



Órgano : Superintendencia del Medio Ambiente
Expediente : Medidas Provisionales
Rol : MP-050-2021

ACOMPaña DOCUMENTOS

SR. SUPERINTENDENTE DEL MEDIO AMBIENTE

ÓSCAR DÍAZ DEL CAMPO, Abogado, en representación de la I. Municipalidad de Ancud, en expediente de Medidas Provisionales de la Superintendencia del Medio Ambiente, Rol N° MP-051-2021, al señor Superintendente del Medio Ambiente respetuosamente digo:

Que, de conformidad a lo dispuesto en el artículo 10 y el artículo 17, letra f), ambos de la Ley N° 19.880, que permite incorporar antecedentes y/o elementos de juicio en cualquier momento del procedimiento administrativo, por este intermedio vengo en acompañar los siguientes documentos:

1. **Sentencia de la Excma. Corte Suprema, de fecha 6 de septiembre de 2021, recaída en causa Rol N° 6.811-2021**, caratulada “*Fundación Parque Ahuenco con Ilustre Municipalidad de Ancud*”, que ordenó lo siguiente:
“(i) *La paralización, una vez transcurrido el plazo de 90 días de ejecutoriada esta sentencia, del funcionamiento del vertedero Puntra – El Roble de la comuna de Ancud, por parte de la I. Municipalidad de Ancud, dejándose sin efecto su operación como lugar de acopio transitorio de residuos sólidos domiciliarios de la comuna de Ancud.*
(ii) *Que la Ilustre Municipalidad de Ancud y a la Seremi de Salud deberán actuar, en lo sucesivo, con estricta sujeción a un proyecto de construcción y operación elaborado, evaluado y aprobado con una Resolución de Calificación Ambiental, conforme a la normativa aplicable en materia ambiental y sanitaria.*
(iii) **El retiro, dentro del plazo de 90 días de ejecutoriada esta sentencia, de todo el pasivo ambiental (desechos sólidos domiciliarios) que en forma transitoria se ha ordenado disponer en el predio de “Puntra El Roble” desde el 11 de enero de 2020, donde opera ilegalmente un vertedero, de manera tal que dicho pasivo ambiental sea ubicado en un sitio de disposición final legalmente autorizado**”.
2. **Informe Técnico Experto de “Análisis y recomendaciones técnicas para retiro del pasivo ambiental en relleno sanitario Puntra, comuna de Ancud”, suscrito por el Profesor Doctor Ingeniero señor Marcel Szantó Narea.**

En este documento, se exponen antecedentes y conocimientos técnicos especializados sobre la materia, considerando la actividad biológica y química

que actualmente exhibe el “relleno sanitario Puntra”. De este modo, el Profesor Szantó recomienda en la página 23 de su Informe lo siguiente:

*“Dadas estas condiciones actuales del relleno y los antecedentes técnicos que se han vertido en el presente Informe, finalmente **recomiendo que se gestione la realización de las siguientes medidas, de forma previa al comienzo de las actividades de retiro del pasivo ambiental que se encuentra química y biológicamente activado y sin estabilidad suficiente, para luego hacer su retiro de acuerdo al requerimiento, una vez que se encuentre estabilizado:***

- 1. **La estabilización de la masa orgánica de residuos**, por cuanto es un aspecto esencial para asegurar el retiro y disposición del pasivo en condiciones de seguridad;*
- 2. **La realización de un análisis geotécnico del recinto**, para proyectar los fenómenos físico-químicos que, actualmente, tienen lugar en el relleno;*
- 3. **La caracterización de los lixiviados del relleno sanitario**, para determinar los requerimientos técnicos que debe cumplir el sitio de disposición final al que debe trasladarse el pasivo ambiental”.*

Estas medidas tienen por objeto prevenir riesgos e impactos al medio ambiente y a la salud de las personas, vinculados a la operación de retiro de todo el pasivo ambiental, como ha ordenado la Excm. Corte Suprema. En efecto, a juicio del Profesor Szantó, mediante la estabilización de la masa del relleno se resguardará que las actividades de remoción y traslado se realicen en condiciones seguras, pues tal como expone el profesor Szantó entre los fundamentos iniciales que constan en la página 3 de su Informe:

*“**El retiro del material en proceso de degradación activa o sin estabilidad, omitiendo lo señalado, solo genera un grave riesgo al medio ambiente a la salud de la población, y en especial, en el lugar donde se realice el retiro y donde el material activo sea depositado.***

*Estas medidas se condicen con la metodología básica aplicable a los procesos de cierre o clausura, sellado y rehabilitación de rellenos sanitarios o vertederos. **Los potenciales riesgos involucrados en una operación de retiro del pasivo ambiental son altos. Sin estas medidas y evaluaciones, por la actividad biológica y química actual, solo profundizará la brecha ambiental de la zona con riesgos a las variables ambientales”.***

En este sentido, ambos documentos se acompañan con la finalidad que el Sr. Superintendente considere las actuales circunstancias que se relacionan con la operación del “sitio de disposición transitorio Puntra” y, particularmente, lo ordenado por la Excm. Corte Suprema en relación al retiro de todo el pasivo ambiental y su posterior disposición final en un sitio legalmente autorizado.

Asimismo, se ha estimado prudente acompañar el Informe de análisis y recomendaciones técnicas elaborado por el Profesor Szantó, reconocido experto internacional en gestión de residuos sólidos urbanos y a quien la I. Municipalidad de Ancud ha requerido asesoría, con la finalidad que la Superintendencia del Medio



Ambiente, dentro del ámbito de sus competencias, considere los antecedentes técnicos expresados en el Informe y las medidas recomendadas para gestionar una adecuada coordinación y solución ambiental en el presente caso.

POR TANTO,

Al Sr. Superintendente del Medio Ambiente respetuosamente pido: tener por acompañados los documentos individualizados.


OSCAR DÍAZ DEL CAMPO
ASESOR JURÍDICO I.M.A.



Santiago, seis de septiembre de dos mil veintiuno.

A los escritos folios N° 69509-2021 y 69510-2021: estése a lo que se resolverá.

Vistos:

Se reproduce la sentencia en alzada, con excepción de sus motivos quinto a noveno, que se eliminan.

Y se tiene, en su lugar y, además, presente:

Primero: Que comparece en estos autos el abogado Camilo Durán Carvajal, en representación de don Germán Enrique Valenzuela Opazo, de la Unidad Vecinal Número 33 Puntra; don Andrés Pinto Espinosa, en representación de doña Consuelo del Carmen Cárdenas Barría, de don Jorge Claudio Andrade Aude, y de la Corporación Educacional Alla Mapu y don David Silva Johnson, en representación de doña Paula Inés Troncoso Cruz, y de la "Fundación Parque Ahuenco" e interponen recurso de protección en contra de la Jefa de la Oficina Provincial de Chiloé de Salud de Los Lagos y en contra de la I. Municipalidad de Ancud, representada por su Alcalde don Carlos Gómez Miranda.

Fundan su recurso en los actos ilegales y arbitrarios en que se incurrió al dictar la Resolución Sanitaria N°15.932 de fecha 27 de agosto de 2020 de la Jefa de la Oficina Provincial de Chiloé, que aprueba la Modificación de Proyecto Sitio de Disposición Transitorio Puntra, comuna de Ancud; la dictación de la Resolución Exenta CP N°16186/2020 de fecha 1 de septiembre de 2020,



emitida por la Seremi de Salud, que autoriza a disponer residuos sólidos domiciliarios generados en Ancud en sitio de disposición transitoria Puntra El Roble, comuna de Ancud; y el Acuerdo que aprueba Presentación de modificación de proyecto relleno sanitario de Puntra El Roble, por parte del titular del proyecto Municipalidad de Ancud, tomado en Sesión N°136 de 7 de septiembre de 2020, para la construcción de una sobrecelda en el vertedero Puntra El Roble.

Estiman que el actuar de las recurridas resulta vulneratorio de sus derechos constitucionales consagrados en los numerales N°2 y 8 del artículo 19 de la Constitución Política de la República, razón por la cual solicitan la paralización inmediata de las obras y que se disponga que las recurridas deberán actuar con estricta sujeción a la normativa ambiental, ordenándose el retiro de los desechos sólidos domiciliarios que, en forma transitoria, se ha ordenado disponer en el predio de "Puntra El Roble" desde el 11 de enero de 2020.

Segundo: Que constan como antecedentes de la causa, los siguientes:

a) Que el acto ilegal y arbitrario denunciado corresponde a la dictación de la Resolución Sanitaria N°15.932 de fecha 27 de agosto de 2020 de la Jefa de la Oficina Provincial de Chiloé, que aprueba la Modificación de Proyecto Sitio de Disposición Transitorio Puntra; la



Dictación de la Resolución Exenta CP N°16186/2020 de fecha 1 de septiembre de 2020, dictada por la Seremi de Salud, que autoriza a disponer residuos sólidos domiciliarios generados en Ancud en sitio de disposición transitoria Puntra-El Roble; y el Acuerdo que aprueba Presentación de modificación de proyecto relleno sanitario de Puntra El Roble, por parte del titular del proyecto Municipalidad de Ancud, tomado en Sesión N°136 de 7 de septiembre de 2020, para la construcción de una sobrecelda en el vertedero Puntra El Roble.

b) Que no es controvertido por las partes que, ante la falta de disposición de los residuos domiciliarios generados en la comuna de Ancud y ante el riesgo sanitario inminente para la salud de las personas, el Ministerio de Salud, mediante Decreto Supremo N°12 de 12 de abril de 2019 declaró alerta sanitaria en la Provincia de Chiloé, la que fue prorrogada por Decreto Supremo N°18 de 1 de junio de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2019. Posteriormente, por Decreto Supremo N°64 de 24 de diciembre de 2019 se prorrogó hasta el 30 de junio de 2020, para finalmente, por Decreto Supremo N°22 de fecha 30 de junio de 2020, prorrogarse hasta el 5 de febrero de 2021.

c) Que no se controvierte, tampoco, que en ese contexto se instruyó a la I. Municipalidad de Ancud para que informara de un lugar de disposición de los residuos,



siendo presentado con fecha 24 de diciembre de 2019 el de Disposición Transitoria de Puntra, que luego de ser observado con fecha 26 de diciembre de 2019 y 9 de enero de 2020, finalmente fue aprobado por Resolución N°2 de 10 de enero de 2020 de la Jefa Provincial de la SEREMI de Salud de Chiloé.

d) Que no se discute por las partes que al momento de autorizarse el sitio de Disposición Transitorio de Puntra antes referido, no constaba que el proyecto hubiese dado cumplimiento a lo dispuesto en la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medioambiente, habiéndosele otorgado al titular, conforme a la Resolución N°2 del 10 de enero de 2020 ya citada, un plazo de 90 días corridos para que acreditara ante la autoridad sanitaria el inicio del proceso de evaluación ambiental señalado en dicha resolución.

e) Que por Resolución Exenta N°1048 de 23 de junio de 2020 emitida por la Superintendencia de Medio Ambiente, se requirió el ingreso del relleno "Puntra-El Roble" al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, donde la Municipalidad presentó un cronograma de ingreso y solicitó autorización para continuar con la operación transitoria del relleno sanitario de marras, mientras se mantenga vigente la Alerta Sanitaria por problema de desechos domiciliarios y por Covid-19, lo que fue aprobado mediante



Resolución Exenta N°1301 de fecha 30 de julio de 2020 emitida por la Superintendencia del Medio Ambiente.

f) Que la Resolución Exenta N°1301, ya citada, fue reclamada de ilegalidad en virtud del artículo 56 de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, lo que dio origen a la causa Rol N° R- 26-2020, siendo lo pedido en dicho recurso, que se declare que el acto administrativo impugnado no se ajusta a la legislación vigente, procediendo a su anulación o modificación, por autorizar el funcionamiento de un vertedero cuyos impactos no han sido evaluados ambientalmente y que estaría produciendo efectos nocivos para el medio ambiente y la salud de las personas.

Tercero: Que la sentencia apelada, para efectos de rechazar el recurso, tuvo por acreditado, en su considerando tercero, que al momento de ser aprobado el proyecto de relleno sanitario de marras, mediante Resolución N° 2 de 10 de enero de 2020 de la Jefa Provincial de la SEREMI de Salud de Chiloé, éste efectivamente no había sido sometido al sistema de evaluación de impacto ambiental, como lo requiere la norma ya citada, y como advirtió la propia SEREMI de Salud en la parte resolutive de su Resolución.

A este respecto, los sentenciadores razonaron en el sentido de que si bien lo anterior denota un incumplimiento de la normativa sectorial y medioambiental,



no es menos cierto que la autorización del funcionamiento del Sitio de Disposición Transitoria Puntra El Roble, Etapa 2, lo ha sido en el marco de las facultades extraordinarias de la SEREMI de Salud y que le otorgan los Decretos de Alerta Sanitaria dictados al efecto, esto es, artículo 36 del Código Sanitario y en los Decretos de Alerta Sanitaria N° 12 de fecha 12 de abril de 2019; N° 18 de fecha 30 de mayo de 2019; N° 64 de fecha 24 de diciembre de 2019; y N° 22 de fecha 30 de junio de 2020, complementadas con las distintas Resoluciones dictadas por la SEREMI de Salud, que han autorizado el referido funcionamiento

Así las cosas, se concluye en el fallo impugnado que el funcionamiento actual del relleno sanitario se encuentra amparado en una autorización sectorial, dada la situación de contingencia que lo motivó, como es, la alerta sanitaria y la actual pandemia por Covid-19, y sin perjuicio que, dicho amparo excepcional, acabará una vez que finalice el plazo otorgado por la Autoridad Sanitaria, momento en que será aplicable lo dispuesto en el artículo 8 de la Ley N° 19.300.

De otra parte, agrega la sentencia en alzada, consta en estos antecedentes mediante Ord. IMA N° 1110 de fecha 21 de julio de 2020, que la Municipalidad de Ancud procedió a dar cumplimiento a la exigencia de la presentación del cronograma requerido mediante la



Resolución Exenta N° 1048/2020, indicando un programa de trabajo donde se detallan los hitos del desarrollo del proyecto.

Finalmente, expresan los sentenciadores que junto a lo anterior, también debe tenerse en consideración que la ilegalidad del proceso que denuncian los recurrentes se encuentra sometido al imperio del derecho, señalando que el conocimiento del asunto sustantivo que sirve de fundamento a la acción constitucional deducida en estos autos, se encuentra actualmente radicado en el Tercer Tribunal Ambiental de Valdivia.

Cuarto: Que, primeramente, cabe consignar que el artículo 2 del Decreto N° 12 del 12 de abril de 2019, que declara la Alerta Sanitaria, otorga ciertas facultades extraordinarias a Secretaría Regional Ministerial de Salud, dentro de las cuales se encuentra, en su numeral 4, lo siguiente:

Instruir a la Municipalidad de Ancud para que:

a) Establezca a la brevedad un plan de emergencia con los requerimientos mínimos señalados por la autoridad sanitaria.

b) Informe a la población el plan de emergencia que adopte.

c) Distribuya a los vecinos los insumos apropiados para guardar la basura.



d) Disponga en la vía pública los contenedores que serán utilizados por la población.

e) Informe a los vecinos el lugar donde están emplazados dichos contenedores y los días y horario en que pasarán los camiones de recolección.

f) Contrate servicios de desinfección contra vectores de interés sanitario.

g) Transporte y disponga de los residuos recolectados en **lugares transitorios de disposición de desechos**, los que serán autorizados para tales efectos por la Secretaría Regional Ministerial de Salud de Los Lagos.

De esta manera, y al tenor de la letra g) recién transcrita, resulta evidente que la facultad que en dicho precepto se contiene se encuentra acotada en el tiempo, debiendo tratarse, por ende, del transporte y disposición de residuos en "*lugares transitorios de disposición de desechos*".

Quinto: Que, no obstante lo anterior, los actos administrativos que se han dictado a lo largo del tiempo respecto del vertedero ubicado en Puntra evidencian que, en la práctica, la autoridad administrativa ha autorizado el avance por etapas de un sitio de disposición final -y no transitorio- de residuos. De esta intención dan cuenta, por ejemplo, los siguientes antecedentes: 1. Decreto Alcaldicio N° 4.172 de fecha 13.12.2019 de la Ilustre Municipalidad de Ancud que calificó como caso de urgencia



y emergencia la contratación directa del servicio "Construcción, habilitación, operación y mantención del depósito para disposición final de residuos sólidos domiciliarios de la comuna de Ancud". 2. Decreto Alcaldicio N° 4.207 de fecha 18.12.2019 de la Ilustre Municipalidad de Ancud que autorizó la contratación bajo la modalidad de trato directo, de la empresa Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA, RUT N° 76.473.150-6 para la ejecución del servicio "Construcción, operación depósito para disposición final de Residuos Sólidos Domiciliarios". 3. Decreto N° 4.280 de fecha 26.12.2019 de la Ilustre Municipalidad de Ancud que autorizó el contrato Construcción, operación depósito para disposición final de Residuos Sólidos Domiciliarios. 4. Escritura Pública de fecha 17 de diciembre de 2019 Repertorio N° 2767- 2019 de la Notaría de Ancud, en que consta el contrato de usufructo por 20 años constituido a favor de la Municipalidad de Ancud, para la operación de un centro de residuos domiciliarios.

