo, III) rehabilitación a largo plazo (cierre y nuevo SDF) o terminación; sin embargo, el MMARN (ver Figura 7) puede considerar que algunos de ellos no deben realizarse dependiendo de las características del vertedero a cielo abierto (tamaño, ubicación, impacto ambiental y social).



Source: JICA Expert Team

Figura 7: Diagrama procedimiento del MMARN para la regularización de un SDF.

3.1.1.1 Estudios previos

Los estudios previos consideran evaluaciones básicas en cuanto a los residuos y en cuanto al sitio. Se recomienda considerar los enunciados a continuación:

(1) En cuanto a los residuos y sus derivados:

Análisis de generación y composición de residuos sólidos urbanos

Ya que un sitio rehabilitado y transformado a uno controlado continúa recibiendo RSU, son importantes los datos referentes a la generación y composición de éstos en el sitio. Estos estudios incluyen los datos de generación per cápita (GPC), peso volumétrico, composición por fracciones de subproductos, así como las características físicas y químicas.

Análisis de lixiviados

El muestreo y análisis de lixiviados permitirá obtener una caracterización particular de éstos en el sitio donde fueron generados, lo cual servirá para determinar si es necesario darles un tratamiento, y en caso afirmativo, el tipo de tratamiento

más apropiado. Se recomienda buscar un consenso sobre la necesidad de este estudio en función del tamaño del SDF en cuestión. El MMARN podrá decidir si procede.

Análisis del biogás

La caracterización del biogás permitirá conocer su composición (elementos y compuestos) y el nivel de riesgo presente en el sitio, incluyendo la eventual presencia de vapores orgánicos tóxicos en el biogás. Esta información permitirá definir el potencial aprovechamiento del gas, así como obtener los parámetros de diseño de los sistemas de captación y control. Se recomienda buscar un consenso sobre la necesidad de este estudio en función del tamaño del SDF en cuestión. El MMARN podrá decidir si procede.

Análisis de las aguas subterráneas

Su caracterización está en función de factores como: su presencia en el sitio (nivel freático), que existan pozos en la zona y la dirección del flujo del acuífero de manera que la toma de muestras se haga aguas abajo y aguas arriba con relación a la ubicación del vertedero (se recomienda a una distancia de 500 a 750 m del sitio). El análisis físico y químico del agua permitirá establecer si existe contaminación por causa del vertedero a cielo abierto en la zona.

(2) En cuanto a las características y condiciones particulares del actual SDF:

Determinación del Derecho de propiedad

En el caso de los vertederos, como responsabilidad del gobierno municipal, es importante que tenga definido el derecho de propiedad del predio, ya que, en caso de ser propiedad privada, será necesaria la compra o expropiación del terreno, puesto que de otra forma no se podrán realizar inversiones que garanticen las obras de cierre a corto y mediano plazo.

Topografía

Primeramente, se tendrán los trabajos de localización y orientación del terreno. En segundo lugar, se contemplan los trabajos correspondientes a la altimetría, secciones y curvas de nivel del terreno, que actualmente y en el futuro está previsto para la disposición final. Como parte importante se tiene la determinación del relieve original del sitio a nivel de terreno natural, lo cual será factible de obtener a partir de estudios anteriores o mediante restituciones fotogramétricas para tal fin.

Al mismo tiempo, esta información permitirá estimar la volumetría de lo que ya ha sido dispuesto y proyectar el volumen restante, que en conjunción con los datos de generación y composición de RSU y el diseño del proyecto, permitirán estimar la vida útil restante.

Hidrología e hidrogeología

Dadas las particularidades y la forma en que se opera un vertedero a cielo abierto, es difícil que se cuente con un informe relativo a las características hidrológicas y geohidrológicas del sitio. Estudios regionales y/o zonales se pueden encontrar en las oficinas locales relacionadas al suministro de agua del país, ya sea que se tengan estudios preliminares o datos de pozos cercanos, para establecer la existencia de acuíferos en la zona, profundidad, dirección de flujo, entre otras características.

En caso de que no se disponga de información, es necesario generarla. El estudio hidrogeológico consta de sondeos eléctricos verticales (SEV's), determinando la resistividad en campo y posterior interpretación de resultados que permiten conocer el subsuelo con buena aproximación.

Mecánica de suelos

Las propiedades mecánicas de los suelos tienen gran influencia en el comportamiento de diversos fenómenos presentes en los vertederos a cielo abierto. Se recomienda determinar los siguientes parámetros de campo y laboratorio: capacidad de carga; permeabilidad; clasificación de suelos; capacidad de intercambio catiónico; peso volumétrico; granulometría; contenido orgánico total; límites de consistencia; compresión triaxial; compactación Proctor estándar; pH; humedad y porosidad. Con estos parámetros es posible establecer el diseño de la rehabilitación y clausura del vertedero, calculando altura máxima, potencial de infiltración de lixiviados, espesor del material de préstamo, entre otros.

Climatología y meteorología

La precipitación pluvial es un factor importante en la formación de lixiviados y para el diseño de la operación del sitio (en caso de rehabilitación) y obras complementarias. Los datos de fuentes bibliográficas o documentales (de estaciones meteorológicas de la región) son: precipitación pluvial, temperaturas y dirección de los vientos.

Diagnóstico breve del Servicio de Limpieza del Municipio

Se realizará una descripción de cada una de las etapas que constituyen el Servicio de Limpieza del municipio, como son: almacenamiento temporal, barrido, recolección, transferencia, tratamiento y, con especial énfasis, la disposición final. En el caso de la disposición final es necesario hacer un diagnóstico de la actual situación ambiental y social, para lo cual se requiere conocer: el personal empleado, análisis de la problemática en cuanto a la comunidad y afectaciones a la salud pública, presencia y actividad de recicladores dentro del sitio, logística utilizada para el transporte y depósito de los residuos, cantidad de viajes, frecuencia de recolección, entre otros aspectos. El SDF conllevará la evaluación y mejora de toda la gestión de los RS en el municipio para que la actividad objetivo, ya sea cierre o rehabilitación, sea finalmente exitosa.

En este diagnóstico es de vital importancia el censo de los recicladores en el SDF con el objetivo de informarles y obtener su colaboración en el proceso, ya que la regularización del SDF debe promover la inclusión y/o formalización de los recicladores bajo condiciones diferentes a las que normalmente se desarrollaban.

3.1.2 Cierre Técnico y terminación de un SDF

El cierre técnico y saneamiento de un vertedero, supone la suspensión definitiva de la disposición final de los residuos en ese SDF y conlleva todas las actividades técnicas de remediación y reparación que utilizan principios de ingeniería y que garantizarán que los residuos que han sido depositados en el lugar no generen impactos negativos al medio ambiente y la salud de la población, logrando la integración del sitio con el entorno.

Para llevar a cabo el cierre técnico se debe elaborar el proyecto de cierre técnico y saneamiento en el marco de un documento integral denominado “Plan de Cierre” que incluya el diagnóstico y la evaluación de impactos. El proyecto propiamente dicho, consistirá en las acciones de cierre técnico, mantenimiento y monitoreo post-cierre, su cronograma de implementación y presupuesto y los respectivos instrumentos ambientales requeridos en la normativa para tales fines.

El proyecto de cierre técnico también debe incluir el detalle técnico y la descripción de las actividades y estudios previos de las obras a realizar, el equipo y personal, el mantenimiento y monitoreo post-cierre, el cronograma de actividades y el presupuesto.

Basado en los estudios previos, se recomienda la elaboración de un anteproyecto que presente las alternativas que existen, con el fin de buscar un consenso sobre éste con las autoridades estatales y municipales. El anteproyecto permite evitar errores en la elaboración del proyecto ejecutivo.

3.1.3 Preparación del proyecto de cierre o clausura

El desarrollo de estudios básicos fundamentará el diseño de la clausura y el saneamiento del sitio. Las actividades que deben incluirse son:

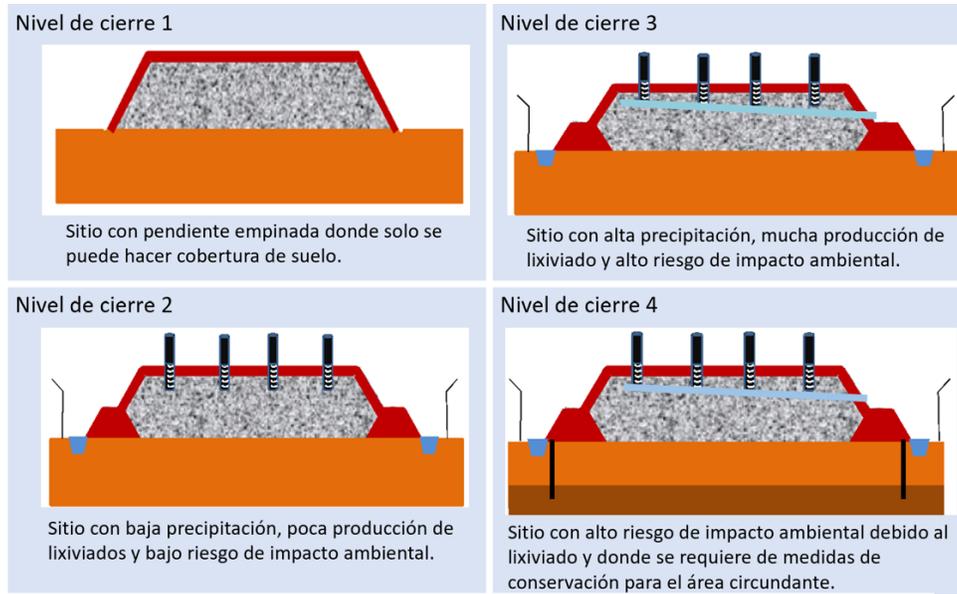
- Recopilación y procesamiento de resultados e informes de los estudios previos.
- Elaboración del diagnóstico ambiental de las condiciones actuales del sitio, para establecer las medidas de control y mitigación de impactos y riesgos ambientales y a la salud pública.
- Elaboración del proyecto ejecutivo para la clausura.
- Establecimiento de alternativas de solución para los recicladores, mediante un análisis sociológico.
- Notificación a los usuarios del sitio de disposición final de la ubicación del nuevo sitio.
- Eliminación de la fauna nociva, antes de iniciar el movimiento, compactación y sellado de los residuos sólidos mediante un programa de fumigación y eliminación de roedores, insectos y aves.

Las actividades a realizar se enfocan primordialmente al saneamiento ambiental del SDF, y por ello consisten principalmente en la construcción de sistemas para el control ambiental, tales como:

- Construcción y/o terminación de las obras de drenaje y control de escurrimientos.
- Construcción y/o continuación de uso de las obras de control de biogás y lixiviados, así como de monitoreo de aguas y biogás.
- Instalación de dispositivos para la detección de asentamientos diferenciales (hundimientos).
- Instalar el espesor y características requeridas para el material de cubierta final sobre el sitio de disposición final clausurado.
- Colocación de la cubierta vegetal indicada en el proyecto de clausura.
- Construcción y/o adecuación de las instalaciones para mantenimiento y control del sitio clausurado (caseta de control, cerca perimetral).

