

# Recuperación de Suelo en Las Salinas

Aprendizajes, compromisos  
y desafíos de una tarea urgente

Dirección editorial:  
Gonzalo Undurraga - Equipo ILS

Comité editorial:  
Stephanie Rotella, Luis Álvarez, Salvador Donghi, Roberto Orellana, Michael Seeger, Marcel Szantó, Camilo Quiroga.

Anexo cartografía pasivos ambientales:  
Autor: Comité de Expertos en Saneamiento (CES).  
Información base: Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de Chile (2013).  
Apoyo cartografía: Karen Hoecker

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines no comerciales, por cualquier medio o procedimiento, siempre que se incluya la cita bibliográfica del documento.

+ info:  
[www.cienciaparaalaciudad.cl](http://www.cienciaparaalaciudad.cl)  
[www.lassalinas.cl](http://www.lassalinas.cl)  
email: [contacto@lassalinas.cl](mailto:contacto@lassalinas.cl)  
Jorge Montt 2300, Viña del Mar. Chile.

Diseño y diagramación: Elemento Media Design.  
Impreso en Chile - Noviembre de 2021

# Recuperación de Suelo en Las Salinas

---

Aprendizajes, compromisos  
y desafíos de una tarea urgente

# Índice

<b>PRÓLOGO</b>	<b>07</b>
----------------	-----------

---

PARTE 1

<b>¿CÓMO LIMPIAR UN SUELO CONTAMINADO?</b>	<b>11</b>
--	-----------

- El recurso suelo
- Suelos contaminados o *brownfields*
- Suelos contaminados en Chile
- Conceptos básicos de saneamiento
- Diagnóstico
- Estándar objetivo
- Tecnologías de remediación
- La técnica de biorremediación
- Experiencias internacionales de biorremediación

---

PARTE 2

<b>LAS SALINAS</b>	<b>31</b>
--------------------	-----------

- Pasado industrial de Viña del Mar
- Historia del Terreno Las Salinas
- Las Petroleras en Las Salinas

---

PARTE 3	
<b>PRIMER SANEAMIENTO EN LAS SALINAS (2001 - 2013)</b>	<b>37</b>
▪ Proceso de evaluación de las autoridades con competencia ambiental	
▪ Proceso de muestreo y diagnóstico	
▪ Implementación de las actividades	
▪ ¿Un <i>brownfield</i> en Viña del Mar?	
<hr/>	
PARTE 4	
<b>SANEAMIENTO AMBIENTAL DEFINITIVO, 2015 A FUTURO</b>	<b>45</b>
▪ Proceso de evaluación de las autoridades con competencia ambiental	
▪ El Comité Científico de Saneamiento	
▪ Actualización y modelación del proceso de muestreo	
▪ Aplicación de biorremediación en Las Salinas	
▪ Biopilas para la remediación de suelos	
▪ Biorremediación mejorada para el saneamiento del agua	
▪ Implementación de las actividades	
<hr/>	
PARTE 5	
<b>CIENCIA PARA LA CIUDAD</b>	<b>61</b>
▪ El valor de la comunidad	
▪ Un Proyecto Global de Investigación (PGI) al servicio del país	
<hr/>	
ANEXO	
<b>CARTOGRAFÍAS SPPC</b>	<b>69</b>
<hr/>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>80</b>



Terreno Las Salinas (Fuente: archivo ILS)

# — Prólogo

La disponibilidad de suelo ha ido generando una preocupación que crece en la medida que la población urbana aumenta en el mundo. Los centros y las periferias urbanas requieren de una optimización de los usos de suelo ante una mayor demanda, mientras que muchas zonas industriales comienzan a verse rodeadas por la mancha urbana<sup>1</sup>.

Reemplazar un área industrial monofuncional por un barrio diverso no solo aporta valor al conjunto urbano, permite además integrar herramientas de planificación y políticas de desarrollo territorial que de otra manera son difíciles de promover. Contar con espacios centrales para albergar barrios de uso mixto en reemplazo de usos industriales obsoletos, es clave para la optimización de suelo requerida y puede significar mejoras en la calidad de vida de la población local, en la medida que esto ofrezca acceso a vivienda, servicios, empleos, áreas verdes y espacios públicos de calidad. En ese contexto, el saneamiento de grandes paños de suelo industrial contaminado para su incorporación a las actividades regulares de una ciudad es un desafío que tenemos como país, mientras que en el mundo ha sido abordado de manera exitosa hace ya un par de décadas.

Esta es una materia en la que hay que actuar con urgencia, considerando que es un campo en el que hay mucho por aprender y conocer, más allá de la discusión académica a la que normalmente no accede la ciudadanía en general. Existe en la opinión pública una demanda de espacios de participación y al mismo tiempo una evidente falta de acceso a conocimientos del área científica y, en consecuencia, se observa una asimetría en la forma de abordar un problema de suyo ambiental, económico y social. En definitiva, de manera sostenible.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el **33% del suelo de nuestro planeta está degradado** debido a la erosión, la salinización, la compactación, la acidificación o la contaminación por productos químicos. Solo en nuestro país existen **más**

**de 600 sitios** en zonas urbanas con distintos tipos y niveles de contaminación, lo que dificulta su uso, reutilización, o desarrollo. A pesar de que es un problema antiguo, las posibles soluciones son una temática desconocida en Chile, donde aún no contamos con una norma ambiental específica como sí ocurre en otros países, como España por ejemplo, donde desde el 2011 rige la Ley de residuos y suelos contaminados.

El terreno de Las Salinas es un terreno que ha sido sometido a una primera fase de descontaminación, pero que aún conserva compuestos químicos remanentes. Se encuentra ubicado en uno de los sectores más demandados de la conurbación como es el borde costero de Viña del Mar. Una zona que históricamente ha sido la frontera que separa el centro y la Población Vergara con Reñaca (alto y bajo) y la vecina comuna de Concón y cercano al eje de desarrollo hacia las comunas interiores como Quilpué y Villa Alemana. Estas condiciones le confieren atributos a escala metropolitana, por lo que la importancia de recuperar de manera definitiva el sitio tiene un alcance en la dinámica intercomunal e incluso regional, dependiendo de los nuevos usos urbanos, los aportes en infraestructura pública y el desarrollo de la economía local que de allí surjan.

El terreno de las expetroleras acogió en el pasado el polo energético más importante del país. Su incorporación al tejido urbano significa un gran potencial para la ciudad, en directo beneficio de sus habitantes. Parte importante de esta tarea ya ha sido llevada a cabo, como es el desmantelamiento de la infraestructura sobre y bajo el suelo y el retiro de buena parte de los contaminantes. Hacerse cargo de la contaminación remanente del sitio no solo permite minimizar el potencial riesgo para la salud de las personas, significa además para Viña del Mar convertirse en un referente a nivel país, donde la recuperación de suelo en áreas urbanas del norte, el centro y el sur, aportaría a la integración social, el acceso a vivienda y los servicios urbanos y a solucionar conflictos socio ambientales crecientes. Y en

1. Se entiende como mancha urbana aquellas áreas construidas que están separadas por una distancia inferior a 500 metros lineales. La mancha urbana incluye además de las zonas edificadas, otros lugares de uso urbano como las áreas verdes que se encuentran rodeadas por edificaciones. Fuente: <https://estudiosurbanos.uc.cl>

**Esta memoria ambiental recoge todo el proceso de reconversión de suelo, de industrial a urbano, presenta las etapas de desarrollo y análisis multidimensional del contexto, los conocimientos acumulados durante casi dos décadas, para consulta de la comunidad en general, investigadores, autoridades, desarrolladores del área industrial y urbana, cuyo involucramiento y participación es cada vez más relevante en el ámbito de las políticas públicas para el desarrollo sostenible, tanto a nivel local como nacional.**

segundo lugar, a nivel local, significa el potencial de integrar diversos actores públicos y privados en la definición del nuevo destino urbano del sitio, aportando a un proceso de revitalización cultural, social y económico de la comuna.

A veinte años del acuerdo para el cese de operación de Las Petroleras, el desmantelamiento del polo industrial y una primera fase de saneamiento, lo que fuera parte de una visión de desarrollo regional de fines del siglo pasado hoy enfrenta un último tramo para materializarse. La visión impulsada por el entonces intendente Raúl Allard, **en el marco de la planificación para la renovación urbana regional, provincial y comunal**, se formalizó el año 2001 mediante un convenio entre el municipio viñamarino y las compañías petroleras, en el que se acordó el retiro del complejo industrial del sector Las Salinas, para incorporar el terreno al uso urbano.

El acuerdo dio pie al cese de la actividad industrial, el desmantelamiento de las estructuras superficiales y subterrá-

neas y la extracción de gran parte de los contaminantes –sobre todo metales pesados–, en un primer proceso finalizado con éxito el 2013. Además de dejar limpio el terreno, en forma general hasta un metro y en algunas áreas hasta cinco y ocho metros de profundidad, la operación fue contemporánea a la habilitación del actual borde costero y las playas Los Marineros y Los Cañones<sup>2</sup>, para el uso público, por parte del municipio. A esto se debe agregar el cambio al Plan Regulador Comunal a través del Seccional “Modificación PRC Sector Petroleras Las Salinas” el 2008, como primer paso desde la gestión municipal para incorporar el terreno a la trama de la ciudad.

Para culminar este proceso con el Saneamiento Definitivo del Sitio, se inició el año 2015 una nueva serie de análisis de muestras para la identificación, cuantificación y monitoreo de los contaminantes remanentes bajo el primer metro de suelo ya remediado, precisando a través del modelamiento de datos sus dinámicas de emplazamiento. El nuevo estudio del sitio apuntó a generar una propuesta definitiva y

2. La zona de nuevo borde costero ubicado en Jorge Montt fue construida a partir del año 2011 (4ta etapa) y 2012 (5ta etapa). Los años 2012 y 2013 se retiraron las tuberías de la playa para luego el 2015 y 2016 realizar un completo plan de muestreo y una evaluación de riesgo enfocado en el uso de los bañistas, deportistas y público en general que fue entregado a la municipalidad.



Las Petroleras a fines del siglo pasado. De izquierda a derecha: planta Copec Combustibles, planta Copec Mobil, planta Shell, planta Esso. (Fuente: archivo ILS)

segura, para cumplir el compromiso de integrar el sector de Las Salinas a la dinámica de desarrollo urbano de la ciudad.

Los avances en esta tarea se caracterizaron por la participación de diversos científicos de las universidades de la región. El Comité de Expertos en Saneamiento (CES) creado el año 2017, integrado por los profesores universitarios y científicos Luis Álvarez, Salvador Donghi, Roberto Orellana, Michael Seeger y Marcel Szantó, ha acompañado el desarrollo de los estudios para el resguardo de las condiciones técnicas y ambientales del proceso de saneamiento de manera permanente.

El proceso para elaborar el proyecto de Saneamiento Definitivo del Sitio no estuvo exento de dificultades y aprendizajes. Tras presentar dos Estudios de Impacto Ambiental (los años 2014 y 2017) que no cumplieron con las expectativas medioambientales, el 2017 la empresa comenzó la elaboración del proyecto de saneamiento por medio de la técnica de **biorremediación, el que finalmente obtuvo la**

### **Resolución de Calificación Ambiental favorable (RCA) por parte de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Valparaíso, el año 2020.**

El largo proceso de estudio, planteamiento y evaluación del proyecto, además de factores exógenos, pero no menos importantes, como han sido los fenómenos de inestabilidad política y emergencia sanitaria en el país y en el mundo, han ido estableciendo la necesidad de redoblar esfuerzos por comunicar de manera clara y comprensible los aprendizajes del proceso no solo a nivel científico, sino que también en términos de relacionamiento comunitario y finalmente a nivel corporativo.

El proyecto de saneamiento definitivo mediante biorremediación de suelo y aguas constituye un referente en el país para avanzar en la descontaminación de pasivos ambientales en áreas urbanas. No obstante, el mayor valor radica sin duda en el proceso para llegar a esta solución, dada su dimensión multidisciplinar y transgeneracional.





PARTE 1

# — ¿Cómo limpiar un suelo contaminado?

## El recurso suelo

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes para la vida en el planeta. Acoge una enorme diversidad de microorganismos que transforman los restos vegetales y animales en nutrientes, mezclándolos con partículas de roca, formándose de esta manera una capa delgada que permite la renovación de la vida en un proceso que toma cientos de años.

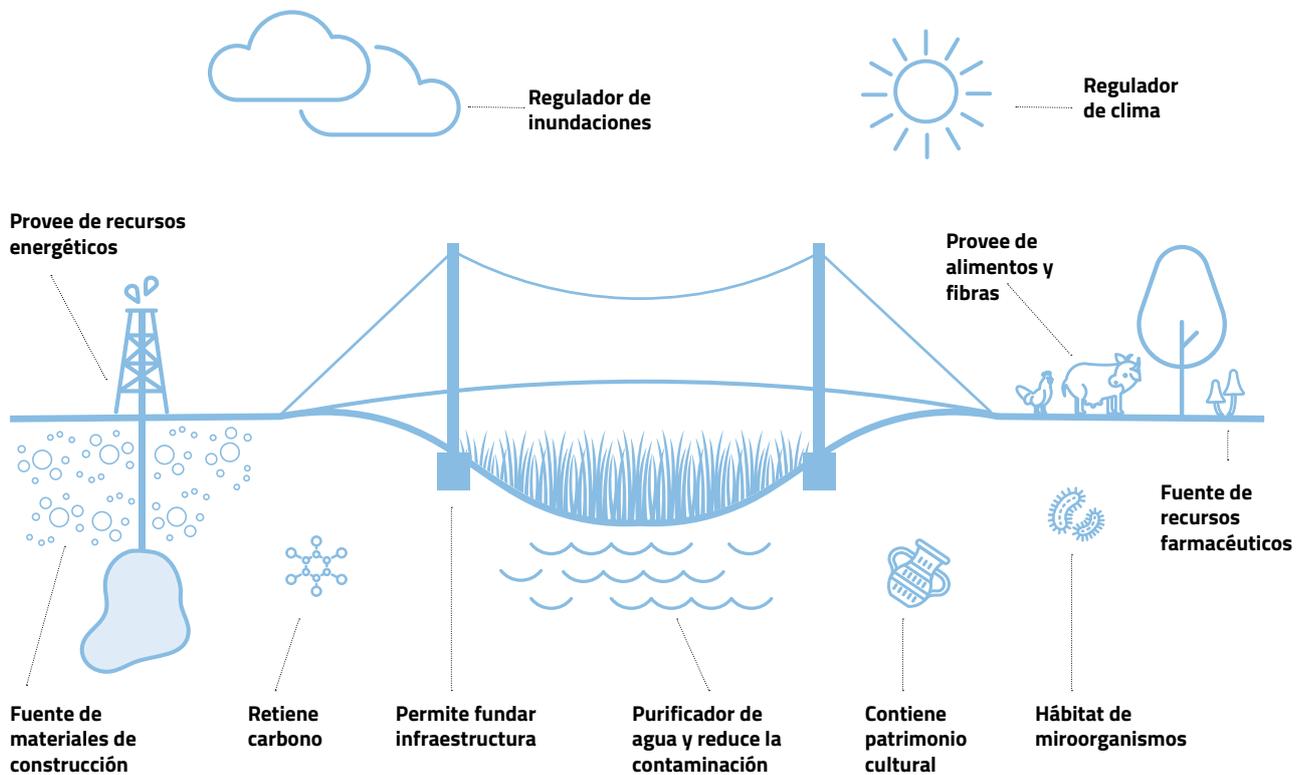
La interacción de todas estas formas de vida y materias invisibles para el ojo humano determina las propiedades físicas de cada suelo, el espesor que lo compone, donde cada capa tendrá una estructura y porosidad particular, modelada por el aire, el agua, el hielo y el calor del sol. Cada suelo tendrá una característica propia que dependerá del tipo de roca que lo originó, su antigüedad, relieve, clima, el tipo de vegetación y los animales que han vivido allí, pero también por las actividades humanas que lo han modificado.

El suelo es la fuente principal de los alimentos que consumimos y del oxígeno que respiramos. Es una parte integral del medio ambiente, como el aire y el agua, que debemos proteger y recuperar. Es la extensión sobre la cual se constituye el espacio para nuestra vida rural y urbana, lo que ha significado que haya sufrido daños por la erosión, los incendios forestales y las sequías, intensificadas por el cambio climático y la contaminación.

La pérdida de suelo no es reversible, por lo tanto, es un recurso finito, no renovable. Si bien el desarrollo de tecnologías y la ciencia aplicada permiten recuperar suelos para nuevos usos, el objetivo ulterior de estos procesos es proteger el suelo en su estado natural. A pesar de ser un recurso tan valioso y fundamental para la vida, la creciente presión del suelo con fines agrícolas, forestales, para la actividad industrial, de pastoreo y urbanización para satisfacer la demanda de alimentos, energía y extracción de materias primas complejiza el reconocimiento y relevancia en términos de la protección y recuperación que requiere este recurso.

Para un desarrollo sustentable se requiere un marco jurídico que regule el uso industrial del suelo, incluyendo la protección y reparación de éste llegado el momento, ya sea por renovación, traslado o término de operación en el sitio. De este modo se puede comenzar a revertir la expansión de suelo urbano, reemplazando esta demanda de suelo urbanizable que tradicionalmente ha sido el suelo rural, por suelo ya utilizado, el que se recupera como una estrategia para darle un uso más sostenible al territorio.

**Los esfuerzos de la academia local a nivel científico contrastan con la poca visibilidad que tiene este tema en la agenda política. Por lo tanto la recuperación de un sitio**





Lote en venta, en condición de brownfield, EEUU. (Fuente: archivo ILS)

como Las Salinas, desde la puesta en práctica de conocimientos que emanan de la academia local, es una oportunidad única de relevar a nivel país la importancia del manejo sostenible de un recurso natural, fundamental para la vida, como es nuestro suelo.

### Sitios contaminados o *brownfields*

Un *brownfield* es un terreno abandonado o en desuso, que se encuentra condicionado para ser redestinado a nuevos usos por la posible presencia de sustancias peligrosas o contaminantes. Un *greenfield* es un sitio o terreno prístino, que nunca ha sido intervenido por actividad antropogénica alguna, ya sea agrícola, industrial, residencial o de cualquier otro tipo.

Muchas propiedades comerciales, industriales e incluso algunas residenciales pueden estar ambientalmente contaminadas debido a usos pasados. Lo mismo puede ocurrir con espacios públicos, como infraestructura ferroviaria, puertos o aeropuertos, ya sea estén activos o inactivos, dado que pueden mantener concentraciones de contami-

nantes alojados bajo el suelo a lo largo del tiempo de manera imperceptible.

Sitios con estas características con frecuencia pasan desapercibidos para las personas. Pero la realidad es que hay cientos de ciudades donde se vive, trabaja o estudia cerca de terrenos con distintos niveles de contaminación. Dependiendo de cuales sean estos niveles y el uso de estos lugares, ya sea simplemente caminar, intervenir para construir algo o derechamente habitarlos, puede poner en riesgo la salud de las personas, por el posible contacto con los contaminantes que allí permanezcan.

También puede ocurrir que los contaminantes en un sitio en estado de abandono no signifiquen un riesgo inaceptable para la salud humana, de no existir una vía de exposición abierta. Sin embargo, para activar esos sitios para usos futuros se deberá establecer un estándar objetivo de saneamiento para la salud humana basado en el uso final y definitivo del sitio. Esto porque independiente del destino que inicialmente se disponga para el sitio, en un primer momento en que se active y deje de ser un *brownfield*, su uso futuro o final y definitivo, en otro contexto - que puede



Fábrica abandonada en Inglaterra. (Fuente: archivo ILS)

ser muy distinto al del momento en que se decide activarlo-, puede generar condiciones de exposición y, por lo tanto, constituir el factor de riesgo inadmisibles para el uso futuro que se quiere evitar.

El estándar objetivo permitirá establecer las condiciones de saneamiento óptimas para cada contexto. Quien se hace cargo de un *brownfield*, ya sea el Estado o un privado, debe diseñar un proceso de saneamiento que permita todos los usos previsibles a futuro. Por su parte, será el Instrumento de Planificación Territorial (IPT) el que defina los usos definitivos para el sitio.