Así las cosas, la SEREMI de Salud, estando habilitada para autorizar un sitio de disposición **transitorio**, ha autorizado, en los hechos, la construcción, habilitación y mantención de un sitio de disposición final de residuos, aprobando, a través de diversas resoluciones, su habilitación por etapas, lo que claramente se traduce en una "desviación de poder".



Sexto: Que, por otro lado, debe tenerse en consideración que lo controvertido en estos autos es la legalidad de dos resoluciones dictadas por la SEREMI de Salud de Los Lagos y un acuerdo del Concejo Municipal de Ancud, referidos a la aprobación de una sobrecelda que modifica el proyecto originalmente aprobado, y no tienen, por tanto, relación directa con la resolución de la SMA reclamada ante el Tercer Tribunal Ambiental de Valdivia, la que dice relación con la construcción de la zanja inicial preparada para la disposición de desechos domiciliarios. En consecuencia, aquello que se decida por el Tribunal Ambiental de Valdivia no trae necesariamente aparejadas consecuencias jurídicas respecto de los actos administrativos que fundamentan el recurso de autos y que son posteriores a la resolución de la Superintendencia del Medio Ambiente impugnada ante dicho tribunal.

Séptimo: Que debe destacarse, asimismo, que la obligación del titular del proyecto, esto es, la Municipalidad de Ancud, de cumplir con las disposiciones establecidas en la Ley 19.300 ya le había sido manifestada con anterioridad. Así, por ejemplo, con fecha 10 de enero de 2020 la Jefa Provincial de Salud aprobó el proyecto denominado "Sitio de Disposición Transitorio Puntra" mediante la Resolución N°2, señalando en su parte resolutive que: "7. Se deja establecido que sin perjuicio de las facultades extraordinarias otorgadas a esta



autoridad sanitaria de acuerdo a la declaración de Alerta Sanitaria para la Provincia de Chiloé conferidas por decreto Supremo N° 12 de 12 de abril de 2019 y prorrogadas por los decretos 18 y 64 de 2019, es de responsabilidad del titular del proyecto dar cumplimiento con la ley 19.300 y sus reglamentos. 8. Otórguese al titular del proyecto un plazo de 90 días corridos para que acredite ante esta autoridad sanitaria el inicio del proceso de evaluación ambiental señalada en el numeral anterior”.

Octavo: Que, en este contexto, menester es recordar que esta Corte, a través de sentencia pronunciada en Rol N° 79.635-2020, con fecha 28 de julio de 2020, expresó que resulta evidente que la orden de la Seremi de Salud, entregada a través de la Resolución N°2 ya citada, no ha sido cumplida a la fecha, con el consiguiente riesgo, tanto para el medio ambiente como para la salud de las personas que habitan o realizan actividades cercanas al emplazamiento del relleno sanitario Puntra. Y en la misma oportunidad esta Corte dispuso, entre otras cosas, “que la Superintendencia del Medio Ambiente y la Seremi de Salud de la Región de Los Lagos, deberán coordinarse para ejercer de manera eficaz y oportuna, cada una de ellas, las funciones que la ley les encomienda, a fin de adoptar de manera conjunta las medidas pertinentes que conduzcan a la resolución efectiva y global de este conflicto”,



cuestión que, habiendo transcurrido un año desde la fecha de tal sentencia, aún no acontece.

Noveno: Que, por último y vinculado a lo dicho en precedencia, debe tenerse presente que las facultades de la autoridad de salud, aún en situaciones de alerta o emergencia sanitaria, no habilitan para eludir la aplicación de preceptos legales, y por tanto de mayor jerarquía, como los atinentes al proyecto de que se trata y que se encuentran establecidos en la Ley N°19.300 y demás normativa aplicable.

Décimo: Que, conforme a lo razonado, los actos administrativos impugnados a través del recurso de autos son arbitrarios e ilegales y vulneran el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación que el artículo 19 N°8 de la Constitución Política de la República asegura a los recurrentes.

Por estas consideraciones y de conformidad, asimismo, con lo dispuesto por el artículo 20 de la Constitución Política de la República y el Auto Acordado de esta Corte sobre tramitación del recurso de protección, **se revoca** la sentencia apelada de catorce de enero de dos mil veintiuno, dictada por la Corte de Apelaciones de Puerto Montt y, en su lugar, se declara que **se acoge** el recurso de protección deducido por los actores, ya individualizados, y se ordena:



(i) La paralización, una vez transcurrido el plazo de 90 días de ejecutoriada esta sentencia, del funcionamiento del vertedero Puntra - El Roble de la comuna de Ancud, por parte de la I. Municipalidad de Ancud, dejándose sin efecto su operación como lugar de acopio transitorio de residuos sólidos domiciliarios de la comuna de Ancud.

(ii) Que la Ilustre Municipalidad de Ancud y a la Seremi de Salud deberán actuar, en lo sucesivo, con estricta sujeción a un proyecto de construcción y operación elaborado, evaluado y aprobado con una Resolución de Calificación Ambiental, conforme a la normativa aplicable en materia ambiental y sanitaria.

(iii) El retiro, dentro del plazo de 90 días de ejecutoriada esta sentencia, de todo el pasivo ambiental (desechos sólidos domiciliarios) que en forma transitoria se ha ordenado disponer en el predio de "Puntra El Roble" desde el 11 de enero de 2020, donde opera ilegalmente un vertedero, de manera tal que dicho pasivo ambiental sea ubicado en un sitio de disposición final legalmente autorizado.

Regístrese y devuélvase.

Redacción a cargo del Abogado Integrante señor Alcalde.

Rol N° 6.811-2021.

Pronunciado por la Tercera Sala de esta Corte Suprema integrada por los Ministros (as) Sr. Sergio Muñoz G., Sra. Ángela Vivanco M., Sra. Adelita Ravanales A. y por



los Abogados Integrantes Sr. Enrique Alcalde R. y Sra.
María Angélica Benavides C.



Pronunciado por la Tercera Sala de la Corte Suprema integrada por los Ministros (as) Sergio Manuel Muñoz G., Angela Vivanco M., Adelita Inés Ravanales A. y los Abogados (as) Integrantes Enrique Alcalde R., Maria Angelica Benavides C. Santiago, seis de septiembre de dos mil veintiuno.

En Santiago, a seis de septiembre de dos mil veintiuno, se incluyó en el Estado Diario la resolución precedente.



INFORME TÉCNICO EXPERTO

ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA RETIRO DEL PASIVO AMBIENTAL EN RELLENO SANITARIO PUNTRA, COMUNA DE ANCUD.

Fecha: 13 de septiembre 2021

**INFORME TÉCNICO EXPERTO
RELLENO SANITARIO PUNTRA, ANCUD**

Prof. Dr. Ing. Marcel Szanto Narea

El suscrito Prof. Dr. Ing. Marcel Szanto Narea, con fecha 7 de septiembre de 2021 fue requerido por la Ilustre Municipalidad de Ancud para emitir una opinión experta, con análisis y recomendaciones técnicas para ejecutar el retiro del pasivo ambiental acumulado en el relleno sanitario transitorio Puntra, que deberá ser ubicado en un sitio legalmente habilitado para su disposición final, como ha ordenado la sentencia de la Corte Suprema.

RESUMEN

El relleno sanitario transitorio Puntra, de la comuna de Ancud, requiere elaborar un plan o procedimiento de retiro de todo el pasivo ambiental, para trasladarlo hacia otro sitio autorizado ambientalmente donde se pueda hacer su disposición final, dentro del plazo de 90 días, de acuerdo a la sentencia que ha dictado la Corte Suprema en su contra.

Sin embargo, desde un punto de vista técnico, es indispensable analizar el comportamiento de las variables físicas, biológicas y químicas que concomitan simultáneamente en un relleno sanitario conformando un pasivo ambiental, con procesos biológicos activos.

De los antecedentes de la Corte Suprema, Superintendencia del Medio Ambiente y Tribunal Ambiental tenidos a la vista, las condiciones actuales del relleno dan cuenta que existe un pasivo ambiental con actividad biológica, química y física, por lo que se encuentra sin estabilidad (descomposición por acción de bacterias o proceso de putrefacción de la materia orgánica) suficiente para emprender una acción de retiro como la requerida en el caso. Por esta circunstancia, se requieren adoptar medidas para estabilizar el material in situ de forma, anaerobia o aerobia, donde la actividad biológica produce la pasteurización del medio, permitiendo la destrucción de bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, la eliminación de los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos, dando lugar a un producto higienizado estable de forma previa a la operación de excavación y transporte.

En primer lugar, deben extraerse los lixiviados y caracterizarse, para determinar la humedad y saturación del relleno, y los parámetros de los lixiviados, determinación del biogás y comportamiento del lixigas, para poder establecer, fehacientemente, que al momento del retiro de la masa de residuos, su desplazamiento por la excavación o transporte no genere un riesgo mayor a la población, y a los recursos naturales de la zona con la actividad de bacterias y hongos entre otros, propias de la degradación de la materia orgánica. En segundo lugar, debe evaluarse los resultados del análisis estructural que se está desarrollando, para poder establecer las zonas que se encuentran estables para trabajos de cierre o retiro y las otras que requerirán de medidas de la autoridad para evitar un desplazamiento, como aconteció en el Relleno Santa Marta. En tercer lugar, la factibilidad de realizar un análisis geotécnico que permita proyectar la forma más segura de extraer todo el material acumulado, previa estabilización del terreno y de la masa de residuos. Así, será posible determinar el pasivo que es posible extraer y proceder a una clausura, sellado y rehabilitación del terreno, que es lo que recomienda actualmente la literatura especializada y los casos comparados. El retiro del material en proceso de degradación activa o sin estabilidad,

omitiendo lo señalado, solo genera un grave riesgo al medio ambiente a la salud de la población, y en especial, en el lugar donde se realice el retiro y donde el material activo sea depositado.,

Estas medidas se condicen con la metodología básica aplicable a los procesos de cierre o clausura, sellado y rehabilitación de rellenos sanitarios o vertederos. Los potenciales riesgos involucrados en una operación de retiro del pasivo ambiental son altos. Sin estas medidas y evaluaciones, por la actividad biológica y química actual, solo profundizará la brecha ambiental de la zona con riesgos a las variables ambientales.

Adicionalmente, se recomienda determinar que las actividades de cierre se deben relacionar con aquellas necesarias para la rehabilitación del terreno, pues se trata de dos aspectos interdependientes. Para ello el país cuenta con una guía para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, para aplicar un saneamiento que devuelva a las condiciones originales el suelo intervenido.

En síntesis, se proponen tres medidas a desarrollar para que se pueda cumplir, en términos seguros desde un punto de vista técnico ambiental y sanitario, con el retiro y traslado de todo el pasivo ambiental del relleno: 1. La estabilización del pasivo para asegurar el retiro y disposición en condiciones de seguridad; 2. Un análisis geotécnico del recinto, para proyectar los fenómenos físico-químicos que, actualmente, tienen lugar en el relleno; 3. La caracterización de los lixiviados y biogás, para determinar los requerimientos técnicos del sitio de disposición final al que debe trasladarse el pasivo ambiental.

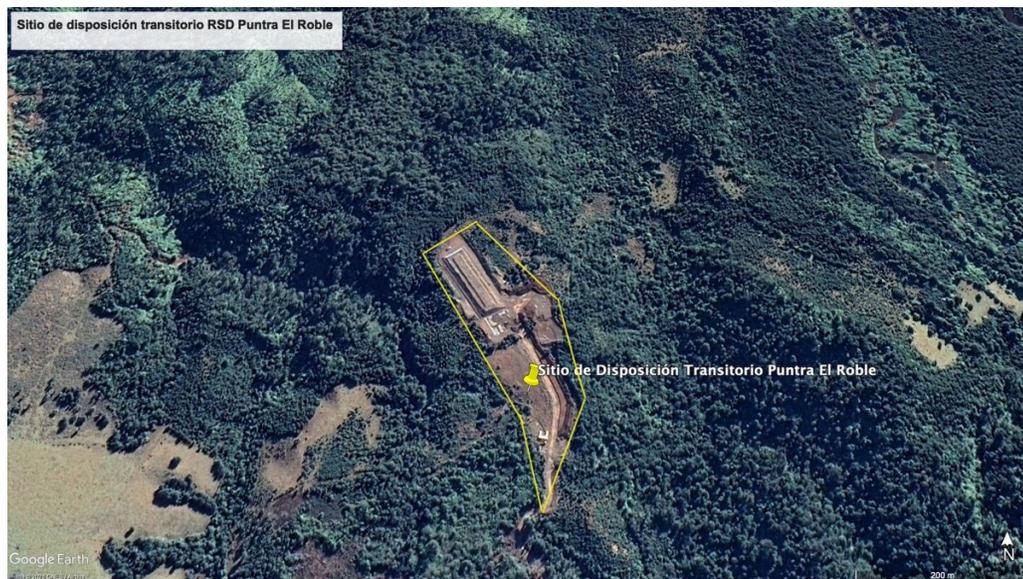
RESUMEN.....	2
1 DESCRIPCIÓN, UBICACIÓN, ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO TRANSITORIO PUNTRA DE ANCUD.	5
1.1 Descripción del relleno sanitario.....	5
1.2 Ubicación del relleno sanitario.....	6
1.3 Antecedentes sobre la operación del relleno sanitario y su estado actual.	6
2 CONCEPTOS GENERALES SOBRE LOS RELLENOS SANITARIOS Y EL CASO DE ANCUD.	8
2.1 Evolución de la gestión de residuos sólidos urbanos se comprenden la generación, almacenamiento, recolección y disposición final.	8
2.2 Los pasivos ambientales y aquellos relacionados con los rellenos sanitarios.....	10
2.3 Las etapas de degradación o procesos biológicos del relleno sanitario con relación al riesgo medio ambiental y sanitario y el surgimiento del pasivo ambiental estabilizado.	11
2.4 Recomendaciones para la adopción de medidas que debe adoptar la Municipalidad de Ancud para cumplir la sentencia de la Corte Suprema, con el menor riesgo sanitario y ambiental que se relacionan a la etapa del Relleno Sanitario.	15
3 CONDICIONES NECESARIAS PARA DESARROLLAR ADECUADAMENTE LA OPERACIÓN DE CIERRE, SELLADO Y REINSERCIÓN DE RELLENOS SANITARIOS.	17
3.1 Metodología básica de cierre o clausura de rellenos sanitarios y la importancia de los análisis geotécnicos.	18
3.1.1 Los análisis para el cierre o clausura de un relleno sanitario.....	18
3.1.2 Los elementos del cierre de rellenos sanitarios.....	19
3.2 Las opciones para recuperar y reinsertar el terreno de rellenos sanitarios.	21
4 DIAGNÓSTICO, PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS DE ACCIONES Y MEDIDAS PARA REALIZAR EL RETIRO DEL PASIVO AMBIENTAL Y REUBICARLO PARA SU DISPOSICIÓN FINAL, CONSIDERANDO EL ESTADO ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO TRANSITORIO PUNTRA	21
ANEXO I: ANÁLISIS DE CASOS COMPARADOS DE EMERGENCIAS EN RELLENOS SANITARIOS.....	26
ANEXO II: EJEMPLOS GRÁFICOS.....	40
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	46

1 DESCRIPCIÓN, UBICACIÓN, ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO TRANSITORIO PUNTRA DE ANCUD.

1.1 Descripción del relleno sanitario.

El sitio de disposición transitorio de residuos sólidos domiciliarios o relleno sanitario transitorio Puntra, cuyo titular es la I. Municipalidad de Ancud, corresponde a un proyecto que se implementó de forma provisional, en el contexto de una Alerta Sanitaria, declarada por el Ministerio de Salud para toda la Provincia de Chiloé, por la falta de lugares autorizados para disponer los residuos de la comuna de Ancud.

El recinto cuenta con una superficie total de 4.0 hectáreas y un camino de acceso de 0.45 hectáreas, las que se pueden dimensionar con la siguiente imagen satelital:



El proyecto contempló un área de disposición final, un sistema de impermeabilización, un sistema de manejo y tratamiento de lixiviados, un sistema de manejo de biogás, un sistema de intercepción perimetral de escorrentías superficiales y un cierre perimetral.