3.1.4 Definición del Nivel de cierre

Una vez que el SDF ha agotado su vida útil o se ha establecido la necesidad del cierre, debido a otras causas, se debe iniciar el proceso de clausura. Se han definido cuatro niveles de cierre (Figura 8), según determinados requerimientos técnicos, en función de las condiciones propias de cada SDF, como el tamaño, ubicación geográfica, geomorfología, contexto social y económico y su uso post-clausura.



Fuente: "Guías para la Formulación de un Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) para municipios de El Salvador". Febrero 2009, modificado por el equipo de expertos de JICA.

Figura 8: Nivel de cierre seguro para SDF

Se debe asignar el nivel de cierre adecuado y aplicarlo para la prevención de la contaminación ambiental. El nivel de cierre es una combinación de contramedidas para cada problema del SDF existente. La descripción de cada nivel de cierre es la siguiente:

- **Un nivel de cierre 1** considera sólo la instalación de un material de cobertura del suelo sobre los residuos sólidos. Se aplica a sitios con pendientes más pronunciadas.
- **Un nivel de cierre 2** se aplica a un sitio con bajas precipitaciones, baja producción de lixiviados y bajo impacto ambiental. Se considera:
 - Instalar material de cobertura sobre los residuos sólidos, así como diques;
 - Implementar instalaciones para ventilación de gases de vertedero;
 - Implementar instalaciones para drenaje de aguas pluviales;
 - Instalar una verja perimetral con señalización sobre el estado del vertedero.
- **Un nivel de cierre 3** se aplica a un sitio con altas precipitaciones, alta producción de lixiviados y alto impacto ambiental. Se considera:
 - Instalar material de cobertura sobre los residuos sólidos, así como diques;
 - Implementar instalaciones para ventilación de gases de vertedero;
 - Implementar instalaciones para drenaje de aguas pluviales;
 - Instalar una verja perimetral,
 - Además, instalar un sistema de recolección y conducción de lixiviados.

- **Un nivel de cierre 4** se aplica a un sitio con un alto impacto ambiental debido a los lixiviados, donde además se requieren medidas de conservación. Se considera:
 - Instalar material de cobertura sobre los residuos sólidos, así como diques;
 - Implementar instalaciones para ventilación de gases de vertedero;
 - Implementar instalaciones para drenaje de aguas pluviales
 - Instalar una verja perimetral,
 - Instalar un sistema de recolección, conducción y tratamiento de lixiviados.
 - Además, instalar capas metálicas o tablestacas bajo tierra para mejorar la estabilidad del terreno y prevenir la infiltración de lixiviados.

La Tabla 2 muestra la matriz con la relación entre el nivel de cierre y los elementos de la medida.

Tabla 2: Niveles de cierre y parámetros necesarios

Elementos de medida	Nivel de cierre seguro			
	C1	C2	C3	C4
Cobertura de suelo	++	+++	+++	+++
Drenaje de aguas pluviales	+	++	+++	+++
Almacenamiento seguro	+	++	+++	+++
Ventilación de gases		++	+++	+++
Lixiviados		+	+++	+++
Monitoreo de aguas subterráneas			++	+++
Estabilización temprana		+	+++	+++
Medidas posteriores al cierre		+	+++	+++
Monitoreo	+	++	+++	+++

Notas: (1) +: Equipo/operación mínima, ++: regular, +++: totalmente equipado/operado

Fuente: "Guías para la Formulación de un Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) para municipios de El Salvador". Febrero de 2009, Modificado por el JET.

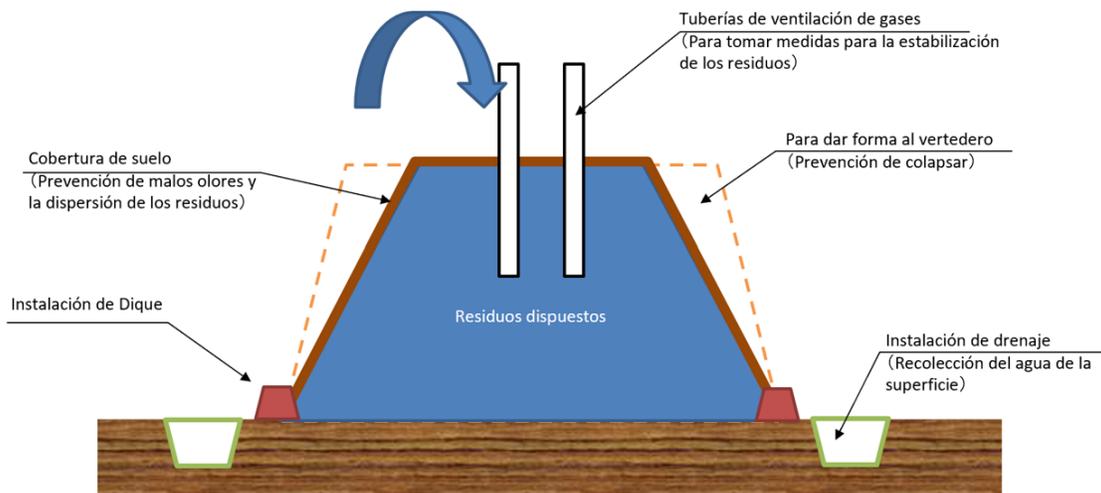
Para el cierre de un SDF, este manual recomienda en general un nivel de cierre 2 como requisito mínimo, y un nivel de cierre 3 para los casos en los que existan problemas ambientales y sociales especiales en el área del SDF.

3.1.5 Instalaciones principales para el Cierre

En la fase de cierre, se realizarán las actividades propias del cierre técnico que están relacionadas directamente con la masa de residuos y conllevan el movimiento, compactación y sellado de la misma. Como actividades previas para efectuar antes de iniciar con los trabajos propios del cierre del SDF, se recomienda:

- Revisar al detalle los planos del cierre o clausura elaborados durante el diseño.
- Preparar el cronograma de las actividades de clausura.
- Informar a la institución reguladora y autoridades locales.
- Informar a los usuarios del sitio (públicos y privados), incluyendo a la comunidad.

Dependiendo las especificaciones que se tengan para el proyecto ejecutivo de cierre técnico, se llevarán a cabo las actividades siguientes:



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 9: Perfil de una rehabilitación o cierre típico de un SDF (Ejemplo del tipo C2).

3.1.5.1 Cobertura de suelo final

Tanto la superficie como los taludes del área de residuos deberán estar nivelados antes de descargar el material de cobertura final. Esta cubierta se debe conformar de acuerdo a la topografía final proyectada y los volúmenes de residuos depositados en el sitio, y proporcionarles el grado de compactación que garantice su estabilidad a largo plazo antes de la cobertura con material térreo seleccionado.

El material de cobertura debe ser capaz de soportar la vegetación y con suficiente inclinación para evitar que el agua de lluvia entre en el vertedero⁵.

5. Guías para la Formulación de un Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) para municipios de El Salvador". Febrero de 2009.

Material de cobertura con capa impermeable

El propósito de la cubierta final en un SDF es aislar a los residuos cercanos a la superficie del ambiente, para minimizar la migración de líquidos en las celdas y controlar el venteo del gas generado. Un sistema de cobertura final debe ser construido para que cumpla con las funciones anteriores, aunado a un mínimo mantenimiento del drenaje adecuado, reduciendo la erosión y asentamientos, con una permeabilidad muy baja. Por lo tanto, una buena cobertura reducirá la generación de lixiviados, minimizará la difusión de olores y además mejorará el paisaje.

Según las pruebas de laboratorio adecuadas, el material utilizado para la cobertura de suelo final debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Coeficiente de permeabilidad de 1×10^{-6}
- Hasta un 10% de tierra fina;
- Hasta el 90 - 100% de arena o grava;
- Que se pueda compactar fácilmente;
- Porosidad del 25 al 50%;
- Que provenga de un lugar ubicado a una distancia razonable del SDF.



Capa cobertura final sin chimeneas



Capa cobertura final con chimeneas

Fuente: Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 10: Esquema de la cobertura final

Según se muestra en la figura anterior, si se instalan chimeneas para el escape de los gases, la capa de grava no sería necesaria porque los mismos saldrán por la chimenea.

A continuación, se describe el proceso de instalación de la cobertura final y su función (Figura 10):

Para celdas que no tendrán instaladas tuberías para el venteo de los gases:

Última capa de residuos sólidos (Residuos Compactados). Esta última capa debe estar bien compactada antes de colocar el material de cubierta siguiente, pues será la base estructural para la clausura.

Material de cobertura intermedia. En la superficie de la última capa de residuos se coloca una capa de material cuyo espesor deberá ser mayor de 0.3m.

Sistema de drenaje de los gases (grava). Esta capa contendrá grava arenosa o material producto de escombros de construcción, que tienen buena permeabilidad para permitir el paso del biogás generado. Esta capa funciona como un sistema de drenaje, a través del cual el biogás migra a los sistemas de venteo. Este material debe de ser compactado para constituir un buen fundamento de las capas de sello siguientes. Se considera que esta capa permeable debe de colocarse para sitios donde la altura de los residuos sólidos depositados alcanzó más de 6 metros.

Capa de sello. Sobre la capa de drenaje descrita más arriba se coloca la capa de sello, la cual debe constituir una barrera de baja permeabilidad. Esta barrera minimiza a largo plazo la infiltración de líquidos y es parecida al sistema de impermeabilización que se coloca en el fondo del relleno. Se recomienda una capa de material arcilloso de 0.50 cm de espesor (compactado), con una permeabilidad de 1×10^{-6} cm/s.

Para celdas con tuberías para el venteo de los gases:

En lugar de la capa de grava para el drenaje de los gases, se dispondrán las chimeneas para permitir la salida de los gases. La cubierta incluirá una geomembrana de 1mm de espesor y la capa de sello que le servirá de protección será de 0.30cm, según se observa en la Figura 10.

La cubierta superior del sitio estará constituida por una cubierta de **tierra negra**, cuya función es la de proteger las capas inferiores del daño mecánico y, junto con la **cubierta vegetal**, protegerla contra la erosión. El espesor de esta capa depende del material disponible y el uso final que se planea dar al sitio. En cualquier caso, el espesor mínimo recomendado es de 0.2 m. En el caso de que se tenga planeado la plantación de árboles y/o arbustos, se puede requerir hasta espesores de 1 m. Las pendientes finales de la estructura deben ser mayores del 2%, en función del avance de la estabilización de los residuos.

Las características deseables de la capa de vegetación que se coloca sobre la última capa de tierra vegetal son: raíces poco profundas, de rápido crecimiento, resistentes al biogás, capaces de soportar la falta de agua y que se extiendan horizontalmente sobre el área. Debe evitarse que las raíces penetren y dañen las capas de clausura que se encuentran más abajo.



Fuente: Equipo Nippon Koei, Relleno Sanitario Uruka, La Carpio, Costa Rica, 2015

Figura 11: Vista cobertura final y capa vegetal en un relleno

3.1.5.2 Estabilización física del SDF e Instalación de un Dique o banquina

Un dique o banquina es una estructura formada por suelo nativo compactado. Se coloca alrededor de una gran capa de residuos para mejorar la estabilidad estructural y contención de la celda de vertido.



Fuente: Equipo de expertos de JICA, Rehabilitación Vertedero Azua, RD. 2017.

Foto 2: Proceso de instalación de un dique de terraplén para una celda.

