RECULTIVO DE RELLENOS SANITARIOS

La cubierta vegetal y su rol en la prevención de daños ambientales

Alex Strodthoff
Alex.Strodthoff@pluto.uni-freiburg.de
Universidad de Freiburg – Alemania
Eduardo Arellano
earellan@puc.cl
Departamento de Ciencias Forestales

La historia del manejo de residuos

El problema del manejo de la basura se remonta al momento en que el hombre abandonó el nomadismo para llevar una vida sedentaria, cobrando mayor importancia con el establecimiento y crecimiento de centros urbanos. Los principales imperios de la Era Antigua, comenzaron a efectuar las primeras construcciones destinadas a la evacuación de aguas servidas y al depósito de residuos sólidos como medida para prevenir enfermedades. Fue así como en el siglo VI a.C. Tarquino mandó a construir la "Cloaca Máxima" para la evacuación de aguas servidas desde el Foro Romano hasta el Río Tíber. Ya hacia el siglo I d.C, en el Valle de Kidrón, ubicado en las puertas de Jerusalén, se efectuaban actividades de compostaje y quema de los residuos; sin embargo estas técnicas nunca llegaron a expandirse a otras regiones.

Durante la Edad Media, la basura era depositada ya sea en fosos o arrojada sobre la calle. Debido a que los residuos consistían principalmente en materia orgánica, su descomposición causaba fuertes olores y la aparición de vectores como roedores e insectos. El surgimiento de la peste negra, transmitida por roedores, provocó la muerte de alrededor de la cuarta parte de los habitantes de Europa durante el siglo XIV. Esta situación obligó a tomar medidas sanitarias a nivel urbano, las que se vieron reflejadas en la construcción de sistemas de canalización y actividades de desratización.

Durante la Era Industrial, los cambios en los hábitos de consumo de la población y el aumento de los residuos generados a partir de procesos industriales, hicieron que el problema de la basura cobrara otra dimensión. Los desechos urbanos, tanto domésticos como industriales, comenzaron a ser transportados hacia los alrededores de pueblos y ciudades, para ser depositados en vertederos y sólo en ciertas ocasiones, cubiertos adicionalmente con tierra. Recién durante el siglo XX, comenzaron a utilizarse tecnologías para el manejo y disposición final de los residuos sólidos tales como las plantas de compostaje, de tratamiento térmico y los rellenos sanitarios. Las plantas de compostaje basan su proceso en la descomposición de materia orgánica para la obtención de compost, el cual puede ser utilizado con diversos fines agrícolas. Las plantas térmicas, tratan los residuos en un proceso de tres fases: secado, quema y enfriamiento. Ciertos desperdicios son utilizados para construcciones viales y la fracción restante es depositada en rellenos sanitarios. Estos últimos corresponden a obras de ingeniería, especialmente diseñadas para la disposición final de residuos en forma definitiva y ambientalmente segura.

Rellenos sanitarios: sus riesgos y virtudes

Comúnmente, se tiende a confundir el concepto de relleno sanitario con el de vertedero o basural; sin embargo, ambos conceptos son diametralmente opuestos. Mientras los vertederos corresponden a áreas utilizadas para depositar residuos sin ningún tipo de diseño o planificación previa, los rellenos sanitarios corresponden a proyectos de ingeniería, planificados y construidos especialmente para el depósito de residuos considerando resguardos ambientales y sociales.

La estructura básica de un relleno sanitario consiste en un compartimiento sellado en su parte inferior. Los desechos son triturados y colocados en capas, las que son compactadas y cubiertas diariamente con tierra arcillosa. Un relleno sanitario consta además de pozos de monitoreo de aguas subterráneas y una planta de tratamiento de lixiviados, entre otras estructuras complementarias. Usualmente, también cuentan con un sistema de captación de biogás, producto proveniente de la descomposición de residuos orgánicos. Al término de su operación, el relleno sanitario debe ser debidamente sellado por medio de una barrera superficial, la que debe impedir flujos de agua desde el ambiente hacia el compartimiento y de numerosos gases contaminantes en el sentido opuesto.