La definición de un estándar objetivo no pretende devolver al suelo las condiciones preexistentes al uso que generó el daño ambiental (o lo que se podría asimilar a una condición de *greenfield*). Más bien, el esfuerzo se concentra en permitir la reutilización y reincorporación del sitio a la trama urbana –considerando la escasez de suelo urbanizable–

estableciendo las condiciones para minimizar los factores de riesgo para la salud de las personas y dejando que los procesos naturales restauren al largo plazo el remanente inocuo para la salud del cohabitante.

La problemática de los suelos contaminados y abandonados ha sido abordada desde hace varias décadas en el mundo. En Estados Unidos, donde hay más de 450.000 áreas industriales abandonadas, existe el Programa de Revitalización de Tierras, promovido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Su lista de potenciales lugares con características de *brownfield* es larga y considera estaciones de gasolina y almacenamiento de combustible, instalaciones ferroviarias, talleres de reparación automotriz, tintorerías y lavanderías industriales, plantas generadoras de energía, instalaciones agrícolas, minas o centros de faena y operación minera, centros de reciclaje de metales o vertederos, como también bases militares y aeródromos.

El tipo de contaminante que puede hallarse en un *brownfield* dependerá del tipo de actividad industrial preexistente. Hidrocarburos de petróleo, pesticidas, solventes, asbesto, plomo, y otros metales pesados son los más comunes. Si bien muchos de estos sitios por lo general se encuentran en zonas rurales, en muchos casos el crecimiento de la ciudad puede hacer que sean rodeados por poblaciones, como pasa por ejemplo con los vertederos. Por otra parte, es común la presencia de suelos contaminados en antiguas áreas industriales cercanas a centros históricos. Y en estos casos, la presión de la ciudad por renovar estas áreas céntricas ha hecho imprescindible la reutilización de estos terrenos. Esto explica por qué los procesos de saneamiento y reutilización de *brownfields* sea algo común en Europa, América del Norte y en países desarrollados con alta presión en la utilización del suelo.

A nivel global las distintas tecnologías implementadas para hacer frente a este fenómeno datan de hace más de 50 años. Estados Unidos y Europa fueron pioneros en desarrollar técnicas para la recuperación de suelos, a consecuencia de los efectos ambientales ocurridos con las dos Guerras Mundiales y la Guerra Fría.

En Canadá y Japón, por ejemplo, el traslado de grandes plantas industriales debido a la modernización de las mismas, se practica hace varias décadas. Esto ha significado

oportunidades de expansión o densificación urbana, en la medida que cada experiencia de remediación ha sido clave para la evolución metodológica de las técnicas de saneamiento en lo sucesivo, ya que cada caso es distinto, según el tipo de suelo, el tipo de contaminante, la morfología urbana e incluso el medio socio cultural en el que está inserto.

En otros contextos geográficos todos estos esfuerzos se han fortalecido por factores ligados al desarrollo tecnológico, la innovación y renovación de toda una matriz industrial asociada que ha generado un crecimiento del mercado de servicios de remediación que va de los US\$ 35 billones en 2009 a US\$ 91 billones en 2018 y continúa en franco crecimiento junto al establecimiento de nuevos proyectos en países industrializados en las últimas décadas, como India y China.

Todas estas experiencias han ido configurando un acervo científico de gran valor para la sostenibilidad medioambiental a nivel global. A raíz del acelerado desarrollo urbano, estas experiencias, acompañadas de normas y estándares adecuados están orientadas en definitiva a proteger el suelo -un recurso que hasta hace no mucho tiempo parecía inagotable-, desincentivando al mismo tiempo el crecimiento urbano por extensión, re-destinando el uso del suelo remediado para paliar la alta demanda de nuevas viviendas.



Petrolera y refinería abandonada en Portugal. (Fuente: archivo ILS)



Imagen vertedero Moravia, Medellín. Fuente: Alcaldía de Medellín (2005)



Saneamiento de suelo, relocalización de viviendas, parque y equipamiento en Moravia, Medellín. Fuente: Alcaldía de Medellín (2005).

El primer pronunciamiento importante sobre el “recurso suelo” desde la perspectiva ambiental data de 1972 y quedó contenido en la Carta Europea de Suelo, adoptada por el Consejo Europeo en 1977. En el documento los países firmantes suscribieron una declaración que hoy puede parecer elemental, pero que en ese entonces permitía recién trazar un camino hacia la protección de este recurso vital:

**“El suelo es uno de los bienes más apreciados de la humanidad. Permite la vida de los vegetales, de los animales y del hombre en la superficie de la tierra...”**

Desde entonces, el esfuerzo a nivel global por atender esta problemática se fue acrecentando y en 1990 en la reunión mundial de las Asociaciones de Derecho Ambiental se concluyó la necesidad de protección de los suelos como “*un bien de interés, cuyo uso debe hacerse respetando los intereses colectivos, presentes y futuros*”.

Posteriormente la Comisión Europea publicó la Estrategia Temática para la Protección del Suelo, el año 2006, que estableció la adopción de un criterio común para la declaración de un suelo como contaminado, la elaboración de un inventario de suelos contaminados y de planes de recuperación por medio de la remediación.

Por otra parte, a partir de la década del sesenta del siglo pasado, comenzó una gran presión sobre suelo no contaminado o *greenfield*, a raíz de la Campaña Mundial contra el Hambre promovida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Se generó el primer Mapa de Suelos de la FAO y de la UNESCO, a la vez que se activó el Programa de Fertilizantes, que permitió incrementar a niveles antes inimaginables la cantidad de hectáreas cultivables. Tras varios decenios, la FAO logra en diciembre de 2012 la Alianza Mundial por el Suelo (AMS), cuyo objetivo clave es mejorar la gobernanza y gestión sostenible de los suelos<sup>3</sup>. Destaca dentro de la lista de Prioridades para la Acción, la que se refiere a “*minimizar la degradación del suelo y restaurar la productividad de aquellos suelos ya degradados en regiones donde la gente es más vulnerable*”.

Sucesivamente, la relevancia en estas materias fue incorporándose a la agenda nacional de política ambiental, llegando a ser reconocida en enero de 2010, con la promulgación de la Ley 20.417 que modificó la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, introduciendo nuevas competencias legales al Ministerio del Medio Ambiente (MMA), a saber “*Proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos y suelos contaminados, así como la evaluación del riesgo de productos químicos, organismos genéticamente modificados y otras sustancias que puedan afectar el medio ambiente*”<sup>4</sup>.

Por último, en el marco del Programa de Acción Ambiental para el 2030 de la Comisión Europea y siguiendo los objetivos del Octavo Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente y del Pacto Verde Europeo, el 28 de abril de 2021

3. <http://www.fao.org/global-soil-partnership/about/es/>  
4. Art. 70, Ley 19.300

se aprobó la Resolución del Parlamento Europeo 2021 / 2548 (RSP) sobre la protección del suelo, por la cual “se pone de manifiesto la necesidad de elevar dicha preservación desde un marco europeo común, promoviendo su papel multifuncional y su uso sostenible”<sup>5</sup>

## Suelos contaminados en Chile

El año 2013 el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) publicó la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC)<sup>6</sup>, como punto de partida para exponer los principales procedimientos involucrados en la gestión de estos suelos. La metodología contempla tres fases: una primera fase de identificación, priorización y jerarquización de SPPC, una segunda fase de sobre evaluación preliminar sitio-específica del riesgo y una tercera fase sobre evaluación del riesgo y plan de acción para su gestión.

La identificación, evaluación y control de la presencia de fuente(s) de contaminación, vía(s) de exposición y población humana eventualmente expuesta a los contaminantes es útil, en síntesis, para corroborar la existencia de los tres eslabones básicos necesarios para que se manifieste un riesgo para la salud de las personas (fuente-ruta-receptor), en los suelos en estudio.

Para la elaboración de esta guía se realizó un levantamiento de información con la identificación y georreferenciación de suelos, una priorización desde el análisis en base a criterios ambientales relacionados con el riesgo ambiental, además de la inspección directa de éstos.

La guía da recomendaciones sobre los planes de muestreo establece la evaluación de riesgo como la metodología recomendada para definir los estándares objetivos.

Los procedimientos definidos en la Guía permiten su aplicación para todos los SPPC o solo la parte de ellos que define como “suelos abandonados” y que en el presente documento se definen como *brownfield*. La Guía menciona las definiciones enfocadas en la gestión de estos suelos, por parte de la autoridad ambiental.

Una cantidad importante de casos en los que se presenta el riesgo inadmisibles para la salud en Chile se da por el crecimiento de áreas urbanas, sobre todo en el caso de asentamientos informales y en territorios periféricos ambientalmente degradados de ciudades intermedias, históricamente vinculadas a actividades industriales de tipo extractivo, como es el caso de Antofagasta, Iquique o Puerto Montt.

Otra concentración significativa de *brownfields* se encuentra en las cercanías o inmersos en áreas metropolitanas como el Gran Valparaíso, el Gran Concepción o el Área Metropolitana de Santiago. Los sitios aún en operación se concentran mayoritariamente en áreas urbanas del Norte Grande debido a la actividad minera y la cadena de transporte del mineral por ciudades puerto asociadas históricamente a esta actividad en su hinterland<sup>7</sup>. Por su lado, en comunas que albergan grandes parques industriales como es el caso de Quintero – Puchuncaví, las denominadas “zonas de sacrificio”, se debe considerar un riesgo mayor en la salud de los habitantes que colindan al parque industrial, las que han ido padeciendo además de los efectos en la

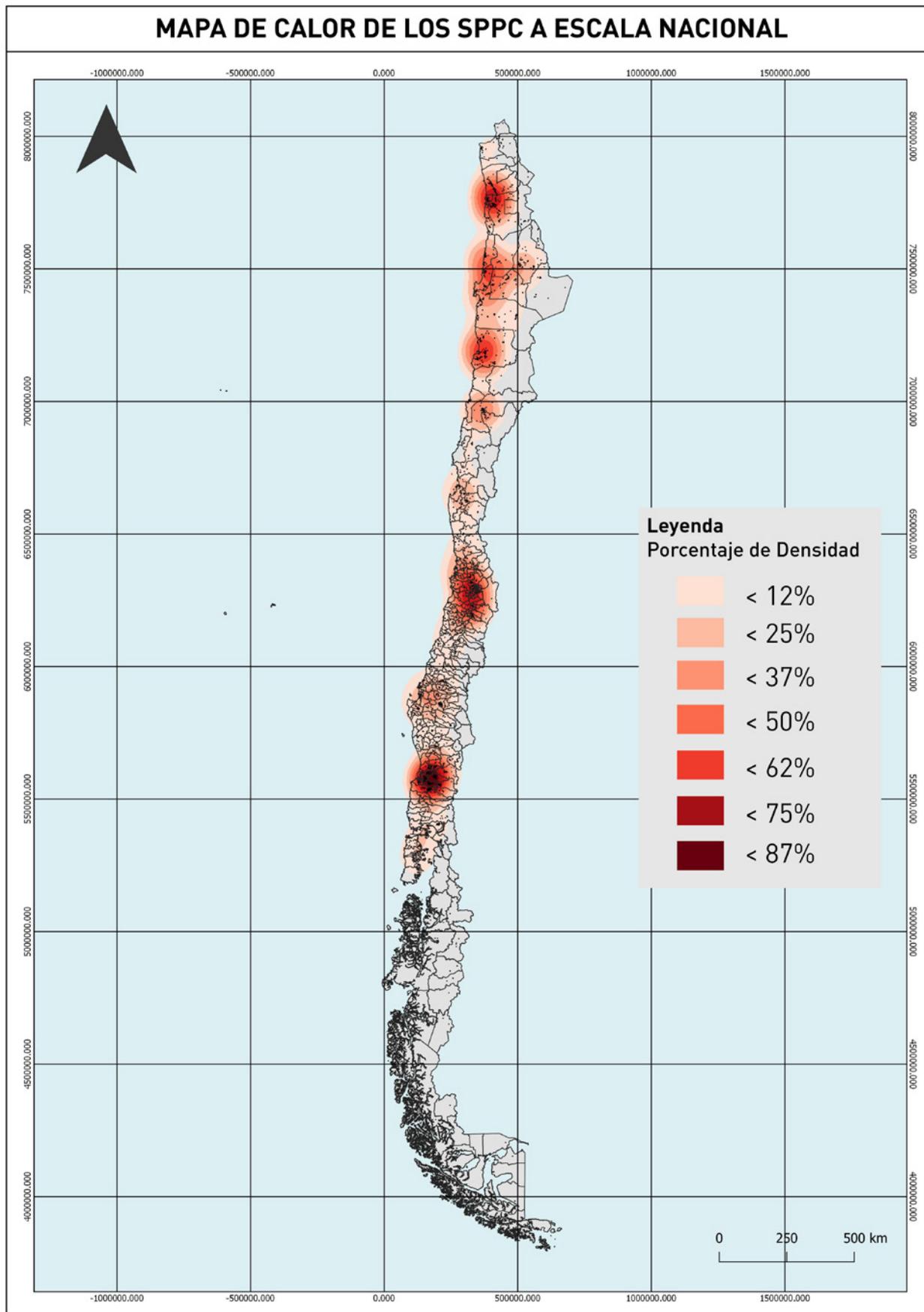


Vista aérea de Tocopilla, Chile.

5. Fuente: [https://ec.europa.eu/environment/strategy/environment-action-programme-2030\\_es](https://ec.europa.eu/environment/strategy/environment-action-programme-2030_es)

6. [http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/Res\\_406\\_GuiaMetodologicaSuelosContaminantes.pdf](http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/Res_406_GuiaMetodologicaSuelosContaminantes.pdf)

7. Zona de influencia de un puerto o de una gran ciudad.



Cartografía Nacional Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC). Porcentaje de densidad Pasivos Ambientales en zonas urbanas o peri-urbanas. Fuente: Comité Expertos en Saneamiento, en base a Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, Ministerio del Medio Ambiente, año 2103.



Relleno Sanitario Loma Los Colorados Til Til, Chile. (Fuente: archivo ILS)

contaminación del subsuelo, los que tienen que ver con la mala calidad del aire, considerando que son complejos industriales activos y de carácter estratégico como parte de la matriz energética del país.

En un barrido de norte a sur, de acuerdo a la carta de SPCC, publicada en la guía del MMA, exponemos a continuación en la presente memoria un panorama que permite poner en contexto la situación del terreno de las ex petroleras de Las Salinas a nivel nacional. Se agrega a la información recogida en la Guía del MMA, un anexo con la cartografía levantada (ver pág. 70), lo que permite revisar la distribución geográfica de los sitios que reúnen "potencial presencia", las fuentes de las actividades de carácter contaminante que conforman el catastro y su relación con el entorno urbano en el que se insertan<sup>8</sup>. Se considera las variables de precariedad de las viviendas con moradores, atendiendo la pobreza física o material, para evidenciar que la potencial presencia de sitios contaminados mantiene una estrecha relación con la pobreza urbana.

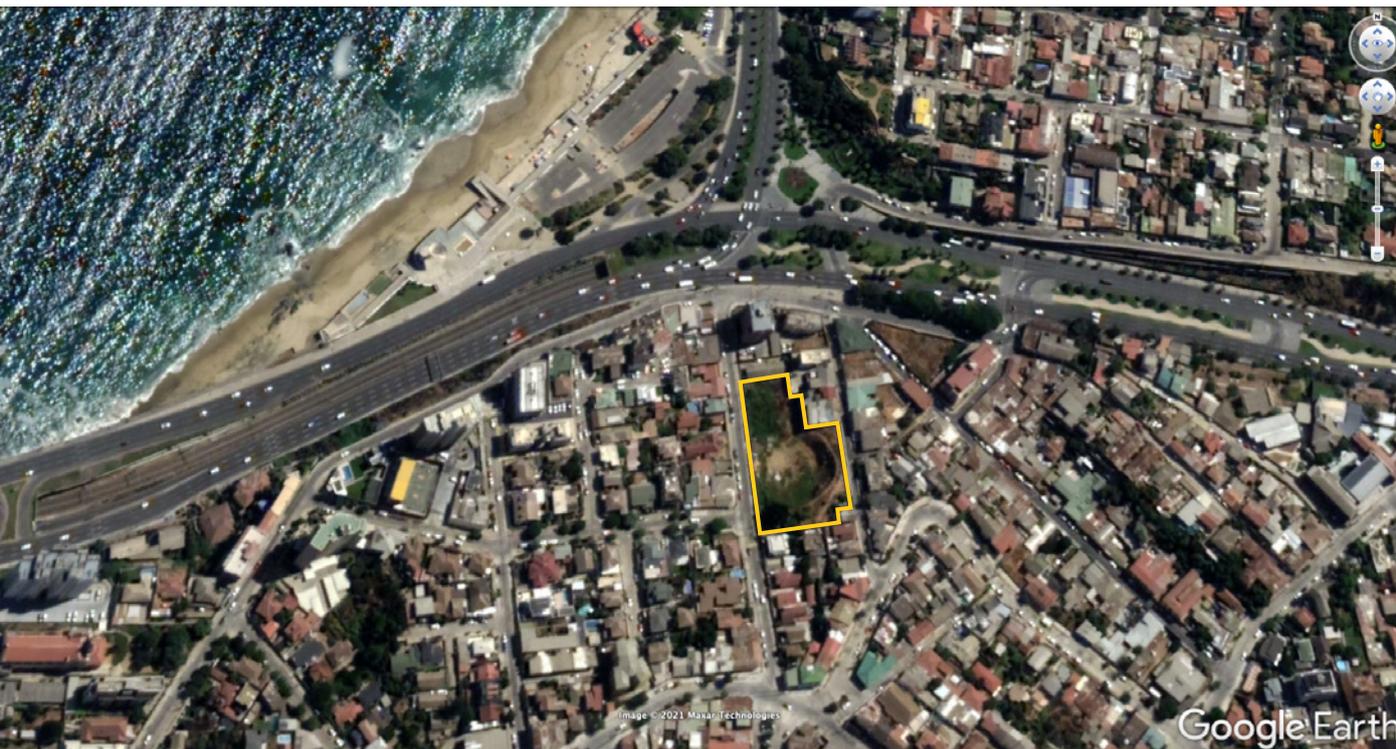
Comenzamos en Arica, donde al norte de la ciudad destacan los depósitos de relaves y mercancías peligrosas presentes en el área urbana, correspondientes al Sitio Ex Promel. Estos desechos mineros, con altas concentraciones de mercurio, plomo y arsénico, entre otros metales dañinos para la salud de las personas fueron trasladados desde Suecia a Arica por la empresa sueca Boliden Mineral

entre 1984 y 1985. Un caso que reviste especial interés de la opinión pública por la gravedad de la situación, la que ha motivado incluso el emplazamiento el año 2021 de Relatores de la ONU a los gobiernos de Chile y Suecia a dar una solución definitiva a estos desechos altamente tóxicos. Al margen de este caso tan particular, se suma una serie de vertederos clandestinos y el vertedero municipal ubicado en el sector Quebrada Encantada.

En la conurbación Iquique – Alto Hospicio se encuentra una serie de sitios al norte, en la actual Zona Franca de Iquique (ZOFRI), donde se ubicaba la antigua Estación de Ferrocarriles. Además de tres sitios relacionados con producción y primera transformación de cobre activos y dos abandonados, se suma una veintena de sitios de recogida y tratamiento de residuos asociados a la fabricación de productos minerales, químicos, de producción de metales preciosos y dos plantas de recogida y tratamiento de residuos domésticos.

En las áreas urbanas y peri urbanas de Tocopilla, Mejillones y Antofagasta, el catastro muestra una distribución en Tocopilla con tres botaderos clandestinos, además de sitios para la producción y primera transformación de cobre en Bahía Algodones y un área de almacenamiento de combustibles y depósito de escorias y cenizas; al oeste, trece sitios de producción y primera transformación de cobre; al sur otros tres sitios de producción y primera transforma-

8. Fuente: Interpretación de la Carta de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPCC) Alvarez, Luis.



Terreno exgasómetro de Viña del Mar, c° Recreo. Un brownfield con potencial presencia de contaminantes, en estado de abandono.

ción de cobre; y el sector de la industria AESGENER con tres sitios de producción y primera transformación de cobre. En Mejillones se ubica un sitio de recogida y tratamiento de otros residuos; en Antofagasta dos sitios de almacenamiento de combustibles y explotación petrolífera y de gas; y al oeste de la ciudad dos sitios declarados como Zona de Derrames Químicos asociados a la producción y primera transformación de cobre.

Respecto de la ciudad de Calama, el catastro muestra una distribución al sector noreste de la comuna con diecisiete sitios de producción y primera transformación de cobre y recogida y tratamiento de otros residuos, además de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Calama, TRATACAL. Por el suroeste de Calama se muestran siete sitios de recogida y tratamiento de otros residuos.