La forma de la(s) celda(s) a cerrar dependerá(n) de la topografía del terreno previsto para ese uso. Lo más importante es que el diseño asegure la estabilidad del conjunto. Es importante tener en cuenta que el material biodegradable, la humedad y la pérdida de material por causa de su descomposición, disminuirán la estabilidad de la masa de residuos. Los taludes de la celda, se deben conformar de tal manera que no causen erosión y puedan darle buena estabilidad a la masa de residuos.

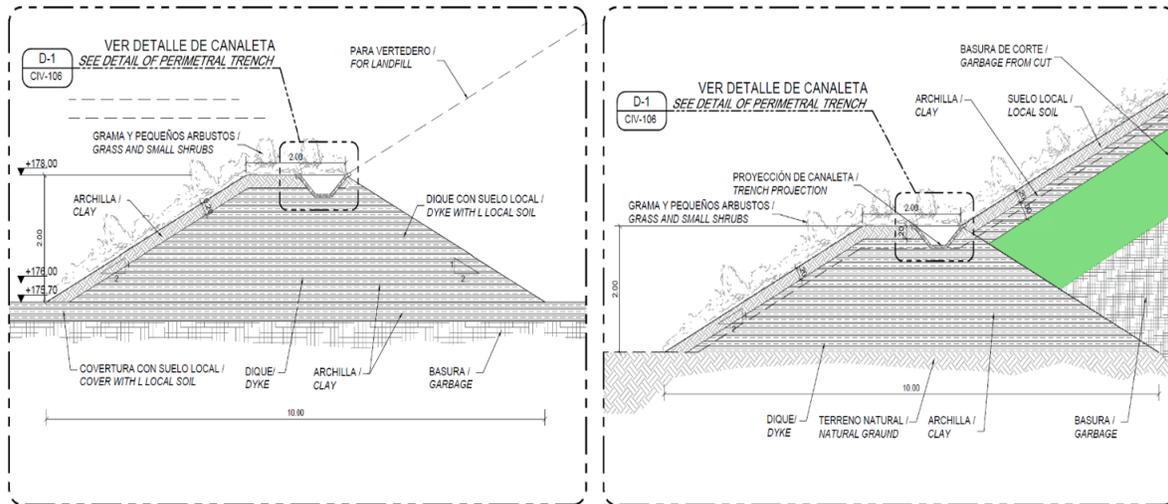
No se debe utilizar un terreno demasiado inclinado para no arriesgar la seguridad estática de la masa de residuos que podría caerse completamente o parcialmente. Se considerará el perfilamiento de los taludes, incluyendo bermas que mejoran la estabilidad de la masa de residuos, preparando el terreno en forma de terrazas, a fin de obtener un relleno a varios niveles planos. El material excavado durante la preparación de las terrazas se puede utilizar después como material de cobertura.

Las terrazas deben tener una pendiente del 2% hacia los taludes interiores para conducir las aguas de lixiviado a los drenajes, y evitar encharcamientos cuando se usen como vías temporales de acceso; lo anterior contribuye también a brindar mayor estabilidad a la obra.

Para permitir el fácil escurrimiento de aguas superficiales, se deben formar y mantener los drenajes en las banquinas que conduzcan las aguas superficiales hacia los canales de drenaje pluvial. Preferentemente los drenajes formados al pie de talud deberán ser de tierra ya que la impermeabilización de los mismos produce gran pérdida de material reproductivo (semillas, estolones, etc.) que desciende desde los taludes por arrastre de aguas pluviales.

Sus dimensiones deben ser las siguientes:

- Ancho superior: Un mínimo de 2 m o según lo requiera el equipo de compactación para permitir el paso durante la actividad de compactación.
- Pendientes laterales: 3:1 H: V o más plana, según lo requiera el suelo utilizado para conformarla.
- Altura: 2 m como máximo.



Fuente: Equipo de expertos de JICA, Diseño Rehabilitación Vertedero Moca, RD. 2015.-

Figura 12: Instalación de Dique en área de residuos (izquierda) y dique en la base (derecha)

3.1.5.3 Instalaciones para la ventilación de gases

Un relleno sanitario o un vertedero se comportan como un digestor anaerobio. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos sólidos, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia. La aerobia es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados, es consumido rápidamente. La anaerobia, en cambio, es la que predomina porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H₂S), amoníaco (NH₃) y mercaptanos.

La emisión de gases depende principalmente de la edad de la masa de residuos y del tipo de residuos depositados. Los parámetros que condicionan de forma prioritaria la generación de biogás son el contenido de humedad, contenido de materia orgánica, la compactación, la granulometría, altura de las capas, el espesor de la cobertura diaria y la existencia de recirculación de lixiviados. El biogás de un relleno sanitario o vertedero generalmente está compuesto entre un 30% a 60% en volumen por metano, y entre un 20% a 40% en volumen por dióxido de carbono. Otros gases solamente están presentes en pequeñas cantidades. El nitrógeno y el oxígeno, se presentan en porcentajes elevados en las fases iniciales de producción de biogás, cuando la producción de metano y dióxido de carbono se encuentra en niveles bajos, luego, al aumentar los porcentajes de metano y dióxido de carbono, tanto el oxígeno como el nitrógeno tienden a valores cercanos a cero. Finalmente, cuando los procesos de degradación de la materia orgánica provocan el descenso de la generación de metano y dióxido de carbono, nuevamente aumenta la presencia de nitrógeno y oxígeno.

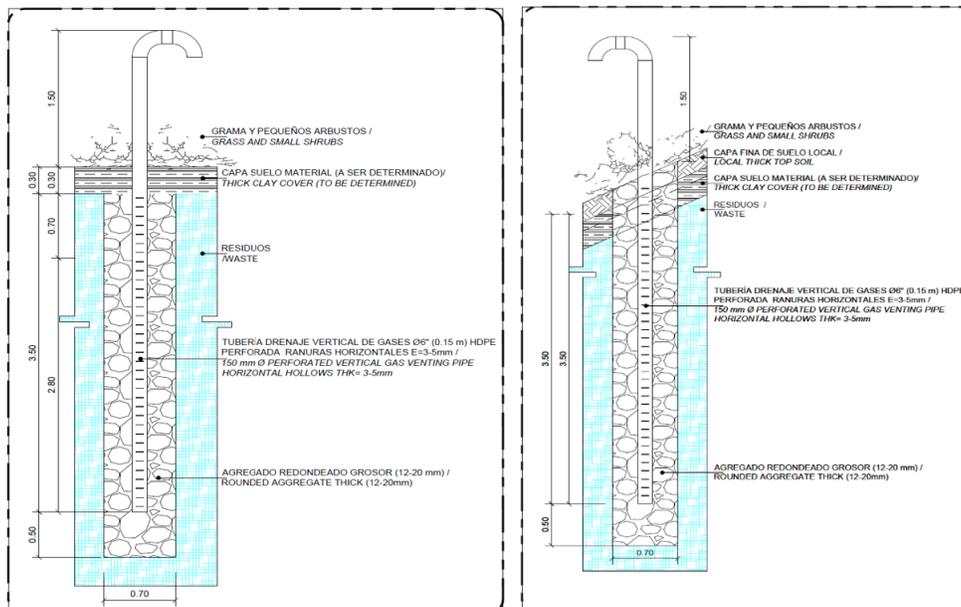
Al cerrar un relleno sanitario o un vertedero a cielo abierto, hay que controlar los gases durante todo el tiempo que dure su generación, con el fin de garantizar la seguridad y evitar concentraciones de gas metano en la celda que podrían producir explosiones. Los sistemas típicos para controlar el gas incluyen: pozos de extracción y combustión del gas de forma individual o pozos de captación con tuberías de recogida y transmisión a instalaciones de antorchas para la quema de gases o, en rellenos muy grandes, a las facilidades para la recuperación energética.

Tanto para el cierre como para la rehabilitación, es necesario considerar la ventilación de los gases. El nivel de rigurosidad del proceso de instalación dependerá de las condiciones y el tamaño del SDF en cuestión. Las instalaciones mínimas consisten en tubos perforados instalados con ayuda de piedras y otras herramientas sencillas para la liberación de estos al aire.



Ecología, México.

Figura 13: Ejemplo de una instalación sencilla para ventilación de gases



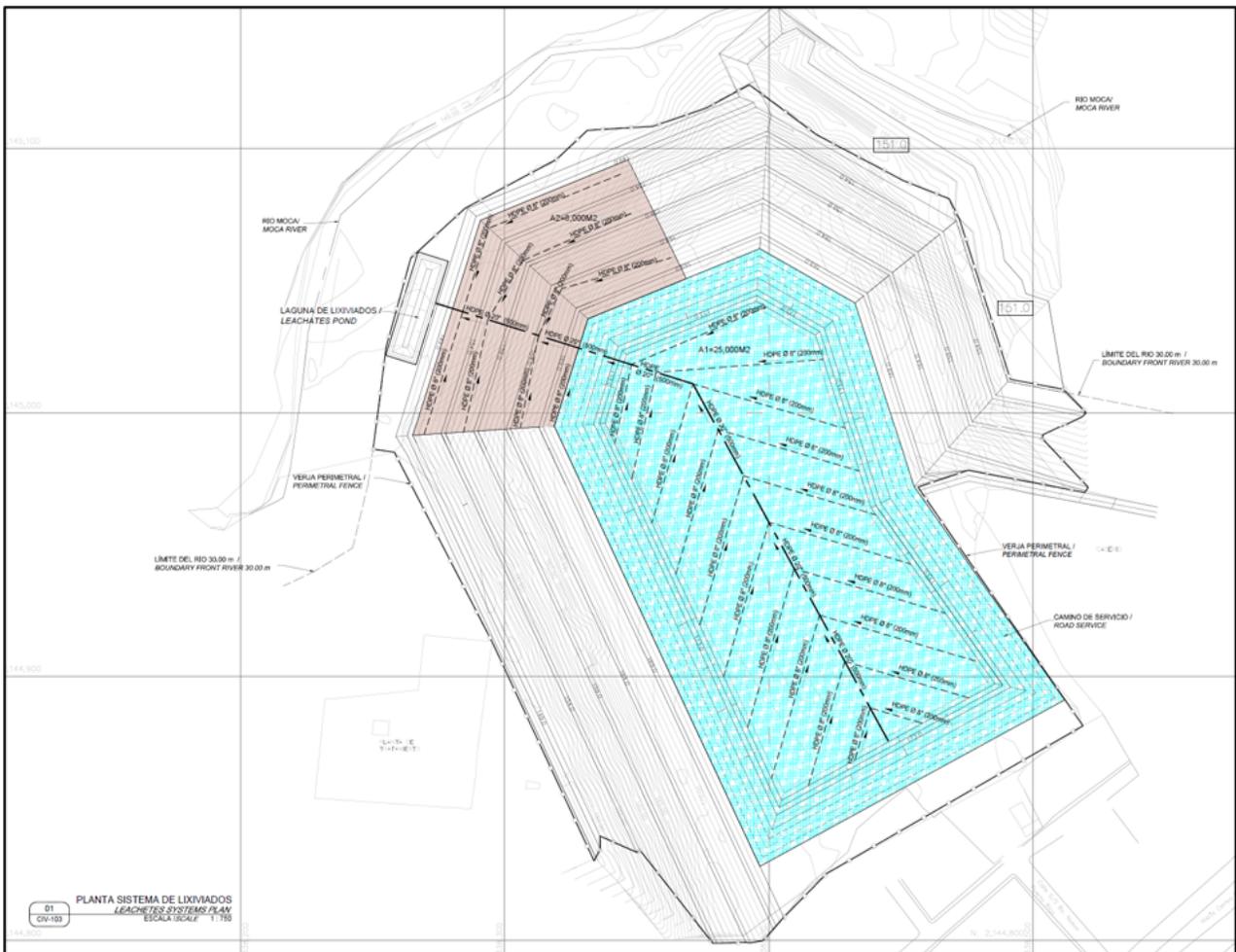
Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 14: Instalación de tubería venteo de gases en terreno plano (izquierda) e inclinado (derecha)

3.1.5.4 Instalaciones para recolección, conducción y tratamiento de lixiviados

Tanto para el cierre como para la rehabilitación, es necesario considerar la recolección, conducción y tratamiento de los lixiviados. El nivel de rigurosidad del proceso de instalación dependerá de las condiciones y el tamaño del SDF en cuestión, ya que, en una masa de residuos previamente compactada durante años, probablemente no sea factible la instalación de tuberías de manera transversal. Deberá considerarse la instalación de canaletas perimetrales con ayuda de otros elementos en muchos casos.