Las principales ventajas de un relleno sanitario radican en sus bajos costos de operación y mantenimiento, además de una inversión inicial comparativamente menor. Por estas razones, esta opción ha sido la más comúnmente utilizada por los países en desarrollo que buscan alternativas ambientalmente seguras y económicamente viables para la disposición final de sus residuos sólidos.

Pese a ser construidos conforme

a exigentes estándares técnicos, estos rellenos no están exentos de riesgos que pueden derivar en serios daños ambientales. Dentro de los principales peligros, se encuentra la emanación de gases tóxicos como metano, óxidos de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoniaco y mercaptanos, entre otros. Estos compuestos, generados por los procesos de descomposición de los residuos, pueden ser aprovechados en forma de biogás. La producción de gases derivados de residuos debe ser constantemente controlada pues escapes no detectados oportunamente, pueden generar contaminación y constituir un riesgo para la población aledaña. Otro factor de riesgo, corresponde a la lixiviación de líquidos contaminantes, los que poseen una elevada carga orgánica y concentraciones variables de metales pesados. Esta situación se origina principalmente por fallas en las capas impermeables ubicadas en el fondo del compartimiento y produciendo la contaminación de aguas subterráneas, cursos superficiales e incluso al agua utilizada para el riego de cultivos. La probabilidad de ocurrencia de estos problemas aumenta considerablemente ante la presencia de lluvias intensas y prolongadas, ya que éstas pueden generar importantes desequilibrios en el balance hídrico del sistema y por ende, aumentar el volumen de percolados y la presión que éstos ejercen sobre las capas protectoras.

Con el fin de minimizar estos riesgos, se debe poner especial énfasis en un recubrimiento apropiado tanto en el fondo como en la superficie del compartimiento. Mientras el recubrimiento inferior deberá constituir una barrera eficaz para impedir directamente la lixiviación de estos líquidos contaminantes, el recubrimiento superficial deberá ser capaz de impedir la infiltración de agua desde la superficie hacia compartimiento en donde se han depositado los residuos, lo que ayudará a evitar la generación y emanación de percolados contaminantes.

El recubrimiento superficial y el rol de la cubierta vegetal

Además de impedir la percolación de contaminantes líquidos, el recubrimiento superficial debe ser capaz de evitar la emanación de gases contaminantes e impedir el contacto directo de personas, plantas y animales con los materiales presentes en el compartimiento. A largo plazo, deberá permitir la reinserción de la superficie utilizada por el relleno sanitario conforme a las características del entorno.

Se han propuesto diferentes diseños para estructurar este recubrimiento superficial, los que se diferencian entre sí principalmente por la naturaleza de los materiales constituyentes de sus capas y el grosor de ellas. Uno de los diseños mejor evaluados corresponde al denominado “Concepto Multibarrera” el que se compone de una capa para la captación de gas, un estrato mineral de suelo altamente arcilloso, una membrana de material sintético, generalmente polietileno de alta densidad (HDPE) el que se encontrará cubierto por un estrato de drenaje hídrico compuesto por material grueso (ripio y/o arena) y finalmente un sustrato para el recultivo, el que constará de suelo preferentemente limoso (Figura 1). El grosor de este último estrato variará conforme a la composición de especies que se espera establecer en la superficie.

El establecimiento de una cubierta vegetal es considerado como un elemento integral en la mayoría de los proyectos, cumpliendo un rol trascendental al: (1) permitir la reinserción de la superficie a su entorno en el largo plazo, (2) proteger las capas inferiores del relleno contra daños hidráulicos, erosión y heladas y (3) reducir la infiltración de agua hacia el compartimiento en donde están ubicados los residuos y con ello, la generación y emanación de residuos líquidos contaminantes. El rol de la cubierta vegetal como barrera protectora contra la infiltración de agua es el aspecto que ha cobrado la mayor relevancia en el último tiempo. Esto es especialmente importante si se considera la seguridad del sistema en el largo plazo, ya que la vida útil de algunos de los elementos que componen las barreras protectoras no es ilimitada. De ser diseñada y establecida correctamente, una barrera vegetal puede brindar una protección ambiental a largo plazo, insertando la superficie a su entorno y otorgando la posibilidad de que en el futuro pueda ser utilizada para otros fines.