En el caso de Copiapó y su proyección hacia Tierra Amarilla, ciudades cuyo pasado minero se remonta a sus orígenes como asentamiento, hoy presenta una densidad bastante amplia y dispersa de antiguas faenas de extracción, procesamiento y relaves, donde según los datos del catastro de SPPC, se identifican 55 sitios, de los cuales hay 52 del ámbito de la extracción y tratamiento minero, dos vertederos y una planta con aserradero y tratamiento de maderas.

En Chañaral, como puerto histórico de la actividad minera desarrollada por Potrerillos y El Salvador su mayor impacto ocurre en la bahía, la que no se reconoce a propósito que la guía de SPPC considera estudios en tierra firme y no en las condiciones marítimas.

En el área conurbada de la Bahía de Coquimbo, diversas

actividades, desde acopios y distribución de combustibles con tres sitios, una actividad pesquera, industrias químicas y acopios de las mismas y 6 sitios con contaminantes producidos por pesticidas componen el catastro de la Guía.

En la Zona Centro, la Bahía de Quintero (compartida en su administración por las comunas de Quintero y Puchuncaví), presenta según el catastro de SPPC, veintidos sitios en el área inmediata a la bahía abrigada. Además de actividades como puerto granelero, en la zona coexisten actividades para la generación, manipulación y traspaso de elementos energéticos y combustibles, conversión energética, fundición de cobre y otros minerales en el área territorial inmediata. Los SPPC señalados en las inmediaciones territoriales están relacionados con los residuos del tratamiento de minerales en etapa de fundición, excedentes de ánodos de cobre, depósitos de cenizas por procesos de combustión de carbón, elaboración, importación y venta de productos químicos y plásticos, remanentes de fabricación de asfaltos, manipulación y almacenamiento de asfaltos a granel, en tambores, combustibles líquidos y gaseosos. En el extremo inferior de la comuna límite con la comuna de Concón se concentra un foco de instalaciones vinculadas a la clusterización de la Refinería de Petróleos RPC en la ribera sur, todo este subsistema funcionalmente relacionado con la Bahía de Quintero como terminal de los combustibles a tratar enviados por oleoductos entre la bahía y el punto de refinación.

Por su parte, en la conurbación del Gran Valparaíso, además de Las Salinas, que revisaremos en extenso en este documento, existe un número no menor de sitios que reúnen "potencial presencia", donde existe dos áreas de mayor



Suelos impactados por faenas industriales en comuna de Til Til, Chile.

concentración. La primera se encuentra en la zona del estuario y desembocadura del río Aconcagua, donde el cluster relacionado a la industria petroquímica de la Refinería de Petróleos de Concón (RPC) concentra actividades como el tratamiento de asfaltos, fábrica de fonolitas, industrias químicas, almacenamiento de redes de gases y oleoductos, además de un matadero cercano. Luego la zona de Chorillos – El Salto, que viene a ser el más antiguo barrio industrial vinculado al desarrollo de la infraestructura ferroviaria y que presenta remanentes industriales vinculados a procesos químicos, con empresas asociadas a la fabricación de pinturas, polímeros, además de industrias imprimantes (fonolitas principalmente).

En tercer lugar se encuentra la Zona Industrial de Placilla de Peñuelas, donde existe actividad industrial relacionada al almacenamiento extraportuario de químicos y derivados (TDK) y manipulación de residuos, pinturas y carenado para la mantención de equipamientos navales. A estas zonas hay que agregar sitios dispersos como son los vertederos El Molle, Reñaca Alto, La Jarilla y Villa Alemana.

Y como un punto muy aislado, pero no menos importante dado lo desconocido del caso para el común de los habitantes de Viña del Mar, es el caso del terreno en el que por más de 80 años (1909 a 1997) estuvo instalado el Gasómetro de Viña del Mar en la calle Roma del cerro Recreo, a escasos 200 metros del Reloj de Flores, hoy erizado desde su desmantelamiento, siendo un caso complejo de *brownfield* en medio de la ciudad, al mantener suelos potencialmente contaminados por la manipulación de almacenaje y distribución de gas propano.

En el Área Metropolitana del Gran Santiago, se distinguen tres grandes concentraciones: en el sector norponiente con Tiltill, Lampa y Batuco; en el sector poniente con Quilicura, Renca, Pudahuel, parte de Quinta Normal, Cerro Navia y Lo Prado; y un tercer sector compuesto por Puento Alto, La Pintana, parte de La Granja y San Bernardo. Destaca además el eje de conurbación Peñaflor – Talagante.

En el primer grupo, que corresponde a las áreas norponiente, predominan los antecedentes por actividades mineras, algunas abandonadas, extracción de arcillas y también como depósito de residuos, la presencia de minería en Mina Resguardo o Maymay, o las antiguas labores auríferas del estero de Lampa, posiblemente agregando mercurio para obtener el azogue, separador de la plata y oro. Figuran como referencias de pasivos ambientales de esta área algunos depósitos de residuos en Bienes Nacionales de Uso Público (BNUP) y una compañía minera, con presencia en Batuco de oficinas y laboratorios de minería de Pullally y Catemu. Acopios de neumáticos y desechos de la construcción, un sector norponiente con antecedentes en minería, acopio y por su condición periférica hoy depositaria de desechos industriales, automotrices, voluminosos entre otros desechos de la construcción, la industria y residenciales.

El segundo grupo o concentración lo encontramos en el sector Poniente del Área Metropolitana, con sectores y sitios con potencial de residuos contaminantes en torno a procesos industriales, desechos industriales, residuos de materiales y demoliciones de construcciones, algunas canteras de arcillas que generan remoción y latencia de materiales en suspensión.

En el sector sur oriente de Santiago, existe una presencia mayoritaria de vertederos de desechos domésticos, (muchos tratados y reconvertidos a parque). En el eje camino Cerrillos Talagante, encontramos como referencia las antiguas instalaciones del aeropuerto de Cerrillos y algunos centros de forja liviana, que incluyen una fundición de metales.

Rancagua está dentro de un contexto de pasivos ambientales en el histórico distrito minero de Chancón, donde se concentra la mayor parte de estos, sin desconocer que en comunas vecinas como Machalí, Requínoa y las Cabras, hay también referencias de lo que la Gran Minería del Cobre ha generado como pasivos en relaves significativos como Barahona en la Cordillera de Machalí, Colihues en Requínoa y el actual embalse Carén en la comuna de las Cabras. Pero en Rancagua, solo se distingue las instalaciones de maestranza, patios del cobre de las antiguas instalaciones férreas, y otros de la actual División El Teniente, además del vertedero de basuras domésticas, chatarra y vehículos abandonados a un costado de la Ruta 5.

En la ciudad de Talca el panorama es distinto. El catastro muestra solo tres puntos potencialmente contaminantes muy diferentes entre ellos. Una planta de almacenaje de gas licuado, el vertedero Buena Vista y un centro de almacenamiento de agroquímicos, pesticidas y plaguicidas.

Más al sur, en el área metropolitana del Gran Concepción (con la participación de las comunas de Concepción, Talcahuano, Hualpén, Penco, Tomé, Curanilahue, Lebu, Coronel, Lota y Arauco), los SPPC se subdividen en sitios en torno a las actividades silvícolas, preferentemente tratamientos de las maderas y la presencia de aserraderos, con 12 sitios de los cuales 3 se presentan abandonados. El trabajo silvícola está restringido a las terrazas costeras y su impacto como pasivo industrial se reduce a sectores periféricos, al margen de los centros poblados.

Junto a la actividad silvícola se generan impactos con la extracción de recursos fósiles como el carbón en Lota, Arauco y Curanilahue. En tercer lugar, se encuentra la confinación de residuos o remanentes de procesos industriales y luego



Area de residuos industriales en Complejo Industrial Puchuncaví, Chile. (Fuente: archivo ILS)



*Campañas de muestreo. (Fuente: archivo ILS)*

sitios de almacenamiento y distribución de combustibles con cuatro puntos. En forma parcial un sitio agrícola con almacenamiento de fertilizantes e insumos agrícolas y dos plantas reguladoras y tratamiento de aguas y depósitos de riles. Mención especial requiere el complejo siderúrgico de la Compañía de Aceros del Pacífico (CAP) y la Refinería de Petróleo de ENAP, en que el tiempo transcurrido y las actividades desarrolladas aseguran pasivos ambientales muy significativos.

En Temuco y Padre Las Casas la guía del MMA distingue 10 sitios en la categoría “recogida y tratamiento de otros residuos”, mayormente escombreras y depósitos materiales industriales y de construcción, todos ellos en situación de abandono, o no regulados. Junto a estos se agrega un tratamiento industrial de la madera en estado de abandono.

Valdivia presenta un panorama de SPPC caracterizado por 8 centros de tratamiento de madera y aserradero, en el área urbana, además de actividades relacionadas con la generación y almacenamiento transitorio de residuos peligrosos con diez centros dentro de los que se incluye una bodega municipal. A esto hay que sumar con más de 50 sitios destinados a la manipulación y bodegaje de pesticidas y fertilizantes.

Puerto Montt a su vez presenta una diversidad de SPPC, con dos grupos significativos. En primer lugar, aquellos que han sido destinados para aserraderos y tratamiento de madera, los que suman 70. En segundo lugar los de “recogida y tratamiento de residuos”, donde los botaderos de desechos pesqueros son la referencia, además del vertedero Lagunitas y los botaderos de dos instalaciones de procesadoras de productos del mar, uno de los cuales está abandonado. Sumado a esto existe una fábrica de premoldeado y fibrocemento, una laguna de estabilización de aguas residuales en estado de abandono, una fábrica de carbonato de calcio, una de aceite de pescado y una de pesticidas y otros productos acropecuarios.

Punta Arenas, en el extremo sur de nuestro país, tiene como referencia los pasivos ambientales de las actividades petroquímicas, pero en escala menor dentro del área

urbana, dado que se encuentran en Punta Dúngenes y en Tierra del Fuego. A la categoría “recogida y tratamiento de residuos” con tres puntos informados, se suman dos aserraderos y una planta de hormigón en estado de abandono. De los botaderos, escombreras y similares, se distingue una planta abandonada de procesamientos en el Barrio Industrial, otro de residuos sólidos urbanos y una escombrera en el sector Río de la Mano y en la prolongación de calle Pedro Aguirre Cerda, además de una referencia industrial de aceites minerales en la ruta 9 norte, en el sector denominado Cantera.

En esta revisión del catastro realizado por el MMA de suelos contaminados derivados de la actividad industrial en Chile, se dispone de evidencia suficiente para relevar la necesidad de abordar la remediación de los pasivos ambientales con decisión y responsabilidad. Muchos suelos contaminados siguen siendo el soporte para operaciones industriales activas, algunas operando de manera más informal que otras, mientras que otro tanto ha quedado en estado de latencia o son sitios simplemente abandonados.

Pocos casos reúnen las condiciones para suscitar el interés público como es el caso de las “ex petroleras” de Las Salinas en Viña del Mar. La oportunidad que ha significado para el desarrollo científico local, el potencial que tiene para activar la economía, el desarrollo social y cultural de la ciudad y la región, demostrando capacidad local para abordar esta problemática, es algo indiscutible. El hecho que el terreno haya sido sometido a una primera etapa de retiro de contaminantes y de contar con un proyecto de biorremediación definido, representa un avance trascendental para el país frente a la problemática de los suelos contaminados. La técnica de biorremediación implica un salto cualitativo dada la visibilidad de un proyecto en el centro de la capital turística de Chile.

Al ser un proyecto pionero, la biorremediación de suelo y aguas del terreno Las Salinas puede marcar una tendencia positiva de recuperación ambiental y urbana para las ciudades de nuestro país.

## Conceptos básicos de saneamiento

Para elaborar un proyecto de saneamiento de suelos se deberá atender las particularidades de cada caso, y por lo tanto, cada proyecto será diferente. Sin embargo, existen conceptos básicos que deben ser considerados a nivel general, independiente de cual sea la situación de impacto, contexto y ubicación geográfica del proyecto. Para abordar estos conceptos corresponde primero ir a la definición del concepto "saneamiento", para entonces ir comprendiendo mejor cuál es la lógica desde la que se aborda la acción y el marco que establece los criterios de base para actuar.

En nuestro país, la normativa ambiental considera como proyectos de saneamiento ambiental **"los sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos"**. Asimismo, la Ley estipula que para que un proyecto de saneamiento de un sitio entre al Sistema de Evaluación Ambiental, deberá tratarse de un "área que contenga una superficie igual o mayor a diez mil metros cuadrados (10.000 m<sup>2</sup>)"<sup>9</sup>. De este modo, nuestro marco regulatorio establece en los conceptos "tratamiento y disposición" el ámbito de acción para la protección de los suelos en el país, fijando una unidad territorial básica (una hectárea = una manzana urbana) para abordar el problema.

Un suelo degradado es más fácil de recuperar si lo que se quiere es que tenga un nuevo uso para actividades humanas y mucho más difícil si lo que se pretende es que vuelva a un estado natural. Dicho de otro modo, el esfuerzo económico, social y ambiental de recuperar un suelo degradado por una actividad industrial se justifica en mayor medida si la siguiente actividad no industrial es a su vez una que ayude a mitigar el riesgo para las personas a niveles aceptables y suponga un beneficio social y ambiental dado los nuevos usos que tenga<sup>10</sup>. Y esto tiene una explicación muy simple: el saneamiento de suelos para que sea exitoso en

términos de minimizar el impacto que implica la actividad misma de sanear, requiere de una inversión importante en investigación y desarrollo científico.

El saneamiento de un suelo requiere de un proceso de muestreo, análisis y aplicación de saber científico no menor. La optimización de todos los recursos técnicos y humanos disponibles será proporcional al nivel de saneamiento y riesgo asumible que requerirá el tipo de uso al que se destinará el suelo a remediar.

El suelo, una vez eliminada la fuente contaminante (la actividad industrial), al haber sido sujeto de la disposición de compuestos químicos que constituyen un riesgo inadmisibles para la salud y para el medio ambiente, debe ser evaluado en su nivel de impacto, tanto en la identificación de los contaminantes como en la concentración de estos materiales tóxicos en el ambiente. Esto implica la generación de estudios capaces de establecer las bases técnicas y el objetivo final que se pretende con el saneamiento. Cuando se trate de un proceso a ser realizado dentro del terreno, el saneamiento se focalizará en la reducción de los contaminantes existentes a niveles aceptables de riesgo sin que se trasladen o traspasen al medio ambiente.

Para abordar la serie de análisis y procesos de monitoreo que permiten reflejar la complejidad y heterogeneidad propia de un sitio en términos de su contaminación y permitir la elaboración de estudios capaces de evaluar la tecnología más apta para la remediación y su implementación segura, se ocupan tres conceptos básicos:

## Diagnóstico

El primer paso en todo proceso de saneamiento es la evaluación idónea y precisa del tipo, cantidad y ubicación específica de él o los contaminantes en el suelo y agua, lo que se realiza a través de la integración de información obtenida a partir del monitoreo en terreno y el desarrollo de mues-



9. Art. 3º Reglamento Sistema de Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente.

10. Precisión para la interpretación del concepto de remediación basada en la Evaluación de Riesgo (Risk Based Corrective Action RBCA), utilizada a nivel global y validada a nivel nacional en la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC), MMA - 2013.



Area de tratamiento de suelos por biopilas en Lacq, Francia. (Fuente: archivo ILS)

treos y análisis de las muestras ambientales, por medio de un Plan de Muestreo. Se recomienda que este proceso se lleve a cabo en distintos lugares y tiempos dentro del sitio contaminado, para así reflejar la dinámica espacio-temporal que pueden poseer los contaminantes. Esto es, conocer dónde están los contaminantes, cuánta es su concentración y características y como éstos se pueden movilizar dentro del sitio a lo largo del tiempo a partir de una modelación estadística representativa del sitio.

Conocer con precisión los componentes del suelo y agua que han sido impactados y así entender como estos interactúan dinámicamente con los otros factores del ambiente, es parte fundamental de todo diagnóstico, ya sea los componentes hidrogeológicos y la biota, como también, el contexto rural, urbano, industrial o costero en el que éste se encuentra. En definitiva, es el levantamiento de una línea de base de todas las variables ambientales del sitio y su entorno.

### Estándar objetivo

El método de selección de una referencia como estándar objetivo se basa en una Evaluación de Riesgo a la Salud Humana (HHRA, por sus siglas en inglés). Esta es una práctica estandarizada y utilizada mundialmente con el fin de establecer los objetivos de remediación de sitios, y que se define como una evaluación de los potenciales efectos adversos sobre la salud humana y/o el medioambiente, que puedan provocarse como consecuencia de la exposición

durante un tiempo determinado a concentraciones diversas de compuestos químicos en fuentes identificadas, a través de diferentes vías de exposición.

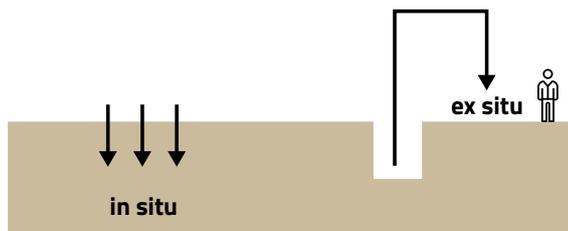
Para nuestro país, se utilizan metodologías que se encuentran normadas expresamente en la "Guía de Evaluación de Impacto Ambiental y Riesgo para la Salud de la Población en el SEIA" (SEIA, 2012) y en la "Guía Metodológica para la Gestión de Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes" (MMA, 2012).

### Tecnologías de remediación

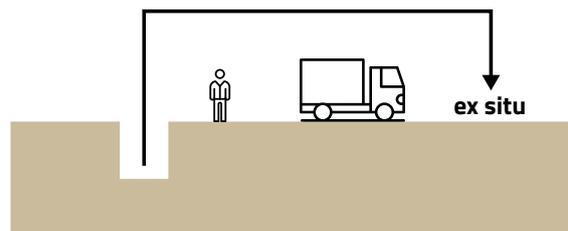
Las tecnologías de remediación o tratamiento implican operaciones que alteran la composición de los contaminantes a través de acciones químicas, físicas, biológicas, o la combinación de éstas, para reducir la toxicidad, la movilidad o el volumen del material contaminado a concentraciones que supongan un riesgo asumible en función de los usos futuros previstos.

**De acuerdo al lugar de realización del proceso, las tecnologías de remediación se pueden dividir en dos tipos: "in situ" y "ex situ".**

La tecnología *in situ*, es aquella que considera la remediación del suelo interviniéndolo sin removerlo. Esto puede ser, por ejemplo, mediante la introducción de compuestos químicos por medio de perforaciones u otros métodos que



**ON SITE**



**OFF SITE**

no impliquen excavaciones o extracción de cantidades significativas de suelo.

**La tecnología *ex situ*, es la que interviene el suelo, extra-yéndolo ya sea para proceder a su remediación *on site* (en el mismo terreno) u *off site* (fuera del terreno). Por ejemplo, la biorremediación *ex situ* consiste en el retiro del material, el que puede ser tratado dentro del mismo terreno (*on site*) o mediante la disposición en lugares apropiados ubicados fuera del terreno (*off site*).**

Un ejemplo claro del caso *off site* es lo que ocurre con los residuos peligrosos, denominados RESPEL, en que la única manera de remediar es llevándolos a rellenos de seguridad y especialmente acondicionados. A esto también se le denomina como "remediación física".

Las opciones de remediación para sitios contaminados dependerán del tipo de contaminante, sus características físicas y químicas y grado de concentración; la dinámica espacio temporal de los contaminantes y su interacción con otros factores ambientales, el uso del suelo donde se encuentran y morfología urbana del entorno, las características naturales del suelo, de las aguas subterráneas y de los procesos biogeoquímicos que toman lugar en el sitio a remediar, y las capacidades y limitaciones de las tecnologías de remediación.

### La técnica de biorremediación

Las metodologías de biorremediación pueden aplicarse *in situ* o *ex situ*. Las dos estrategias más utilizadas para las operaciones de saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biorremediación *ex situ* son el *landfarming* y las biopilas, dos técnicas radicalmente distintas en términos del impacto que generan al entorno donde se apliquen.