En general, estas instalaciones consisten en la disposición y colocación de tuberías perforadas para recolectar y tratar los lixiviados. Se instala en la capa de residuos para recolectar los lixiviados generados y reducir el riesgo potencial de contaminación del agua por los lixiviados. Si se adopta, se puede reducir el impacto ambiental negativo que producen los lixiviados. Las dimensiones del sistema de recolección deben ser las indicadas en los cálculos hidráulicos.



Fuente: Equipo de Expertos de JICA, Diseño Rehabilitación Vertedero Moca, RD. 2015.-

Figura 15: Vista en planta de un sistema de recolección de lixiviados

Los lixiviados generados por la biodegradación propia de los residuos sólidos y por el paso del agua lluvia entre los residuos, deberán ser captados y conducidos a estanques o lagunas de almacenamiento/tratamiento, según la magnitud del SDF a cerrarse.

Lixiviado = Agua en el residuo + Infiltración agua de lluvia + Entradas agua subterránea

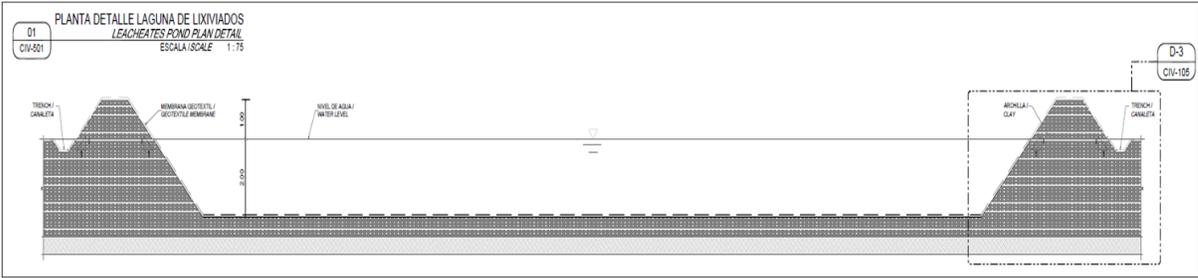
La cobertura final de la celda y el sistema de drenaje pluvial minimizarán la infiltración de escorrentía y por lo tanto la mezcla con los residuos sólidos, disminuyendo paulatinamente su generación.

Para diseñar el sistema de captación y conducción de lixiviados, es necesario estimar el volumen de generación de lixiviado. Para el efecto, se puede recurrir a modelos basados en balances hídricos que tomen en cuenta entre otros, la precipitación, la evaporación, el escurrimiento superficial de aguas, la humedad o agua proveniente de los residuos sólidos (humedad que excede a la capacidad de campo⁶) o generada por la descomposición de los residuos, así como la evapotranspiración.

Según el modelo utilizado, el cálculo implica un balance anual de los ingresos, salidas, de la generación y de las pérdidas de agua dentro de la celda, utilizando datos reales históricos (en caso de estar disponibles) y/o valores empíricos de la literatura especializada o resultados de pruebas efectuadas en terreno.

La captación de lixiviados generados por las celdas ya cerradas, se realizará a pie de talud, mediante la construcción y diseño de zanjas. Para diseñar correctamente este sistema, se recomienda localizar sobre un plano topográfico los sitios donde salen o se posan los lixiviados y después diseñar y construir canales o filtros para que el líquido salga por gravedad hacia las partes bajas, ubicando los sistemas de cámaras para la acumulación de lixiviados en el sistema de captación.

El sistema de almacenamiento consiste en estanques o lagunas cuya base y paredes estarán debidamente impermeabilizadas para evitar infiltraciones. La localización de las lagunas de almacenaje deberá ser en el sector o nivel más bajo de la base de la celda o del vertedero clausurado. Su capacidad deberá ser calculada a detalle mediante modelos matemáticos. Este volumen está en función al balance hídrico realizado para la situación del proyecto y atendiendo a la información del caudal de lixiviados, con los residuos cubiertos y compactados. Estas lagunas de almacenamiento deben contar con su correspondiente diseño estructural, atendiendo a las condiciones geológicas del terreno. El cálculo del volumen de lixiviados está detallado en el Manual de SDF nuevos.



Fuente: Equipo de Expertos de JICA, Diseño Vertedero Moca, RD. 2015.
Figura 16: Sección transversal de una laguna de lixiviados

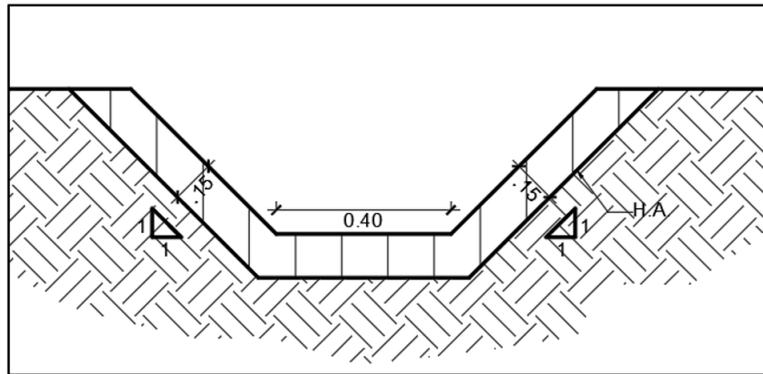
La selección del proceso más adecuado para el manejo y/o tratamiento del lixiviado varía en función de las características del propio lixiviado, sobre todo de su composición química. Así, los parámetros de concentración de amonio, materia orgánica biodegradable y no biodegradable, conductividad y cloruros son factores importantes que determinan cuál es la tecnología más adecuada para aplicar en el tratamiento de estos lixiviados. También deben considerarse las características del medio receptor del lixiviado una vez tratado, los límites legales de vertido, así como valorar la posibilidad de su uso en la celda como aguas de riego (recirculación). Además de los factores técnicos y normativos, también deben valorarse los aspectos económicos y los costos de inversión y operación.

6. La capacidad de campo de los residuos sólidos es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. La capacidad de campo de los residuos es de una importancia crítica para determinar la formación de lixiviados en los vertederos.

3.1.5.5 Instalaciones para el drenaje de las aguas pluviales

Un sistema de drenaje consiste en las instalaciones (zanjas, generalmente) para un correcto manejo de la esorrentía del agua de lluvia. Se instala alrededor de las vías de mantenimiento y de la masa de residuos para reducir la generación de lixiviados. Las dimensiones de las zanjales deben ajustarse a los cálculos hidráulicos, con un ancho mínimo del fondo de 0,40 m para facilitar la construcción.

El manejo de los lixiviados supone un elevado costo, por lo que es muy importante tratar de minimizar su generación. Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de residuos aumentan el volumen de lixiviados en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos. El manejo correcto del agua de lluvia minimizará la generación de lixiviados.



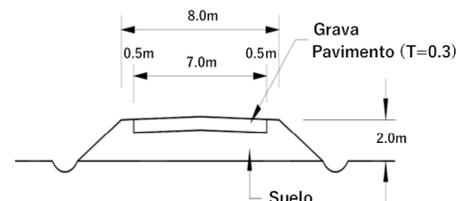
Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 17: Detalle de la sección típica de la zanja de drenaje

Los canales internos para las aguas pluviales serán construidos en los taludes internos de la masa de residuos después de haber instalado la cubierta final de sellado. El grado de pendiente de los canales internos debe ser diseñado con la finalidad de asegurar el escurrimiento de las aguas superficiales desde el interior del sitio hacia los puntos de evacuación que se hayan proyectado o fuera de la superficie del SDF; por lo general deben tener una pendiente mínima del 2%. Estos canales deben garantizar que las aguas procedentes de la lluvia que escurren sobre la superficie de cubierta final no producen erosión o infiltración excesiva. El mayor riesgo está en el estancamiento de las aguas superficiales en zonas de asentamiento del terreno. La zanja de coronamiento o canal perimetral se construye fuera de la masa de residuos, en el área perimetral del SDF, sobre suelo natural.

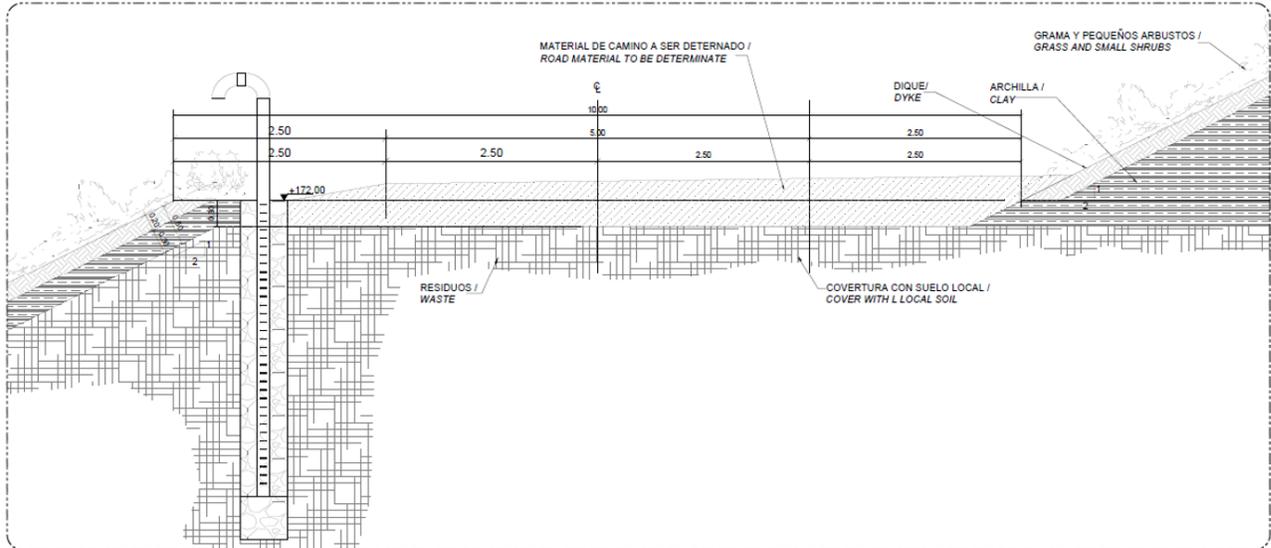
3.1.5.6 Vías de mantenimiento

Se trata de una vía o camino que sirve para la movilidad de vehículos y equipos pesados durante las actividades de operación y posterior cierre del vertedero. Se instala por lo general alrededor de la masa de residuos, y en algunos casos encima debido a la falta de espacio, para mejorar el acceso para el mantenimiento. En la Figura 18 se muestra una sección transversal típica de una carretera de mantenimiento y en la Figura 19 de una vía encima de los residuos:



Fuente: Norma de diseño (Japón)

Figura 18: Esquema de una sección transversal de la carretera de mantenimiento



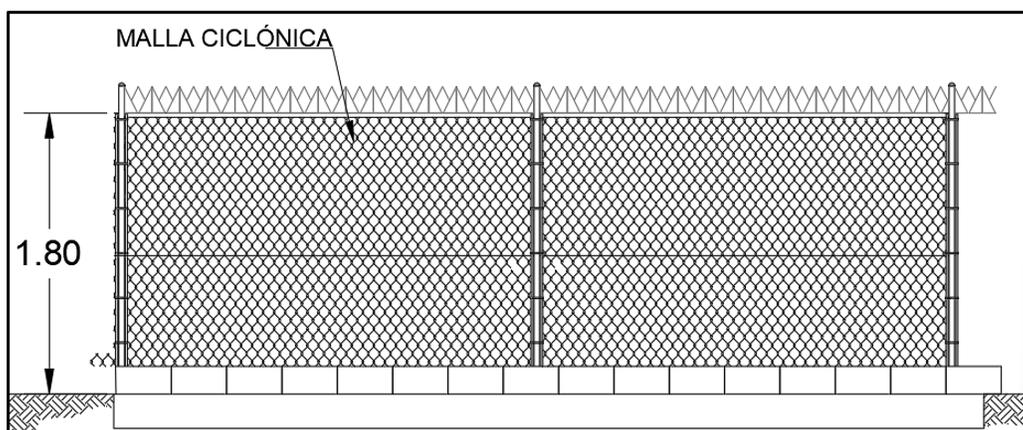
Fuente: Equipo de Expertos de JICA, Diseño Vertedero Moca, RD. 2015.-

Figura 19: Sección de una vía de mantenimiento. -

3.1.5.7 Instalación de una Verja perimetral o estructura adecuada para limitar el acceso

Consiste en un elemento de barrera física que delimita la zona del vertedero. Si no existía con anterioridad al proyecto, se instala a lo largo del límite del sitio para impedir el paso de personas ajenas al mismo. Un portón de acceso también es requerido.

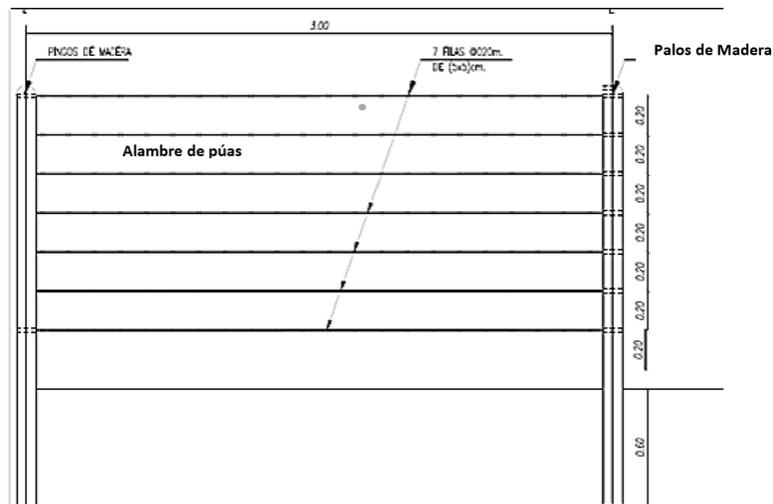
En el caso del cerramiento con malla ciclónica, su altura es de aproximadamente 1,80 m sobre el suelo, y está hecha con una verja de eslabones galvanizados sobre un muro de mampostería corto (0,20 - 0,40 m), como se muestra en la siguiente figura:



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 20: Ejemplo de una verja típica con malla ciclónica

Para SDF pequeños, en donde la vigilancia no amerita alta rigurosidad, se puede considerar una verja con palos y alambres de púas como se muestra a continuación:



Fuente: Diseño de un plan de Manejo Integral para los residuos sólidos en la MAGSD, Nippon Koei-Kokusai Kogyo, BID, 2013

Figura 21: Ejemplo de una verja típica con alambres de púas

Levantar una verja perimetral ayuda a limitar el acceso de extraños a que lleven sus residuos sólidos urbanos de manera ilegal y evitar la entrada de animales. Además, es adecuado instalar una verja biológica de árboles de gran altura y gran consumo de agua para evitar los malos olores y prevenir inundaciones respectivamente.

3.1.5.8 Instalación de un letrero o cartel de señalización

Los carteles de señalización son dispositivos de información que se instalan cerca de las entradas y otros lugares en los que es probable que la gente se detenga y que permiten saber que el lugar en cuestión es un SDF en proceso de cierre. Además, este cartel debe indicar la localización del nuevo sitio autorizado para la disposición de los RSU.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 22: Cartel de señalización típico de un SDF

3.1.6 Plan de uso de suelo luego del cierre o uso postclausura

Desde la etapa de planificación inicial, es necesario considerar el uso que se le dará al terreno una vez concluida la vida útil del SDF, a fin de tener en cuenta la distribución del sitio y de las instalaciones que soportarán la actividad a futuro.

La degradación de los residuos sigue por un tiempo significativo, por lo que hay que tener presente los problemas derivados de la continua reacomodación de los residuos (desestabilización del terreno), la generación de gases combustibles (peligros de explosión) y malos olores (molestias a la población circundante). Normalmente, el uso dado a los antiguos SDF implica servicios/actividades comunales. Es imperativo considerar medidas para evitar cualquier impacto ambiental para los usuarios del sitio clausurado.

Los planes de clausura deben ser congruentes con el uso final del suelo que haya sido autorizado, así como reducir los impactos de los residuos sólidos y sus subproductos en los años venideros, a través de acciones de saneamiento ambiental, por lo que se debe contemplar la prevención de:

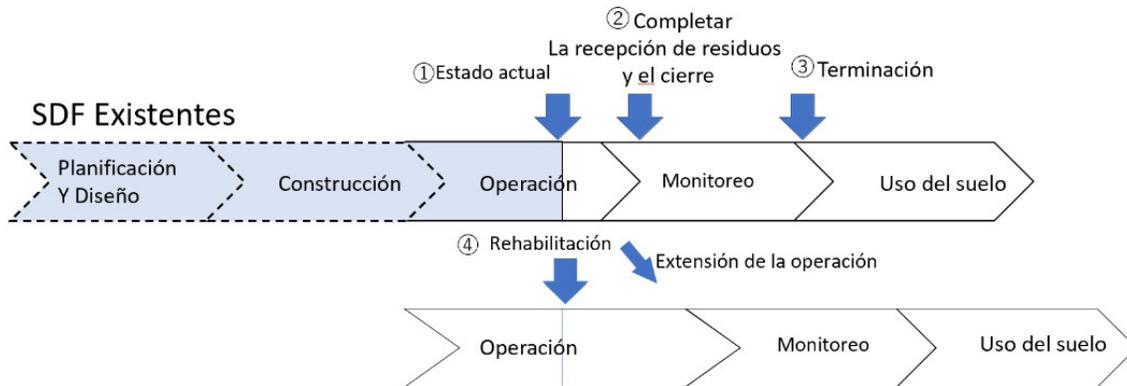
- Infiltración del agua pluvial hacia el interior de los residuos sólidos,
- Erosión de la cubierta final,
- Fuga descontrolada de biogas
- Fuga descontrolada de lixiviados y su tratamiento,
- Contaminación de las aguas subterráneas, y
- Lograr la estabilidad mecánica de los residuos sólidos depositados.

Después de la clausura, el SDF tiene que pasar por un periodo de estabilización de 20 años, según ha sido indicado en la Ley 225-20. Durante este tiempo, tiene que ser monitoreado y controlado periódicamente, y no debiéndose realizar construcciones concretas en este sitio. Una vez terminados, según la definición de “terminación” descrita en los conceptos básicos de este manual, pueden ser utilizados para otros propósitos. A continuación, se muestran ejemplos típicos de uso de suelo de los SDF después de la terminación:

- Integración paisajística (jardines botánicos)
- Uso recreativo (campos deportivos, parques, campos de golf)
- Uso comercial (aparcamientos, vías de comunicación, polígono industrial)
- Parque energético (solar, eólico)

3.2 REHABILITACIÓN DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTE

La rehabilitación es una actividad llevada a cabo para mejorar el estado inadecuado de un SDF y continuar la operación. Básicamente, un SDF inadecuado se cerrará de acuerdo con la ley y sus normativas. Sin embargo, sería posible rehabilitarlo para que continúe operando bajo condiciones controladas. Antes de rehabilitarlo, se debe tener un buen diagnóstico en lo referente al tipo de residuo depositado, los riesgos potenciales y posibles emisiones al ambiente. MMARN permitiría continuar con la operación si el operador del sitio alcanza las condiciones especificadas de mejora en la operación.



- ④ Si el período de operación necesita una extensión, es necesario un proceso de rehabilitación para mejorar las especificaciones técnicas y de operación.

Rehabilitación: La rehabilitación es requerida para continuar la operación de los SDF existentes inapropiados. La rehabilitación es el cierre de parte del vertedero y la operación continua del SDF en condiciones adecuadas.