Figura 1: Recubrimiento superficial de un relleno sanitario conforme al concepto multibarrera.

La cubierta vegetal como barrera a la infiltración

El funcionamiento de la cubierta en el balance hídrico del sistema, puede ser explicado mediante la siguiente ecuación:

$$P = ET + E_0 + I + S_0 + S_d + W$$

En que:

P:	Precipitación total
ET:	Evapotranspiración foliar
E_0:	Evaporación desde el suelo
I:	Intercepción
S_0:	Escurrimiento superficial
S_d:	Infiltración profunda
W:	Cambio en el contenido hídrico del sustrato de recultivo

Por medio de altas tasas de intercepción, evapotranspiración e indirectamente, a través del aumento en la capacidad de retención de agua del sustrato, la cubierta vegetal es capaz de mantener en un mínimo los valores de infiltración y escorrentía, asociados a problemas de percolación de residuos contaminantes y erosión, respectivamente.

No todas las cubiertas vegetales son igual de eficientes para minimizar o impedir la infiltración de agua hacia el interior del relleno. El cuadro 1

Cuadro 1
Evaporación anual total de distintas formaciones vegetales sobre un sitio de suelo arenoso a areno-limoso. Precipitación anual (P_a) 663 mm

Cubierta vegetal	Evaporación total (mm)	Evaporación total (% de P)	Infiltración + Escurrimiento (mm)	Infiltración + Escurrimiento (% de P)
Suelo desnudo	265	40	398	60
Cultivo agrícola	431	65	232	35
Pastizal	497	75	166	25
Matorral arbustivo	564	85	99	15
Bosque de latifoliadas	579	87	84	13
Bosque de coníferas	622	94	41	6
Bosque de encino (con estrato herbáceo)	657	99	6	1
Bosque de haya (con estrato herbáceo)	690	104	0	0

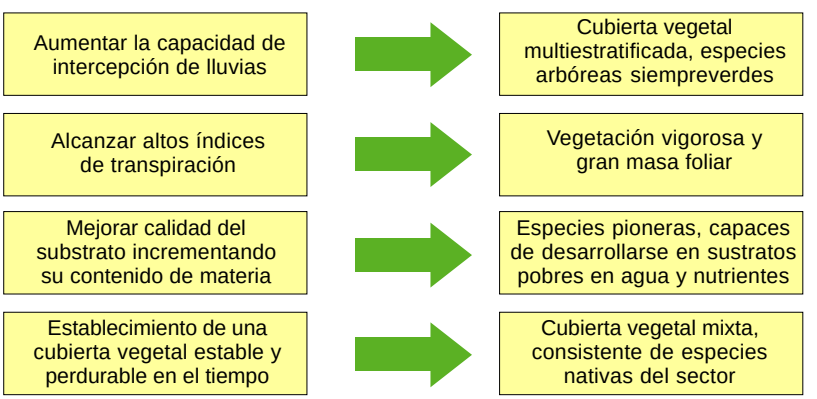
Fuente: Servicio Ambiental de Baden-Württemberg (Alemania), 1997

muestra los valores para distintos tipos de cubiertas.

Se ha comprobado que de todas las formaciones vegetales, el bosque es la más eficaz para evitar o disminuir la percolación profunda. En líneas generales, se ha visto que sólo entre un cuarto y un tercio del agua proveniente de las precipitaciones anuales es capaz de atravesar las raíces de un bosque e infiltrar hacia horizontes más profundos. En formaciones boscosas multiestratificadas, con presencia de un estrato herbáceo, esta cifra puede llegar a ser cercana a un 5% e incluso arrojar valores negativos.