En el proceso de *landfarming*, la remediación se produce tanto por volatilización como por biodegradación, al disponerse una capa fina del suelo contaminado sobre una superficie, de manera de favorecer la actividad microbiana mediante la oxigenación. Sin embargo, a pesar de que puede ser una metodología de nulo impacto para la salud de las personas durante el proceso de operación -de realizarse en zonas no pobladas-, el hecho que los hidrocarburos sean eliminados por volatilización significa que se generen, en parte, emisiones a la atmósfera, las que de no ser contro-

ladas implican que -en rigor- no se está llevando a cabo la eliminación definitiva de los contaminantes, sino que se los está traspasando -en parte- de un ambiente (suelo) a otro (aire).

El proceso de biopilas, por su parte, requiere de un área de tratamiento en la que se pueda montar el material excavado en pilas, de tal manera que para lograr la biodegradación se utilizan una serie de métodos en sistemas cerrados que minimizan la volatilidad de los contaminantes. El montaje de las biopilas puede ser dentro del mismo terreno (*on site*) o en otro terreno debidamente habilitado para esto (*off site*). Como para el armado de biopilas fuera del terreno se requiere transportar el material y, por tanto, la manipulación del mismo aumenta el margen de volatilización, existe una diferencia importante en la capacidad de control de volatilidad de los contaminantes entre realizar un proceso de biorremediación *on site*, frente al traslado para la biorremediación en biopilas *off site*. Y evidentemente, existe una gran diferencia entre el proceso de biopilas cerradas y el *landfarming*, en términos de la capacidad del primero de estos tratamientos de permitir la ejecución de la biorremediación en un ambiente más controlado y, de esta manera, minimizando sus posibles impactos a lo largo del proceso de descontaminación.

En consecuencia, la técnica de biorremediación con biopilas cerradas *on site*, permanentemente controladas y monitoreadas, disminuye al máximo la posible emanación de compuestos volátiles. Por estas razones, esta técnica es cada vez más utilizada en el mundo y es, sin duda, la solución más apropiada a las condiciones presentes en el sitio. No obstante, esto requiere cierta capacidad local instalada sustentada en el conocimiento empírico del ambiente en particular, como en las tecnologías a aplicar, la que se basa normalmente en estudios interdisciplinarios que abordan la problemática a largo plazo.

La información de base y los estudios y diagnósticos previos requieren de un grado de robustez que por lo general integran técnicas y conocimientos relacionados a la hidrología, edafología, geología, biología, como también bioquímica. Para abordar estos desafíos se hace necesario contar con la participación de un equipo interdisciplinario con un nivel de desarrollo en investigación científica suficiente para detectar con certeza las condiciones favorables para proceder y hacer de la biorremediación una solución viable, social, económica y ambientalmente sostenible.



Area de remediación y reconversión de suelo exindustria Carcoke, en Bruselas, Bélgica.

Basada en la capacidad innata que tienen los microorganismos para degradar contaminantes orgánicos, la biorremediación se realiza mediante la aceleración del proceso natural de biodegradación ya presente en suelos y aguas. Esto requiere, además, proveerles de nutrientes y mejorar el ambiente para inducir a la comunidad microbiana a desencadenar procesos biodegradativos que se mantengan en el tiempo.

Se denomina proceso de “bioestimulación” a aquellas intervenciones que permitan el incremento de la densidad microbiana presente en el ambiente con el fin de que esta microbiota sea capaz de biodegradar los hidrocarburos en plazos más cortos que los naturales. Esto implica modificar el ambiente a través del ingreso de nutrientes o sustratos que permitan incrementar la densidad, diversidad y actividad microbiana de estas comunidades y así, puedan tener una mayor capacidad de degradar hidrocarburos. Como las bacterias utilizadas se benefician de los hidrocarburos como fuente de alimentación, una vez que la fuente de energía se termina, la mayoría de éstas muere por falta de alimento y otras se mantienen con un metabolismo muy lento, como parte de la microbiota esencial del ambiente, que permite la movilidad de distintos elementos y nutrientes.

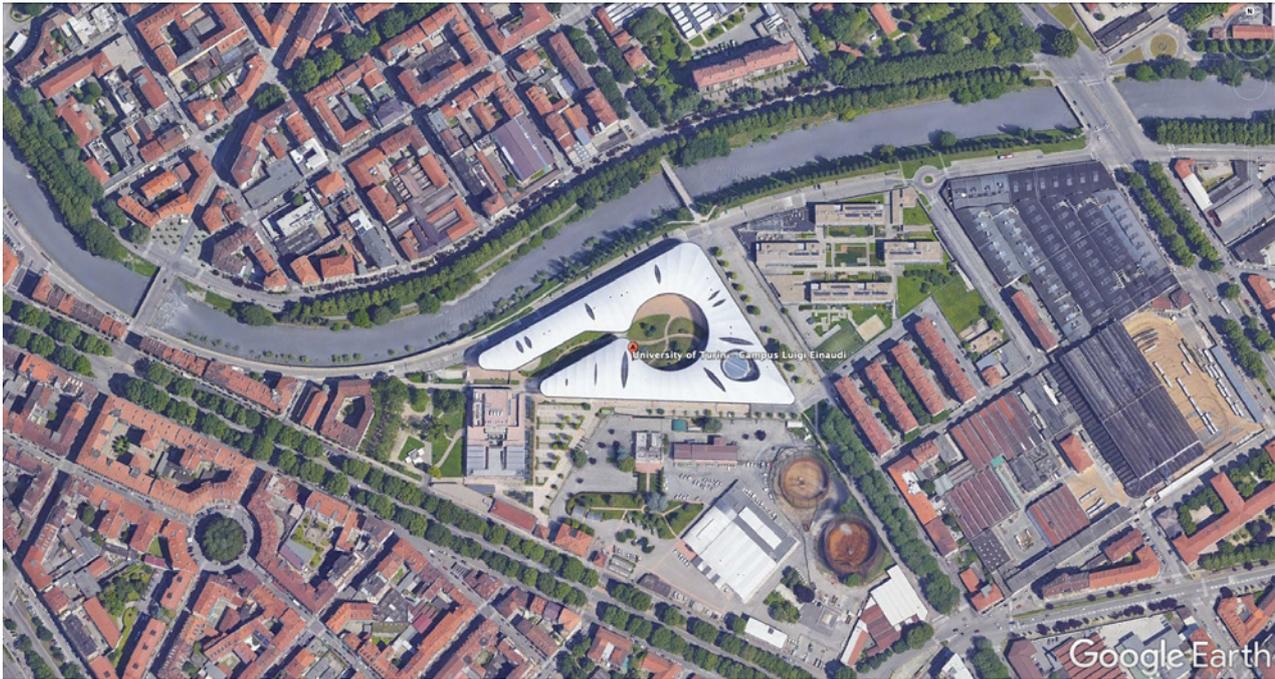
Se deben realizar estudios a nivel de laboratorio e industrial que identifiquen los elementos más críticos (o relevantes) para desencadenar estos procesos que sustentan la biorremediación y que integren los factores ambientales, tales como la dinámica hidrogeológica y la actividad de la microbiota. Una vez identificados estos factores, más la distribución de los contaminantes y con los objetivos de remediación claros, se inician los estudios con el propósito de definir el potencial de biorremediación del suelo

contaminado. Para ello, se deben establecer además las condiciones urbano - sociales del caso, vale decir de tipo cultural, de paisaje e incluso económica.

Por ejemplo, en el caso de un terreno como Las Salinas, cuya movilidad en el entorno depende de una demanda turística estacional que condiciona a su vez el trabajo en terreno, éste requiere intensidades distintas en el desarrollo de la operación de saneamiento. El flujo de camiones asociado a la faena de excavaciones y los impactos que puede provocar con las actividades estivales y sus efectos en la economía local, son parte de las consideraciones tomadas en cuenta por la técnica de biorremediación para el caso de Las Salinas. Por tanto, en el EIA actualmente aprobado se reduce a cero la circulación de camiones durante la época estival.

La biorremediación es una tecnología exitosa de descontaminación ambiental que se utiliza ampliamente en países como Alemania, Francia, Italia, España, Estados Unidos y Canadá. En América Latina, se desarrolla con regularidad en países como Brasil, México y Argentina, justamente porque existe un desarrollo en el tiempo de la capacidad científica y técnica a nivel local que ha permitido proceder con eficacia.

**En Chile la biorremediación a nivel industrial es aún incipiente. Sin embargo, en la región de Valparaíso, las investigaciones y los estudios de base vienen siendo llevados a cabo desde hace 24 años por investigadores de la Universidad Técnica Federico Santa María y de la Universidad Católica de Valparaíso, las dos universidades que participan del proceso de saneamiento de las ex petroleras.**



Vista aérea Campus Luigi Einaudi, construido y en proceso de saneamiento simultáneo, Turín, Italia.

## Experiencias internacionales de biorremediación

### Sitios de coque de carbón en Bruselas y Zeebrugge, Bélgica.

Zeebrugge es parte de un conglomerado de ciudades industrializadas densamente pobladas, cerca de Brujas, en la costa del Mar del Norte. Es una ciudad portuaria, con un importante puerto mercante, la sede de la base naval de la Marina militar de Bélgica y el puerto pesquero más importante de ese país, además de contener el mayor complejo de terminales de gas natural licuado en Europa. La actividad portuaria ha generado un intenso uso de suelo tierra adentro, en las riberas de los canales y puertos cercanos a los centros históricos, como es el caso de Bruselas.

En ambas ciudades han operado fábricas de coque de carbón. En el caso de Zeebrugge, la fábrica Carcoke fue construida en 1900 y llegó a contar con más de un centenar de hornos, los que fueron bajando paulatinamente la producción pasada la Segunda Guerra Mundial, hasta la modernización de la planta en la década de 1950 y 1960, para terminar de operar definitivamente en la década de 1990. Tras quedar las instalaciones abandonadas, el gobierno flamenco heredó el sitio. OVAM, la Agencia Pública de Residuos de Flandes, tras recibir el control del sitio, comenzó

con el saneamiento de las 12 hectáreas impactadas, luego de demoler completamente todas las instalaciones superficiales.

Las décadas de operación de actividad industrial provocaron una grave contaminación del suelo con alquitrán, aceites minerales, hidrocarburos aromáticos policíclicos, cianuros, metales pesados y asbesto. Los edificios e instalaciones industriales también se contaminaron con todo tipo de residuos peligrosos.

En los suelos de las antiguas instalaciones de Carcoke-Marly, en el puerto de Bruselas, hubo que excavar y descontaminar 100.000 toneladas de suelo contaminado. El sitio fue saneado para construir un nuevo centro logístico, actualmente operado como centro de distribución de Bpost<sup>11</sup>, un grupo empresarial dedicado a la logística y distribución de carga y encomiendas.

Junto a lo anterior, el proceso de reconversión de suelos abarcó un área mayor al sector de suelo sometido a la biorremediación. La demolición y rehabilitación total costó 55 millones de euros y fue una de las operaciones de remediación más caras de Flandes.

11. Fuente: Jandenul.com

### **Barrio Dieppe Sud, Francia.**

Dieppe es una ciudad portuaria en la costa norte de Francia, en la desembocadura al Canal de la Mancha del río Arques la que además de su actividad industrial se caracteriza por ser un atractivo turístico para los parisinos, al estar a solo dos horas por carretera de la capital francesa.

El proyecto considera un nuevo barrio de uso mixto, y de apertura a un nuevo acceso al centro de la ciudad, en una zona históricamente deprimida. El sitio albergó durante cerca de dos siglos actividades industriales y portuarias, contribuyendo activamente al dinamismo de la ciudad y al desarrollo de su infraestructura de transporte. A fines del siglo pasado, el receso económico que afectó a la región condujo al cierre de las fábricas dejando como resultado un sitio impactado a nivel de suelo, un pasivo ambiental de 39 hectáreas. Por su ubicación estratégica, a pasos del centro de la ciudad, junto con el gran potencial que ofrece el sector para dinamizar el territorio, la autoridad local ordenó en 2013 el saneamiento del sitio para su futuro desarrollo como polo de actividad mixto, que incluyera modernizar la infraestructura de transporte, vivienda, centros de negocios, equipamiento cultural, oficinas y un complejo educacional.

El saneamiento del sitio contempló, en primera instancia, un estudio histórico para identificar zonas contaminadas por hidrocarburos y metales pesados, y desde ahí se definió un plan de acción para la limpieza del terreno. Las tierras que presentaban niveles de contaminación más altos fueron evacuadas hacia un relleno sanitario; mientras que el resto de los suelos impactados, fueron tratados en el mismo terreno para luego ser utilizados como relleno, lo que permitió a la vez limitar el impacto en el entorno y reducir el traslado de camiones.<sup>12</sup>

### **Cochera de Buenavista, Madrid, España**

Las cocheras de Buenavista, pertenecientes originalmente a la Empresa Municipal de Transportes (EMT), funcionaron para el depósito y mantenimiento de tranvías y autobuses desde su inauguración en 1955, hasta el año 2006. Ubicadas en el distrito de Carabanchel, Madrid, fueron relocalizadas para dar paso a un proyecto de urbanización denominado Área de Planeamiento Específico Cocheras de Buenavista, de acuerdo al Plan General de Ordenación Urbana del Ayuntamiento de Madrid. Para las casi 40 hectáreas del terreno el nuevo proyecto urbano contempla más de 600 viviendas, vialidad y parques públicos.

El proyecto requirió del saneamiento del terreno, dadas las características de las actividades propias del funcionamiento de los antiguos garajes.

Las cocheras tenían ubicados bajo la zona de repostado (el lugar donde se guardaba el combustible), una serie de tanques de combustible y aceite. Tras esta zona se en-

contraban los pozos de lavadero automático de autobuses y la filtración de las aguas de estos pozos habría sido la razón de la contaminación de la zona de repostado. En la zona este de las cocheras existía un depósito subterráneo de aceite usado que también habría contribuido a la contaminación de los suelos, esto sumado a las pérdidas de combustible y/o aceite que tuvieron los autobuses durante la estadía nocturna sobre las losas a lo largo de la vida útil de la planta.

### **Campus Luigi Einaudi, Turín, Italia.**

El nuevo Campus Luigi Einaudi para más de 5.000 estudiantes de las facultades de Derecho y Ciencias Políticas de la Universidad de Turín, diseñado por el afamado arquitecto Norman Foster, fue construido en el sitio donde anteriormente operaba la sede Italgas, antigua planta de almacenamiento y distribución de energía.

Italgas es una empresa especializada en la distribución de gas natural, fundada en Turín en 1837. Es una de las empresas italianas más antiguas y fue levantada en un principio para alimentar el sistema de iluminación de Turín, ciudad cuya expansión urbana estuvo estrechamente ligada al auge industrial. La empresa derivó en la prestación de servicios para calefacción, automotriz y otros a fines del siglo XIX.

La principal característica de este proyecto es el hecho de que, a pesar de estar construido el campus, la operación de saneamiento de agua sigue en marcha, no habiendo sido un impedimento el estado de contaminación existente el terreno de aproximadamente 4,5 hectáreas, para el diseño, construcción y habilitación del edificio como centro de estudios. Por el contrario, parte de la certificación ambiental del edificio es la integración del proceso de saneamiento a los estándares de ahorro energético y estándar térmico que ofrece el diseño, entre otras características en favor de la sostenibilidad medioambiental.

12. Fuente: <https://www.wilhelmandco.be/projets/les-quais-d-eole/>





PARTE 2

# Las Salinas

## Pasado industrial de Viña del Mar

La vocación industrial de Viña surge antes de su fundación como ciudad<sup>13</sup>. Caracterizada por sus suelos planos junto al mar, la zona se convirtió prontamente en un polo de desarrollo productivo complementario al puerto de Valparaíso, configurándose así como uno de los territorios industriales más relevantes de la época en América del Sur.

Ya en 1900 Viña del Mar contaba con la presencia de varias fábricas de gran tamaño. Destacaban la maestranza Lever and Murphy -hoy Caleta Abarca-, el matadero de 15 norte y la industria de sodio de Las Salinas, conectadas por la red ferroviaria con el Muelle Vergara, Valparaíso y Santiago.

Viña pasó a ser pionera en el siglo XX en el auge empresarial, en campos tan diversos como la industria automotriz, los astilleros navales o la innovadora provisión del servicio de iluminación pública a gas, entre otros importantes adelantos inéditos para el país, marcando un sello de prosperidad e innovación durante más de tres décadas.

La CRAV -Compañía de Refinería de Azúcar de Viña del Mar- fundada en 1873, ya contaba con un sistema de iluminación propio a través de una red de gas que le permitía operar día y noche. En 1881, para la puesta en funcionamiento del Gran Hotel de calle Álvarez, a raíz de la solicitud

de la administración de instalar una cañería que conectara con la refinería para obtener el alumbrado a gas, se daba un primer paso para que un año más tarde, se ampliara la cobertura con la fundación de la Viña del Mar Electric Company, que convirtió a la comuna en una de las primeras con alumbrado público en todo el país.

Otra fábrica señera fue la Textil Viña, inaugurada en 1906 en un pequeño taller en el que se confeccionaban mantos y cintas en seda natural de gusanillo traída desde Italia. En 1923, la fábrica se consolidaba como Fábrica Chilena de Sederías de Viña del Mar, trayendo maquinaria de Europa y Estados Unidos, iniciando la creación del rayón -seda artificial hecha en base a celulosa- convirtiéndose, en ese entonces, en una marca registrada en el país.

En el sector de Las Salinas, se ubicó desde mediados del siglo XX y por más de 50 años la empresa Edwards y Ceruti, la cual se dedicó al diseño y fabricación de aparatos mecánicos, repuestos de maquinarias y montajes de equipos industriales. Debido a factores diversos este desarrollo tuvo un fuerte declive a finales del siglo pasado. Ya en 1981 se producía el cierre definitivo de la industria más importante de la ciudad, la CRAV, lo que marcaría, además, el fin de la etapa industrial en la historia de Viña del Mar.



Faenas para el transporte de material de construcción del molo de abrigo en Las Salinas. (Fuente: Fondo Budge, PUCV).

13. Por petición de José Francisco Vergara al intendente Federico Echaurren, se aprobó el 29 de diciembre de 1874 la fundación de la urbe. Las primeras actividades, todas de carácter industrial, comenzaron a partir de la construcción del trazado del tren Valparaíso - Santiago en 1851.



**1873**

Fundación de la Compañía de Refinería del Azúcar de Viña del Mar (CRAV).



**1930**

Copec llega a la zona.



**1900**

Instalación de fábricas de gran tamaño (Lever & Murphy, Matadero de Viña, Astillero, Muelle, etc).



**1950**

Edwards y Ceruti (diseño y fabricación de aparatos mecánicos, repuestos de maquinarias y montajes de equipos industriales).



**1912**

Las Salinas es una albufera.



**1981**

Quiebra de la CRAV.



**1912-1929**

Pearson & Son Co. extrae roca para la construcción del molo en el puerto de Valparaíso.



**1990**

Compañías Shell Chile S.A.C., Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A., Copec Mobil Ltda., SONACOL, Esso Chile Petrolera Ltda. iniciaron el estudio del Plan Global de abandono del sector Las Salinas.



**1915**

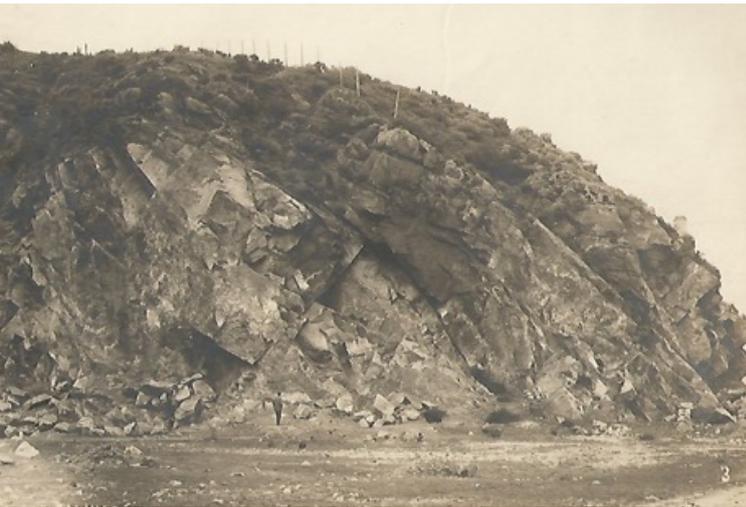
Se instalan Shell y Esso en el sector de Las Salinas.