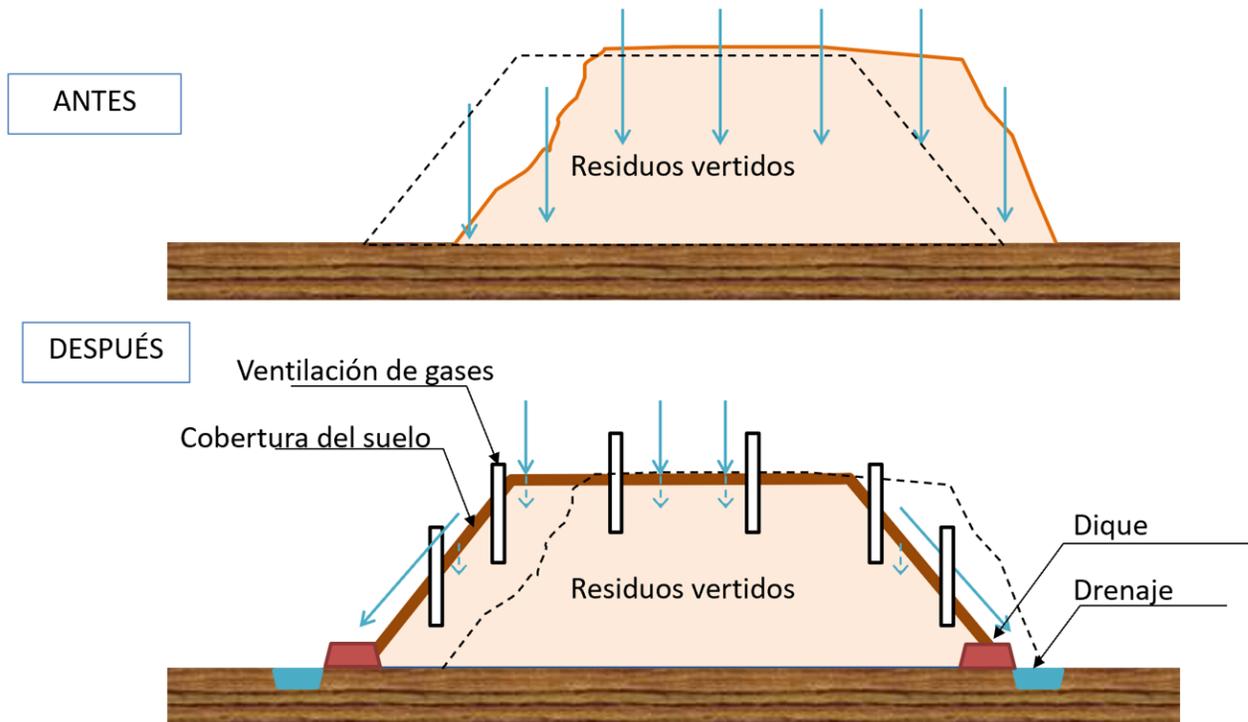
Figura 23: Etapas Vida útil de un SDF con rehabilitación.

Una operación controlada se refiere a una condición de operación y funcionamiento de un SDF en la que se cumplen al menos los siguientes requisitos:

- Vertido de residuos en la zona indicada
- Cobertura diaria de los residuos o al menos 3 veces por semana
- Implementación de instalaciones para ventilación de gases
- Mantenimiento de los caminos o vías internas
- Instalación y control de un sistema de drenaje para las aguas pluviales
- Instalación y control de un sistema de control de lixiviados
- Instalación de una verja perimetral y una puerta de acceso.

3.2.1 Aspectos técnicos

Haciendo uso de la información resultante de los estudios previos descritos en el acápite 3.1.1, se conceptualizará el proceso de rehabilitación de un vertedero, bajo el entendido de que no se cuenta con un control operativo adecuado, por lo que las primeras acciones tienen que ver con la construcción de las estructuras de control indicadas.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 24: Ilustración del plan de rehabilitación de un SDF

3.2.2 Plan de Rehabilitación

Los procedimientos descritos en el capítulo para el cierre técnico, aplican en su totalidad para las áreas afectadas e impactadas ambientalmente, es decir para las áreas que hayan estado en operación como vertedero a cielo abierto. La rehabilitación con conversión del vertedero a un relleno sanitario puede aplicarse solamente al área no impactada. Por ello, la rehabilitación comprende dos realidades o escenarios distintos: por un lado, el cierre técnico del área previamente en operación en forma de "vertedero o botadero", como única manera de garantizar la correcta operación desde la intervención y conversión deseada y, por otro lado, la planificación y construcción de una nueva celda bajo los mismos estándares que la normativa contemple para el caso de un nuevo relleno sanitario. Si esta última condición no es posible, debe considerarse la rehabilitación como una práctica temporal cuyo periodo de operación no excederá el cronograma promedio que requiere el desarrollo de un nuevo SDF.

El objetivo del plan de rehabilitación debe enfocarse en los siguientes aspectos:

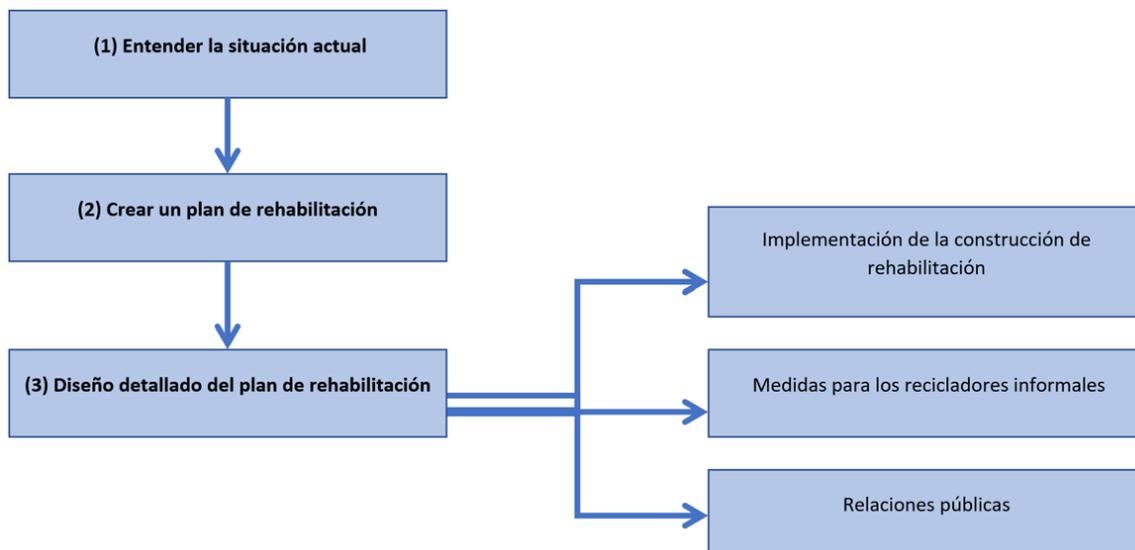
(1) Reducir los impactos ambientales negativos (descritos en la Tabla 1 del acápite 2.1)

- a) Evitando que los residuos colapsen
- b) Disminuyendo los residuos dispersos
- c) Evitando Descarga de lixiviados al suelo y las aguas, incendios, gases, etc.

(2) Verificar la capacidad remanente para verter los residuos en ese SDF

A diferencia del cierre, la rehabilitación implicará la planificación e implementación de un plan de operaciones del sitio, incluyendo la divulgación de dicho plan y la interacción con la comunidad para que la nueva realidad de un SDF bien operado pueda ser entendida y no sea rechazada. Por ello, las CAS juegan un papel preponderante en el éxito de un proyecto de rehabilitación de un SDF. Referir al procedimiento del manual del CAS

El proceso para la rehabilitación de un SDF requiere de una buena planificación para aumentar las posibilidades de que el proyecto sea exitoso. La generación de residuos es indetenible y urge que se cumpla con el objetivo propuesto. En el siguiente diagrama se muestran las etapas a agotar para cada caso:



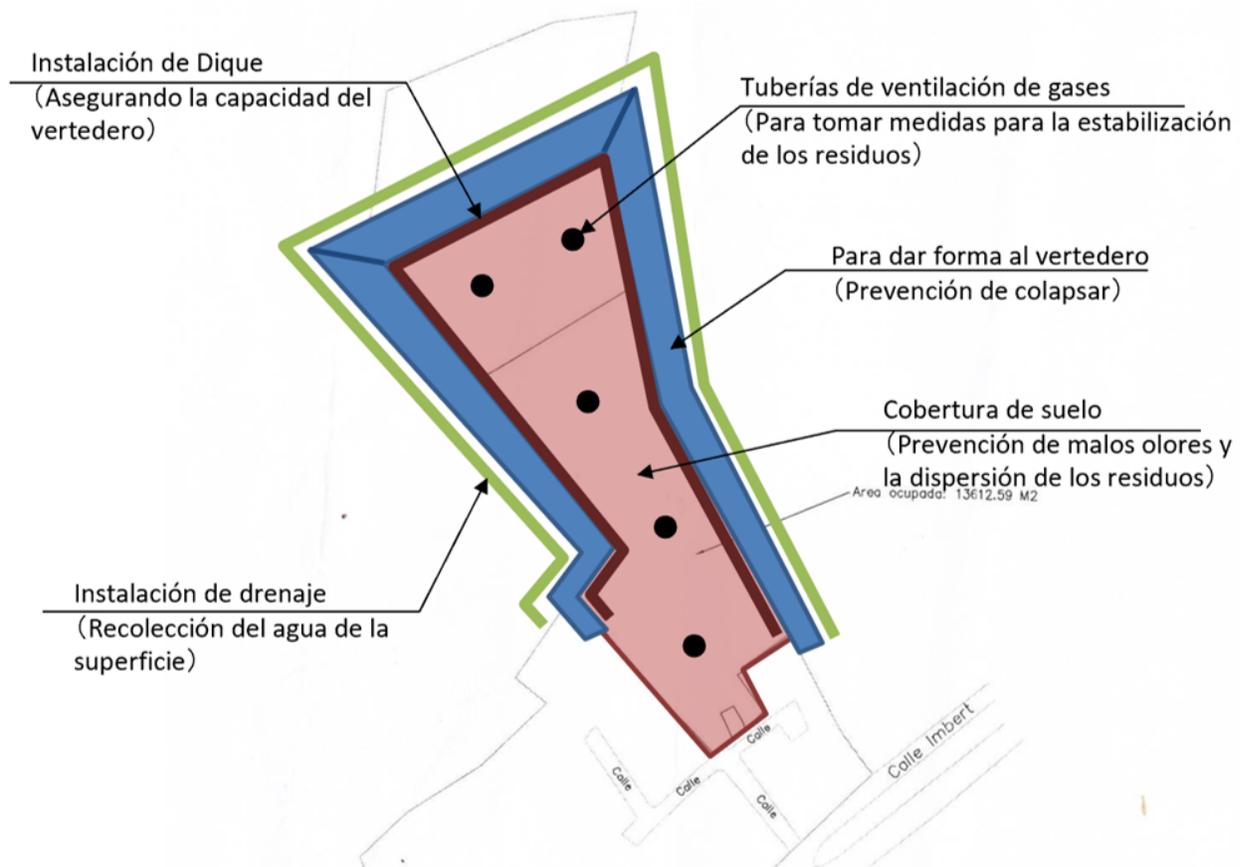
Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 25: Proceso de planificación para la Rehabilitación del SDF. -

Entender la situación actual implicará realizar los estudios previos detallados en capítulos anteriores, enfocados a la recopilación de información sobre el SDF y los residuos generados por los usuarios de este.

Antes de proceder con el diseño del plan de rehabilitación, se deberán considerar:

- Políticas o normativa a aplicar.
- Estudio de las contramedidas a aplicar (ver Figura 26)
- Planificación financiera para garantizar la sostenibilidad de la operación, incluyendo posibles fuentes de financiamiento, presupuesto de ejecución y operación.



Fuente: Equipo de expertos de JICA, Diseño Rehabilitación Vertedero Moca, RD. 2015.-

Figura 26: Esquema conceptual del cierre para la preparación del proyecto

3.2.3 Instalaciones principales para un SDF Rehabilitado

Las instalaciones principales para la rehabilitación serán **la nueva celda** más las mismas consideradas para el cierre. Adicionalmente, dependiendo las condiciones particulares del SDF a rehabilitar y la vida útil que se haya estimado, puede considerarse la instalación de una báscula tipo puente o balanza camionera para controlar el peso de los residuos que ingresan a las instalaciones.