Selección de especies

Al momento de planificar la composición de especies en una cubierta vegetal se deberán considerar numerosos factores, como el clima del sector, las propiedades del suelo, las características del entorno y los requerimientos particulares de cada especie. Adicionalmente, deberán tenerse en cuenta los objetivos que se buscan alcanzar con el establecimiento de la cubierta vegetal:



A nivel mundial, son relativamente pocos los estudios que han abordado directamente la compatibilidad de especies para estos fines. En Europa Central, se han efectuado algunas experiencias, las que han permitido identificar las especies mejor adaptadas conforme a las características del sustrato (Cuadro 2).

En Chile, si bien no se cuenta con información proveniente directamente de estudios de compatibilidad de especies para el recultivo de rellenos sanitarios, sí se dispone de numerosos estudios acerca de los requerimientos de sitio para diversas especies, lo que permitiría evaluar su potencial para ser utilizadas en tales fines. Adicionalmente, se ha registrado información acerca de especies que han sido capaces de establecerse y desarrollarse sobre la cubierta de antiguos vertederos. Dentro de las especies forestales nombradas aparecen *Acer negundo*, *Schinus molle*, *Liquidambar styraciflua*, *Robinia pseudoacacia*, *Atriplex rapanda* y *Cupressus macrocarpa*, entre otras. Dentro de las especies herbáceas, géneros adecuados serían *Festuca spp.*, *Lolium spp.* y *Trifolium spp.* Muchos de estos coinciden con los resultados de estudios realizados en Europa.

Es importante destacar que una de las variables importantes a ser consideradas y que debiese ser objeto de estudio, es la tolerancia de las especies a los gases generados por descomposición de la basura. Se ha observado que en ciertos casos, la mortalidad de especies es mayor para sitios que han sido sellados más recientemente. Presumiblemente, esto estaría vinculado a mayores emanaciones de gases como metano y sulfuro de hidrógeno durante los primeros años luego del cierre de un relleno sanitario o un vertedero.

El sustrato

El establecimiento de plantas sobre el sustrato sólo será posible si éste posee un grosor suficiente para permitir el crecimiento radicular, además de una adecuada capacidad de almacenamiento de agua, una suficiente conductividad hídrica y un suministro de nutrientes conforme a los requerimientos de la especie.

En caso de ser una formación arbórea, se sugiere un grosor mínimo de 200 cm sobre la capa mineral, dependiendo de las características de crecimiento de las especies seleccionadas. Al adecuar el grosor del sustrato, se debe tener presente que por sobre el patrón de enraizamiento de cada especie, el crecimiento radical se ve principalmente influenciado por las propiedades del suelo. Texturas limosas y areno-limosas (frecuentemente utilizados para estos fines), facilitan el crecimiento vertical de aquellas raíces que tienden a buscar agua en horizontes más profundos, especialmente al existir una baja disponibilidad hídrica en las capas superiores normalmente asociada a la ausencia de flujos laterales de agua hacia el sistema.

Si dentro de los objetivos está la recuperación de una formación de las mismas características a la existente antes de la construcción del relleno, se sugiere que el sustrato provenga de las inmediaciones o que posea las mismas propiedades al anteriormente existente de manera de asegurar su función en el largo plazo.