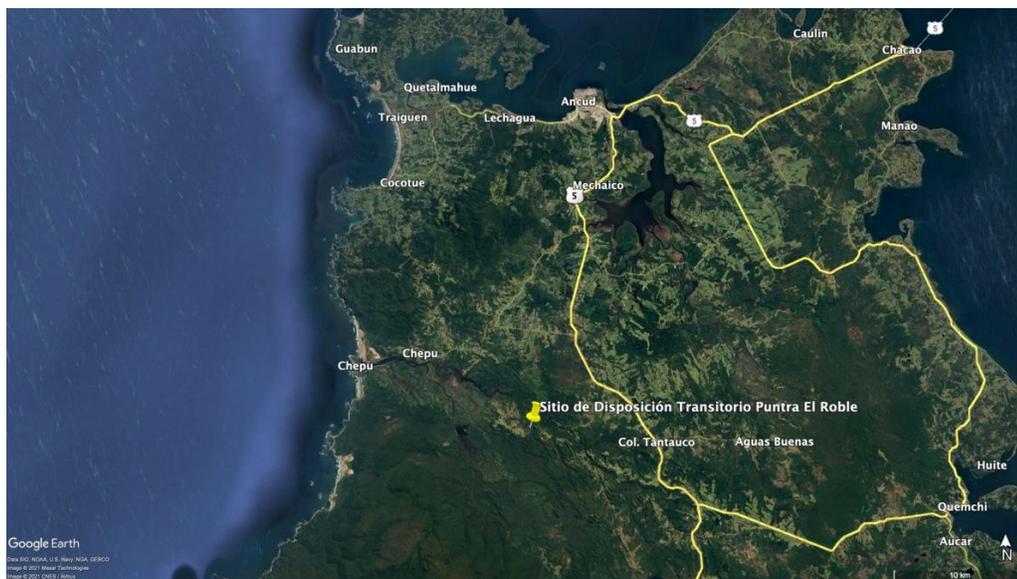
El recinto ha operado, únicamente, para recibir residuos sólidos domiciliarios de la comuna de Ancud, de conformidad a los estándares de operación vigentes en la normativa sanitaria, depositándolos al interior de la zanja habilitada, para su posterior compactación y cobertura diaria, entre los meses de enero de 2020 y junio de 2021. Lo anterior, es fundamental porque se trata de un pasivo ambiental con actividad biológica activa que dificulta su traslado por el tiempo que lleva funcionando.

Finalmente, de acuerdo a los antecedentes que existen, en todo el transcurso de tiempo en que el relleno sanitario estuvo en operaciones, recibió 16.248 toneladas de residuos sólidos

domiciliarios, los cuales recibieron una cobertura de tierra por una cantidad de 3.250 toneladas.

1.2 Ubicación del relleno sanitario.

El relleno sanitario transitorio Puntra, de Ancud, está localizado en el kilómetro 6,9 de la ruta pública W-352, que une los sectores rurales de Puntra y El Roble, ambos de la misma comuna. De acuerdo a sus coordenadas geográficas representativas (Norte=5.339.265,63m Sur; Este=593.243,82m Este UTM WGS84), se emplaza en la siguiente ubicación:



1.3 Antecedentes sobre la operación del relleno sanitario y su estado actual.

El relleno sanitario comenzó sus operaciones durante el mes de enero de 2020, luego que se aprobara el proyecto presentado por la Municipalidad de Ancud y, además, se autorizara el funcionamiento como lugar transitorio de disposición de residuos por parte de la SEREMI de Salud de Los Lagos, autorizaciones que se fundan en las medidas de alerta sanitaria de la localidad.

Con posterioridad, la Superintendencia del Medio Ambiente requirió que el proyecto fuera evaluado ambientalmente, permitiendo la continuidad de las operaciones transitorias en atención a la Alerta Sanitaria declarada por el Ministerio de Salud. Luego, el 25 de junio de 2020, consideró necesario que se implementaran medidas para el manejo de aguas lluvias al interior de la zanja y en los canales perimetrales, para el manejo de los residuos sólidos dispuestos y para asegurar el cierre perimetral del sitio. Medidas que la Municipalidad informó de su ejecución a la autoridad ambiental.

En el mes de noviembre de 2020, cumpliendo con su cronograma, la Municipalidad de Ancud presentó el proyecto de relleno sanitario Puntra a evaluación ambiental. Sin embargo, en febrero de 2021, dicho proceso concluyó anticipadamente por decisión del Servicio de Evaluación Ambiental de Los Lagos.

Mientras tanto, con la autorización de la SEREMI de Salud de Los Lagos, el relleno sanitario continuó sus operaciones, hasta día 1 de julio de 2021, fecha en que se paralizó la recepción

y disposición de residuos en el recinto. Días después, la Municipalidad de Ancud presentó un nuevo proyecto a evaluación ambiental, estimando una vida útil de 4,5 años, incluyendo los 1,5 años de operación transitoria en ese cálculo.

Sin embargo, el 3 de julio de 2021, la Superintendencia del Medio Ambiente estimó necesario disponer una serie de medidas relacionadas al manejo de lixiviados, debido a los altos niveles de acumulación detectados y a la cantidad mezclada con las aguas lluvias. En esa oportunidad, también ordenó medidas para el cierre del área de disposición, una vez que los lixiviados fueran extraídos y llegaran a niveles de seguridad.

Por su parte, el Tribunal Ambiental de Valdivia resolvió que el relleno sanitario debía mantener sus operaciones paralizadas, permitiendo únicamente que se realizaran las actividades de gestión ambiental y de cumplimiento de las medidas dictadas por la Superintendencia del Medio Ambiente.

Luego, el 17 de agosto de 2021, la Superintendencia nuevamente actuó y determinó la realización de las medidas de extracción diaria de todos los líquidos lixiviados mezclados con aguas lluvias que se encuentren al interior de la zanja, la medición diaria de los niveles piezométricos, la presentación de un balance hídrico de los últimos seis meses de actividad en el recinto, la caracterización de los lixiviados y, además, la realización de un análisis de estabilidad estructural de la totalidad de la zanja y su adecuación de los residuos en la actualidad.

Los antecedentes son elocuentes y la actualidad de ellos indica que estamos en presencia de un caso con altos niveles de actividad biológica y química, particularmente manifestado en la cantidad de lixiviados que se producen, mezclándose con las aguas lluvias acumuladas, de acuerdo a las características de la zona geográfica en que se ubica el relleno. Asimismo, se consta con información relacionada a una posible ausencia de estabilidad estructural de la zanja y la falta de análisis sobre los parámetros de los lixiviados para determinar su peligrosidad.

Las medidas que se encuentran en ejecución, por parte de la Municipalidad, permiten estimar que la situación actual del relleno sanitario transitorio Puntra no goza de suficiente estabilidad para garantizar un retiro seguro de los residuos. Por lo mismo, debe ser prioritario continuar con la ejecución de las medidas relativas al manejo, extracción y caracterización de los lixiviados.

Luego, sumado a los resultados del análisis de estabilidad estructural, se podrá determinar, con exactitud, las condiciones en que se encuentran el relleno sanitario y, en especial, el estado de degradación de los residuos acumulados en el recinto.

Esto último es de suma importancia, especialmente, porque los estudios especializados en estabilidad de rellenos sanitarios vinculan los riesgos de deslizamientos de las masas de residuos a casos con altos niveles de saturación o altos niveles de lixiviados al interior de la masa del relleno, que es justamente el caso de Puntra.

Por estas circunstancias, desde el punto de vista técnico que se expondrá en este Informe, se justifica la necesidad de implementar medidas especiales para asegurar la estabilización del material acumulado, las cuales deben desarrollarse como un procedimiento previo a la

ejecución del retiro de todo el pasivo ambiental, para evitar los riesgos potenciales de desplazamiento de la masa de residuos e, incluso, descartar el peligro de accidentes por el desconocimiento sobre las características actuales de la degradación activa en que se encuentra el relleno sanitario.

2 CONCEPTOS GENERALES SOBRE LOS RELLENOS SANITARIOS Y EL CASO DE ANCUD

2.1 Evolución de la gestión de residuos sólidos urbanos se comprenden la generación, almacenamiento, recolección y disposición final.

Los residuos sólidos, producidos en los diferentes núcleos urbanos, deben gestionarse procediendo a un manejo o almacenamiento intraedificacional o periedificacional, para ser posteriormente recolectados, transportados y finalmente ser sometidos a algún procedimiento de tratamiento final, como el denominado vertedero o relleno sanitario

Históricamente, los Rellenos Sanitarios o Vertederos Controlados han sido el sistema de tratamiento final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que ha ofrecido las mejores soluciones técnicas, económicas y sanitarias, para resolver un problema social.

El Relleno Sanitario es la técnica más usada en América Latina y el Caribe. Este método que permite depositar residuos en el suelo, sin causar perjuicio al medio ambiente, molestias o peligro para la salud y seguridad pública, siendo un método que utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en un área lo menor posible, reduciendo su volumen y cubriéndolos con una capa de cobertura diaria (ASCE 1997).

Parece simple cumplir con esta definición, para que la operación de los mismos se haga sin riesgo o con una cuota aceptable de éste. Sin embargo, una variable compleja que se debe tomar en cuenta para el manejo de un relleno sanitario moderno es la Geotecnia, que cubre aspectos relacionados con:

- a) la estabilidad del suelo de fundación y la de los taludes;
- b) las características del material para el recubrimiento de los residuos;
- c) las condiciones para el sellado de fondo, lateral y superficial de la obra;
- d) la determinación de la compresibilidad, capacidad portante y estabilidad de la masa y las características del material para el recubrimiento de los residuos;
- e) las condiciones para el sellado de fondo, lateral y superficial de la obra;
- f) la determinación de la resistencia del terreno
- g) la evolución de los parámetros resistentes con el tiempo, entre otras.

Además, una especial consideración se debe tener con el diseño del relleno, calculando y desarrollando un balance hídrico, que incluye la humedad de los residuos, los que influirán en la degradabilidad de la masa. Esta degradabilidad, con la generación de biogás en condiciones de anaerobia, generará líquidos percolados que en la interacción de la masa conforman el denominado lixigas.

La gestión de residuos sólidos urbanos implica deberes a la autoridad, sobre el almacenamiento, recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos. Esta última etapa recibe la denominación de relleno sanitario que, dada la complejidad que tienen como obra civil, en su diseño deben considerar variables físicas, químicas y biológicas que actúan simultáneamente, diseñando su operación, cierre, sellado y reinscripción. Actualmente en el país, el desarrollo de dichos proyectos, su operación y cierre requieren de autorizaciones sanitarias y ambientales, como es la Evaluación Ambiental de la Ley N° 19.300.

La obligatoriedad de otorgar un servicio de manejo de residuos sólidos nace en el mundo como una imperiosa necesidad al determinarse las afecciones a la salud de las personas.

En el mundo desarrollado, el tratamiento de los residuos sólidos urbanos más habitual ha sido el depósito en vertederos o rellenos sanitarios. Es normal también conocer la disposición final como vertido controlado. En este tipo de instalaciones se recibe la totalidad de los residuos en el caso de América del Sur y el Caribe.

Las ciudades necesitan depositar los residuos sólidos que generan en algún lugar, más aún si esta producción crece año a año, y se sigue intentando hacerlo en un lugar próximo a la urbe lo que implica, tomar resguardos para no dañar la salud de las personas y la calidad del medio ambiente.

Esta necesidad, a medida que las sociedades se han desarrollado, se ha transformado en un proceso capaz de ser gestionado desde diversos focos.

En Chile, la gestión de los residuos recae en los municipios, bajo la responsabilidad de una adecuada gestión, situación que queda establecida en el Código Sanitario, por tratarse de un problema de salud que afecta a la población. De igual forma, la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades establece como función privativa del Municipio la gestión de sus residuos. Lo señalado, se ha complementado con la Ley N° 21.074 que reformó la Ley N° 19.175, agregando al Gobierno Regional en la determinación del lugar donde se dispondrán los RSU con el plan regional de ordenamiento territorial.

La disposición final en Chile, al igual que en América Latina y el Caribe, implementa la técnica del relleno sanitario que permite a la autoridad responsable resolver un tema sanitario. Esta responsabilidad Municipal, frente a la fiscalización de la autoridad de salud y luego bajo la nueva institucionalidad con la SMA (Superintendencia de Medio Ambiente), es la que permite al país evitar problemas de salud pública, con la responsabilidad de contener más de 22 enfermedades según lo determina la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA).

Según los últimos antecedentes que se pueden recoger de parte de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), se puede establecer que a nivel Nacional se han identificado 128 sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos activos. De igual forma se logra identificar 56 sitios que cesaron sus operaciones, incluidos los sitios con cierre planificado y/o ejecutado con resolución de calificación ambiental aprobada, así como aquellos que sólo cesaron sus operaciones a través del abandono y 13 proyectos de instalación en distintas etapas de desarrollo.

De los 128 sitios activos que se han logrado determinar en el catastro, que 30 responden a rellenos sanitarios, 8 rellenos manuales, 52 vertederos, y 38 basurales.

Los residuos sólidos nacen como un problema, principalmente por el alto contenido de materia orgánica la que, en una rápida descomposición, no solo atrae vectores sino afecta al aire al agua y por supuesto a los seres vivos.

Los rellenos sanitarios, como es posible observar, son una solución sanitaria de primer orden. Y su función para proteger la salud de las personas y el medio ambiente, es mantener confinado el residuo principalmente orgánico bajo un estricto diseño de ingeniería.

Es necesario recalcar que es una obra civil en ingeniería, que cumple con las etapas tradicionales del diseño, una ingeniería básica para llegar a una ingeniería de detalle donde se construye bajo una programación exacta en materialidad y desarrollo, para luego desencadenar en idénticas condiciones el proyecto de cierre, el proyecto de sellado y, finalmente, el proyecto de reinsertión.

Por otra parte, como cualquier obra civil, requiere de un análisis financiero, ambiental y social que tiene como objeto mejorar el bienestar de las personas que habitan esta tierra. Llama la atención entonces, al estudiar al relleno sanitario como una obra civil, la necesidad de conjugar la interacción de variables ambientales, físicas químicas, además de la política y económica.

Ningún proyecto de la ingeniería sanitaria u obra civil conocido debe diseñarse considerando fracciones absolutamente heterogéneas, como son los residuos sólidos capaces de complejizar la operación. En especial, porque de acuerdo a sus características deben manejar dos elementos simultáneos, como son los líquidos lixiviados o percolados y la generación de biogás, al que este investigador hace unos años le dio el nombre de lixigas.

Finalmente, a esta complejidad que se asimila al metabolismo humano, deben agregarse los conflictos sociales y políticos que generan, mientras se selecciona el lugar para establecer el relleno el que obviamente termina causando un pequeño impacto que arrastra como cualquier obra civil durante toda su vida útil.

2.2 Los pasivos ambientales y aquellos relacionados con los rellenos sanitarios.

Se denomina **pasivo ambiental** de un vertedero o un relleno sanitario de residuos sólidos domésticos a una obra de este tipo que, al final de su vida útil, **no haya desarrollado un proyecto de cierre, que haya hecho un cierre sin cumplir lo establecido en el reglamento de relleno sanitario DS. N° 189/2005.**

En general, el pasivo ambiental es un concepto que puede materializarse o no en un sitio geográfico contaminado por la liberación de materiales, residuos extraños o aleatorios, que no fueron remediados oportunamente y siguen causando efectos negativos al ambiente.

Así, el concepto de pasivo ambiental puede referirse a aquella situación ambiental que, generada por una actividad progresiva en el tiempo, alcanza una situación de riesgo al

ambiente y la calidad de vida de las personas. En otras palabras, se trata de un lugar o terreno impactado ambientalmente por una acción.

Frente a la existencia de pasivos ambientales, normalmente, es necesario recurrir no solo a una remediación o mitigación, sino también a mecanismos que permitan revertir los efectos provocados en el pasado. En el caso de los rellenos sanitarios, mediante acciones de control, sellado y reinserción.

Los pasivos ambientales son, pues, los problemas ambientales que un proyecto o actividad existente, en su condición actual, genera frente a terceros por su construcción o por la presencia de los mismos. Su condición de pasivos está relacionada con la pérdida del estado ambiental previo, que se puede recuperar solo en la etapa de reinserción

La valoración de los pasivos ambientales está directamente relacionada con la economía, la sociología y la biología, usándose principalmente dentro del marco legal y derechos de la naturaleza, así como en la responsabilidad ambiental humana de restar, en nuestro máximo esfuerzo y potencial, la huella ecológica en cualquier actividad realizada.

Finalmente, considerando la situación de los rellenos sanitarios, debe reflexionarse sobre las diferentes situaciones del pasivo ambiental con actividad biológica, química o física que se encuentra sin estabilidad, respecto de aquél que se encuentra en un estado inertizado o simplemente estabilizado, así es posible distinguir entre el pasivo estabilizado del pasivo con actividad biológica, química o física que se encuentra sin estabilidad o en degradación activa.