**1999**

Se consolida crecimiento urbano al norte de Población Vergara y se acuerda la salida de las petroleras del sector Las Salinas.

(Fuente: Fondo Budge, PUCV y archivo ILS)



Antigua cantera en sector Las Salinas.  
(Fuente: Fondo Budge, PUCV)



Sector industrial Las Salinas, actual av Jorge Montt.  
(Fuente: Fondo Budge, PUCV)



(Fuente: archivo ILS)

## Historia del terreno Las Salinas

El sector donde se ubica el actual terreno de Las Salinas está profundamente vinculado con esta vocación industrial que se remonta a los orígenes de Viña del Mar. El temprano desarrollo de la zona ha marcado su geografía, delineando las características de su paisaje y modificando incluso su morfología. El nombre "Las Salinas" recuerda la condición natural de albufera<sup>14</sup> como área deprimida que incorpora salmueras, las que en el estivo se recolectaban artesanalmente. Este recurso natural promoverá la primera vocación del lugar.

Las primeras cartografías locales de la Bahía de Valparaíso incorporan el topónimo "salinas" hacia 1860. A fines del siglo XIX se promovió un proyecto para extraer sal a escala industrial, que no prosperó por las irregularidades estacionales y la disponibilidad del recurso desde el norte de Chile, a través del puerto de Valparaíso. Posteriormente se instaló en el lugar una fábrica de ladrillos, conectada a través de un ferrocarril por un túnel, llamado 16 norte, que permitía sacar este material y ponerlo a disposición de obras de albañilería en puentes, defensa costera e instalaciones ferroviarias, lo que convirtió a este lugar en el sector fabril más significativo de la ciudad, completando la industrialización de la Bahía de Valparaíso desde Punta Ángeles hasta Punta Ossa.

**Desde inicios del siglo XX, estos terrenos albergarían actividades de distintos rubros: ferroviarias, manufactureras, metalmecánicas, entre otras. Uno de los más relevantes, fue el que utilizó la formación rocosa del lugar para ser implementado como cantera, desde la cual se obtuvo la mayor parte del material necesario para la construcción del molo de abrigo del puerto de Valparaíso, construido por la firma inglesa Pearson & Sons (1912 - 1924).**

Este perfil industrial del sector, comenzó a verse rodeado de actividades relacionadas con los beneficios ambientales de la costa y su paisaje, a medida que las playas se fueron habilitando para fines recreativos, lo que se inició con la construcción en 1920 del antiguo balneario de Recreo.

En 1960 Viña del Mar comenzó a consolidarse como ciudad turística, con la transformación del borde costero en Caleta Abarca y desde la Avenida Perú hacia el norte, donde la apertura al uso público del Muelle Vergara en 1983 sería uno de los hitos de esta transformación.

Con la expansión de la población hacia Reñaca y las comunas colindantes, ya en el presente siglo, se iniciaron transformaciones mayores, como el soterramiento del tren y la construcción del Troncal Sur. Sería el fin de "Las petroleras", luego del cese de operaciones el año 2003, para comenzar un proceso de transición que terminase en su integración definitiva a la ciudad.

14. Laguna de agua salada, formada en tierras bajas contiguas al mar, que queda aislada de este por un cordón o banco de arena.



Estación de servicio "Libertad", Av. Libertad entre 5 y 6 norte, retirada en 1962. (Fuente: archivo ILS)

## Las petroleras en Las Salinas

En 1915 se iniciaron en el terreno las primeras operaciones desarrolladas por Shell y Esso. A partir de 1930, Copec se instala en el sector, consolidando el polo fabril de la zona norte. En esa década se construyen también las primeras estaciones para la distribución de combustibles al detalle de Copec y de Shell. Con el tiempo se sumó la Sociedad Nacional de Oleoductos SONACOL, cuyo objetivo es el de operar el sistema de distribución conectado de oleoductos hacia las refinerías y de este modo satisfacer parte de la demanda energética en la zona central del país.

Desde entonces, los habitantes de la ciudad asociaron el sector como una extensión del puerto de Valparaíso, que complementaba la intensa actividad de la bahía, con las operaciones que realizaban los buques tanques que llegaron a descargar el combustible en un total de seis ductos que atravesaban la playa hasta conectar con los grandes estanques de almacenamiento.

El loteo Santa Inés (1909) y la Población Británica (1935), serían el origen de los barrios ubicados en la meseta al oriente de Las Salinas, los que surgirían por la necesidad

de albergar a las familias de los obreros y técnicos atraídos por el desarrollo industrial del sector, del cual formaban parte las petroleras.

Con el conjunto habitacional Empart (1973), el entorno inmediato de las petroleras pasa a destinarse para la vivienda colectiva. Seguirían los conjuntos Anakena y Fabiola. Posteriormente, en lo que antes era el Fuerte Coraceros, se construyen a fines de la década de 1990 los condominios Meseta Coraceros y Puerto Pacífico, quedando de este modo las petroleras confinadas en medio de un sector residencial de densidad media - alta.

Con el convenio firmado el 2001 entre la Municipalidad de Viña del Mar y las petroleras, denominado **"Plan Global para el traslado y desmantelamiento de las plantas de combustibles y lubricantes"**, comienza una nueva etapa cuyo objetivo es permitir una integración urbana del terreno al entorno, donde las partes se comprometen a una **"solución integral desde el punto de vista medioambiental, social, urbanístico y económico"**.





PARTE 3

# **Primer Saneamiento en Las Salinas**

2001-2013

## Proceso de evaluación de las autoridades con competencia ambiental

Nuestro país cuenta con una institucionalidad ambiental que rige desde el año 1994, con la promulgación de la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuyo primer Reglamento fue publicado en el año 1997. La tramitación de este marco jurídico se inició a partir de la creación en 1990 de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), encargada de definir una nueva institucionalidad ambiental en el país, comisión que operó hasta la creación del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en el año 2010.

En lo que se refiere a la gestión de contaminantes de suelo, en abril de 2007 la CONAMA publicó la Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes.

Según cuáles sean las causales, definidas en la Ley, todo proyecto o actividad susceptible de generar impactos ambientales debe ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo que permite a la autoridad determinar antes de la ejecución de un proyecto, si éste cumple con la legislación ambiental vigente.

Por su parte, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) tiene la función principal de administrar el SEIA, mediante la coordinación de todos los servicios públicos pertinentes llamados a revisar y emitir observaciones de carácter ambiental a los proyectos, ingresados como Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Es importante destacar el hecho de que el proceso de evaluación del saneamiento del terreno Las Salinas se ha ajustado a la evolución constante de la institucionalidad ambiental.

Las Compañías Petroleras que habían dejado de operar en Las Salinas ingresaron un primer EIA denominado "Recuperación Terreno Las Salinas" el 20 diciembre del año 2002, en base a un primer diagnóstico y proceso de muestreo realizado, estudio que luego del proceso de evaluación obtuvo una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) que fue calificada favorablemente por la Comisión Regional de Medio Ambiente (COREMA) de Valparaíso (o CONAMA regional), mediante Resolución Exenta N° 203 del 07 de octubre de 2004, considerando la opinión de diversos organismos públicos y ciudadanos.

Dado lo inédito del proyecto para el país, la falta de normativa sobre la calidad de suelo, procedimientos o valores de remediación de suelos y calidad de agua subterránea, la evaluación de la autoridad ambiental de la época fue sin duda un proceso complejo que significó esfuerzos de innovación, exprimiendo de la normativa ambiental nacional e internacional de entonces todos los elementos de orden jurídico y argumentos basados en el conocimiento científico y la experiencia empírica, para lograr los términos y resoluciones que establecieran las garantías para las partes, considerando el interés público y privado del proyecto.

Es así como la RCA calificada como favorable inicialmente por la COREMA tuvo una serie de reparos que condujeron a las compañías a interponer una reclamación, por algunas condiciones impuestas por el organismo, de conformidad a la facultad que le confiere el artículo 20 de la Ley 19.300.

Consecuencia de las condiciones expresadas por la autoridad regional en la RCA de 2004 y las reclamaciones de las petroleras, es que finalmente la CONAMA resuelve los términos para la ejecución del saneamiento, momento en el cual queda definido el carácter de "inicial" y no "definitivo" del mismo, dado que una de las condiciones principales establecidas por la COREMA y avalada por la CONAMA, fue la de no evaluar la etapa de desarrollo urbano, considerada en la propuesta presentada por la empresa el 2002, lo que se puede explicar justamente por la falta de normativa en esos momentos.

Lo "inédito" del proyecto en el país, sería, de hecho, uno de los argumentos que la autoridad de la época expresó para reconocer la dificultad de evaluar un proyecto sin un marco regulatorio adecuado. Otras condiciones que la COREMA puso a la hora de evaluar el proyecto fue: implementar puntos adicionales al modelo de análisis de los contaminantes en agua y suelo, además de exigir al monitoreo final un auditor ambiental independiente.

**De este modo el Consejo Directivo del organismo, mediante Resolución Exenta N° 524 del 09 de marzo de 2006, resolvió en base a todos los antecedentes ratificar la RCA de 2004, manteniendo la condición de dejar pendiente la fase de remediación para uso urbano, aprobando solo una primera fase del EIA, estableciendo de esta manera los estándares de saneamiento del Proyecto.**

Los Valores Objetivos de Concentración (VOC) para los Compuestos de Interés (CDI) de suelo superficial, serían por tanto sancionados en función de los diferentes usos futuros previstos que pudieran implicar un contacto directo de las personas con el suelo. En este sentido, la modelación de riesgo realizada asumió que el contacto directo del suelo con las personas se da al exterior de las construcciones (residenciales o de equipamiento), sea en jardines o en área pública.

De este modo, los usos comerciales o residenciales quedan cubiertos por el escenario de parques y jardines para el contacto directo con el suelo, siendo éste el estándar más restrictivo, a la vez que el menos intensivo de los usos de suelo, lo que no obstante impedía en definitiva cualquier posibilidad de integración al uso urbano a partir de esta remediación inicial, condicionando la reconversión de suelo a los usos que estipulara el nuevo Instrumento de Planificación Territorial, a una fase de remediación posterior con su EIA respectivo, la que luego se denominaría como "saneamiento definitivo".<sup>15</sup>

15. El cambio de uso de suelo fue aprobado por la COREMA mediante RCA favorable por Res. Exenta N° 357 del 2007, condicionando al levantamiento del riesgo ambiental del Área de Riesgo establecida dada las condiciones de saneamiento inicial del terreno.

### Proceso de muestreo y diagnóstico

Previo a la operación por fases del saneamiento inicial aprobado por la autoridad ambiental, hubo que proceder a la demolición de las estructuras superficiales, lo que gestionó de manera individual cada compañía petrolera, al igual que los primeros análisis de suelo.

La toma y análisis de muestras de suelo y de agua se llevó a cabo ininterrumpidamente entre los años 2001 y hasta el 2013, en este primer proceso de saneamiento. Contó con personal altamente calificado y las más avanzadas técnicas disponibles.

Para la realización del proceso de muestreo y análisis de los compuestos contaminantes hallados en el terreno se ejecutó una serie de prospecciones a distintas profundidades, y a lo largo del tiempo, para extraer las muestras de suelo y agua subterránea. Estas actividades, denominadas "campañas", permitieron obtener múltiples muestras las que, según el tipo, se derivaron a distintos laboratorios analíticos.

Las muestras se obtuvieron mediante sondajes (perforaciones) y pozos que llegaron hasta los 8,5 metros de profundidad -la mayor distancia a la que se encuentra la napa de agua- de la superficie del suelo.



	<p><b>506</b> Sondajes de suelo</p> <p><b>1.316</b> Muestras de suelo</p>		<p><b>256</b> Pozos de agua</p> <p><b>325</b> Muestras de agua</p>
---	---	---	--

En los sondajes, las tomas de muestra de suelo se realizaron a cada metro de profundidad de perforación alcanzada. Vale decir, se perforó un metro de profundidad, se realizó la toma de muestra, se continuó la perforación otro metro más abajo, se realizó una segunda toma de muestra y así hasta llegar a la napa de agua.

Mientras que para el análisis de agua, a lo largo de todas las campañas, se instalaron 256 pozos de monitoreo a diferentes profundidades (de los cuales siguen operativos más de setenta), con los que se obtuvieron 325 muestras, para el suelo se realizaron un total de 506 sondajes, con los que se obtuvieron 1316 muestras.

Tras numerosos análisis químicos los resultados identificaron los compuestos presentes en el terreno, encontrándose principalmente la presencia de hidrocarburos, como también algunos metales pesados y agroquímicos que son parte de la lista de elementos utilizados por la industria durante toda su operación.

Con el diagnóstico se pudo determinar la existencia de una alta concentración de contaminantes en el suelo superficial, que es el subsuelo directamente bajo la superficie, hasta el primer metro de profundidad; luego un segundo tramo con menor concentración de contaminantes aproximadamente desde el segundo metro de profundidad hasta llegar al nivel de la napa de agua y un último nivel de presencia de contaminantes en el punto de contacto con la napa, la que se encuentra entre los 6 y los 8,5 metros de profundidad.

Las razones de por qué se encontraban alojados parte importante de los contaminantes justo debajo de la superficie del terreno es bastante esperada, puesto que, al haber estado alojada gran parte de la infraestructura subterránea como ductos, del tipo manifold y todo tipo de redes de conducción, en ese nivel del subsuelo, se puede atribuir que a lo largo de la historia los compuestos químicos de mayor densidad fueran quedando retenidos en esa zona producto de filtraciones, fallas o rebalses.

El resto de los contaminantes, mayormente hidrocarburos, a diferencia de los anteriores fueron infiltrándose en el suelo arenoso hasta llegar por gravedad a la napa de agua, proceso denominado fase libre sobrenadante. Uno, entre otros factores es la distancia, entre todos los demás factores para garantizar el estándar objetivo de la remediación.

El diagnóstico y muestreo permitió precisar a partir del análisis químico el estándar objetivo (ver pag. 25), para la HHRA y diferenciar el método de tratamiento de estos compuestos, respecto de aquellos emplazados en el primer metro de subsuelo (suelo superficial), el que además de hidrocarburos contenía la presencia de metales, bifenilos policlorados y agroquímicos, entre otros que son parte de la lista de elementos usados en la industria durante toda su fase de operación.



Fotos izquierda y derecha:  
desmantelamiento y  
remoción suelo superficial  
(Fuente: archivo ILS)

## Implementación de las actividades

La etapa preliminar a la implementación de actividades consideró el desmantelamiento y retiro de toda la infraestructura existente sobre el nivel de suelo (estanques, galpones y otras dependencias), proceso que se llevó a cabo luego del cese de operaciones de las petroleras en el año 2003.

Esto no requirió de la evaluación de la autoridad ambiental al ser estructuras sobre el suelo, que no requieren de un permiso de las autoridades con competencia ambiental para su retiro, sin intervenir el "recurso natural suelo", en este caso impactado.

El 2008 se inició la segunda fase con la extracción de las estructuras soterradas. En la zona de Copec Combustibles y Copec Mobil Lubricantes correspondieron a 6 y 2 estanques, respectivamente; en las instalaciones de Shell Combustibles y Lubricantes se retiraron 4 en cada uno; en Esso se retiraron 6 estanques, totalizando así el retiro de 22 estanques. Adicionalmente se realizaron retiros de tuberías soterradas de aproximadamente 300 m de longitud y 10 cámaras separadoras.

Con respecto a las líneas submarinas, se realizó un proceso de corte y retiro en 6 líneas ubicadas en la playa. El retiro de todas estas instalaciones subterráneas involucró también relleno de la excavación y compactación del suelo para dejarlo nivelado. Respecto al agua subterránea, la extracción de fase libre sobrenadante de hidrocarburos fue almacenada en contenedores y posteriormente enviada a un sitio de disposición autorizado.

**El reemplazo de suelo consideró la excavación y retiro de suelo contaminado en los puntos donde las concentraciones eran mayores a los límites definidos por la evaluación de riesgo y la posterior reposición con suelo limpio, lo que de acuerdo a la etapa de muestreo correspondió al primer metro de profundidad de suelo para todo el terreno (suelo superficial).**

No obstante, el proceso de desmantelamiento de las instalaciones industriales y posterior excavación permitió corregir, a partir de la observación empírica, la cantidad de suelo a sanear establecida originalmente en la RCA. El área definida, equivalente a una cantidad determinada en toneladas de suelo a remover, al final de la operación y luego de la verificación final, terminó por duplicarse.

**Así, un total de más de 45.000 toneladas de suelo contaminado fueron removidos, llevados a un depósito autorizado y reemplazado por suelo limpio, con lo que el primer metro de suelo quedó libre de contaminación.**

Para certificar que el desarrollo de la remediación cumplió las indicaciones de la autoridad medioambiental, se contó con la Auditoría Independiente de la Fundación Chile (2009 - 2013), cuyos informes fueron acreditados, según la Res. N°194 de la Comisión de Evaluación Ambiental.

El Monitoreo de Verificación Final de suelo y aguas subterráneas permitió realizar el control del estado final del terreno mediante pruebas en laboratorios certificados en una grilla

homogéneamente distribuida en el terreno, que totalizó 88 cuadrantes de muestreo para suelo y 31 pozos para el monitoreo de aguas, lo que significó cubrir la superficie total del terreno.

De acuerdo a lo señalado por la Fundación Chile, la ejecución del saneamiento ambiental inicial permitió la extracción del 100% de los contaminantes detectados en el suelo superficial del terreno, entre ellos los más complejos (pesticidas y metales pesados), cumpliendo con lo estipulado en la ratificación de la RCA por la CONAMA el 2006. La condición de *brownfield* del sitio quedaría establecida por el potencial riesgo para las personas dados los excedentes de contaminantes en el suelo sub superficial y en las aguas subterráneas.

Cantidad de suelo a remover según RCA (2004)  
= **23.000 ton**

Cantidad de suelos colindantes removidos  
= **22.000 ton**

Suelos con excedente  
= **863 ton**

Total suelo removido  
= **45.863 ton**



### ¿Un *brownfield* en Viña del Mar?

En agosto de 2013, terminado el saneamiento de suelos superficiales según lo comprometido en la RCA aprobada el 2004 - 2006 y luego de realizado el monitoreo que permitió verificar los resultados, se dio por terminado el Saneamiento Ambiental Inicial del terreno, quedando pendiente el suelo sub superficial.

Todo este proceso se desarrolló considerando que los Valores Objetivos de Concentración a cumplir de los distintos compuestos se ajustaran a los procedimientos y métricas aplicados según norma de estándares internacionales que responden a convenios marco, según lo exige la normativa ambiental.