Cuadro 2
"Ejemplos de especies aptas para ser utilizadas en el recultivo de rellenos sanitarios en Europa Central"

Especie	Características
Estrato herbáceo para sustratos secos, ácidos y pobres en nitrógeno	
Hypericum perforatum	Coloniza suelos descubiertos
Lupinus polyphyllos	Coloniza suelos descubiertos, fija nitrógeno
Trifolium pratense	Coloniza suelos descubiertos, fija nitrógeno, enraizamiento profundo
Estrato herbáceo para sustratos húmedos, relativamente ácidos, contenido moderado de nitrógeno	
Festuca pratensis	Raíces profundas
Plantago lanceolata	Raíces profundas
Verbena officinalis	Raíces profundas
Estrato herbáceo para sustratos secos, básicos y pobres en nitrógeno	
Bromus erectus	Coloniza suelos descubiertos, enraizamiento intensivo
Medicago sativa	Coloniza suelos descubiertos, raíces profundas, fija nitrógeno
Salvia vertioillata	Coloniza suelos descubiertos
Estrato herbáceo para sustratos húmedos, básicos, contenido moderado de nitrógeno	
Medicago lupulina	Coloniza suelos descubiertos
Cirsium eriophorum	Coloniza suelos descubiertos
Salvia pratensis	Coloniza suelos descubiertos, raíces profundas
Especies forestales latifoliadas	
Populus alba	Resistente a la sequía
Alnus incana	Resistente a la sequía, especie pionera
Robinia pseudoacacia	Especie pionera para exposiciones soleadas
Quercus rubra	Resistente a la sequía
Acer platanoides	Capacidad para filtrar polvo en suspensión, resistente a la sequía
Especies arbustivas	
Prunus spinosa	Especie pionera, exposiciones soleadas, resistente a la sequía
Ligustrum vulgare	Especie pionera, excelente capacidad de retención del suelo
Salix caprea	Especie pionera

Fuente: Wilke B.-M, 2000. Transformación por Medio de la Planificación Territorial. Universidad Técnica de Berlín. Instituto de Ecología.

Durante el transporte del material, es importante considerar que un almacenamiento intermedio por períodos prolongados, puede provocar pérdidas en la calidad de éste, especialmente si se trata de sustratos con alto contenido de humus. Para el establecimiento del sustrato deberá ponerse especial énfasis en utilizar maquinarias y técnicas apropiadas, de tal forma de reducir al máximo la compactación del suelo y/o daños en las capas protectoras adyacentes. De igual forma, deberá evitarse superponer capas con elevadas diferencias de permeabilidad, con el fin de impedir la formación de bolsones de agua.

Establecimiento de la cubierta vegetal

El establecimiento de una cubierta vegetal corresponde a un proceso gradual y requiere de una planificación en la que se fijen objetivos a corto, mediano y largo plazo, conforme con los recursos disponibles y las condiciones bióticas y abióticas existentes (Cuadro 3). Para lograr la creación de una cubierta vegetal que reúna determinadas características, frecuentemente deberán superarse etapas que contemplen el establecimiento de otro tipo de cubiertas como paso previo. Esto será acertado ya sea ante la necesidad de brindar protección inmediata a algún elemento del sistema en forma rápida, por ejemplo, proteger el sustrato contra la erosión, o crear las condiciones para que otras especies sean capaces de desarrollarse, por ejemplo, mejorando previamente las características del suelo.

Una vez depositado el sustrato de recultivo, el establecimiento natural de un estrato herbáceo corresponde a una situación favorable para el control inmediato de procesos erosivos, ya sea eólicos o hídricos. Paralelamente, podrá comenzarse con la plantación de especies arbóreas y arbustivas pioneras, capaces de brindar una mayor protección contra la infiltración (Figura 2). Estas especies deberán tolerar condiciones de sitio extremas y por otro lado, debiesen contribuir a mejorar las características del sustrato (suministrando materia orgánica o fijando nitrógeno) y brindar la protección requerida para el posterior crecimiento de especies más exigentes en cuanto a sitio.