En general, encontramos que estos tipos de pasivos ambientales se mantienen con actividad durante muchos años, debiendo mantenerse controlados y en periódico análisis de seguimientos sobre sus condiciones. Es un pasivo ambiental sin actividad estable, con degradación química y biológica, principalmente.

Finalmente puedo establecer que la comunidad científica, refiriéndose a un relleno sanitario o vertedero lo define de la siguiente manera: se denomina pasivo ambiental de un vertedero o un relleno sanitario de residuos sólidos domésticos a una obra que, al final de su vida útil y finalizada su actividad, no haya desarrollado un proyecto de cierre o que haya hecho un cierre sin cumplir lo establecido en el reglamento de relleno sanitario DS. N° 189/2005.

Por lo tanto, podríamos considerar que un pasivo ambiental activo requiere la adopción de medidas permanentes del responsable que produjo esos efectos ambientales por sus actividades, por lo que debe considerar, posterior al fin de la vida útil, una etapa de cierre, sellado y reinserción, que permita estabilizar la masa, permitiendo una segura extracción o modificación geométrica de la misma.

2.3 Las etapas de degradación o procesos biológicos del relleno sanitario con relación al riesgo medio ambiental y sanitario y el surgimiento del pasivo ambiental estabilizado.

Se debe señalar que una de las cuestiones más complejas para simular se trata del comportamiento de la masa de residuos de un depósito controlado, que permita conocer la velocidad con la que se degrada la materia orgánica. Estas mediciones permiten establecer

el tiempo que tardará en lograrse la estabilidad orgánica, momento en el que se puede actuar para desarrollar su cierre, sellado y reinserción o remediación para dejar el suelo que actuó como biodigestor, con sus condiciones iniciales.

La degradabilidad que incide en el cálculo para determinar la actividad de la masa, entre otros factores, depende:

- a) del tipo de residuos;
- b) de la densidad;
- c) del tamaño de partícula;
- d) de la humedad;
- e) de la temperatura;
- f) del potencial de hidrógeno;
- g) del tiempo de vertido;
- h) de la disponibilidad de nutrientes;
- i) y de la presencia de microorganismos o la existencia de factores inhibidores, como el oxígeno, los metales o los sulfatos (Szanto, 1986; Lobo, 2003).

La degradación no ocurre por igual en toda la superficie del depósito, porque depende del tiempo y los residuos que se van depositando gradualmente. Por ello, en estas instalaciones existen algunas zonas que se encuentran en fase de degradación avanzada y otras, como el frente de vertido, que están en una fase de degradación inicial. Esto evidentemente es una importante consideración que determina el mayor o menor riesgo sanitario ambiental.

La degradación puede extenderse durante más de 20 años, siendo indispensable medidas permanentes del responsable durante el transcurso de la etapa de degradación, y para que se produzca, es necesario que en la masa de residuos del depósito se desarrollen varias especies de microorganismos, y para que ello sea posible, se deben reunir unas condiciones de humedad y temperatura determinadas.

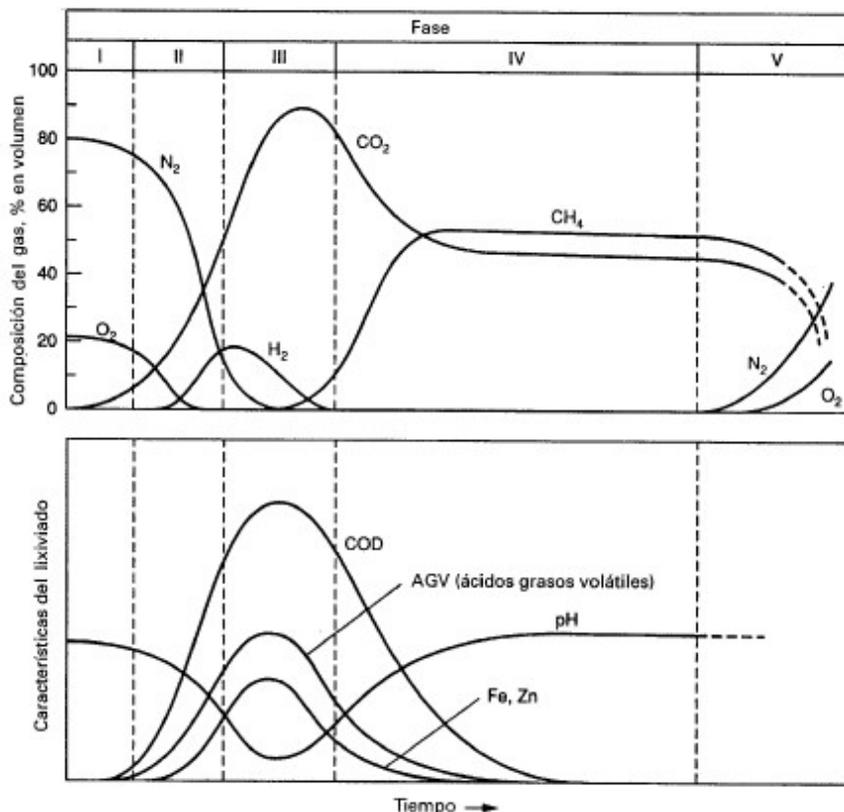
Cuando se inicia este proceso se producen, por una parte, biogás y lixiviado; por otra, procesos que terminan en asentamientos de la masa.

La descomposición se puede clasificar en función del nivel de oxígeno disponible en aerobia, mixta y anaerobia. En cada caso intervienen varios tipos de bacterias, comúnmente clasificadas en aerobias, facultativas y anaerobias.

El proceso completo se podría describir indicando que, en primer lugar, el sólido orgánico sufre un proceso de hidrólisis que produce polímeros más simples, proteínas, carbohidratos y lípidos compuestos. A continuación, estos polímeros son hidrolizados formando azúcares, aminoácidos y ácidos grasos volátiles con un elevado peso molecular.

Por una parte, los aminoácidos y azúcares son transformados en productos intermedios, como propiónico, butírico y otros ácidos volátiles que al fermentar generan ácido acético y amonio.

Por otra parte, los ácidos grasos de cadena larga se descomponen en subproductos intermedios como los mencionados e hidrógeno. Los productos resultantes, al final del proceso, son principalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). Hasta la fecha se han propuesto varias teorías que incluyen distintos números de etapas por las que atraviesa este proceso de descomposición, aunque generalmente se distinguen cinco (Szanto et al 1996, Tchobanoglous et al. 1994).



Fases I y II: Ajuste y transición

Las fases de ajuste y transición se inician en el momento en el que se vierten los residuos. En ellas se producen transformaciones aerobias y anóxicas que agotan el sulfato, los nitratos y el oxígeno. Esta etapa se extiende durante el primer mes y dan inicio a la producción de biogás y de lixiviados, provocando, además, un aumento considerable de temperatura en la masa de residuos. En este instante es necesario determinar la capacidad de campo, que obedece a la humedad óptima para la generación de metano. Una sobresaturación de la masa aumenta la presión de poro, generando riesgo de colapso y una anaerobiosis más lenta, que afecta a la degradabilidad, generando un pasivo de mayor actividad.

La temperatura de la masa puede superar los 70°C. Bajo estas condiciones, las reacciones químicas se antepone a las biológicas y ello puede originar incendios por combustión espontánea.

El Biogás, en este proceso de degradabilidad, presenta un elevado porcentaje de dióxido de carbono (CO₂) y cierta liberación de nitrógeno molecular (N₂), ácido sulfhídrico (SH₂) y ácidos orgánicos que afectan la composición del lixiviado.

Considerando los líquidos lixiviados o percolados, en esta etapa presentan un elevado poder contaminante. Valores altos de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅), pH neutro y un elevado potencial redox.

Fase III: Ácida

La fase ácida, también conocida como ácido anaeróbico, momento máximo de generación de biogás, se inicia cuando se agota el oxígeno disponible y es anterior a la generación de metano. Las condiciones anaerobias favorecen el desarrollo de dos tipos de bacterias, las acetogénicas que producen ácido acético y sulfuro, y las sulforeductoras que producen dióxido de carbono (CO₂) y gas hidrógeno (H₂). Esta fase puede extenderse durante años y de todos los componentes generados, el ácido acético, el dióxido de carbono y el hidrógeno son los necesarios para que se inicie la producción de metano (CH₄).

En esta etapa la Temperatura, se sitúa por debajo de los 45 °C porque la actividad de las bacterias responsables de degradación aerobia cesa por la ausencia de oxígeno.

El Biogás se produce con una máxima concentración de dióxido de carbono (CO₂) y en menor cantidad de hidrógeno (H₂).

Los "líquidos percolados o lixiviado" que presentan un poder contaminante muy elevado por la gran concentración de elementos pesados, compuestos orgánicos y pH ácido. Las condiciones ácidas del entorno aumentan la solubilidad de algunos nutrientes esenciales, como por ejemplo, hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), calcio (Ca) y magnesio (Mg), además de una elevada cantidad de materia orgánica parcialmente degradada.

En esta agresiva etapa observamos como se registran concentraciones de amonio debido a la degradación de materiales proteínicos. En esta fase los valores de DQO y DBO₅ continúan elevados y el pH puede descender por debajo de 5. Por su parte, el potencial redox también empieza a descender.

Fase IV: Metanogénica

En esta fase, tras descender la actividad acidogénica se empiezan a desarrollar bacterias metanogénicas que producen metano (CH₄). Se distinguen dos tipos principales, las que producen metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, y las que lo generan a partir de ácido acético. Esta fase finaliza cuando el contenido de materia biodegradable se agota, momento en el que la actividad disminuye y con ello la producción de biogás.

En esta etapa la temperatura continúa disminuyendo y se sitúa por debajo de los 30 °C.

El Biogás presenta una la concentración de dióxido de carbono que se estabiliza (60 – 40%) y aumenta la de metano (40 – 60%).

En esta etapa, el Lixiviado presenta una contaminación más elevada por acción de la descomposición, aunque la concentración de ácidos grasos volátiles desciende por su

transformación en CH₄ y CO₂. Esta situación conlleva un aumento progresivo del pH que llega a situarse en torno a 7 y una disminución de la presencia de metales pesados y otros componentes orgánicos. Los valores de DQO y DBO₅ empiezan a descender, pero continúan siendo elevados, así como los valores de conductividad y la concentración de amonio.

Fase V: Residual

Tras degradarse la materia orgánica fácilmente biodegradable las bacterias continúan su actividad con fracciones más complejas; por ejemplo, la celulosa y la hemicelulosa. Esta fase es mucho menos activa en cuanto a la generación de gases.

Su Temperatura se mantiene estable, aunque empieza a descender a medida que se va agotando toda la fracción biodegradable.

El Biogás disminuye y el caudal de biogás desciende, pero las concentraciones de CO₂ y CH₄ continúan manteniendo la misma proporción.

El Lixiviado inicia una etapa de contaminación descendente por la baja actividad de las bacterias metanogénicas que ya no disponen de fracciones fácilmente degradables. La concentración de DQO, DBO₅ y ácidos grasos desciende provocando que el valor del pH continúe elevándose hasta alcanzar valores de en torno a 8. En esta fase pueden aparecer compuestos de elevado peso molecular que son difíciles de disolver, por ello, el lixiviado presenta partículas finamente granuladas, además de componentes como el Hierro (Fe), Sodio (Na), Potasio (K), sulfatos y cloruros.

En esta etapa final del relleno, con un comportamiento como hemos mencionado anteriormente, el relleno podrá obtener una calificación de pasivo ambiental sin actividad, momento en el que se puede pensar en levantar el pasivo para cambiarlo de lugar o establecer un movimiento para modificar su geometría que implique un proyecto a la remediación final.

El relleno de Ancud es una masa de residuos de aproximadamente 18 toneladas dispuestas, bajo una densidad que puedo deducir entre 700 y 750 ton/m³, bajo condiciones de impermeabilización de la base, con adecuada cobertura, que significa unas 2 mil toneladas sometidas a recirculación, con deficiente operación por diversas circunstancias que desconozco.

La masa de residuos, probablemente se encuentra sobresaturada, producto de la recirculación o el aporte de agua lluvia, por deficiencia operacional, que se puede acreditar por la gran cantidad de lixiviados mencionados por la Superintendencia.

2.4 Recomendaciones para la adopción de medidas que debe adoptar la Municipalidad de Ancud para cumplir la sentencia de la Corte Suprema, con el menor riesgo sanitario y ambiental que se relacionan a la etapa del Relleno Sanitario.

El relleno de Ancud es una masa de residuos de aproximadamente 16.248 mil toneladas dispuestas bajo una densidad que puedo deducir, por la documentación aportada, entre 700 y 750 ton/m³, bajo condiciones de impermeabilización de la base, con suelo de

cobertura, que significa unas 3.250 mil toneladas adicionales. El relleno está sometido a recirculación, con deficiente operación, por diversas circunstancias que desconozco.

La masa de residuos, probablemente se encuentra sobresaturada, producto de la recirculación o el aporte de agua lluvia, por deficiencia operacional, que se puede acreditar por la gran cantidad de lixiviados mencionados por la Superintendencia. Asimismo, no existe información sobre la caracterización de los lixiviados y la estabilidad del relleno.

Conforme a lo solicitado por Municipio de Ancud, con el fin de dar cumplimiento al fallo de la Excelentísima Corte Suprema que ordena levantar el pasivo ambiental en 90 días, puedo señalar lo siguiente, sin que el suscrito haya tenido en cuenta la generación de un proyecto de ingeniería de cierre.

Habiendo tenido a la vista los antecedentes de la autoridad de salud y los documentos de la SMA, además de los antecedentes de monitoreo, puedo concluir que las condiciones señalan una deficiente operación. Y pese a que el proyecto responde a la legislación vigente, este se encuentra bajo riesgo por las siguientes condiciones:

1. La masa de residuos no responde a condiciones de cálculo de diseño de estabilidad, de acuerdo con los antecedentes de conformación;
2. La masa de residuos cambió de densidad por efecto de recirculación;
3. La falta de contención de escorrentías por deficiencia en diseño de canales de intercepción;
4. Sistema de recirculación sobre chimeneas de ventilación;
5. Por antecedentes de monitoreo, que no detecta metano, bajo el riesgo de detectar una bolsa de biogás.

Estas consideraciones básicas, permiten afirmar que se requiere de un adecuado sellado y reinserción o remediación del relleno Puntra. La situación en la que se encuentra, además de las muestras de laboratorio de biogás y líquidos percolados, no responden a una simple observación y juicio experto.

El plan de cierre y monitoreo debe ser acucioso para asegurar la pronta estabilidad para abatir todo riesgo ambiental. Los parámetros que deben ser abordados en las etapas siguientes corresponden a:

- Gestión de gases
- Gestión de lixiviados
- Gestión de Aguas Lluvias
- Mecánica de Suelos

Para alcanzar los objetivos exigidos, se debe desarrollar un estudio por las autoridades administrativas sanitarias y ambientales, para evitar un desastre ambiental, con las siguientes actividades metodológicas:



Queda en evidencia el riesgo que significa mover la masa orgánica en actividad en forma inmediata. El retiro total del pasivo se debe hacer cuando las condiciones biológicas, químicas y físicas correspondan a una estabilidad biológica, sin reactividad química y estable estructuralmente, donde el relleno habrá perdido entre un 20 y 30 por ciento de la masa y se encuentre en etapa de consolidación secundaria.

Los rellenos son proyectos sensibles operacionalmente, existiendo una larga lista que el suscrito ha tenido la posibilidad de evaluar, para incorporarlo no solo en la normativa local, sino en la internacional.

Lo señalado en este capítulo será complementado en lo referente al diagnóstico y propuestas.

3 CONDICIONES NECESARIAS PARA DESARROLLAR ADECUADAMENTE LA OPERACIÓN DE CIERRE, SELLADO Y REINSERCIÓN DE RELLENOS SANITARIOS.

Como he tenido oportunidad de analizar, junto a las destacadas profesoras e investigadoras de residuos sólidos, doña Amaya Lobo García de Cortázar y doña Susana Llamas (Lobo de Cortázar et al., 2016), al final de cualquier estrategia de gestión de un relleno sanitario o vertedero, los residuos deben quedar almacenados en un sitio de disposición final.

Además, como ya se ha expresado en el apartado anterior, en todos los esquemas de gestión de residuos, el depósito en el terreno debe ser el punto final, luego que se haya intentado reutilizar, reciclar o aprovechar energéticamente los residuos.

Ahora bien, para una adecuada disposición final, se requiere un diseño y una operación que evite la producción de graves impactos, como puede ocurrir con:

- a) La migración libre de lixiviados que contamine cursos de agua superficiales o subterráneas;
- b) Las emisiones gaseosas tóxicas, explosivas o que generen malos olores;

c) La falta o deficiente compactación cuando la acumulación de basuras se realiza en grandes alturas, sin control de las pendientes.