Respecto de este punto, la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales de Medio Ambiente, modificada por la Ley N° 20.417 en su artículo 11, indica que **“Para los efectos de evaluar el riesgo sobre la salud de la población, se considerará lo establecido en las normas de calidad ambiental y de emisión vigentes. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia aquellas vigentes en los Estados que señale el reglamento”.**

Sin embargo, luego del Saneamiento Ambiental Inicial del terreno, la permanencia de trazas de hidrocarburos en el suelo sub superficial obligaría a continuar el proceso, en coherencia con la nueva normativa a nivel mundial y nueva



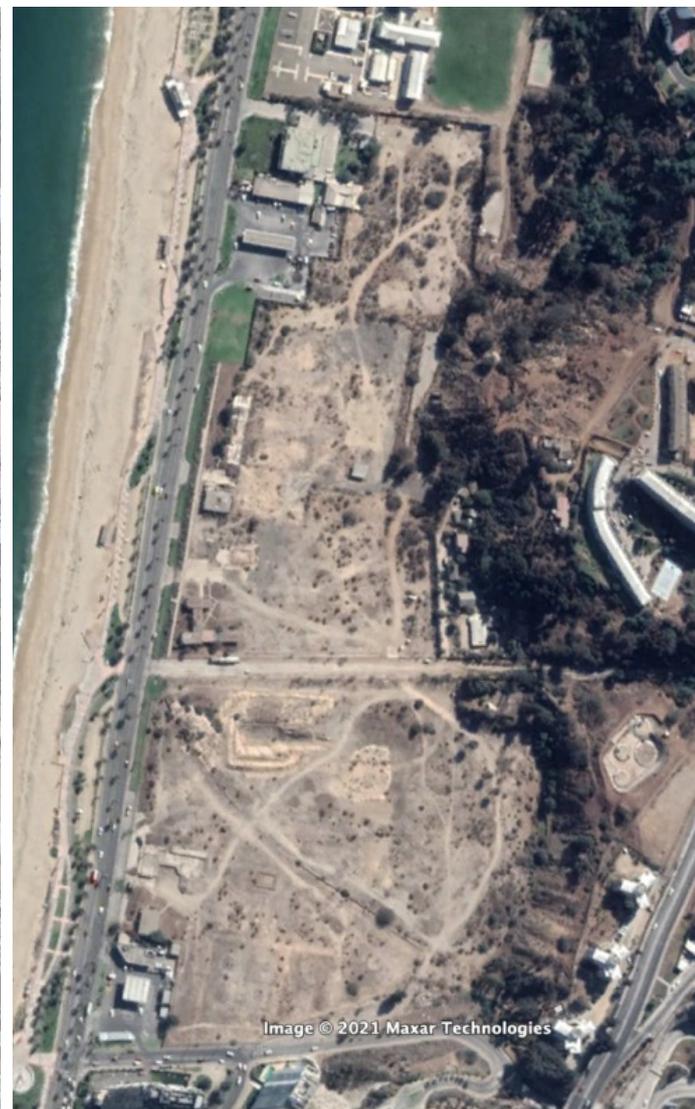
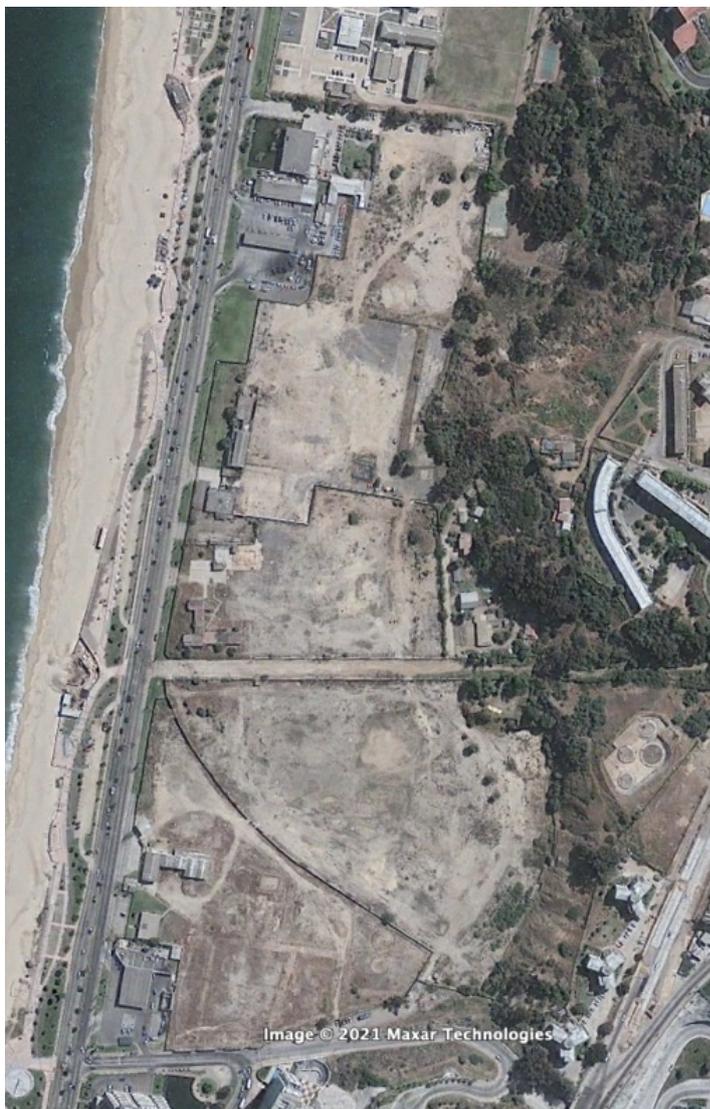
Vista aérea evolución sitio expetroleras (2000 - 2008)

tecnología disponible. Esto, sumado a que el Concejo Municipal aprobara el año 2008 el cambio de uso de suelo, dejando atrás el uso industrial, por un uso urbano, generó la necesidad de iniciar un segundo proceso para la reconversión y saneamiento definitivo del suelo para incorporarlo a la trama urbana de Viña del Mar.

En un intento por completar esta primera etapa de saneamiento y superar la condición de *brownfield* del Sitio se evaluó, diseñó y proyectó un Plan de Saneamiento Ambiental Definitivo que planteaba la extracción del remanente de contaminantes, mediante estudios que a la postre serían rechazados por la autoridad ambiental. Estas circunstan-

cias fueron determinantes para avanzar en los principios ambientales y en los alcances de los procesos; se discutió internamente, entre los grupos de investigadores, consultores y el equipo ambiental de Las Salinas, sobre la necesidad de eliminar dentro del sitio (*on site*) el remanente, en vez de "mover la contaminación a otro lado", que es lo que ocurre cuando se extrae y envía los contaminantes a rellenos habilitados.

Se revisaron profundamente los principios que cuestionaban la propuesta y se resolvió por la línea del discurso imperante, relevar la reparación en el saneamiento ambiental, por sobre cualquier otra consideración.



Vista aérea evolución sitio expetroleras (2016 - 2021)





PARTE 4

# **— Saneamiento Ambiental Definitivo**

2015 - a futuro

## Proceso de evaluación de la autoridad ambiental

En marzo de 2017 ILS presentó ante el SEA un EIA elaborado por técnicos nacionales e internacionales cuyo objetivo fue el de diseñar un proyecto de mejora ambiental, que permitiera el saneamiento definitivo del sitio en base a la misma técnica utilizada en el Saneamiento Ambiental Inicial.

Sin embargo, el proyecto de Saneamiento Ambiental fue terminado de forma anticipada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de la región de Valparaíso ya que *“carecía de información relevante y esencial que no podía ser subsanada durante el proceso de evaluación ambiental”*, según lo dispuesto en el artículo 15 bis, Ley 19.300.

En concreto, según la autoridad ambiental no existió en el proceso de evaluación suficiente prolijidad y diligencia por parte del titular para permitir que la autoridad pudiera evaluar si presentaba riesgo para la salud de la población, basado en la idea de no contar con la información disponible sobre la *“alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos”*<sup>16</sup>. En ese sentido, a pesar de cumplir con la normativa, nuevamente se establecía una brecha de factibilidad dada por factores exógenos a la operación de saneamiento dentro del sitio, como por ejemplo, el inconveniente de utilizar para los desechos un relleno sanitario, que cumpliendo con la normativa ambiental, significaba un conflicto socio ambiental con la comuna donde éste se emplazaba. Considerando estas falencias, la empresa decidió realizar una reformulación conceptual y estructural profunda que permitiera abordar un proyecto de saneamiento ambiental en un contexto urbano sin generar impactos ambientales adversos o negativos y que se hiciera cargo del pasivo ambiental de manera efectiva y confiable.

Este cambio de mirada dio lugar a un modelo de trabajo colaborativo entre la empresa y la academia, representada ésta última por grupos de investigación de la Universidad Técnica Federico Santa María, quienes ya habían desarrollado estudios analíticos de contaminantes y de biorremediación en los suelos desde el año 2015, los que a la postre constituirían un tándem de investigación y conocimiento con otros grupos de investigación de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, asociado a la praxis que supone

un proyecto de esta envergadura. Así, las unidades académicas, los científicos y la autoridad ambiental, todos desde el ámbito local, fueron permitiendo una base de confianza para las partes, con miras a encontrar el mejor proyecto de saneamiento junto al menor impacto ambiental para los habitantes de Viña del Mar.

Esta reformulación de proyecto dio pie al ingreso de un nuevo EIA en diciembre de 2018, el cual tras 2 años de tramitación 2 Informes Consolidados de Solicitudes de Aclaraciones, Rectificaciones o Ampliaciones (ICSARA), y consultas ciudadanas, se resuelve en ser aprobada mediante la Resolución de Calificación Ambiental favorable al año 2020.

Las actividades del proyecto de saneamiento de Las Salinas se enmarcan en la tipología señalada en la letra 10 de la Ley N°19.300 y reglamentada en la letra o.11 del artículo 3 del RSEIA, esto es, un Proyecto de Saneamiento Ambiental constituido por un conjunto de obras, servicios, técnicas, dispositivos o piezas que responden a la *“Reparación o recuperación de áreas que contengan contaminantes, que abarquen, en conjunto, una superficie igual o mayor a diez mil metros cuadrados”* (10.000m<sup>2</sup>).

**Por lo anteriormente expuesto, este es un proyecto inédito en el país, dado que recupera dos recursos naturales, en este caso suelo y agua, contaminados por la actividad industrial, con la obligación legal de mitigar cualquier impacto ambiental que pudiera generar a los habitantes de la ciudad durante dicha recuperación.**

De este modo, el proyecto de saneamiento permitirá a la ciudad proyectar los futuros usos de suelo que disponga el Plan Regulador Comunal, sobre una superficie descontaminada con los estándares de riesgo adecuados.

Por lo tanto, el nivel de precisión buscado responde a la necesidad de obtener el mejor resultado en términos de recuperar un recurso natural, en combinación con el menor impacto posible en el contexto del entorno urbano actual del terreno. Esa certeza, sin duda, es la que del punto de vista técnico quedó plasmada en el EIA aprobado el 2020.



Coordinación del CES y consultora Golder Associates (Fuente: archivo ILS)

16. Guía para la definición del Área de Influencia de los Sistemas de Vida y Costumbres de Grupos Humanos en el SEIA, 2020.

## El Comité Científico de Saneamiento

En el año 2017, tras el rechazo del primer EIA para el Saneamiento Definitivo, se tomó la decisión de generar un nuevo proyecto de saneamiento en el que se utiliza la técnica de biorremediación *ex situ* y *on site*, vale decir mediante la implementación de biopilas *on site* con suelo removido, o sea dentro del terreno de Las Salinas. De la misma manera las aguas subterráneas serán biorremediadas a través del

uso de enmiendas que permiten desencadenar procesos biodegradativos. Esto fue en gran medida gracias al hecho de incorporar la visión local de los grupos de investigación, los que por distintas vías venían siendo parte, ya sea de manera directa o indirecta, del proceso de saneamiento del terreno.

Surgió así el Comité Expertos en Saneamiento (CES), también denominado Comité Científico, conformado por



(Fuente: archivo ILS)

**Michael Seeger:** Bioquímico y Doctor en Ciencias de la Universidad de Chile. Es profesor de Biotecnología, Microbiología y Bioquímica de la Universidad Técnica Federico Santa María en Valparaíso. Es presidente de la Asociación Latinoamericana de Microbiología y presidente de la Sociedad de Microbiología de Chile.

**Marcel Szantó:** Doctor Ingeniero en Caminos, Canales y Puertos y Master en Contaminación Ambiental de la Universidad Politécnica de Madrid; Ingeniero Constructor de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Consejero de la Sociedad Civil (COSOC) del Servicio de Evaluación Ambiental, representando al Consejo de Rectores de Universidades Chilenas (CRUCH). Director del Grupo de Investigación de Residuos Sólidos (GRS).

**Salvador Donghi:** Biólogo y académico de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Cuenta, además, con estudios de post grado en Biología celular y biotecnología en State University of New York y gestión integral en medio ambiente en la Universidad Europea Miguel de Cervantes. Propietario de la consultora ambiental Simbiosis SpA.

**Luis Álvarez:** Magister en Urbanismo de la Universidad de Chile; Licenciado en Historia de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). Fue Director del Instituto Geografía de la PUCV. Cuenta con 24 años de docencia universitaria de pre y postgrado en prestigiosas universidades del país. Autor de numerosos documentos de divulgación científica.

**Roberto Orellana:** Doctor en Microbiología de la Universidad de Massachusetts (UMASS); Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Chile. Actualmente es profesor e investigador de la Universidad de Playa Ancha, donde desarrolla investigación acerca de suelos contaminados con hidrocarburos y con ecología de los virus en ecosistemas acuáticos.

los académicos e investigadores Marcel Szantó, Michael Seeger, Roberto Orellana, Salvador Donghi y Luis Álvarez, para lo cual se generaron acuerdos de colaboración con dos de las más importantes universidades de la región, de la que ellos forman parte: la Universidad Técnica Federico Santa María y la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Este vínculo que valora el relacionamiento entre empresa y academia en beneficio del bienestar de la ciudad, se basó en una metodología de investigación y generación de conocimiento, que incluyó revisar por completo el proceso llevado a cabo hasta el momento desde la rigurosa mirada científica, para de esta manera complementar la propuesta de saneamiento levantada por Las Salinas con los más altos estándares a nivel internacional.

**El precedente a nivel país para la gestión y saneamiento de áreas contaminadas en zonas urbanas que ha establecido este proceso, desde la capacidad e innovación en ciencia y tecnología de la academia local, se sostiene en el modelo planteado por el CES, que defiende una ética ambiental en la cual existe una simetría entre la naturaleza y la especie humana, que *“nos sitúa como co-ayudantes de los procesos naturales de remediación desde el abordaje multi disciplinario que permite los equilibrios al integrar dimensiones geográficas, urbanas y sociales”*.**

Para el CES ha sido necesaria la consideración de los siguientes principios sobre los cuales se debe centrar el proceso de saneamiento, en este caso, de biorremediación:

**El hábitat:** este principio se basa en que el proyecto está inserto en la ciudad, lo que implica la complejidad de la co-habitación con la ciudadanía, el respeto de sus dinámicas, culturas, costumbres urbanas y espacios naturales.

**El hábito:** es un principio que se refiere a una construcción de relaciones centrada en la cooperación.

**El cohabitante:** este principio aduce a la dimensión recíproca. Comprender lo que el otro quiere decir. Estar frente al otro - y los otros frente a nosotros - en una relación de equilibrio, desde el necesario reconocimiento y valoración de las diferencias.

**Empirismo – positivismo:** este principio se basa no solo en la experiencia y teoría científica, sino que en la aplicación rigurosa de modelaciones, algoritmos, probabilidades, ensayos, proyecciones, etc.

**Transferencia:** se refiere al traspaso del conocimiento adquirido y por adquirir, a partir de la investigación y aplicación del proceso de biorremediación.

Estas bases han estado permanentemente al centro del trabajo en conjunto del CES con Las Salinas, lo que ha permitido un trabajo interdisciplinario conjunto que ha robustecido el proyecto de Saneamiento Definitivo del Sitio.

En primera instancia, el CES realizó la revisión, confirmación y complementación al desarrollo y aplicabilidad de proyecto de remediación. A partir de una revisión exhaustiva de los resultados de los análisis de laboratorio realizados durante el proceso de muestreo de los años 2015 y 2016, el CES pudo garantizar que la información de base estaba correctamente procesada.

Para la validación del plan de caracterización el CES solicitó el aumento de los parámetros geofísicos y de la microbiología del agua. Solicitó también una consultoría adicional que incluyó la revisión externa de la evaluación de impactos,



Vista aérea sector Las Salinas - Santa Inés. (Fuente: archivo ILS)

centrada en los indicadores de ruido, aire y olores. Posteriormente, este trabajo permitió el mejoramiento en general de la técnica de biorremediación, a través de su propuesta de remediación de aguas biológica y otros elementos relacionados con la bioaumentación y la bioestimulación.

El comité pudo validar y consensuar los resultados obtenidos por el revisor externo de la Evaluación de Riesgos efectuada para Las Salinas, con el fin de confirmar que los criterios de evaluación estaban de acuerdo a los principios epistemológicos pre determinados por el grupo. La revisión arrojó como conclusión que los resultados generados para Las Salinas se encuentran dentro de márgenes de alta exigencia, es decir, la propuesta de la empresa supera ampliamente la seguridad que se requiere para un proceso de saneamiento de un terreno, en cuanto a evaluación de riesgo.

Con todo lo anterior, **el CES pudo realizar aportes fundamentales para el mejoramiento y la verificación final del EIA**, en conjunto con el equipo ambiental de Las Salinas y el consultor que coordinó el estudio, Golder Associates.

Por último, el CES asumió una labor activa con el objetivo de difundir los conocimientos, junto con recibir las consultas de la comunidad, tanto científica y académica, a través de seminarios y encuentros, tanto en la academia como de la comunidad en general, entregando entrevistas a medios de comunicación o directamente respondiendo a través de distintos canales las inquietudes surgidas en todo momento de autoridades, dirigentes, del Colegio Médico, miembros del Consejo de la Sociedad Civil de Viña del Mar (COSOC) y de vecinos y vecinas interesados en el proceso de saneamiento.

Todo lo anterior dio pie a la formulación de un Proyecto Global de Investigación, que nace después del ingreso del EIA

al SEIA, para avanzar en el acompañamiento y consolidación del proyecto ambiental, con el propósito de rescatar el potencial del conocimiento adquirido con el proyecto Las Salinas, para permitir su replicabilidad, las mejoras en la legislación y en los compromisos éticos y morales en pos de la sostenibilidad.

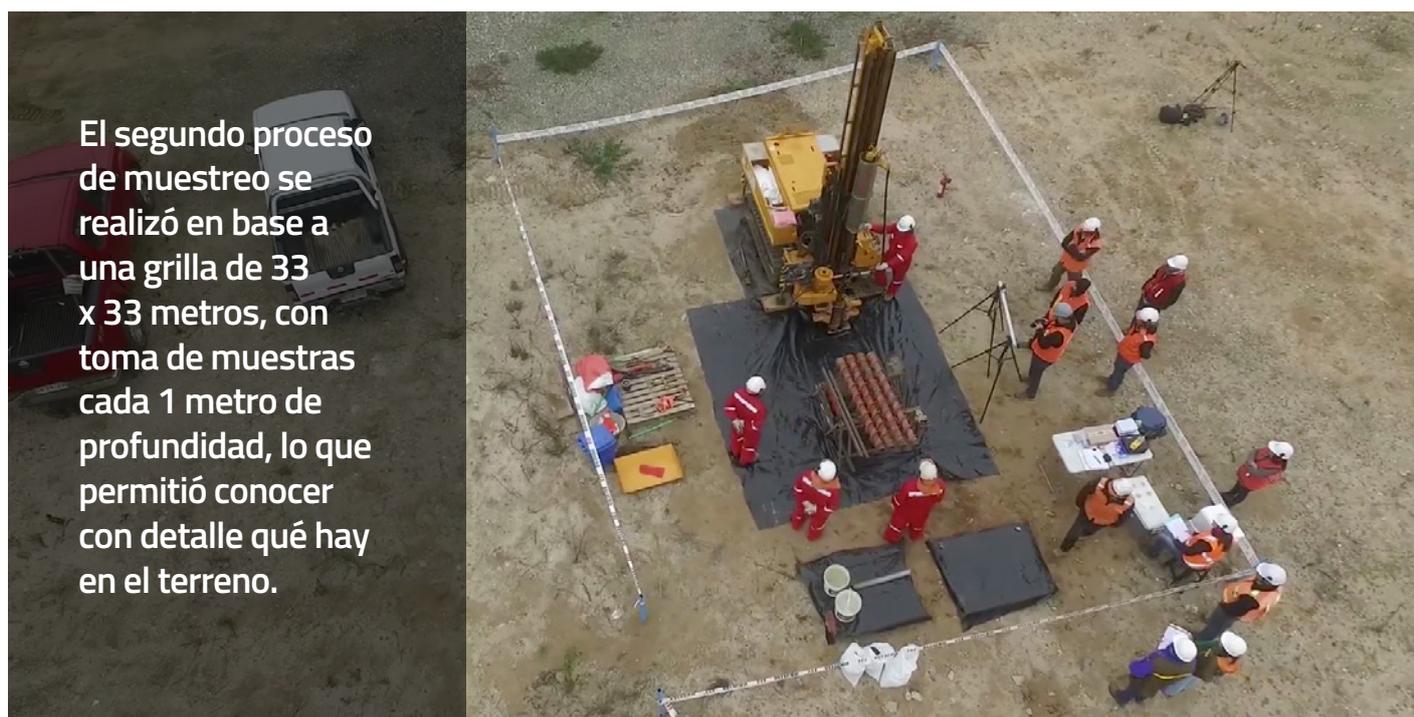
El año 2019, el equipo ambiental de Las Salinas, incluido un representante del Comité Científico, viajaron a Europa a visitar ciudades donde se realiza habitualmente este tipo de procesos con el fin de conocer en terreno los beneficios y aspectos a cuidar al momento de aplicar las técnicas de biorremediación. La gira por ciudades europeas con larga experiencia en la recuperación de suelos contaminados en entornos urbanos incluyó Lacq, en Francia; Turín y Milán, en Italia; y Gent, Gijzegem, Soetaert y Bruselas, en Bélgica.