3.2.3.1 Niveles de construcción

Existen cuatro niveles de desarrollo de un sitio de disposición final. El MMARN, en base a las instalaciones de disposición final nuevas que se desarrollarían en la República Dominicana en el futuro, teniendo en cuenta el PNSDF, decidió un desarrollo de nivel 4 para los SDF nuevos, y en el caso de los SDF rehabilitados, el MMARN podrá decidir entre los niveles 2, 3 y 4 según las características específicas de cada SDF. Los componentes que debe tener cada sitio, en concordancia con el nivel seleccionado, se pueden observar en la Tabla 3:

Tabla 3: Nivel de construcción para los SDF

Componentes	Descripción	Nivel			
		1	2	3	4
Instalación para la gestión del transporte de residuos	Instalación de una oficina de gestión, básculas para camiones, lavaderos de vehículos, etc. para gestionar el transporte de residuos.	+	+	+	+
Muro de tierra o banquina Talud	Cerrar con un terraplén para evitar la propagación desordenada de la zona del relleno.		+	+	+
Zona de amortiguamiento	Plantar árboles alrededor del sitio como zona de amortiguamiento.		+	+	+
Material de cobertura	Después de compactar los residuos, cubrirlos con tierra para evitar incendios y olores.		+	+	+
Instalaciones de ventilación de gas	Instalación de tubos de ventilación de gas para evitar incendios y explosiones.		+	+	+
Camino de acceso/Vía de transporte	Con el fin de asegurar una ruta de transporte estable, construir un camino de acceso desde el exterior y un camino de transporte hacia el interior del sitio.	+	+	+	+
Instalación de recolección y drenaje de aguas pluviales	Implementar una instalación de recolección y drenaje de aguas pluviales alrededor del sitio para controlar la entrada de estas.		+	+	+
Instalación de recolección y drenaje de lixiviados	Implementar una instalación de recolección y drenaje de lixiviados (tuberías, depósito regulador) para descargar rápidamente los lixiviados generados por los residuos.			+	+
Instalación para la recirculación de lixiviados	Implementar una instalación para el tratamiento por circulación de los lixiviados y controlar su salida al exterior de la zona.			+	+
Instalación de tratamiento de lixiviados	Implementar una instalación de tratamiento de lixiviados para poder depurarlos y descargarlos.				+
Sistema de impermeabilización	Instalar un sistema de impermeabilización compuesto de varias capas (revestimiento sintético, una capa de material) para evitar que los lixiviados penetren directamente en el suelo.				+
Cerco perimetral	Instalar una verja para evitar que los residuos se dispersen por el viento y evitar la entrada de animales.	+	+	+	+
	+ Requerido				

Fuente: Equipo de expertos de JICA

Los niveles anteriores son progresivos, por lo que un SDF se considera en el nivel que su infraestructura disponible le ubique, con miras a alcanzar un nivel 4 de construcción, según los planes aprobados por el MMARN. Para el desarrollo de una infraestructura con nivel de construcción 4, se deben seguir las especificaciones de diseño y construcción detalladas en el “Manual para construcción de SDF nuevos”.

3.2.3.2 Revestimiento o impermeabilización

Las instalaciones de revestimiento e impermeabilización se implementan para evitar la contaminación de las masas de agua superficiales y subterráneas por los posibles lixiviados vertidos desde un SDF. También evita el aumento de la cantidad de lixiviados debido a la entrada de aguas subterráneas de los alrededores del SDF.

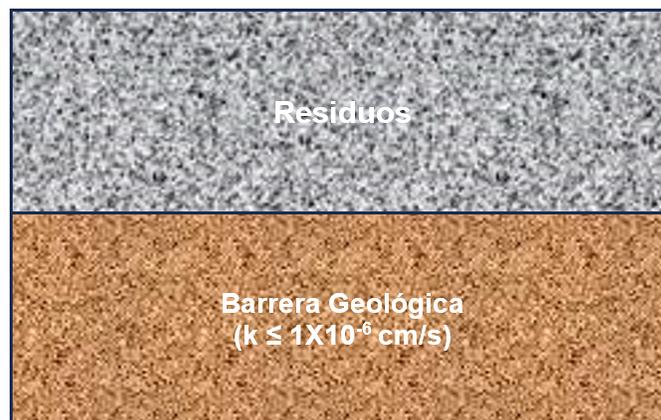
Es importante planificar y diseñar las instalaciones de revestimiento de acuerdo con la topografía y las características del subsuelo. La política general de diseño es evitar que los lixiviados procedentes de un SDF se viertan al exterior utilizando las características de la forma del terreno, la permeabilidad del suelo y las características de las aguas subterráneas.

Dependiendo de los estudios preliminares (estratigrafía del suelo y el nivel de acuíferos freáticos permanentes y transitorios), se deben considerar las siguientes soluciones como revestimiento o capa base de las celdas del sitio rehabilitado:

Barrera Geológica

La barrera natural o geológica es una capa de suelo de baja permeabilidad que se encuentra arriba de la primera capa freática. Lo ideal para la construcción de un relleno sanitario es que el terreno disponga de una barrera natural o geológica conformada por arcilla o limo.

Si el suelo natural tiene una permeabilidad inferior a 1×10^{-6} cm/s y un espesor de **1 m o más**, puede utilizarse como una buena barrera geológica, previamente acondicionado y compactado con resultado de un **90% a la prueba de Proctor modificado**.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 27: Imagen del Sistema de impermeabilización requerido

3.3 MANTENIMIENTO Y MONITOREO POST-CIERRE DEL SDF

Los sistemas de monitoreo se utilizan para identificar los posibles impactos del SDF en el medio ambiente. Por ello, es muy importante darles el mantenimiento y el seguimiento necesario aún después del cierre técnico del SDF. **Para el Monitoreo de un SDF rehabilitado, referirse al Manual de Operación de SDF.**

3.3.1 Mantenimiento de las instalaciones principales

3.3.1.1 Mantenimiento de la cobertura final

El mantenimiento a largo plazo de la cobertura final tiene el objetivo de resolver problemas provocados por las lluvias y el viento, como las depresiones y erosiones. Es importante que dichos problemas se reparen a la brevedad posible para evitar que los residuos queden al descubierto y que puedan provocar problemas ambientales.

Debido a las precipitaciones pluviales como también a las corrientes de aire fuertes, la cobertura final podría sufrir deterioros con el pasar del tiempo; es por eso que se debe monitorear y realizar trabajos de mantenimiento como el rellenado de grietas y depresiones a fin de contrarrestar los daños producidos por estos fenómenos naturales en taludes y plataforma que producen asentamientos y agrietamientos.

3.3.1.2 Mantenimiento de las obras de drenaje

Las obras de drenaje, como las zanjas, las alcantarillas y las tuberías recolectoras, deben inspeccionarse y limpiarse para evitar que, en caso de precipitaciones, se produzcan obstrucciones y, por tanto, la incapacidad de transportar la escorrentía en el SDF clausurado.

Todas las obras de drenaje importantes deben ser inspeccionadas al menos una vez al mes, así como después de cada evento de lluvia para eliminar los sedimentos y los residuos.

3.3.1.3 Mantenimiento de las tuberías de venteo de gases

Las tuberías de venteo de gases pueden sufrir roturas u otro tipo de daños. Se debe verificar al menos una vez al mes que funcionan correctamente.

3.3.1.4 Mantenimiento de los caminos internos

Aunque se trate de un cierre, los caminos internos deben ser inspeccionados y mantenidos esporádicamente. Es imprescindible evitar las quejas de la población cercana por la generación de polvo o formación de charcos.

Por lo tanto, si es necesario según la inspección, se recomiendan las siguientes acciones:

- Rellenar los baches y luego compactar con algún equipo.
- Las cunetas de la carretera deben estar siempre libres de rocas, arena o residuos para evitar su obstrucción.

3.3.1.5 Mantenimiento verja perimetral

La verja perimetral debe ser revisada constantemente, y reparada en caso de ser necesario, para que cumpla con su función de impedir el paso de animales y personas no autorizadas al SDF clausurado.

Por lo general, los problemas que habrá que observar y reparar (si procede) son:

- Los agujeros generados por las personas al cortar los alambres de la malla. Entonces esa sección tendrá que ser sustituida por una malla.
- Enderezar los postes y secciones de malla que puedan ser arrancados o deformados, porque las personas o los animales se apoyan en ellos
- Rellenar los agujeros que los animales hacen en el suelo para pasar por debajo de la malla.

3.3.1.6 Inspección de los asentamientos y deslizamientos

Con el tiempo, los residuos sólidos sufren transformaciones debido a la actividad microbiana, descomponiéndose en gases y lixiviados. Este proceso favorece los asentamientos diferenciales y el hundimiento, provocando la desestabilización del terreno.

Los asentamientos diferenciales provocan depresiones en la superficie del terreno, donde se acumula el agua, dando lugar a la entrada de la misma y a la generación de lixiviados. Por esta razón, es necesario el monitoreo. Esta situación debe evitarse, nivelando el terreno para un buen drenaje.

A manera de resumen, se presenta la siguiente Tabla 4 con la frecuencia recomendada de inspección de las instalaciones, según sean o no en el SDF en cuestión:

Tabla 4: Frecuencia inspección de instalaciones

No.	Instalación	Frecuencia de Inspección	
		Durante la operación	Después del cierre
1	Verja perimetral y puerta de acceso	Semanal	Semestral
2	Balanza	Mensual	x
3	Material de cobertura	x	Semestral
4	Caminos o vías internas	Semanal	Semestral
5	Sistema de conducción de lixiviados	Semanal	Semestral
6	Sistema tratamiento lixiviados (calidad descarga)	Semestral	Semestral
7	Celda (conformación y revestimiento)	Semanal	x
8	Dique o banquina	Semanal	Semestral
9	Sistema de ventilación de gases	Semanal	Semestral
10	Sistema de drenaje para aguas pluviales	Semanal y después de un evento climatológico	Semestral y después de un evento climatológico

Fuente: JET

3.3.2 Monitoreos Ambientales

Los sistemas de monitoreo se utilizan para identificar los posibles impactos del SDF en el medio ambiente. Como se ha explicado, los impactos ambientales de una disposición a cielo abierto y los productos resultantes de la descomposición de los residuos se asocian principalmente a la producción de biogás y lixiviados. Por ello, es muy importante darles el mantenimiento y el seguimiento necesario.

En los siguientes acápite, se presentan los parámetros de monitoreo recomendados para una instalación de disposición final de residuos, pero los parámetros a monitorear en cada caso deberán ser confirmados por el MMARN según las condiciones particulares de cada SDF, que irán relacionadas a la capacidad del SDF, vulnerabilidad de la zona en que se encuentre y a las disposiciones de su Permiso Ambiental en los casos aplicables. En el Manual de CAS, se detallan todos los parámetros que pudieran requerirse para cada elemento.

3.3.2.1 Monitoreo de las aguas subterráneas

Uno de los peligros potenciales de mayor magnitud que pueden derivarse de un SDF, aunque esté clausurado, es la fuga y la migración de lixiviados a las masas de agua subterránea.