El riesgo radica en que, aun en sitios controlados, pueden causarse desastres ambientales y humanos, como en los casos tristemente conocidos de Bens en España, Doña Juana en Colombia o Loma Los Colorados en Chile (Colomer y Gallardo, 2007). Por lo mismo, necesariamente, debe realizarse un análisis y seguimiento geotécnico continuo, con la finalidad de evitar que se produzcan desplazamientos de grandes masas de residuos, ocasionando contingencias como las referidas en el capítulo anterior.

El avance y desarrollo de la ingeniería de residuos ha podido identificar distintas estrategias para la recuperación y re inserción, que pueden considerarse al momento del cierre o clausura de un relleno sanitario. Sobre esto tratará la segunda parte del presente apartado. La primera parte, en cambio, tratará de la metodología básica de cierre, incluyendo recomendaciones de expertos en geotecnia, para lograr la estabilización de las masas de residuos que se mantienen activas.

3.1 Metodología básica de cierre o clausura de rellenos sanitarios y la importancia de los análisis geotécnicos.

Todo cierre o clausura de un relleno sanitario pasa, en primer lugar, por definir la opción de saneamiento más adecuada, que permita resolver el pasivo ambiental de forma exitosa. En esta fase, como he tenido oportunidad de señalar (Lobo de Cortázar et al., 2016), se incluyen diversas actuaciones para controlar el biogás, los lixiviados y la escorrentía superficial, así como la realización de un seguimiento ambiental del lugar.

Adicionalmente, se debe considerar la necesidad de mantenimiento en el largo plazo, mediante operaciones de control y vigilancia ambiental. Para ello, también se debe determinar concretamente la solución de cierre o clausura que se dará al relleno sanitario, disponiendo las medidas que se adecúen al uso posterior elegido.

La cubierta final, por regla general, corresponderá a vegetación en la superficie e instalación de diferentes tipos de estructura.

Todas las consideraciones anteriores, en conjunto, nos permiten identificar que es necesario buscar que el cierre del relleno sanitario adopte dos clases de elementos:

- a) Elementos de cierre: cubierta, control de biogás, lixiviados y escorrentía.
- b) Elementos de rehabilitación: vegetación y estructura

3.1.1 Los análisis para el cierre o clausura de un relleno sanitario.

Previo a la posibilidad de implementar las acciones de rehabilitación, es necesario que se analicen los riesgos implicados en toda la operación de cierre o clausura de un relleno sanitario, que permitan evaluar e identificar los impactos más probables sobre las principales fuentes de peligro:

- a) Condiciones del relleno: características de estabilidad y actividad degradativa
- b) Rutas de exposición: canalizaciones, cunetas, coberturas, terrenos circundantes.
- c) Posibles receptores: ecosistemas acuáticos (superficiales o subterráneos), flora, fauna, personas que habitan en el perímetro cercano del relleno sanitario.

La literatura indica que los riesgos son elevados cuando coinciden una fuente relevante, una ruta efectiva y posibles receptores sensibles. Si falta alguno de estos elementos, los eventuales impactos disminuyen.

Particular interés debe considerarse si la operación de cierre o clausura del relleno sanitario se desarrolla sin que exista una previa evaluación ambiental, como ocurre en el caso de Puntra, pues tal circunstancia impide que se disponga de información suficiente y relevante para determinar el estado, las condiciones y soluciones para el cierre, que existen en los casos con calificación ambiental.

Como he investigado previamente (Rondón y Szanto, 2012), entre los aspectos a considerar en los estudios previos al cierre y reinserción de rellenos, se deben mencionar los siguientes:

- a) Estratigrafías del subsuelo, con calicatas de reconocimiento.
- b) Evaluación hidrogeológica para detectar el nivel freático natural.
- c) Determinación de presencia y migración del biogás.
- d) Caracterización de los materiales depositados (composición, estado de degradación, tipo de cobertura).
- e) Determinación de presencia y migración de lixiviados y su caracterización.
- f) Evaluación geotécnica (ensayos de penetración, prospección geofísica, ensayos de carga).

En conclusión, determinado el cierre de un relleno sanitario, las primeras actividades se deben referir a los análisis previos que permitan decidir las opciones de rehabilitación, de acuerdo a los antecedentes recopilados y según la información existente sobre las condiciones de estado actual del lugar, como también la ponderación de los efectos y fuentes de peligro. El objetivo de estos análisis es comprobar el estado del relleno sanitario, para que sea posible encontrar las mejores soluciones de cierre, tanto en el aspecto técnico, como económico y socioambiental.

3.1.2 Los elementos del cierre de rellenos sanitarios.

La literatura indica que los elementos de cierre de rellenos sanitarios se deben determinar, específicamente, para cada lugar, dependiendo de sus propias características, riesgos e impactos posibles, de acuerdo al uso de rehabilitación que se haya decidido para el lugar.

Como ya he investigado (Lobo de Cortázar et al., 2016), desde un punto de vista técnico, entre los elementos de cierre se deben analizar los siguientes, particularmente, en sus interacciones:

A) Capa de cobertura final.

Es una actividad fundamental, principalmente, para evitar el contacto directo de los residuos y controlar la emisión de contaminantes líquidos o gaseosos.

Habitualmente, se debe comenzar con un reperfilamiento de la superficie, atenuando pendientes que puedan comprometer las capas de cobertura y adecuar la topografía del uso que se quiere dar con posterioridad al terreno.

Estas actividades conllevan altas emisiones de polvo y gases, produciéndose molestias por malos olores.

La experiencia muestra que es posible desarrollarlas minimizando los efectos, cuando se logra trabajar en condiciones atmosféricas favorables.

También se debe analizar la heterogeneidad del residuo, por cuanto existen materiales que pueden estropear la capa de sellado.

Finalmente, se deben buscar alternativas adecuadas de material para realizar la cobertura final si el relleno se encuentra en una fase activa de generación de gases o lixiviados, para evitar que se produzcan sobrepresiones.

B) Evacuación de aguas superficiales externas e internas.

Esta actividad tiene por finalidad minimizar las entradas de agua al relleno, particularmente, a las zonas clausuradas.

Se deben evitar encharcamientos, se deben instalar drenes de interceptación de escorrentías, además de implementar sistemas de conducciones de evacuación de aguas.

La experiencia comparada muestra que, incluso, existe la posibilidad de evacuar las aguas superficiales, aprovechándola para el riego de la propia superficie sellada.

C) Intercepción y gestión de los lixiviados.

En primer término, se debe señalar que los lixiviados son líquidos muy contaminados que se producen en los rellenos sanitarios o vertederos. Su composición y características varía durante la vida útil del recinto.

La experiencia comparada indica que la gestión del lixiviado se facilita con el sellado, ya que reduce su volumen. Esto acarrea, por consecuencia que se concentre y se vuelva más contaminante. De tal modo, el cierre del relleno debe contemplar un sistema de tratamiento propio o la gestión de traslado a otra instalación para su tratamiento (Tchobanoglous et al, 1994).

D) Control de los gases generados

La importancia de esta actividad radica en el control de la toxicidad y exposición a los gases que se emitan en el relleno sanitario durante la etapa de cierre.

Existe abundante evidencia que acredita la producción de altos volúmenes de metano y que, en circunstancias de gran abundancia de dicho elemento, se pueden implementar

sistemas de generación de electricidad o de calor. Dicha circunstancia requiere, para su viabilidad, que se puedan extraer más de 300 m³/h de biogás con más de un 50% de metano (EA 2004, FEMP 2011).

Si la cantidad de gases generados requieren extracción activa, pueden utilizarse chimeneas o pozos verticales u horizontales, según se requiera (Carreras, 1998).

3.2 Las opciones para recuperar y reinsertar el terreno de rellenos sanitarios.

Una vez que se ha determinado la solución de cierre y clausura, realizado los análisis previos y las actividades de cobertura, evacuación de aguas lluvias, gestión de lixiviados y control de gases, se pueden acometer las obras de rehabilitación o reinsertión del relleno sanitario.

Ambas soluciones deben ser proyectadas como un todo, pues no se entienden de forma independiente, ya que son totalmente interdependientes. El tipo de cobertura que se emplee o el sistema de evacuación de aguas lluvias, por ejemplo, se vincularán directamente con el tipo de rehabilitación que se pretenda para el lugar, las cuales pueden consistir en:

a) Vegetación

b) Instalaciones o estructuras que consideren las condiciones de cimentación del relleno.

Sea cual fuere la opción, lo relevante pasa por la determinación previa de la rehabilitación o reinsertión del terreno donde se emplaza el relleno sanitario. La fórmula más habitual ha sido la vegetación, pero como se señaló, existen posibilidad de incluir diferentes clases de infraestructura, no recomendándose instalar edificaciones residenciales sobre residuos, por el riesgo que existe de migraciones de gases tóxicos o la eventual contaminación de aguas.

Finalmente, deben proyectarse las actividades de vigilancia posterior al cierre y las de mantenimiento, pues los sistemas de gestión de lixiviados y gases deben mantenerse operativos, mientras se sigan produciendo, toda vez que, con el cierre del relleno, no acaba la actividad del mismo, sino que se ralentiza lentamente, hasta que desaparece el material degradable.

4 DIAGNÓSTICO, PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS DE ACCIONES Y MEDIDAS PARA REALIZAR EL RETIRO DEL PASIVO AMBIENTAL Y REUBICARLO PARA SU DISPOSICIÓN FINAL, CONSIDERANDO EL ESTADO ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO TRANSITORIO PUNTRA

Los antecedentes expuestos en este Informe permiten realizar un diagnóstico sobre el estado actual del relleno sanitario Puntra en los términos de requerirse una necesaria estabilización del mismo.

La literatura especializada es abundante en la idea que la adecuada gestión de los lixiviados es un aspecto fundamental para la operación de un relleno sanitario; pero no es el único criterio que garantiza las condiciones de seguridad del mismo. Para realizar una afirmación de ese tipo se necesita integrar diferentes aspectos geotécnicos.

Los destacados investigadores Juan Palma, Raúl Espinace y Pamela Valenzuela han analizado en profundidad la cuestión de la estabilidad de rellenos sanitarios y, al respecto, han propuesto (Palma et al, 2006) un procedimiento que evalúa condiciones de estabilidad por medio de un factor de seguridad, profundizando en la información relativa a “las deformaciones, parámetros resistentes, presión intersticial, densidad, geometría, tipo de residuos, método de disposición, sistemas de drenaje de biogás y lixiviados, entre otros datos relevantes”.

Este método de análisis ha sido reconocido por su capacidad de evaluar, con gran rigor científico, la estabilidad de un relleno sanitario. Por ejemplo, al considerar las particularidades del material, de acuerdo con la literatura empleada (Shafer et al., 2003), existen dos alternativas para el análisis de estabilidad:

a) Métodos de equilibrio límite donde las consideraciones de deformación tienen una pequeña consecuencia.

b) El método elástico donde la deformación y su relación con los esfuerzos son de gran importancia. Los modelos elásticos son muy complicados y generalmente muy complejos para usos prácticos y por consiguiente no se utilizan para realizar análisis de estabilidad.

El análisis también se puede usar en otro sentido. El mismo estudio citado de los profesores Palma, Espinace y Valenzuela (Palma et al, 2006) expone distintos supuestos en que puede manifestarse la inestabilidad del cuerpo de un relleno sanitario:

1. Fracturas en el subsuelo. Estas pueden causarse por diferencias de asentamientos en el subsuelo de fundación o porque la capacidad portante de éste se ve excedida.
2. Fracturas del talud. Estas podrían ocurrir cuando los taludes son demasiado inclinados.
3. Colapso de los muros de partida cuando se encuentran demasiado saturados o cuando no son capaces de sostener la presión de los residuos.
4. Capas de residuos que fluyen bajo el talud. Pequeños esfuerzos de corte, causados, por ejemplo, por un excedente de agua que podría llevar a las capas de residuos a fluir bajo el talud.
5. El suelo fluye o resbala bajo las capas de residuos. Debido a una insuficiente compactación o a una alta saturación.
6. Deslizamientos de residuos a lo largo de fracturas en el cuerpo del relleno, al existir asentamientos diferenciales que fracturarían zonas del relleno.
7. Inestabilidad de ciertas zonas construidas en el cuerpo del relleno. Ruptura de cañerías de drenaje u otras partes del relleno que podrían originar diferencias en asentamientos, llevándolos a la inestabilidad.
8. Inestabilidad en zonas de interfaces. Un sistema de sello generalmente consiste en uno o más suelos y/o materiales geosintéticos. La resistencia al corte de estos materiales y la fricción de cada interfaz como suelo/geosintético, suelos/residuos y geosintéticos/

geosintéticos determinan cuan susceptible es a fallar en respuesta a las fuerzas generadas por el peso de los Residuos Sólidos Urbanos.

Estos criterios son meramente ejemplificadores de la complejidad que existe para determinar la estabilidad del relleno sanitario transitorio Puntra, por la falta de análisis concluyentes sobre el verdadero estado y condiciones de seguridad del mismo. La evidencia reunida por el momento, donde destacan las medidas ordenadas por la Superintendencia, en particular, se refieren a una eventual inestabilidad producto de la alta concentración de lixiviados.

La evaluación de riesgos, aplicando el criterio de análisis sobre el sistema de gestión de lixiviados, permiten sugerir, de acuerdo a lo expresado y recomendado por la literatura que se ha observado en este caso (Palma et al, 2006), acciones concretas para mantener la estabilidad de la masa de residuos en rangos de seguridad aceptables.

En primer lugar, evaluar la ejecución de trincheras o drenes horizontales de alivio al drenaje de lixiviados, realizando un control en base a mediciones topográficas de los asientos que se produzcan y piezométricas de la variación del nivel freático. Esto en consideración a los reportes de saturación de lixiviados que fueron constatados por la Superintendencia.

En segundo lugar, que todas las lagunas o pozas existentes sobre masas de residuos sean secadas, tratadas o agotadas.

La importancia de asegurar la estabilidad del relleno es evitar condiciones que hagan posible un eventual desplazamiento de la masa acumulada, tal como ocurrió con el Relleno Santa Marta en 2016 (Espinace y Farfán, 2016). Este es un peligro latente en caso de realizar el retiro de los residuos sin asegurar las condiciones de estabilidad, en forma previa.

De este modo, retirar el pasivo inestable puede producir graves impactos en el relleno sanitario, afectando los elementos circundantes. El asunto no es trivial y requiere emplear metodologías técnicamente comprobadas para asegurar las condiciones más idóneas en que se pueda efectuar esta compleja operación.

Un primer paso, como se expresó en el apartado anterior, se refiere a vincular las acciones de cierre del relleno sanitario, con aquellas de recuperación o rehabilitación del terreno. Para ello, se deben analizar todos los riesgos del lugar y las condiciones detalladas de la instalación, precisando aspectos básicos como el tipo de residuos, su estado actual de degradación, los parámetros de resistencia, los niveles de drenaje de lixiviados y biogás, su estabilidad, entre otros.

Luego, como debe realizarse el retiro y traslado a otro sitio para la disposición de los pasivos ambientales, la caracterización de la actividad biológica y química actual es fundamental para determinar el tipo de recinto que puede recibirlos, sin que ello reporte un riesgo para la estabilidad del cuerpo receptor. El material acumulado y su traslado son una fuente de peligro, tanto en la actividad de extracción, como en la de traslado y disposición final. Los posibles receptores deben ser considerados en todo el análisis de las condiciones que hagan posible minimizar todos los impactos de la operación de cierre.

Estamos en presencia de un caso con actividad biológica y química, por el alto nivel de lixiviados acumulados en el recinto, sin que se cuente con una caracterización de los mismos.

Por el momento, no se puede estimar con certeza científica el estado de degradación activa en que se encuentra la masa del relleno. La inestabilidad y la presión a la que se someterán, en estas condiciones de incertidumbre, exceden los niveles de riesgo recomendables.

Si la disposición final no es la adecuada, de acuerdo a las características del material trasladado y del lugar en el que se dispondrán, pueden producirse graves impactos, difícilmente estimables, sin los análisis previos de modelación, que deben ser realizados. La sola actividad de remoción, en ausencia de los antecedentes técnicos suficientes que acrediten niveles óptimos de estabilidad, impiden proyectar la posibilidad de realizarla en condiciones seguras. El traslado solo suma incertidumbres al respecto.

La inestabilidad de la masa acumulada del relleno es una posibilidad cierta, en base a los antecedentes actuales con que se cuenta. Para descartarla se requiere un estudio geotécnico adecuado, inexistente al momento de realizar el presente Informe. El análisis estructural de la zanja y la adecuación, exigido por la Superintendencia, todavía no ha sido evacuado. Los riesgos de desplazamiento por la ejecución del retiro son muy altos. La recomendación, entonces, obedece a actuar de forma preventiva. Las contingencias en rellenos sanitarios ocurren, preferentemente, por defectos operativos, omitiendo el desarrollo de análisis y estudios que complementen las medidas más activas, como la extracción permanente de lixiviados.