La máxima protección contra la infiltración se obtendrá con el establecimiento de una cubierta vegetal mul-

Cuadro 3
Secuencia de intervenciones para el establecimiento de una cubierta arbórea multiestratificada sobre un relleno sanitario en Europa Central

Intervención	Edad
Plantación de especies forestales pioneras. Densidad de aprox. 1.500 $^{arb}/_{ha}$	1
Replantación con especies pioneras, sólo ante elevada mortalidad	2-3
Extracción del 50% de la población. Plantación de especies objetivo en una densidad de aprox. 3.000 $^{arb}/_{ha}$	15-20
Replantación, sólo ante elevada mortalidad	15-20
Limpias y clareos. Sólo en caso de ser requeridas	15-25
Mediante raleos, disminución de la densidad (aprox. 2.500 $^{arb}/_{ha}$)	30-35
Conforme a la dinámica de desarrollo del rodal, ejecución de raleos sucesivos cada aprox. 10 años hasta obtener una densidad de aprox. 250-400 $^{arb}/_{ha}$	40-90
Raleos a nivel de árbol individual o por grupos para promover la estratificación y fomentar la regeneración	>90

Fuente: Bönecke G., 2001. El Recultivo Forestal como Cubierta Protectora en Rellenos Sanitarios. ¿Bosques en Lugar de Barreras Superficiales? Karlsruhe, Alemania.

Figura 2: Plantación de *Quercus rubra* (especie pionera) sobre el recubrimiento de un relleno sanitario en suroeste de Alemania

tiestratificada, la que será posible de establecer sólo si se brindan las condiciones para un adecuado crecimiento de especies capaces de desarrollarse bajo el estrato arbóreo dominante generalmente en buenas condiciones de suelo. Para ser estable en el largo plazo, la cubierta vegetal deberá ser capaz de autoregenerarse conforme a la sucesión natural. Idealmente, el manejo posterior debiese quedar limitado sólo a proteger el relleno en caso que el crecimiento vegetal afecte los sistemas de monitoreo de captación de gas o las vías de tránsito.

Consideraciones finales

Este artículo ha destacado la importancia de la cubierta vegetal, especialmente la de formaciones arbóreas, como agente protector contra la percolación de residuos contaminantes desde un relleno sanitario; sin embargo, tanto el recultivo de éstos como también el de vertederos, posee una serie de aspectos positivos adicionales de gran importancia, como la reinserción de la superficie a su entorno e incluso su posterior uso en fines productivos y recreativos.

En algunos países industrializados, el recultivo de estas obras ha sido incorporado en leyes y reglamentos. Esto es especialmente relevante en regiones en que, por su elevada densidad poblacional, existe una enorme presión sobre el territorio y los diversos bienes y servicios que de éste se esperan.

En nuestro país, el empleo de rellenos sanitarios como sitio para la disposición final de residuos data recién de la década de los ochenta. A lo largo del país se estima que existen alrededor de 250 lugares destinados a estos fines, de este total, sólo un 30% posee la autorización sanitaria respectiva, el porcentaje restante corresponde mayoritariamente a vertederos no autorizados. Considerando esta situación, el recultivo de rellenos sanitarios en nuestro país no debiese quedar limitado sólo a estas obras, cuyo número aumentará en el futuro, sino que también debiese ser utilizado para la protección y reinserción de vertederos, una vez que éstos hayan terminado sus funciones. Experiencias en otros países han demostrado que al igual que en el caso de rellenos sanitarios, el recultivo de vertederos es posible y permite alcanzar resultados favorables en cuanto a su reinserción y minimización de riesgos ambientales, siempre y cuando se consideren previamente ciertos resguardos técnicos, principalmente asociados a la presencia de horizontes compactados y emanación de gases fitotóxicos.

Cabe destacar que en Chile ya existen algunas experiencias positivas en este tema. Tal es el caso del Parque André Jarlán, establecido sobre el ex Pozo La Feria y las áreas verdes que actualmente están siendo establecidas sobre los terrenos del antiguo relleno de Lo Errázuriz. Pese a que el diseño de ambos parques no fue basado en la función de la cubierta como barrera a la infiltración, sino que en la reinserción de estas superficies, ambos ejemplos demuestran claramente que el recultivo de rellenos sanitarios es factible y acarrea diversas ventajas para la población y el medio ambiente.

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile

www.faif.puc.cl