El propósito de este viaje fue visitar proyectos asociados al saneamiento de terrenos para intercambiar experiencias y generar transferencia tecnológica en cuanto al desarrollo de estas iniciativas, tanto para ver aspectos asociados a ciencia y a ingeniería en gestión de suelos, como el impacto que han tenido estos proyectos en entornos urbanos.

### Actualización y modelación del proceso de muestreo

Con el segundo proceso de análisis a partir del año 2015 se incorporaron nuevas tecnologías respecto de los primeros análisis realizados por las petroleras entre los años 2001 y 2013, para avanzar en los nuevos estándares requeridos.

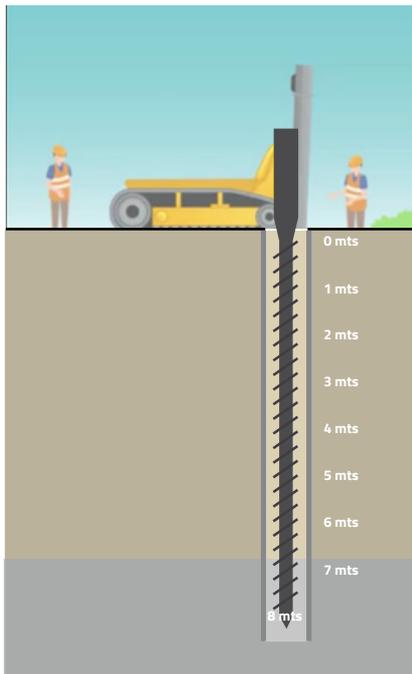
El Plan de Muestreo 2015-2016 fue diseñado en base a las directrices y recomendaciones de la "Guía Metodoló-



El segundo proceso de muestreo se realizó en base a una grilla de 33 x 33 metros, con toma de muestras cada 1 metro de profundidad, lo que permitió conocer con detalle qué hay en el terreno.

(Fuente: archivo ILS)

## Toma de Muestras de Suelo cada 1 mt de profundidad



**Las muestras se obtuvieron mediante sondajes (perforaciones) y pozos que llegaron hasta los 8,5 metros de profundidad, la mayor distancia a la que se encuentra la napa de agua, de la superficie del suelo.**



gica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes", del Ministerio del Medio Ambiente (2012) y consistió en una completa caracterización de los vestigios de contaminación restantes tras el proceso de saneamiento inicial del terreno, proceso en el cual se contó con la supervisión de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Para actualizar la información sobre los contaminantes remanentes, se diseñó una "grilla de muestreo" de 33 x 33 metros (1.000 m<sup>2</sup>), que establece sondajes para cada celda y las respectivas toma de muestras cada 1 metro de profundidad, lo que permite precisar estadísticamente la ubicación de los remanentes de contaminación en el suelo. **Con esta información se pudo elaborar una modelación geo espacial (3D), que permitió predecir la distribución de contaminantes y los procesos biogeoquímicos que toman lugar en ambas matrices, suelo y aguas.** El área de estudio abarcó el interior del terreno de Las Salinas y también el área de la playa ubicada frente al terreno.

Para la caracterización se consideraron además de todos los compuestos de interés relacionados a la actividad in-

dustrial que se desarrolló históricamente en el terreno, los parámetros capaces de describir el ecosistema de suelo y agua. Estos análisis incluyeron la granulometría de la arena y la determinación de los orígenes de los distintos estratos (estudios edafológicos). En relación al agua, y con el fin de tomar todas las provisiones necesarias al momento de mover el suelo, los análisis contribuyeron a entender mejor la geología e hidrogeología del acuífero, es decir, todo lo relativo al origen, circulación, interacción con los suelos y propiedades del agua subterránea. La caracterización incorporó la medición de gases provenientes del suelo y del agua subterránea con presencia de compuestos volátiles.

Adicionalmente, para el suelo se realizó una caracterización de peligrosidad, es decir, la identificación de suelos con presencia de contaminantes clasificados como peligroso (RESPEL), los que deben ser manejados y dispuestos de forma resguardada en un relleno de seguridad adecuadamente autorizado por el Ministerio de Salud.

Paralelo al proceso de muestreo se trabajó en **establecer el estándar objetivo de saneamiento**, para definir la manera

de remediar el terreno en una operación que garantice la seguridad ante la exposición a los contaminantes detectados, de modo que estos no representen un riesgo para la salud de los operadores de la remediación, de la comunidad del entorno y de los futuros usuarios del sitio utilizando el concepto de **remediación basada en la HHRA para la Salud** (ver pág. 25).

Si bien la evaluación de riesgo permite que permanezca cierto grado de contaminación en el terreno, el nivel es lo suficientemente bajo como para garantizar la seguridad en la salud de las personas. Es importante aclarar que al hablar de niveles aceptables, nos referimos a un nivel menor al que diariamente los seres humanos nos vemos expuestos, en situaciones tales como el uso de desodorantes, productos de limpieza, medicamentos, ruido ambiental u otros factores de riesgo identificados y normados por la autoridad sanitaria.

El **muestreo de agua subterránea** se realizó en 12 pozos existentes de estudios realizados en los años anteriores lo que se complementó con el muestreo de 59 pozos nuevos. El muestreo en el área de playa se realizó en 36 pozos nuevos instalados de forma temporal. La caracterización se realizó en 3 periodos, ya que el agua subterránea es un medio móvil que puede estar sujeta a cambios temporales tanto por mareas como por la estacionalidad invierno-verano.

Los estudios indicaron que, en el total del Plan de Muestreo (3 campañas), se detectaron excedentes menores tras el análisis de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH por sus siglas en inglés) en 10 pozos de los 71, en relación a los parámetros permitidos en la metodología de Evaluación de Riesgo para la Salud Humana<sup>17</sup>.

**Estos resultados permitieron la optimización de la implementación de acciones de remediación del agua subterránea del terreno. Esto implica la excavación en todo el terreno hasta el nivel del agua subterránea, por fases, para cumplir con un saneamiento integral.**

Adicionalmente el Plan de Muestreo incorporó al análisis de suelo y agua la toma de muestras de **gas de suelo en 21 puntos** con el objetivo de determinar las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles. Los compuestos de interés analizados correspondieron a BTEX, fenantreno y naftaleno, determinándose que solo se requiere la remediación del benceno, uno de los compuestos del BTEX.

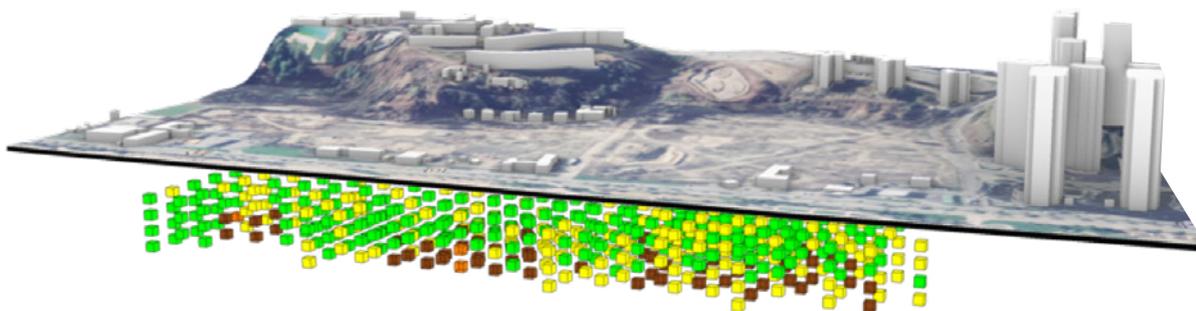
Asimismo, con el fin de contar con la mayor cobertura posible para el análisis del suelo, se contó con la colaboración del equipo del Doctor Jonathan Acosta, del Departamento de Estadística de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, quienes generaron un modelo matemático a partir del proceso de muestreo del terreno para estimar en base a



(Fuente: archivo ILS)

17. De los 36 compuestos analizados en las 3 Campañas de Muestreo de agua subterránea, ninguno presentó excedencias. Entre los compuestos analizados se encuentran el BTEX, Metales, PAH, TPH, Pesticidas, PCB, Ester ftalato y Fenol clorado.

<p><b>64%</b> <b>Suelo limpio</b></p> <p>Suelo que no cuenta con trazas de contaminación ya que nunca fue afectado o fue reemplazado después de la primera etapa de saneamiento.</p>	<p><b>31%</b> <b>Suelo apto para quedarse</b></p> <p>Suelo que no presenta riesgo para la salud de las personas, aún cuando no ha sido saneado.</p>	<p><b>4%</b> <b>Suelo para biorremediación</b></p> <p>Suelo que requiere tratamiento por exceder compuestos de riesgo. Para su remediación se utilizarán biopilas.</p>	<p><b>1%</b> <b>Suelo con riesgo no tratable</b></p> <p>Dos puntos de suelo con características de peligrosidad, que serán dispuestos en un relleno de seguridad, según norma DS 148/2003.</p>
--	---	--	--



Parámetro	SSCL (mg/hg)	Concentración máxima en el Sitio (mg/kg)	Valor de referencia Italia (mg/kg)
Benceno	0,45	2	0,1
Etilbenceno	1,6	13	0,5
Naftaleno	5 <sub>(1)(4)</sub>	49	5
TPH	Csat	23.980 <sub>(3)</sub>	50

Modelación 3D y cuadro de concentración de contaminantes del 4% suelo a biorremediar (Fuente: archivo ILS)

la proyección estadística la presencia de contaminantes en las zonas entre cada sondeo.

El **proceso de muestreo de suelo** permitió volver a identificar la contaminación presente y sus fuentes, tanto en ubicación, composición y concentración y verificar las propiedades toxicológicas de los compuestos en cuestión. Al definir los posibles receptores de los contaminantes, las vías y tiempos de exposición, se estableció un análisis de todas las variables para definir los criterios de remediación y la metodología para proceder con el saneamiento definitivo del terreno. Los valores específicos se calculan considerando las condiciones del terreno, las dosis seguras para la salud humana, el grado y tiempo de exposición a la que estará expuesto, las vías de exposición (ingesta, contacto, inhalación), entre otros.

Cabe señalar la exigencia estándar de la HHRA de establecer dos definiciones para maximizar la seguridad en el pro-

ceso de análisis de riesgo, denominadas Tier 1 y Tier2 es para suelo agua y gas. En la primera etapa, se comparan los valores obtenidos de terreno con valores genéricos de tablas de límites de concentraciones seguras establecidas por normas a ciertos escenarios de exposición según normativas internacionales. Si los valores de terrenos están por debajo de los valores de tabla, significa que el suelo / agua / gas no presenta riesgos para la salud humana / medio ambiente.

En el caso que hubiera elementos que estuvieran por sobre los valores genéricos, se pasa a la segunda etapa (Tier 2), que consiste en determinar valores específicos.

Para determinar los niveles de toxicidad se utilizó la clasificación de los niveles de toxicidad de los Compuestos Químicos de Potencial Preocupación (COPS por sus siglas en inglés) basada en el Sistema de Información Integrada de Riesgos de la Agencia de Protección Ambiental (IRIS - US

EPA por sus siglas en inglés), con un banco de datos mundialmente reconocido, denominado Inventario de Emisiones Tóxicas (TRI por sus siglas en inglés).

la HHRA fue desarrollada de acuerdo al procedimiento de acción correctiva basada en riesgos (RBCA por sus siglas en inglés), descrito en la Guía de Normas para la Acción Correctiva Basada en Riesgos, de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés). La metodología focaliza los esfuerzos de remediación en aquellos contaminantes cuyas concentraciones representen un riesgo para la salud de las personas, fundamentada en el cálculo del riesgo incremental de cáncer o el índice de peligro, en que una persona se vea expuesta a un compuesto químico o un conjunto de éstos, al estar presente en una o más matrices ambientales. La EPA recomienda tomar acciones correctivas cuando este riesgo incremental fluctúa entre  $10^4$  y  $10^6$ . Particularmente para Las Salinas, se considera tomar el límite más restrictivo equivalente a  $10^6$ , lo que significa que el riesgo que una persona se enferme por estar expuesta al terreno es 0.000001 (uno en un millón), lo que para los expertos es estadísticamente cero.<sup>18</sup>

Una vez determinados los niveles de toxicidad y los niveles de riesgo aceptables para la salud de las personas se establecieron los **Niveles de Remediación Específicos del Sitio o SSCL (Site Specific Cleanup Levels)**. De acuerdo a esto, en Las Salinas existen componentes que requieren remediación, porque están en concentraciones por sobre estos niveles y otros que no requieren remediación, por estar largamente bajo el umbral definido.

Respecto de la norma a utilizar, dado que en nuestro país aún no se establecen márgenes normativos de saneamiento, se investigaron las normas actuales de Estados Unidos,

Francia e Italia. **El equipo de expertos asociado al proyecto de saneamiento Las Salinas, en concordancia con las recomendaciones de los profesionales especialistas del Ministerio de Salud, identificaron la norma italiana como la más adecuada para ser aplicada en esta etapa.** Esta norma fue escogida por la similitud entre Chile e Italia respecto del clima y el fondo geológico, además de una similitud ecosistémica por una parte y, por otra parte porque esta norma presenta los estándares internacionales más estrictos en relación a los niveles de contaminación permitidos y las restricciones para evitar la exposición de las personas.

Para avanzar hacia la decisión de cuál tecnología utilizar y cuál descartar fue fundamental el avance de los estudios que requieren mayor especificidad en el análisis. Los primeros estudios para conseguir datos respecto de la efectividad de la alternativa de biorremediación para los suelos de Las Salinas comenzaron a obtenerse a fines de 2015 y principios de 2016. La empresa solicitó a la Universidad Técnica Federico Santa María la evaluación de esta estrategia mediante dos estudios experimentales que comenzaron a desarrollarse en las dependencias de la universidad.

Estos estudios contemplaron en un principio la realización de pilotos a escala microcosmos, que contemplaron la utilización de sedimentos y aguas subterráneas extraídas del terreno para la elaboración de microcosmos y el análisis de pilotos aerobios (bioaumentación, bioestimulación y biorremediación mejorada) y pilotos anaerobios (bioaumentación). Posteriormente se avanzó en estudios con pilotos a escala semi industrial, en una aproximación gradual hacia la escala real del proyecto.

Las diversas pruebas piloto para analizar el suelo y el agua de Las Salinas que realizaron los grupos de investigación de



(Fuente: archivo ILS)

18. El enfoque HHRA/RBCA es una práctica estándar para la definición de metas de remediación de sitios en Italia, Francia, Alemania, Suecia, Hungría, Australia, Estados Unidos, Canadá, Brasil, entre otros y también ha sido utilizada en Chile en la definición de proyectos de remediación evaluados y aprobados en el SEIA, y recomendado por el Ministerio de Medio Ambiente en la Guía Metodológica para la Gestión de SPPC y la Guía de Riesgo para la Salud, esta última elaborada en conjunto por el MINSAL, el MMA y el SEA.



Análisis proceso de muestreo en laboratorio (Fuente: archivo ILS)

las universidades asociadas, Universidad Técnica Federico Santa María y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, estaban orientadas a identificar y estudiar la cinética de los procesos de biodegradación de hidrocarburos con los distintos suelos del Sitio, como también identificando los factores críticos de los procesos y la identificación de la dinámica microbiana que garantice la eliminación de los hidrocarburos remanentes.

A la luz de los resultados a escala de las pruebas de biorremediación realizadas en dependencias de la universidad y de otras pruebas realizadas por distintos laboratorios, se estableció un criterio de elegibilidad que permitiera tomar la decisión a la empresa para elaborar la propuesta y presentarla al SEIA.

**Se hizo necesario atender y profundizar el nivel de investigación de los científicos que habían estado participando en los primeros pilotos realizados por la universidad, para darle factibilidad a la técnica de biorremediación.**

La experiencia de 24 años del Laboratorio de Microbiología Molecular y Biotecnología Ambiental del Departamento de Química de la Universidad Técnica Federico Santa María, con más de 40 proyectos de investigación a nivel nacional e internacional, fue fundamental para ir construyendo certezas y avanzar hacia la biorremediación de Las Salinas.

Por otra parte, en una mirada más amplia del concepto “reconversión de suelos”, al comenzar el trabajo con otros expertos, de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, la interacción paulatina con el equipo de la Universidad Técnica Federico Santa María fue conformando el extraordinario apoyo técnico que se requiere para ir elaborando un proyecto que integre lo científico con lo territorial y social, más allá de los requerimientos que exige la institucionalidad ambiental.

Este vínculo terminaría conformando a la postre al CES y la generación de los convenios de colaboración con ambas universidades.

El trabajo logró consolidarse en diciembre del año 2018 con el ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) del EIA del **Proyecto “Saneamiento para el Terreno Las Salinas”** para su evaluación, la que culminó favorablemente en el año 2020.

### Aplicación de biorremediación en Las Salinas

La Biorremediación se basa en la resiliencia natural del medio ambiente, permite a la naturaleza recuperar las condiciones previas a una intervención que haya perturbado las condiciones ambientales originales. **En particular, la biorremediación se establece sobre la rica biodiversidad microbiana que habita en los suelos, la que posee una maquinaria degradadora capaz de proveer los elementos necesarios para la biodegradación de los hidrocarburos. Este potencial nace a partir de la capacidad adaptativa que tiene la comunidad bacteriana en su relación de cohabitación con los contaminantes. Por lo tanto, la biorremediación únicamente viene a generar las condiciones necesarias para acelerar ese proceso.**

La bioestimulación es la técnica que se aplicará en primera instancia a todas las biopilas en el terreno. En este caso se ha seleccionado la adición de compost (un material orgánico rico en nutrientes y microorganismos) para estimular las comunidades microbianas existentes y así degradar los hidrocarburos.

Esta tecnología fue seleccionada en base a los siguientes aspectos:

- La textura del suelo: consiste en arenas homogéneas, es adecuada para el tratamiento en biopilas, ya que es posible incorporar aire y distribuir humedad y nutrientes.
- El contaminante de preocupación (hidrocarburos): es biodegradable por microorganismos.
- Las concentraciones máximas registradas en el sitio: están dentro del rango de tratamiento eficiente de la tecnología.
- Las condiciones climáticas predominantes: en el área en

donde se encuentra el terreno son propicias para la actividad microbiana ya que se ha constatado que la temperatura promedio en el terreno no es menor que 10 °C, a lo largo de todo el año.

**Por lo tanto, el proceso de biorremediación del paño de Las Salinas, parte de un principio fundamental: fomentar las condiciones en donde la comunidad microbiana presente sea capaz de desencadenar procesos de biodegradación permanente a través de la adición de nutrientes (adición de compost, bioestimulación).**

Solo en aquellas biopilas en donde el tratamiento de bioestimulación no esté dando los resultados degradativos esperados, se hará efectiva la tecnología de la bioaugmentación. Esta comprende la aplicación de microorganismos (bacterias ambientales de la región), de manera de acelerar el proceso natural de biodegradación de los contaminantes. Estas cepas también son nativas y están caracterizadas a partir de estudios e investigaciones realizadas por el Laboratorio de Microbiología Molecular y Biotecnología Ambiental de la Universidad Federico Santa María. El desarrollo de estos estudios científicos que confirman las capacidades degradativas de estas cepas, como también su origen y parte de su información genómica, están publicados en diversas revistas científicas internacionales.

En definitiva, a través de ambas aproximaciones es posible acelerar un proceso natural. Este principio es uno de los pilares que ha permitido que la biorremediación sea una técnica ampliamente utilizada en el mundo, permitiendo recuperar un recurso ambiental limitado como el suelo, sin generar impactos ambientales secundarios, de relevancia o significativos.

Debido a que este tipo de procesos utiliza microorganismos vivos, se rige de variables físicas, químicas, biológicas y ecológicas presentes en el ambiente contaminado. Por ello, conocer profundamente las características del suelo, la estructura y composición de las comunidades microbianas y la cantidad de bacterias presentes en suelo y en aguas, permite aprovechar mejor las condiciones naturales del sitio y, desde ahí, generar una estrategia para desencadenar los procesos de biorremediación.

Las bacterias son organismos muy pequeños que están presentes en todo lo que hacemos. Son los organismos más abundantes y más diversos del planeta. Conocer la genética de las bacterias es un proceso fundamental para generar procesos de biorremediación efectivos y brindar seguridad a las personas y al medioambiente.