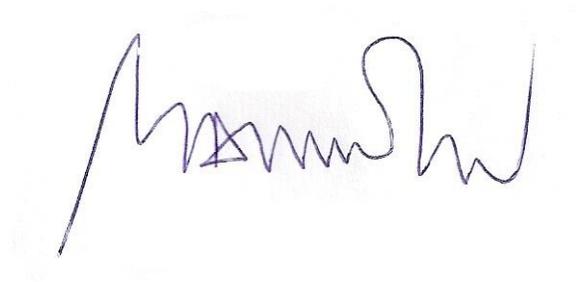
En este informe se señaló, con ocasión de la metodología básica aplicable a los procesos de cierre o clausura que los análisis preliminares cumplen un rol fundamental para evitar la producción de graves impactos, tales como la migración libre de lixiviados que contaminen cursos de agua, las emisiones de gases tóxicos, explosivos o que generen malos olores y la falta o deficiente compactación de residuos, que puede generar bolsones de aire, altamente peligrosos.

Dadas estas condiciones actuales del relleno y los antecedentes técnicos que se han vertido en el presente Informe, finalmente recomiendo que se gestione la realización de las siguientes medidas, de forma previa al comienzo de las actividades de retiro del pasivo ambiental que se encuentra química y biológicamente activado y sin estabilidad suficiente, para luego hacer su retiro de acuerdo al requerimiento, una vez que se encuentre estabilizado:

1. La estabilización de la masa orgánica de residuos, por cuanto es un aspecto esencial para asegurar el retiro y disposición del pasivo en condiciones de seguridad;
2. La realización de un análisis geotécnico del recinto, para proyectar los fenómenos físico-químicos que, actualmente, tienen lugar en el relleno;
3. La caracterización de los lixiviados del relleno sanitario, para determinar los requerimientos técnicos que debe cumplir el sitio de disposición final al que debe trasladarse el pasivo ambiental.

Lo anterior, sin perjuicio de las autorizaciones que la Municipalidad debe obtener, ante los organismos competentes en materia sanitaria y ambiental, para ejecutar las acciones que han sido objeto de este Informe.

Sin otro particular, atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Marcel Szanto Narea', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a prominent initial 'M' and 'S'.

MARCEL SZANTO NAREA

PROF. DR. ING. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

ANEXO I: ANÁLISIS DE CASOS COMPARADOS DE EMERGENCIAS EN RELLENOS SANITARIOS.

En el presente Anexo se hará una revisión de diversas contingencias informadas a nivel global en rellenos sanitarios, correspondiendo a descripciones generales y, por tanto, no se analizan en profundidad las conclusiones relativas a la causa basal de la emergencia o posibilidad de ocurrencia, por cuanto, difieren caso a caso y exceden el propósito de este Informe, pero nos pueden iluminar para la adopción de medidas informadas para el relleno evitando que un simple y llano retiro provoque estos perjuicios ambientales.

Es importante mencionar que, en la información que se resume más adelante, se usa genéricamente la expresión "relleno sanitario" o "vertedero" como forma de describir las instalaciones en las cuales se recibe y disponen residuos sólidos domiciliarios y residuos asimilables. En nuestro país, existe una diferenciación medianamente compartida por toda la comunidad científica en cuanto a este tipo de instalaciones, distinguiendo: rellenos sanitarios, vertederos, basurales y micro basurales.

Dentro de la información recabada, las emergencias reportadas se agrupan en tres categorías: 1) incendios y explosiones; 2) migración de lixiviados o biogás; 3) deslizamientos o derrumbes.

1. Incendios y explosiones.

Una de las emergencias que mayor impacto ha generado en nuestro país son los incendios en rellenos sanitarios. La imagen de la ciudad de Santiago, cubierta de humo debido al incendio del Relleno Sanitario Santa Marta, se revive frecuentemente para explicar la problemática de la gestión de los residuos en nuestro país. Este incendio no es el único registrado en una instalación de este tipo. De hecho, los 4 rellenos sanitarios de la Región Metropolitana han sufrido, a lo menos, un incendio de importancia en los últimos 5 años.

Las causas de los incendios pueden ser muy variadas; sin embargo, se pueden resumir en las siguientes:

- a) combustión debida a la disposición de residuos incandescentes;
- b) chispas producidas por maquinaria sin retenedor de chispas de escape;
- c) negligencia operacional, como soldaduras realizadas en zonas con material combustible, fumar en lugares con presencia de biogás o combustible;
- d) actos de la naturaleza;
- e) incendios intencionales.

Este fenómeno no es poco usual. En los Estados Unidos, por ejemplo, se estiman anualmente alrededor de 8.300 incendios producidos en vertederos. En Reino Unido, esta cifra alcanza los 300 (Szantó et al, 2016). Por su parte, el experto británico en incendios de vertederos, Patrick Foss-Smith, estimó que menos del 5% de los incendios se producen por combustión espontánea, pudiendo afirmarse que, en los EE.UU. y en Reino Unido, se producen al menos 430 incendios espontáneos anualmente (Szantó et al, 2016). Estas cifras proporcionan una magnitud real de un problema que, habitualmente, pasa desapercibido en la mayoría de los países.

1.1. Incendios superficiales.

Cuando se trata de incendios superficiales, que se pueden producir espontáneamente, éstos deben abordarse rápidamente, para que sea posible sofocarlos sin que penetren al interior de la masa de residuos. A continuación, algunos ejemplos recientes:

- **2016: Depósito controlado de Lurima, España.**

El incendio se produjo durante la tarde del día 16 de septiembre sobre el frente de vertido, por causas desconocidas.

- **2016: Depósito controlado de Zamora, España.**

El incendio se produjo durante la tarde del día 25 de julio en una zona situada lejos del frente de vertido que no contaba con capa de cobertura.

- **2016: Depósito controlado de Cervera del Maestre, España.**

Este incendio se produjo durante la noche del día 22 de agosto en el frente de vertido, por causas desconocidas.

- **2016: Relleno Sanitario Santa Marta, Chile.**

El incendio se produjo durante la tarde del día 18 de enero en una zona del relleno que había sufrido un deslizamiento del material acumulado.

- **2016: Relleno Sanitario Lomas Los Colorados, Chile.**

El incendio se produjo la noche del 1 de marzo en una zona del relleno que, estando lejos del frente de vertido, no contaba con capa de cobertura. El mes anterior se produjo otro incendio de similares características.

- **2016: Relleno Sanitario Santiago Poniente, Chile.**

El incendio se produjo durante la tarde del día 29 de febrero en una zona cercana al talud del relleno. Los neumáticos colocados en esta zona de la instalación facilitaron la propagación del incendio que afectó, finalmente, la geomembrana del fondo del vaso.

- **2016: Relleno Sanitario La Florida, Uruguay.**

El incendio se produjo la tarde del día 5 de febrero en una zona del vertedero que no contaba con capa de cobertura. Una situación similar se produjo el día 24 de julio del año anterior.

- **2015: Relleno Sanitario Felipe Cardoso, Uruguay.**

El incendio se produjo durante la noche del 21 de septiembre, su extinción se complicó por el efecto del viento y la espesa pluma de humo generada. Esta instalación registró otro incendio la semana anterior.

- **2015: Relleno Sanitario Bahía Blanca, Argentina.**

El incendio se produjo durante la mañana del 6 de septiembre en una zona que, estando lejos del frente de vertido, no contaba con capa de cobertura

- **2013 – Relleno Sanitario La Paz, Uruguay.**

El incendio se produjo el día 17 de agosto y la espesa pluma de humo afectó a la comuna La Paz, situada a 600 m. El anterior incendio se produjo el día 23 de enero de 2011 y tardó en extinguirse un mes y medio.

1.2 Incendios subterráneos.

Cuando se trata de incendios subterráneos, las consecuencias pueden ser bastante graves, porque son más complicados de extinguir y se extienden más en el tiempo.

Este tipo de incendios forman huecos internos, a través de los cuales puede infiltrarse agua y lixiviados, formando caminos preferenciales que terminan por desestabilizar la masa de residuos. Esa es la mayor complejidad que reportan.

Algunos de ellos son los registrados en el vertedero de Missouri en EEUU, que estuvo más de 6 años ardiendo sin poder ser extinguido, el de Naas en Irlanda (Flaherty, 2015), el de Rockport en EEUU (Edwards, 2016) o el de Jelutong en Malasia (Thevadass, 2017).

2. Migración de lixiviados o biogás

Las migraciones hacia el medio externo de lixiviados o biogás son contingencias que, de acuerdo a su naturaleza, son persistentes en el tiempo o extremadamente difíciles de solucionar. Habitualmente, requieren procesos de remediación de efectos de contaminación en el entorno o, en muchos casos, sus efectos solo logran minimizarse en base a medidas de contingencia orientadas a disminuir el impacto, sin que logre reducirse satisfactoriamente su magnitud.

En Chile, durante la década de los noventa, este tipo de afectaciones eran frecuentes. De hecho, aún se recuerda el accidente por acumulación de biogás que costó la vida a dos trabajadores en el vertedero Lo Errazuriz, o los efectos producidos a los vecinos por el biogás que emanaba desde el vertedero La Feria, en la actual comuna de Pedro Aguirre Cerda. También se puede mencionar la migración de líquidos desde el Relleno Sanitario Santa Marta a inicios del año 2002 o en el Relleno Sanitario Loma Los Colorados, a fines del mismo año.

Las empresas han realizado cuantiosas inversiones destinadas a controlar este tipo de graves incidentes. Lamentablemente, debido a diseños insuficientes o medidas mal implementadas, este tipo de contingencias se siguen produciendo en la actualidad. Los casos más recientes ocurrieron en el Relleno Sanitario Ecomaule (2015) y en el Relleno Sanitario La Laja, en Puerto Varas (2017).

En los últimos años, la práctica de impermeabilización en los rellenos sanitarios ha permitido disminuir, sustancialmente, este tipo de emergencias. En la revisión internacional realizada, los eventos más recientes que se han registrado datan de la década de los noventa, lo que se explica por la obligatoriedad de impermeabilización en base a productos geo-sintéticos y la progresiva disminución de residuos orgánicos en rellenos sanitarios, sin un tratamiento o aprovechamiento previo.

Las migraciones de lixiviados o biogás pueden producirse de distintas formas. A continuación, se describen contingencias relacionadas con estos casos:

2.1 Migración descendente.

Por lo general, cuando un vertedero no dispone de impermeabilización en el fondo del vaso, existe un elevado riesgo de que se produzca una percolación de biogás o de lixiviado.

Este tipo de migraciones provoca la contaminación del suelo y las aguas subterráneas.

En el caso del biogás, el dióxido de carbono tiende a acumularse en el fondo del vaso. Cuando esto ocurre y se produce una migración descendente, el dióxido de carbono, al ser soluble, forma ácido carbónico en los acuíferos e incrementa la dureza del agua.

Algunos casos que se registraron en estas instalaciones son:

- **1958: Vertedero de Morovia en California.**

Tras depositarse más de 150 mil toneladas de residuos durante los tres primeros años de explotación, se detectaron migraciones descendentes. Estas elevaron la concentración de dióxido de carbono del agua subterránea y terminaron por contaminar la red de abastecimiento de la localidad Mayflower Well (Gendebien et al., 1992).

- **1962: Vertedero de Azusa en California.**

Tras depositarse más de 4.290 toneladas de residuos, se detectaron migraciones descendentes por más de 230 m³ de biogás. Estas aumentaron las concentraciones de dióxido de carbono de las aguas subterráneas (Gendebien et al, 1992).

2.2. Migración lateral.

Cuando el vertedero no dispone de impermeabilización en el fondo del vaso, generalmente, tampoco la incorpora en los taludes. Los casos de migración lateral son mucho más fáciles de detectar que los citados anteriormente, porque afectan a las viviendas, industrias o zonas de cultivo que se encuentren cercanas a los recintos.

Hasta que se implantó la obligatoriedad de colocar geomembranas, en la mayoría de los países, se registraron muchos incidentes por migraciones laterales, a través de estratos, cavidades o del alcantarillado y las tuberías subterráneas. Algunos de ellos fueron:

- **1960: Vertedero de Odsal Wood en Gran Bretaña.**

La migración lateral de biogás empezó a dañar la vegetación de las viviendas situadas al Noreste del vertedero. Para resolver esta problemática se construyeron zanjas de drenaje perimetrales, aunque en 1983 estos problemas persistían (Carpenter, 1985).

- **1970: Vertedero de St. Mary Cray in Kent en Inglaterra.**

La migración lateral de biogás dañó los campos de cultivo lindantes. En 1970, tras la clausura del vertedero, estos daños se extendieron a cultivos situados a más de 100 metros de distancia. La situación aislada del vertedero, respecto a zonas habitadas y los costes que

suponía la extracción del biogás, conllevó la aplicación de medidas compensatorias para sufragar las pérdidas ocasionadas a los agricultores. Con el paso de los años, las zonas afectadas fueron recuperándose por la disminución de biogás (Carpenter, 1985).

- **1975: Vertedero de De Eugenio Brothers, Nueva Jersey en Estados Unidos.**

En 1972, transcurridos cuatro años desde el inicio de la explotación, la migración lateral de biogás dañó más de 50 arbustos en zonas de cultivo próximas al vertedero.

Tres años más tarde, los daños afectaron a 70 arbustos más. Las inspecciones realizadas en las zonas dañadas determinaron elevados niveles de dióxido de carbono y metano (Gendebien et al., 1992).

- **1975 – Vertedero de Cherry Hill, Nueva Jersey en Estados Unidos.**

En 1969, transcurridos seis años desde el inicio de la explotación, la migración lateral de biogás dañó la vegetación de viviendas situadas a más de 300 metros de distancia.

En 1975, tras la clausura del vertedero, se observaron daños en la vegetación incorporada. Las inspecciones realizadas también detectaron elevados niveles de dióxido de carbono y metano (Gendebien et al., 1992).

- **1981: Vertedero de Biella en Italia.**

El vertido de residuos sin impermeabilizar adecuadamente la superficie del vaso propició la migración de biogás a través de conductos hasta las viviendas cercanas. La explosión de una de las viviendas causó una víctima mortal.

- **1981: Vertedero de Carate-Brianza en Italia.**

La migración lateral de biogás elevó la concentración de dióxido de carbono y metano en las zonas próximas al vertedero y en una nave industrial situada a más de 100 m (Gandolla et al., 1997; Lassini et al., 1999).

- **1981: Vertedero de Saint Augustin en Alemania.**

La migración lateral de biogás elevó la concentración de dióxido de carbono y metano en unas viviendas cercanas. Para tratar de resolver este problema se construyó una zanja de drenaje perimetral, aunque esta no fue suficiente (Gandolla et al., 1997).

- **1986: Vertedero de Derbyshire en Reino Unido.**

La migración lateral de biogás generó una explosión en un bungalow situado a 70 metros de distancia. Resultaron gravemente heridos los cuatro ocupantes de la vivienda (Derbyshire County Council, 1986; Aitkenhead, 2002).

- **1990 – Vertedero del Cerro Maggiore en Italia.**

La migración lateral de biogás dañó la vegetación de zonas próximas y alarmó la situación en un centro comercial situado a 70 metros por riesgo de explosión (Parsons, 1993; Calare, et al., 1996).

- **1991: Vertedero de Croglia en Suiza.**

La migración lateral de biogás formó en algunos puntos cercanos al vaso un gas compuesto, principalmente, por dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua a más de 65 grados celcius (Gandolla et al. 1997).

- **1992: Vertedero de Chemme en Italia.**

La migración lateral de biogás procedente de un vertedero antiguo, que no contaba con impermeabilización, provocó el hinchamiento de la geomembrana colocada en el nuevo vaso (Calare et al. 1996; Gandolla et al. 1997).

- **1995: Vertedero de Vergiate en Italia.**

La migración lateral de biogás provocó daños en la vegetación situada a más de 1.000 m de distancia. En el año 2001 esta migración causó una explosión en una construcción situada a 300 m (Gandolla et al., 1997).

- **1996: Vertedero de Cavenago en Italia.**

La migración lateral de biogás desde un antiguo vertedero causó daños en la vegetación y elevó la concentración de metano en viviendas situadas a más de 1.000 metros de distancia.

- **1998: Vertedero de Canavabra en Brasil.**

La clausura del vertedero, con la incorporación de una capa de cobertura y sin sistemas de captación de biogás, favoreció la migración lateral de gases hasta un grupo de viviendas y un estadio situados a más de 300 metros de distancia

- **1999: Vertedero de Casate en Suiza.**

La migración lateral de biogás fue detectada a nivel del suelo en los cultivos y viviendas situados a más de 100 metros de distancia (Parsons, 1993; Gandolla et al., 1997).