En los SDF grandes o cercanos a fuentes de agua de gran importancia, será necesario controlar si existe contaminación por el agua lixiviada y el impacto en la calidad de las aguas subterráneas. Se recomienda realizar el análisis en tres lugares diferentes, perforando con un agujero hasta el nivel de la primera capa freática. El muestreo debe realizarse al menos 2 veces al año, según la normativa dominicana. La norma de referencia es "Calidad de las aguas subterráneas y descargas al subsuelo".

El objetivo del monitoreo de las aguas subterráneas es:

- Comprobar que el sistema de revestimiento y/o la capa de impermeabilización de la celda funciona correctamente (no hay fugas de lixiviados).
- Verificar el grado de propagación de las sustancias nocivas contenidas en el flujo de lixiviados hacia las aguas subterráneas.
- Comprobar el grado de contaminación del entorno en caso de fallo del sistema de revestimiento y/o de la capa de impermeabilización.

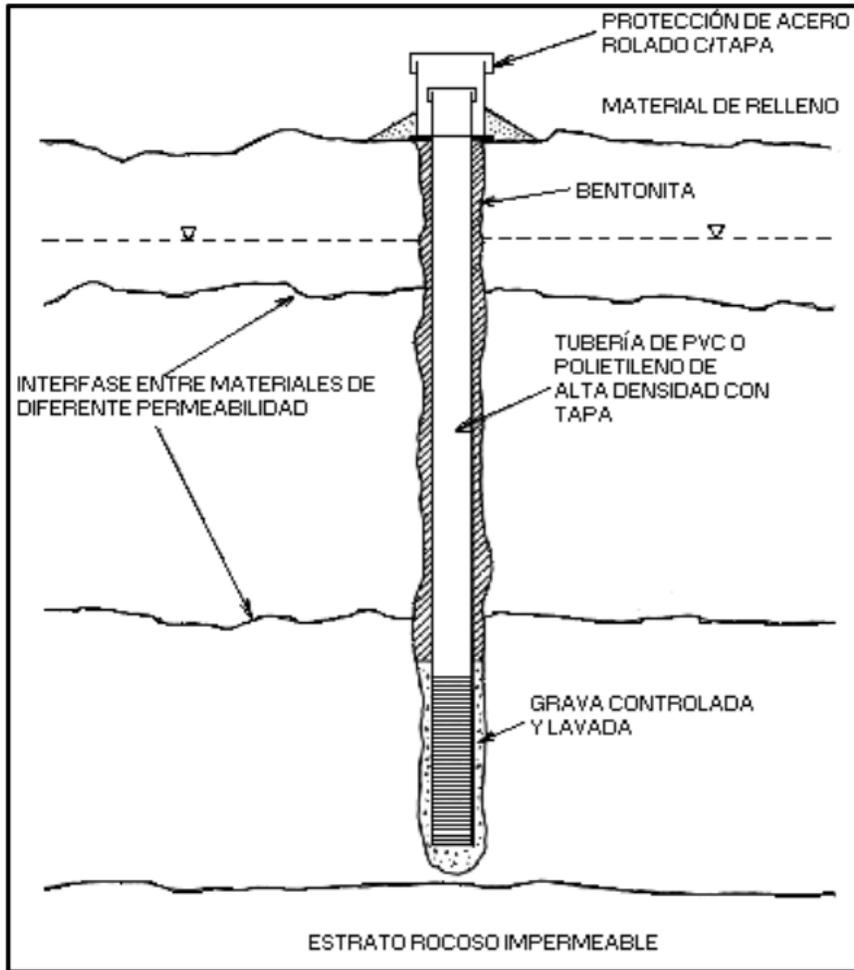
Hay algunos casos en los que el análisis de las aguas subterráneas no es necesario⁷:

- Sitios donde nivel freático es muy profundo (más de 40 m por debajo de la capa inferior del relleno).
- Sitios con una barrera geológica natural impermeable.
- Regiones áridas con menos de 300 mm de precipitación anual.

Se recomienda analizar a fondo las aguas subterráneas en las siguientes situaciones:⁴

- Rellenos con un nivel freático muy alto (3 m o menos por debajo de la capa inferior del vertedero).
- Si existe una captación de agua (para riego o suministro de agua potable) en la misma cuenca del vertedero y en el nivel más bajo del mismo.
- SDF grandes
- SDF cercanos a comunidades en los que el agua se suministra mediante pozos (aquí se pueden tomar pruebas de los pozos más cercanos para abaratar los costos).
- SDF medianos y grandes con una capa inferior impermeable mal construida.
- SDF construidos en suelos arenosos u otros suelos altamente permeables.

7. Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios manuales. Ecuador, 2002. Página 105



Fuente: Operación del Relleno Sanitario MT. SEDESOL, México.

Figura 28: Esquema de un pozo para el monitoreo de las aguas subterráneas

Cabe mencionar que, en el caso de República Dominicana, el MMARN no debe permitir la construcción de rellenos en sitios con un nivel freático a menos de 10 m de profundidad del nivel del terreno natural.

De acuerdo con las normas del MMARN, a continuación, se resumen los siguientes parámetros ambientales sobre la calidad del agua (Norma A) y sobre descargas a las aguas subterráneas y al suelo (Norma B), que deben cumplirse para la operación del SDF.

Tabla 5: Parámetros medibles según Normas ambientales para la calidad del agua

Parámetros	Norma A	Norma B
*Coliformes totales (NMP/100mL)	1,000	1,000
*Coliformes fecales (NMP/100mL)	1,000	1,000
*Color aparente (Pt-Co)	50	50
*pH	6.5-8.5	6.0-8.5
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	5	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	-	400
Sólidos suspendidos totales	-	50
Sólidos totales disueltos	1,000	-
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)	0.5	20
Nitrógeno total	-	30
Aceites y grasas	1	10
Fósforo total	0.025	3
Oxígeno disuelto (% de saturación)	> 70	-
Nitrato de nitrógeno + nitrito de nitrógeno	10	15
Cianuro total	0.1	0.2

Fuente: Norma Ambiental sobre calidad de aguas y descargas al subsuelo. Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana, 2004.

3.3.2.2 Monitoreo de las aguas superficiales

Las aguas superficiales circundantes también podrían verse afectadas por los lixiviados, por lo que el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales debe ser un componente rutinario cuando se sepa o se sospeche que los lixiviados están afectando a las aguas superficiales circundantes o cuando exista alguna preocupación por la calidad de estas. El costo podría ser muy elevado para los municipios pequeños y medianos. Se recomienda realizar análisis a pesar del costo, en los siguientes casos:

- Cuando el SDF está en un área protegida. Cabe destacar que en la República Dominicana está prohibida la instalación de SDF en áreas protegidas.
- Cuando las aguas tratadas se descargan en un medio muy susceptible (río con muy poco caudal, río habitado por especies acuáticas endémicas, ecosistemas acuáticos susceptibles, etc.).
- Cuando el medio receptor central sirve para el suministro de agua potable o para el riego.

No existe aún una normativa local sobre los límites máximos permisibles para la descarga de aguas superficiales desde los SDF. Como referencia, la siguiente tabla muestra los límites permisibles para las descargas en aguas superficiales de las instalaciones de aguas residuales:

Tabla 6: Extracto tabla límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales en masas de agua superficiales:

Parámetros	Límite
*pH	6.5-8.5
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (mg/L)	50
Demanda química de oxígeno (DQO), (mg/L)	160
Sólidos suspendidos totales, (mg/L)	50
Nitrógeno de nitrato y nitrito (NO ₃ N + NO ₂ -N), (mg/L)	10
*Coliformes totales, (NMP/100mL)	1,000

Fuente: Norma Ambiental sobre control de descargas a aguas superficiales, alcantarillado sanitario y aguas costeras. MMARN.

3.3.2.3 Monitoreo del aire

Es importante evaluar la calidad del aire en mediciones semestrales durante los dos primeros años de desmantelamiento y luego con una medición anual será suficiente. En el caso de una rehabilitación, durante el transporte de los residuos al SDF, en caminos no pavimentados, se tomarán las medidas necesarias para minimizar la generación de polvo y los impactos negativos derivados de las poblaciones cercanas. La operación del SDF debe cumplir las siguientes normas de calidad del aire.

Tabla 7: Normas de calidad del aire

Contaminante	Tiempo medio	LÍMITE PERMISIBLE (µg/Nm ³)
Total de partículas en suspensión (TSP) *1	Anual	80
	24 horas	230
Fracción de partículas (PM-10)	Anual	50
	24 horas	150
Fracción de partículas (PM-2,5)	Anual	15
	24 horas	65
Dióxido de azufre (SO ₂)	Anual	100
	24 horas	150
	1 hora	450
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Anual	100
	24 horas	300
	1 hora	400
Ozono (O ₃)	8 horas	160
	1 hora	250
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	10,000
	1 hora	40,000
Hidrocarburos (no metano) (CH)	3 horas	160
Plomo	Trimestral	1.5
	Anual	2.0

Fuente: Norma ambiental de calidad del aire (NA-AI-001-03)

*1Partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (su diámetro va de 0,3 a 10 µm) como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen.

3.3.2.4 Monitoreo de los gases

Al menos en los vertederos medianos y grandes, en el momento que se decide el cierre, se debe considerar un monitoreo de los gases para conocer la composición del biogás (CH₄, CO₂, O₂, N₂) y el nivel de explosividad. Estos datos servirán para comparar con futuras mediciones y conocer el nivel de descomposición de los residuos, y en algunos casos, verificar la efectividad del sistema de ventilación instalado.

4. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexandra, L. V. S. (2002). Cierre técnico del botadero a cielo abierto del cantón Mejía utilizando el programa HELP. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/396>
2. Hernández, C., & Wehenpohl, G. (2000). MANUAL PARA LA REHABILITACIÓN, CLAUSURA Y SANEAMIENTO DE TIRADEROS A CIELO ABIERTO EN EL ESTADO DE MÉXICO. <http://www.resol.com.br/textos/GTZ-SEGEM-ManualClausura.pdf>
3. MMAyA/VAPSB/DGGIRS, Bolivia (2012). Guía para el Cierre Técnico de Botaderos
4. MMAyA/VAPSB/DGGIRS, Bolivia (2012). Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios
5. USAID – CCAD (2010). MANUAL DE PROTOCOLO DE CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS RELLENOS SANITARIOS CON REVESTIMIENTOS COMPUESTOS
6. Jorge Jaramillo (2002). GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES
7. SEMARNAT (2009). MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RELLENOS SANITARIOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) Y RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME)
8. Entidad Municipal de Aseo Villazón (2018). MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RELLENOS SANITARIOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) Y RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME)”
9. SEDESOL. MANUAL PARA LA OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS
10. Secretaría de Estado de Relaciones Públicas y Comunicaciones, Dirección General de Reglamentos y Sistemas (1987). RECOMENDACIONES PROVISIONALES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE EN CARRETERAS
11. (2019). Guía para la construcción de rellenos sanitarios en municipios del norte de Boyacá. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10901/20294>.
12. Weihs, J. P. (2012). Fundamentos sobre los Rellenos Sanitarios. https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20110627_weihs.pdf
13. Jiménez, T. (2021). Generación de lixiviados en vertederos [Trabajo Fin de Grado]. Universidad de Sevilla.
14. Prefecture of Fukuoka. (s. f.). Guide to Introducing The Fukuoka Method. https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/640985_61334511_misc.pdf