2.3. Migración ascendente.

Cuando se clausura un relleno sanitario, sin colocarse una capa de arcilla y/o una geomembrana que impermeabilice la superficie, existe un elevado riesgo para que se produzcan migraciones ascendentes. Cuando esto ocurre, se producen emisiones difusas de biogás y, si existe vegetación, esta resulta dañada.

Estos peligros llevaron a que se implantara la obligatoriedad de colocar este tipo de capas en la mayoría de los países donde se produjeron graves incidentes. Algunos de ellos fueron:

- **1970: Vertedero de Berlin-Wansee en Alemania.**

Se clausuraron aproximadamente 10 hectáreas del vertedero para crear una zona recreativa.

La vegetación plantada, compuesta en su mayor parte por árboles de porte medio y césped, sufrió daños y algunas especies no lograron sobrevivir. Tras el incidente, se detectaron migraciones de biogás que afectaban a las especies situadas a más de 50 metros del borde del vertedero (Gendebien et al., 1992)

- **1981: Vertedero de Mönchengladbach en Alemania.**

Se clausuró el vertedero y, al poco tiempo, la vegetación plantada resultó dañada. Tras el incidente, se detectaron altas concentraciones de metano en la zona (Gendebien et al., 1992).

- **1982: Vertedero de Los Ángeles en EE.UU.**

El vertedero se clausuró con la incorporación de una capa de cobertura, sobre la cual se construyó un parque y una serie de viviendas que, posteriormente, resultaron dañadas por los asentamientos. Se formaron grietas en la superficie y, a través de éstas, se registraron migraciones de biogás.

- **1989: Vertedero de Seveso en Italia.**

La clausura del vertedero con impermeabilización, pero sin colocar sistemas de captación de biogás, originó el abombamiento de la geomembrana por acumulación de gases. (Lassini et al. 1999).

3. Deslizamientos o derrumbes.

La naturaleza de las fallas en un relleno sanitario son complejas y dependen, en gran medida, de la técnica y controles que se aplican en la operación. Solo en ocasiones muy excepcionales se han producido deslizamientos en rellenos sanitarios que han cuidado la compactación, la pendiente de taludes, la extracción de lixiviados y biogás, y que han mantenido un control operacional en forma permanente. La ausencia de uno de estas acciones tiende a estar presente en los casos de incidentes.

Sin embargo, aún manteniendo una operación controlada, pueden ocurrir lamentables accidentes. Un ejemplo de ello ocurrió con el relleno sanitario Doña Juana, en Bogotá. Luego de un primer deslizamiento masivo, en el año 1997, implementó una serie de controles geotécnicos que, en teoría, permitían minimizar al máximo los riesgos de nuevos deslizamientos. Sin embargo, se han producido diversos incidentes de deslizamiento, afectando decenas de hectáreas, incluyendo uno ocurrido en abril de 2020.

Analizando los antecedentes disponibles en la bibliografía especializada, se describe que en algunos casos los deslizamientos han estado precedidos por un incendio, una explosión por acumulación de biogás, compactación deficiente o una elevada infiltración de agua, por la falta de capas de cobertura o por la entrada de pluviales desde otras zonas y, en muy pocos casos, se registran deslizamientos sin tener antecedentes previos de deficientes condiciones de seguridad estructural de la instalación, evidenciados por grietas, asentamientos diferenciales de importancia o migración superficial de lixiviado presurizado.

Los deslizamientos de la masa de residuos tienen diversas causas, aunque todas ellas se pueden resumir con la pérdida parcial o total de la resistencia al corte de la masa de residuos. De acuerdo a los estudios recientes de estabilidad, estas circunstancias son graves y suelen ocurrir en casos con altos niveles de saturación de los residuos o altos niveles de lixiviados al interior de la masa del relleno.

Solo a modo de referencia, la normativa de la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos asume, en el diseño del sistema de drenaje de un relleno sanitario, que la columna de lixiviados al interior de la masa de residuos no puede ser mayor que un pie (30,48 centímetros), comparada con las decenas de metros que registran algunos de nuestros mayores depósitos en el país. Desde esta perspectiva, la situación general en Chile es preocupante.

Algunos de los accidentes más importantes de las últimas décadas están relacionados con distintas causas basales, ellas son:

3.1. Deficiente definición de taludes.

- **2016: Vertedero de Hrybovichi en Ucrania.**

La excesiva pendiente de los taludes, así como la falta de definición de celdas unitarias, aplicación de capas de cobertura y otros condicionantes, como la saturación de la masa de residuos por infiltración de pluviales, pudieron ser las causas del deslizamiento. Este accidente provocó al menos 4 víctimas mortales.

- **2005: Vertedero de Abanilla en España.**

Un leve movimiento sísmico provocó el deslizamiento de más 25.000 m³ de residuos en un talud con pendiente excesiva. Este accidente provocó una víctima mortal (Colomer & Gallardo, 2007).

- **1998: Vertedero de Hiriya en Israel.**

La excesiva pendiente de los taludes pudo generar el deslizamiento. La parte superior del talud tenía una inclinación de 40° (1V:1,2H) y la inferior se estimó que alcanzó los 56° (1V:0,6H). El factor de seguridad para este talud fue de 1,05 (Klein, 2003).

- **1995: Vertedero de Beirolas en Portugal.**

El vertido de terreno procedente de suelos contaminados sobre la masa de residuos, sin ningún control ni diseño, hizo que la altura del talud superase la máxima cota permisible con una elevada pendiente de taludes. El desprendimiento se asoció al bajo factor de seguridad existente, que fue inferior a 1,4 (Santayana & Veiga, 1998; Castelao et al., 1999).

- **1993: Vertedero de Umraniye-Hekimbasi en Turquía.**

Desde 1972, se depositaron en el vertedero residuos sin compactar. La instalación no contempló impermeabilización en la base, ni la construcción de sistemas para la evacuación del lixiviado o de captación de biogás. La pendiente promedio de los taludes fue de 1V:1,3H, aunque se comprobó que, en la zona del deslizamiento, esta pendiente llegó a ser de 3V:1H. Con este nivel de pendientes, el factor de seguridad fue inferior a 1 y, aunque el deslizamiento se puede asociar a muchos factores (presión ejercida por el biogás acumulado, la generación de incendios internos que formaron cavidades en la masa de residuos, etc.), se consideraron como causas principales la saturación y elevada pendiente de taludes.

La falta de capas de cobertura y la obstrucción del canal de evacuación de pluviales incrementó la entrada de agua de lluvia en la zona. El deslizamiento de más de 1.200.000 m³ de residuos formó una lengua de 20 metros de espesor. Esta recorrió más de 500 metros aguas abajo, destruyendo a su paso 11 viviendas y causando al menos 39 víctimas mortales (Kocasoy & Curi, 1995; Rushbrook, 1999; Fahey et al., 2002; Blight & Fourie, 2003; Díaz et al. 2003; Cointreau, 2006; Qian et al., 2002).

- **1977: Vertedero de Sarajevo en Bosnia-Herzegovina.**

El talud del vertedero tenía una pendiente de 60° (1,7V:1H) y un factor de seguridad de 1,1 (Colomer et al., 2009). Una explosión provocada por la acumulación de gases en el interior de la masa de residuos pudo generar el deslizamiento de más de 200.000 m³ de residuos. Este deslizamiento generó una lengua de residuos que recorrió más de un kilómetro aguas abajo y que arrasó varias viviendas (UNECE, 2004).

3.2. Problemas de estabilidad por pendiente excesiva en el suelo.

La acumulación de lixiviados sobre terrenos inclinados reduce el coeficiente de fricción entre la masa de residuos y suelo. Este hecho conlleva deslizamientos cuando el vertedero no cuenta con sistemas de drenaje que eviten las acumulaciones. Dos de los accidentes asociados a este hecho fueron los siguientes:

- **1997: Vertedero de Canavabra en Brasil.**

El vertido de residuos se realizó sobre un terreno con una pendiente de casi 27°. La gestión deficiente de las operaciones de vertido y la inyección continua de lixiviado por recirculación acumuló el lixiviado en el fondo del vaso. El deslizamiento se asoció a la excesiva pendiente y a la falta de un sistema eficiente de evacuación de lixiviados. (Colomer & Gallardo, 2007)

- **1996: Vertedero de Bens en España.**

El vertido de residuos se realizó sobre un terreno con una pendiente de casi 30°. La gestión deficiente de las operaciones de vertido y las lluvias que se registraron pudieron ser las causantes que saturaron la masa de residuos. A raíz de ello, se produjo el deslizamiento de más de un 1.000.000 de toneladas de residuos (Colomer & Gallardo, 2007).

3.3. Problemas de estabilidad por mal diseño de los diques de contención.

Uno de los aspectos más importantes, para garantizar la estabilidad de la masa de residuos que descansa sobre los diques de los taludes, es que éstos presenten buenas propiedades mecánicas. Para ello, se deben respetar unas pendientes adecuadas aguas abajo y arriba, así como ejecutar una buena cimentación y compactación. Cuando esto no ocurre, el riesgo de accidentes, por rotura del dique, origina el deslizamiento de la masa de residuos aguas abajo.

- **1996: Vertedero de Santa Catalina, España.**

El vertido de residuos se realizó sobre un dique que no pudo contener la sobrecarga originada por la saturación de la masa de residuos tras un episodio de lluvias torrenciales.

El sobrepeso originó una grieta sobre el dique que finalmente pudo ser reparada (Colomer & Gallardo, 2007).

3.4. Problemas de estabilidad por deslizamientos sobre la geomembrana.

El vertido de residuos sobre terrenos inclinados con acumulación de lixiviados, como se indicó anteriormente, reduce el coeficiente de fricción entre la masa de residuos y el terreno. Este hecho se agrava cuando sobre el mismo se coloca una lámina impermeable y no se incorporan sistemas de drenaje de lixiviados que eviten la saturación de la base.

Algunos accidentes asociados a ello son:

- **1996: Vertedero de Rumpke en EE.UU.**

El vertido de una pequeña capa de terreno con malas propiedades mecánicas, la pendiente del suelo impermeabilizado y la saturación de las capas inferiores de residuos pudo provocar el deslizamiento de toda la masa de residuos (Eid et al., 2000; Stark et al., 2000; Kölsch, 2000).

- **1988: Vertedero de Kettleman Hills en EE.UU.**

El vertido de residuos se realizó sin considerar que el exceso de cargas terminaría generando el deslizamiento traslacional de la masa de residuos depositada (Chang, 1999).

- **1987: Vertedero de Finale Emilia en Italia y el vertedero de Mankaa en Finlandia.**

El vertido de residuos se realizó sobre una geomembrana, que colocada sobre un suelo mal consolidado y con pobres propiedades mecánicas, generó un deslizamiento (Cancelli, 1989).

3.5. Problemas de estabilidad por saturación de la masa de residuos durante la operación.

Las propiedades mecánicas de los residuos sólidos pueden variar de un vertedero a otro, incluso, de unas épocas a otras o de un punto a otro en un mismo depósito. La infiltración del agua de lluvia o el recirculado de lixiviados sin control, aumenta la presión intersticial de las capas inferiores por saturación, sobre todo cuando no existen sistemas de drenaje. Ello conlleva una reducción significativa de la cohesión efectiva de los residuos que puede originar deslizamientos.

Algunos accidentes asociados a ello son:

- **2017: Vertedero de Ghazipur en India.**

El vertido de residuos se realizó de forma incontrolada. En esta instalación no se impermeabilizó la base del fondo del vaso, ni se colocaron sistemas de evacuación de lixiviados o de biogás. Tras registrarse un episodio de lluvias intensas, la columna de residuos, que alcanzó los 50 metros de altura, terminó por colapsar. La lengua de residuos formada

arrastró varios vehículos que circulaban por la carretera perimetral hasta un canal de agua. Este accidente causó dos víctimas mortales (Samb, 2017; AFP, 2017).

- **2017: Vertedero de Hamdallai en Guinea.**

El vertido de residuos se realizó en un vertedero sin impermeabilización, ni sistemas de evacuación de lixiviados o de biogás. Tras un episodio de lluvias torrenciales, se saturó la masa de residuos y posteriormente se produjo el derrumbe. La lengua de residuos sepultó tres viviendas construidas ilegalmente en la base del relleno y causó al menos 10 víctimas mortales (Sunny, 2017; Mohan, 2017).

- **2017: Vertedero de Meetotamulla en Sri Lanka.**

El vertido de residuos se realizó de forma incontrolada, sin perimetrar el área, sin impermeabilizar la base del fondo del vaso y sin contar con sistemas adecuados de evacuación de pluviales y de biogás. Bajo el talud del vertedero se construyeron viviendas ilegales. La columna de residuos, que alcanzó una altura de más de 100 m, colapsó formando una lengua de residuos que sepultó al menos 150 viviendas. El incidente causó 29 víctimas mortales y 30 desaparecidos (AP, 2017).

- **2017: Vertedero de Addis Abeba en Etiopía.**

El vertido incontrolado de residuos sobre el antiguo vertedero de Repi, sin vallado perimetral, ni sistemas eficientes de evacuación provocó el deslizamiento de una columna de residuos de más de 50 m de altura. La lengua de residuos formada sepultó al menos 48 viviendas, todas ellas construidas ilegalmente en la zona (RTVE, 2017). Este accidente provocó al menos 62 víctimas mortales y 35 desaparecidos (EFE, 2017).

- **2016: Relleno sanitario de Santa Marta en Chile.**

El vertido de residuos se realizó sobre un vaso impermeabilizado, que además contaba con sistemas de captación de biogás, compactación, cobertura diaria y otros sistemas de acuerdo con lo establecido en la legislación vigente.

El vertido de más de 110.000 m³ de lodos pudo saturar la masa de residuos y favorecer la acumulación de lixiviados en el fondo del vaso. Se produjo el deslizamiento de más de 200.000 m³ de residuos. La lengua de residuos se extendió más de 1.000 metros sobre la quebrada "El Bobal". No se contabilizó ninguna víctima mortal (Esteban-Altabella, Szantó, et al., 2016; Carvajal & Castro, 2016; SMA, 2016).

- **2016: Vertedero de Guatemala.**

El vertido de residuos se realizó sin impermeabilizar la base del fondo del vaso, sin aplicar capas de cobertura y sin controlar la inclinación de los taludes. Tras un episodio de lluvias torrenciales se produjo el deslizamiento. En el frente de vertido se estima que trabajaban aproximadamente 1.200 recicladores base. El deslizamiento causó al menos 27 víctimas mortales. Anteriormente, este vertedero sufrió varios incidentes similares, uno de ellos en septiembre del 2006 y otro en junio del 2008 (Muniguatate, 2006; Muniguatate, 2008; AP, 2016; El Diario, 2016).

- **2011: Vertedero de Baguio en Filipinas.**

El vertido de residuos se realizó sin impermeabilizar la superficie y sin contar con sistemas eficientes de evacuación de pluviales, lixiviados y de captación de biogás. El tifón "Nanmadol", con rachas de vientos de hasta 240 km/h y los episodios de lluvias torrenciales registrados, pudieron saturar la masa de residuos, originando el deslizamiento. Este accidente causó, al menos, 5 víctimas mortales (Moran, 2011; Diario Opinión, 2011).

- **2005: Vertedero de Bandung en Indonesia.**

El vertido de residuos se realizó de forma incontrolada. En esta instalación no se contempló la construcción de sistemas de evacuación de pluviales, lixiviados, y decaptación de biogás. Un episodio de lluvias torrenciales pudo saturar la masa de residuos y provocar el deslizamiento que causó, al menos, 147 víctimas mortales (Cuyo, 2005; Koelsch et al., 2005; Lavigne et al., 2014).

- **2003: Vertedero de Guadalupe en Brasil.**

Un episodio de lluvias torrenciales pudo saturar la masa de residuos y originar un deslizamiento que contaminó la zona aguas abajo (Seward, 2000; Prois, 2003).

- **2003: Vertedero de Ano Liosia en Grecia.**

Aunque el vertido de residuos se realizó de forma controlada, un incendio pudo debilitar la estructura de la masa de residuos que posteriormente por saturación e incremento de la presión intersticial terminó colapsando (Colomer & Gallardo, 2007).

- **2002: Vertedero de Chongqing en China.**

Un episodio de elevadas precipitaciones pudo saturar la masa de residuos provocando el deslizamiento de una parte considerable del vertedero (Colomer & Gallardo, 2007).

- **2002: Vertedero de Mpewere de Uganda.**

La obturación de los sistemas de evacuación de lixiviados y de captación de gases pudo provocar la saturación de la masa de residuos, tras un episodio de fuertes lluvias. Este hecho originó el deslizamiento (Johannessen et al., 1999; Lemoine, 2003).

- **2001: Vertedero de Navarro en Colombia.**

El vertido de residuos se realizó sin colocar un sistema de evacuación de lixiviados en la base inferior del vaso, ni de captación de gases para reducir las emisiones. El vertido se realizó hasta alcanzar una altura de talud de 62 metros. Un episodio de fuertes lluvia pudo saturar la masa de residuos, que unido a la presión ejercida por el biogás acumulado provocó el deslizamiento (Espinace, 2003).

- **2000: Vertedero de Payatas en Filipinas.**

El vertido de residuos se efectuó sin ningún tipo de control. Los incendios subterráneos facilitaron la formación de cavidades internas que favorecieron, a su vez, la formación de canales preferenciales. El episodio de lluvias torrenciales de un tifón pudo saturar la masa de residuos que, favorecido por las elevadas pendientes de los taludes, desencadenó el

deslizamiento. La catástrofe sepultó decenas de viviendas, ocasionando la muerte de, al menos, 139 personas (Kölsch, 2000; Merry et al., 2005; Jafari et al., 2013; Cointreau, 2006).

• **1997: Vertedero de Doña Juana en Colombia.**

Aunque el vertido de residuos se realizó de forma controlada, las deficiencias detectadas en el sistema de extracción de biogás, así como en la recirculación continua de lixiviado, pudieron saturar la masa de residuos. Este hecho originó el deslizamiento de 800.000 m³ de residuos (Hendron et al., 1999; Johannessen et al., 1999).

• **1996: Vertedero de Bens en España.**

El vertido incontrolado de residuos y la infiltración de agua de lluvia pudo saturar la masa de residuos originando el deslizamiento (Colomer & Gallardo, 2007)

4. Resumen del análisis de casos comparados de emergencias en rellenos sanitarios.

Las contingencias en los rellenos sanitarios se describen, principalmente, a través de afectaciones al entorno, sea mediante incendios, migraciones o deslizamientos. En general, sus daños no son permanentes; sin embargo, existen casos en los cuales el entorno inmediato ha sufrido el impacto, incluso, por decenas de años. Las razones son variables y deben ser analizadas caso a caso.

En prácticamente la totalidad de los casos, la causa basal de la contingencia puede explicarse por un déficit en las condiciones operacionales del relleno sanitario, las que se agravan cuando ocurren eventos anormales de lluvia, sismos u otros fenómenos naturales.

En el caso de los incendios, aunque todos merecen gran atención, aquellos que surgen espontáneamente y son subterráneos son altamente complejos de controlar. Además, no puede obviarse que existen correlaciones entre desplazamientos de residuos, con altas concentraciones de gases inflamables, y la generación de incendios en rellenos sanitarios. Nuevamente, el control operacional adecuado es la mejor posibilidad de reducir las contingencias e impactos a un mínimo riesgo.

Por su parte, la evidencia de casos con migraciones de lixiviados y/o biogás señala que son contingencias que pueden ser persistentes en el tiempo e, incluso, extremadamente difíciles de solucionar. En las últimas décadas, la experiencia internacional muestra que la práctica de impermeabilización en los rellenos sanitarios es efectiva y ha permitido disminuir, sustancialmente, este tipo de emergencias.

En cuanto a deslizamientos de la masa de residuos, las causas que subyacen a estos eventos son generalmente las siguientes:

- Mal diseño o construcción de taludes externos del depósito (pendientes inadecuadas).
- Excesiva saturación de la masa de residuos, generalmente producida por un deficiente o inexistente sistema de extracción de lixiviados.
- Mala compactación por falta de equipos o equipos inadecuados.

- Disposición de materiales inadecuados (lodos, colchones, neumáticos, etc)
- Eventos de lluvias torrenciales.
- Eventos sísmicos.
- Sobrecargas producidas por capas de residuos en zonas terminadas o que han alcanzado la cota de proyecto.

Como se puede apreciar, en relación al caso del relleno sanitario, esta es la contingencia que, probablemente, mayor preocupación debe generar. Las condiciones que han concurrido en la experiencia comparada, para otros casos de deslizamiento de la masa de residuos, tienen por elementos comunes las deficiencias o inconveniencias operacionales y la concurrencia de eventos naturales anormales que desestabilizan la masa de residuos acumulados.

En el caso de Puntra, como ya fue advertido en los antecedentes, hay deficiencias en el sistema de lixiviados, los cuales se han acumulado en grandes cantidades, mezclándose con las aguas lluvias que son abundantes en la zona geográfica donde se emplaza el relleno sanitario. Por lo mismo, la continuidad de extracción resulta necesaria para mejorar las condiciones actuales. Y, además, una vez que se cuente con la caracterización de los lixiviados, podrán determinarse cursos de acción efectivos.

Sobre el control operacional deficiente, hay que ser claros en que las principales deficiencias se refieren a la falta de inversión en maquinaria, equipos, análisis o estudios, como ocurre con casi la totalidad de la industria nacional.

De hecho, si analizamos la situación actual de disposición de residuos en el país, de forma preliminar, podemos concluir que la mayoría de las instalaciones autorizadas tienen o han tenido problemas que pueden traducirse en contingencias operacionales de consideración. Sin embargo, esta misma circunstancia es la que debe incentivar la adopción de medidas preventivas, para disminuir los riesgos comúnmente existentes en la gestión de residuos.

ANEXO II: EJEMPLOS GRÁFICOS

1. Residuo de un relleno sanitario posible de mover con bajo riesgo, Pasivo Ambiental:



2. Residuos en condiciones inadecuadas para mover con bajo riesgo, Pasivo Ambiental con actividad biológica, química y física:



3. Residuos en vertederos sin debido tratamiento.



4. Casos de desplazamiento de masa de residuos por falta de estabilidad.

4.1. Relleno Sanitario Doña Juana, Colombia, Abril 2020. Fuente: Radio Caracol
<https://twitter.com/CaracolRadio/status/1255642440125550598?s=20>



4.2. Relleno Santa Marta, Chile, Enero 2016. Fuente: Municipalidad de Talagante y Radio Cooperativa:

<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/medioambiente/contaminacion/la-magnitud-del-incendio-en-el-relleno-sanitario-santa-marta/2016-01-20/115954.html>



4.3. Relleno Sanitario, Alpacoma, La Paz, Bolivia, 2019. Colapso y desplazamiento por deficiente manejo de lixiviados. Fuente: Diario Los Tiempos

<https://www.lostiempos.com/actualidad/pais/20190809/fiscal-departamental-paz-senala-que-hay-14-victimas-lixiviados-alpacoma>



5. Caso de fuga de lixiviados por deficiente manejo de relleno sanitario Tepatlaxco, México. Fuente: Diario El Universal <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/se-fugan-lixiviados-de-relleno-tepatlaxco>



6. Relleno Sanitario Veolia, Chile. Buenas condiciones de tratamiento y manejo ambiental.



7. Ejemplo de recuperación o rehabilitación de relleno sanitario: Parque André Jarlán, Ex Vertedero La Feria, Chile. Proyecto: Marcel Szanto. Fotos: Marcel Szanto.



BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Bräutigam, K.; González, ; Seifert, H.; Szanto, M.; Vogdt, J. (2012): *Risk habitat megacity. Waste Management in Santiago de Chile*. [en línea]
https://www.researchgate.net/publication/267822337_RISK_HABITAT_MEGACITY_-_WASTE_MANAGEMENT_IN_SANTIAGO_DE_CHILE
- Calvo, F.; Moreno, B.; Zamorano, M.; Szantó, M. (2005): *Environmental diagnosis methodology for municipal waste landfills*. *Waste Manage.* 25(8), 768-779. [en línea]
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.02.019>
- CEPAL (2012): Guía metodológica para la preparación y evaluación de proyectos de sitios de disposición final de residuos sólidos ordinarios (2012). Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica. [en línea]
<https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/methodology/Guia%20sitios%20de%20disposicion%20final%20de%20residuos%20solidos%20ordinarios.pdf>
- Colomer F. y Gallardo A. (2007): “Identificación de peligros asociados a un vertedero controlado”. En: *Residuos: Revista Técnica*. 97, 86-95.
- CONAM/CEPIS/ OPS (2004): *Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos*. Consejo Nacional del Ambiente. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima.
- Christiansen, T; Cossu, R; Stegmann, R. (1992): *Landfill of waste leachate*. Ed. Taylor, Londres.
- Christiansen, T; Cossu, R; Stegmann, R. (1996): *Landfill of Waste Biogas*, Ed. Spon, Londres.
- EA (2004) Guidance on the management of landfill gas. Landfill Directive. Landfill Task Group N3. Environmental Agency, Gran Bretaña.
- Edil T. B.; Ranguette V. J.; Wuellner W. W. (1990): “Settlement of municipal refuse”. En: *Geotechnics of waste fills: Theory and practice* (A. Landva y G. D. Knowles) ASTM, West Conshohocken, Estados Unidos, pp. 225-239.
- Erice I. (2003) La energía de la basura. *Ambienta* (Julio- Agosto), pp. 57-62.
- Esteban-García, A.; Muñoz J.M.; Szantó, M.; Tejero, I. (2001): *The other dimension in waste management: The informal sector and socio-labour insertion*. Proceedings, Sardinia 2001. Eighth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Paula, Cagliari, Italia, 1 al 5 de octubre de 2001.
- Espinace, R.; Palma, J.; Szanto, M.; Olaeta, J. A. (2011): *Recuperación de áreas utilizadas como vertederos controlados de R.S.U. Experiencias y proposiciones*. Académicos Universidad Católica de Valparaíso.
- Espinace, R.; Szanto, M; Schiappacasse, M. C. ; Chamy, R. *Asentamientos en un vertedero controlado a escala con recirculación de líquidos lixiviados*. [en línea]
https://www.academia.edu/18400804/ASENTAMIENTOS_EN_UN_VERTEDERO_CONTROLADO_A_ESCALA_CON_RECIRCULACION_DE_LIQUIDOS_LIXIVIADOS
- Eurostat (2013): *Sustainable development in the European Union. 2013 monitoring report of the EU sustainable development strategy*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo

- FEMP (2011): *Estudio del potencial de reducción de emisiones en los vertederos municipales. Federación Española de Municipios y Provincias.* [en línea]. https://www.miteco.gob.es/images/es/resreduccionvertederosfemp_tcm30-178823.pdf
- Grau, J.; Terraza, H.; Rodríguez, D.; Rihm, A.; Sturzeneger, G. (2015): *Situación del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe.* [en línea] <https://publications.iadb.org/es/situacion-de-la-gestion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe>
- Hogland, W.; Marques, M.; Nimmermark, S. (2004): “Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas”. En: *Journal of Material Cycles and Waste Management* 6.
- Laner, D.; Crest, M.; Scharff, H.; Morris, J.W.F.; Barlaz, M.A. (2012): “A review of approaches for the long-term management of municipal solid waste landfills”. En: *Waste Manage.* 32. 498 – 512.
- Llamas, S. y Mercante, I. (2011). “Restauración de sitios contaminados con residuos”. En: *Residuos sólidos un enfoque multidisciplinario.* (L. Márquez, Ed). Libros en red, Vol. I, pp 443-487.
- Lobo de Cortázar, A.; Szanto, M.; Llamas, S. (2016): “Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en Iberoamerica”. En: *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (Especial Residuos Sólidos), 123-139.
- Muñoz, J.; López, M.; Gil, J.; Szanto, M. (2007): *Diagnosis of the separate waste collection optimization - Santander (Spain) - Case Study.* [en línea] https://www.researchgate.net/publication/335793790_Diagnosis_of_the_separate_waste_collection_optimization_-_Santander_Spain_-_Case_Study
- Muñoz, J.; López, M.; Collantes, F.; Gil, J.; Szanto, M. (2007): *Análisis de ensuciamiento de playas urbanas.* [en línea] https://www.researchgate.net/publication/335794093_Analisis_de_ensuciamiento_de_playas_urbanas
- López, M.; Muñoz, J.; Collantes, F.; Gil, J.; Szanto, M. (2007): *Optimización de recogida selectiva en Santander. España.* [en línea] https://www.researchgate.net/publication/335794291_Optimizacion_de_recogida_selectiva_en_Santander_Espana
- Reinhart D.R. y Townsend T.G. (1998) *Landfill Bio- reactor Design and Operation.* Lewis Publishers. Estados Unidos.
- Rondón E. (2010) *Plan de cierre, sellado y rehabilitación del vertedero controlado Popeta, Melipilla, Chile.* Trabajo de tesis del Master en Ciencias Ambientales
- Rondón E. y Szantó M. (2012) *Ecoeficiencia y desarrollo de infraestructura urbana sostenible en Asia y América Latina: Residuos y reducción de gases de efecto invernadero: el caso de Chile.* Cepal Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Rondón, E.; Szanto, M.; Pacheco, J.; Contreras, E.; Gálvez, A. (2016): *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.* [en línea] <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>

- Szantó M., Muñoz J., Calvo, F., Zepeda F., Cantanhede, A., Acurio G. y Civallero T. (1996) Manejo y operación de un vertedero. Red Latinoamericana y del Caribe para la Capacitación y la Cooperación Técnica Mediante la Educación a Distancia. Córdoba, Argentina.
- Szantó, M.; Muñoz, J.; Calvo, F. (2008): *Gestión integral de residuos sólidos municipales e impacto ambiental*. Organización Panamericana de la Salud - OPS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS [en línea] https://www.researchgate.net/publication/33550890_Gestion_integral_de_residuos_solidos_municipales_e_impacto_ambiental
- Szanto, M. y Rondón, E. (2010): *Avances en la gestión de los residuos sólidos municipales, caso Chile*. [en línea] https://www.researchgate.net/publication/336014242_Avances_en_la_gestion_de_los_residuos_solidos_municipales_caso_Chile
- Szanto, M. y Rondón, E. (2012): *Ecoeficiencia y desarrollo de infraestructura urbana sostenible en Asia y América Latina: Residuos y reducción de gases de efecto invernadero: el caso de Chile*. [en línea] <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4025/1/S2012830.pdf>
- Szanto, M. y Rondón, E. (2021): *Gestión de los residuos sólidos domiciliarios: de residuos a recursos. El caso de Chile*. [en línea] https://www.researchgate.net/publication/353890413_Gestion_de_los_residuos_solidos_domiciliarios_de_residuos_a_recursos_El_caso_de_Chile
- Szanto, M.; Calvo, F.; Muñoz, J. *Manejo Local de Residuos Sólidos Domiciliarios e Impacto Ambiental. Módulo 1. Recolección y Transporte. Módulo 2. Tratamiento, Reciclado e Incineración. Módulo 3. Manejo y Operación de un Vertedero. Módulo 4. Evaluación del Impacto Ambiental*.
- Scharff, H. (2007) The Role of Sustainable Landfill In Future Waste Management Systems. Informe de la ISWA International Solid Waste Association.
- Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil, S.(1994) *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw Hill D.L. Madrid, España
- Tejero, I.; Szanto, M.; Esteban-García, A.L.; Muñoz J. (2001): *The other dimension in waste management: the informal sector and socio-labour insertion*.

DOCUMENTOS ANALIZADOS DEL PROYECTO APROBADO, OPERACIÓN Y FISCALIZACIONES DEL RELLENO SANITARIO TRANSITORIO PUNTRA DE ANCUD:

- **SEREMI DE SALUD DE LOS LAGOS:**

- Resolución N° 2, 10 de Enero 2020: "Aprueba Proyecto Sitio de Disposición Transitorio Puntra".
- Resolución Exenta CP N° 668/2020, 10 De Enero De 2020: Autoriza lugar Transitorio de Disposición de Residuos, Etapa N° 1, del Proyecto de Construcción y Operación de Sitio de Disposición Transitoria Puntra, Ancud, en condiciones que indica.
- Resolución Exenta CP N° 13287/2021, 11 de Junio 2021: Aprueba Modificación a prolongación Proyecto Sitio de Disposición Transitorio Puntra.

- **TRIBUNAL AMBIENTAL Y SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE:**

- Resolución Tercer Tribunal Ambiental, de fecha 17 de julio de 2021, Rol N° R-26-2020, que ordena paralizar la recepción de residuos en relleno sanitario Puntra y solo permite ejecutar las medidas ordenadas por la Superintendencia del Medio Ambiente.
- Resolución Exenta N° 1064, 25 de Junio 2020, Ordena Medidas Provisionales que indica a la Ilustre Municipalidad de Ancud, por operación del Relleno Sanitario Puntra.
- Resolución Exenta N° 1526, 3 de Julio 2021, Ordena Medidas Provisionales Procedimentales que indica a la Ilustre Municipalidad de Ancud, en el marco de la operación del Relleno Sanitario Puntra.
- Resolución Exenta N° 1828, 17 de Agosto 2021, Ordena Medidas Provisionales Procedimentales que indica a la Ilustre Municipalidad de Ancud, en el marco de la operación del Relleno Sanitario Puntra.