**Habitualmente, al escuchar hablar de bacterias se tiende a pensar en enfermedades, pero la gran mayoría de las bacterias son beneficiosas para los ecosistemas y los seres vivos. La mayoría de las bacterias que habitan en las personas, son necesarias para desarrollar funciones del organismo, por ejemplo, porque tienen propiedades digestivas, proporcionan vitaminas y nutrientes, ayudan a bajar el pH, desarrollan y protegen el sistema inmune, controlan a diversos patógenos y estimulan la producción de anticuerpos.**

Además de bacterias, los suelos también contienen mi-

croorganismos diversos tales como arqueas, hongos y protozoos. De estos organismos, justamente las bacterias son el grupo más numeroso, diverso y bioquímicamente activo.

**Existen bacterias que contribuyen a la degradación de compuestos como los hidrocarburos, que son contaminantes dañinos para las personas pero que constituyen una fuente de alimentación para ellas. Además, estos microorganismos sólo se alimentan de estos compuestos y no generan peligro para los seres humanos, por lo que contribuyen positivamente en la descontaminación de un suelo.**

Gracias a los estudios realizados con suelo de Las Salinas, se ha podido identificar la microbiota del terreno, es decir, cuáles son los consorcios microbianos que están naturalmente en el sitio y cuales son los principales procesos donde éstos participan. Estos estudios determinaron que la cantidad de microorganismos presentes en el terreno están en condiciones muy desfavorables y contienen un número muy bajo de microorganismos para generar un proceso de remediación por sí mismas.

La relevancia de conocer la genética de las bacterias es fundamental a la hora de escoger la técnica de saneamiento más adecuada. Al ser seres vivos, las bacterias poseen un genoma complejo, por lo que se debe poner atención a la siguiente subdivisión al momento de estudiar cada bacteria:

- .....
- DOMINIO**
- .....
- REINO**
- .....
- FILO**
- .....
- CLASE**
- .....
- ORDEN**
- .....
- FAMILIA**
- .....
- GÉNERO**
- .....
- ESPECIE**
- .....
- CEPA**
- .....

**Dominio** es lo más grande y tiene muchos reinos y cada reino tiene muchos filos, etc., tal como ocurre en el reino animal, donde hay vertebrados e invertebrados, que luego se subdividen en mamíferos, aves, reptiles, etc.

Así, cada bacteria posee una serie de características según su dominio, reino, filo, clase, orden, género, especie y cepa, lo que explica que bacterias de un mismo género o una misma especie (y habitualmente con un mismo nombre) puedan resultar en algunos casos nocivas para los seres humanos y en otros, no (dependiendo de la cepa).

Por ejemplo, dentro del género de las Pseudomonas, existen cepas específicas de la especie *Pseudomona aeruginosa* que puede provocar infecciones graves, mientras que la cepa *Pseudomonas* sp. DN36, contribuyen a la degradación de hidrocarburos sin afectar la salud de las personas. Lo mismo ocurre con el caso de la bacteria *Acinetobacter*. Mientras que algunas cepas de *Acinetobacter baumannii* pueden afectar gravemente la salud de los seres humanos, la *Acinetobacter* sp. DD78 no cuenta con genes asociados a enfermedades en su genoma, lo que la hace inofensiva para los seres humanos. Esto también es válido para la bacteria *Escherichia coli*, que es la bacteria que ha sido más estudiada por la comunidad científica internacional. Esta bacteria vive normalmente en el intestino del ser humano, aportando nutrientes y vitaminas. Sin embargo, existen cepas altamente patógenas para el ser humano, que pueden causar su muerte.

Para el caso de los hidrocarburos, existen varios conjuntos de bacterias que poseen la capacidad de degradar este tipo de compuestos recalcitrantes (bacterias hidrocarbonoclasticas). Bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Acinetobacter*, *Rhodococcus*, *Paraburkholderia*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Alcaligenas* y *Ralstonia*, son algunos de los más extensamente estudiados por su capacidad de biorremediación de hidrocarburos y sus derivados.

Adicionalmente a las bacterias nativas de Las Salinas, se estudiaron comunidades microbianas en otras zonas del Aconcagua que presentan contaminación con hidrocarburos -como Quintero y Concón- donde se aislaron y analizaron bacterias para encontrar aquellas con mayor capacidad de degradar hidrocarburo y que puedan adaptarse a las condiciones presentes en el terreno Las Salinas.

A través del análisis del genoma de las bacterias (el con-

junto de genes y su disposición) se identificó que cepas de *Pseudomonas*, *Acinetobacter* y *Rhodococcus*, son excelentes degradadoras de hidrocarburos. Estos hallazgos permiten contar con otras bacterias disponibles para añadir al terreno Las Salinas y que apoyen el trabajo de las bacterias nativas, a través de la Bioaumentación, la cual solo será utilizada si los procesos de bioestimulación no cumplen con los estándares de calidad requeridos.

### Biopilas para la remediación de suelos

Una biopila corresponde a un sistema de control y monitoreo cerrado que permite incorporar suelos contaminados, extraídos mediante la excavación del terreno y dispuestos en montículos con una membrana de polietileno de alta densidad, bajo la cual se generan las condiciones necesarias de temperatura y humedad para que los microorganismos puedan acelerar los procesos naturales de biodegradación.

Para el caso de Las Salinas, los suelos contaminados se encuentran en su mayoría a 6 metros de profundidad, por lo que es necesario extraerlos de manera controlada para conformar las biopilas. El sistema de biopilas aplicado dispone de tuberías para la circulación de aire y recirculación de agua; asegurando las condiciones necesarias para la proliferación de los microorganismos y manteniendo el control permanente del proceso. Para estimular el proceso de biorremediación se agregan distintos nutrientes. los que corresponden a Nitrogeno, Fosforo y Potasio (N-P-K), trilogía también utilizada como fertilizantes en jardines

El volumen a remediar mediante biopilas, corresponde aproximadamente a 45.000 m<sup>3</sup> para el caso de Las Salinas. El tiempo de operación de las biopilas depende de las



Fotos izquierda y derecha: Faenas de extracción de suelo realizadas en Las Salinas para pruebas piloto de biopilas a escala semi industrial. (Fuente: archivo ILS)

concentraciones de hidrocarburos presentes en el suelo a tratar y del control de los parámetros operacionales. Considerando las concentraciones de hidrocarburos a remediar, así como la alta permeabilidad de los suelos del terreno, se espera que el tiempo de tratamiento para cada biopila sea al rededor de 3 meses, tiempo durante el cual se monitorea permanentemente los niveles de saneamiento. En el caso de que la partida de suelo biorremediado cumpla con los estándares establecidos, el suelo será reintegrado al terreno; de lo contrario, se aplicarán acciones correctivas como verificación del sistema de oxigenación, adición de compost, ajuste de humedad o concentración de nutrientes y adición de aislados bacterianos medioambientales.

Debido a que minimizar el impacto en el entorno es prioridad del proyecto es que se ha considerado generar procesos acotados de biopilas aun cuando el proceso total tome más tiempo (el saneamiento completo del terreno podría tomar un tiempo estimado de 5 años). En esta línea, se ha propuesto un total de 25 biopilas de aproximadamente 1000 m<sup>3</sup> de suelo en el paño sur, y 8 biopilas de entre 1700 m<sup>3</sup> y 3000 m<sup>3</sup> en el paño norte durante todo el proceso. La máxima altura de las biopilas será de 4 metros.

### Biorremediación mejorada para el saneamiento del agua

La biorremediación mejorada es un tipo de técnica para el saneamiento de aguas que busca mejorar la degradación biológica de hidrocarburos mediante la adición de compuestos que favorecen la biodegradación de los contaminantes. Esta es la alternativa seleccionada por los grupos de investigación para remediar el agua subterránea del terreno Las Salinas.

La biorremediación mejorada fue seleccionada debido a que:

- Se comprobó la presencia de bacterias degradadoras de hidrocarburos en el suelo del sitio.
- Se facilita la aplicación en el fondo de la excavación.
- No se generan aguas residuales que deban ser manejadas o dispuestas fuera del terreno.
- Es apropiada para este sitio dadas las características de los impactos identificados, que corresponden a hidrocarburos de petróleo que pueden ser biodegradables y a la presencia de bacterias degradadoras de hidrocarburos, según los análisis microbiológicos realizados.
- Permite mejorar la eficiencia de los procesos naturales de biorremediación que seguirán produciéndose a lo largo del tiempo.



De acuerdo con la composición geológica y disposición de los suelos y sedimentos respecto a la dinámica hídrica, se estableció que las aguas subterráneas presentes en el sitio poseen diversas características determinadas por su posición y origen.

Es por esto que los procesos de biorremediación del Sitio se basan en un sistema modular que está constituido de dos fases. La primera de estas corresponde a la adición de enmiendas capaces de estimular las capacidades biodegradativas de las comunidades microbianas presentes en las aguas en sus condiciones naturales, varias de las cuales son anaeróbicas. Este proceso se realiza antes del inicio de las excavaciones, con el fin de mantener la condición anaerobia de esos sectores del terreno.

### Implementación de actividades

El Proyecto de Saneamiento para el Terreno Las Salinas contenido en el Estudio de Impacto Ambiental es una propuesta sin igual, en cuanto a proyectos que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

En primer lugar, se trata de una propuesta que busca limpiar un terreno para reintegrarlo a la ciudad, es decir, su objetivo es mejorar la condición actual de un espacio, situación contraria a lo que ocurre en los proyectos que se presentan habitualmente para ser evaluados por la autoridad ambiental.

Además, el plan de trabajo contempla las mitigaciones desde el diseño, lo que lo hace más eficiente y amigable con el lugar donde se emplaza y por ende con el medioambiente. Esta definición permite minimizar los impactos en el entorno, gracias a acciones puntuales. Por ejemplo, uso de maquinaria con menos volumen, instalar un cierre perimetral alto, generar excavaciones reducidas, disminuir la intensidad de ejecución durante la época estival, etc. Es decir, se desarrolla la ingeniería en función de la mitigación al entorno.

Previo al inicio de los trabajos de excavación, se deberá realizar un pre tratamiento en 8 zonas que presentan mayor índice de contaminación, las que están ubicadas en la superficie de la napa subterránea. En estos puntos habitan microorganismos anaeróbicos, es decir, que no necesitan oxígeno para vivir, por lo que se hace necesario entregarles nutrientes para acelerar su proceso de crecimiento y reproducción. Al ser seres anaeróbicos, este pre tratamiento debe hacerse previo al movimiento de suelos, por lo que se realiza mediante inyección en pozos.

Posteriormente se procederá a remover los suelos para alcanzar los niveles de mayor profundidad (5 a 8 metros), que es donde se encuentran concentrados los contaminantes. Este proceso se caracteriza por la lentitud de la faena, que comprende la remoción sistemática y con suma precisión de suelo mediante excavaciones parciales.

*Proceso toma de muestras de gas de suelo  
(Fuente: archivo ILS)*



A medida que se va excavando, los suelos extraídos se clasificarán en 3 categorías: limpios, biopila y RESPEL (residuos peligrosos):

- Los suelos limpios, que corresponden al 95% del terreno, se van agrupando en montones de no más de 4 metros de altura.
- Los suelos contaminados con hidrocarburos (4% del terreno) se montarán en biopilas para ser tratados mediante el proceso de biorremediación. El total del volumen a tratar en el paño sur es de 25.000 m<sup>3</sup> y en el paño norte es de 20.291 m<sup>3</sup>.
- Finalmente los suelos RESPEL (1%), no pueden ser tratados en el terreno por ser metales pesado, por lo que serán llevados en camiones protegidos a un relleno de seguridad. Se ha establecido trasladar un máximo de 6 camiones diarios, durante el período en que se realicen excavaciones en las zonas con suelo RESPEL.

Finalizado el proceso de biorremediación para suelo y agua, y con la totalidad del terreno cumpliendo con los estándares de limpieza exigidos en la evaluación de riesgos, se procederá a reponer los suelos de manera ordenada. Durante todo el proceso se estarán realizando monitoreos de calidad del aire y de olores para asegurar que se está cumpliendo con los niveles exigidos por la autoridad y para ir registrando cómo se va desarrollando la biorremediación. Una vez finalizado el proceso, se realizará un monitoreo final para verificar que la totalidad del paño se encuentra saneado.

Para ejecutar este proyecto se trabajará con las mejores empresas a nivel nacional e internacional y el Comité Científico estará encargado de asesorar de manera permanente la ejecución de las obras de remediación y el monitoreo del funcionamiento de la técnica.

Se calcula un plazo aproximado de 5 años para la remediación total del terreno; se avanzará lentamente para tomar todas las medidas necesarias que permitan minimizar el impacto en la comunidad.

El proyecto de remediación se realizará por separado en cada uno de los sectores en los que divide el sitio, los que están delimitados por la calle 19 Norte. Se comenzará con el paño sur (entre 18 Norte y 19 Norte) y, una vez finalizados los trabajos y hecho el monitoreo final para revisar la situación del terreno, se iniciarán los trabajos en el paño norte (entre 19 Norte y las instalaciones de la Armada).

El proyecto se basa en una remediación "on site" (es decir donde todo ocurre dentro del terreno) e incorpora medidas de mitigación en el diseño del proyecto, con el fin de asegurar de que la rutina de quienes se desplazan o viven en los alrededores del sitio no se vea mayormente afectada durante los trabajos. Asimismo, se continuará manteniendo mecanismos de contacto permanente con la comunidad de Viña del Mar, con el fin de estar atentos a resolver todas sus inquietudes.





PARTE 5

# **Ciencia para la Ciudad**

## El valor de la comunidad

El reemplazo de actividades industriales por usos urbanos mixtos significa una gran oportunidad para cualquier ciudad, pero también un gran desafío para la comunidad del entorno. La ciudad de Viña del Mar ha pasado de convivir con “Las Petroleras”, a convivir con la condición de *brownfield* del terreno. El poder beneficiarse del proceso de biorremediación para el saneamiento del sector Las Salinas puede parecer en primera instancia como algo absolutamente ajeno a lo que se entiende como “lo normal” para una ciudadanía que demanda hoy por hoy ser partícipe de los procesos de transformación de la ciudad.

En medio de las circunstancias propias del desarrollo científico y el ámbito ingenieril -hacia la construcción de un barrio-, la ciudadanía debe asumir un rol activo frente a esta regeneración urbana, para lo cual es fundamental el traspaso de información y la transferencia de conocimiento por parte de la empresa y el equipo multidisciplinario que la conforma.

**Más allá del Estudio de Impacto Ambiental presentado ante el SEIA, las reuniones consultivas con la comunidad y la atención a sus observaciones, Las Salinas ha promovido una ética ambiental, centrada en una mirada cualitativa que pone en relevancia una relación de equilibrio con la comunidad, a partir de la valoración de las diferencias, la multidisciplina y la diversidad propia del hábitat en el que se inserta este proyecto. Un proceso de acercamiento entre ciencia y comunidad que concebimos como Ciencia para la Ciudad.**

Por comunidad entendemos el colectivo ciudadano que tiene vinculación al proyecto desde dos dimensiones. Una es la dimensión territorial, lo que técnicamente se define como “el área de influencia de sistemas de vida y costumbres de grupos humanos”. En este caso, el entorno inmediato, las comunidades residentes ante las cuales se debe cautelar que exista el menor impacto. La otra dimensión es la que aborda el hábitat, vale decir la aproximación a la realidad urbana desde la corresponsabilidad del proyecto de biorremediación en cohabitación con ciudadanos, dinámicas, culturas, costumbres urbanas y espacios naturales.

Toda evaluación de un proyecto ambiental a través de un EIA por parte del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental contempla la participación ciudadana como parte esencial, mediante la realización de reuniones informativas con la comunidad, denominadas PAC. Sumado a esto podemos mencionar la posibilidad de acceder y revisar íntegramente el proyecto a evaluar en la plataforma web de la autoridad, junto con el acceso a las copias físicas tanto en el SEIA, la Municipalidad y la Gobernación, para generar las observaciones que se estimen pertinentes, las que deben ser respondidas. Así, la dimensión territorial o “área de influencia” del proyecto queda debidamente atendida, por parte de la autoridad ambiental.

Sin embargo, más allá de la mecánica administrativa con el que el SEIA se encuentra obligado normativamente a ponderar las observaciones ciudadanas formuladas, Las Salinas

ha buscado permanentemente propiciar más instancias que permitan conocer las opiniones y consultas de la comunidad, así como generar un análisis profundo de sus observaciones, que permitan comprender a cabalidad cuáles son las necesidades y preocupaciones que subyacen a las preguntas y aseveraciones. Esto tiene que ver con la dimensión que aborda el hábitat y que nace de una visión compartida con el Comité de Expertos de Saneamiento CES, fruto del espíritu académico que impregna el proyecto de investigación y que orienta el proyecto de saneamiento del terreno.

En el marco de nuestro proceso de aprendizaje de los patrones constitutivos del modo de ser y de vivir de los viñamarinos, hemos realizado diversos talleres de diálogos urbanos para discutir con distintos representantes de la ciudad diversas materias. El 12 de mayo de 2018 se llevó a cabo un primer Diálogo Ambiental abierto a toda la comunidad para dar a conocer por primera vez el nuevo proyecto para el saneamiento ambiental del terreno Las Salinas, en el que participaron los miembros del CES.

Fue entonces cuando se presentó a los miembros del CES y se dieron a conocer los principales lineamientos de lo que sería finalmente el proyecto de biorremediación, instancia que congregó alrededor de 80 participantes.

Posterior a este primer Diálogo Urbano, en agosto de 2018, Las Salinas se acogió a una alternativa voluntaria estipulada por el SEIA para informar el proyecto, la Participación Ciudadana Anticipada (PACA), que convergió en una serie de reuniones que permitieron explicar de manera detallada el proyecto y responder a las inquietudes de la comunidad.

En esta serie de 5 reuniones participaron cerca de 100 vecinos, correspondientes al Barrio Santa Inés, Meseta Coraceiros, Condominio Puerto Pacífico, Condominio Empart, Condominio Anakena, Condominio Fabiola y Población Vergara. En cada una de las reuniones, el equipo ambiental de Las Salinas presentó el proyecto de saneamiento para el terreno Las Salinas y escuchó los comentarios e ideas de los asistentes para ver cómo podrían ser incorporados en el EIA.

En este periodo de trabajo con las comunidades llevado a cabo el 2019 y 2020, tuvieron lugar dos instancias que fueron definiendo con más claridad las dimensiones de involucramiento comunitario y transferencia de conocimiento.

Por una parte, se dio marcha al proceso de participación ciudadana que ya hemos mencionado, conforme lo ordena la normativa vigente denominado PAC, que debe realizarse en todo proyecto sometido al SEIA por medio de un EIA. Al ser un proceso ajustado a lo estipulado por la autoridad ambiental, se realizaron los talleres de acuerdo a las formalidades que en estricto rigor dependen del marco reglamentario del SEIA.

A esas alturas, el proyecto Las Salinas ya no significaría en todo caso un proyecto desconocido para la comunidad citada a participar. Esto último, no solo gracias a la convocatoria

de Participación Anticipada PACA, comentada previamente, que realizó la empresa. Es razonable que un proyecto que desde los inicios del presente siglo ya haya llamado la atención de los viñamarinos, no solo concite el interés de la ciudadanía, luego de veinte años, sino que además genere incertidumbre y en muchos casos desconfianza, por lo lento y lo complejo del proceso.

Al mismo tiempo, la evolución propia de las políticas de participación a nivel país, van propiciando instancias para el diálogo entre las partes cada vez más efectivas, en términos de permitir la transparencia del proceso y en casos como éste, en que se debe comprender la complejidad de procesos científicos y tecnológicos, el traspaso de información para la sociedad civil, la ciudadanía y la comunidad en general pueda formarse un juicio objetivo sobre el significado histórico de lo que significa la reconversión de suelo industrial a suelo urbano.

Esto último fue precisamente lo que ocurrió el 2019. Existiendo una controversia instalada en torno al proyecto, el debate se trasladó al Consejo de Organizaciones de la Sociedad Civil (COSOC), instancia creada en Chile al alero de la Ley 20.500 de Participación Ciudadana (2011). Luego de las audiencias respectivas realizadas en el COSOC para atender las inquietudes de quienes se mostraban escépticos al proceso, a tal punto de no asistir a las PACAs o a la PAC del EIA, el COSOC acordó citar a la empresa y esto permitió que el Comité de Expertos de Saneamiento CES acudiera a exponer y transferir gran parte de los conocimientos que manejan. Pero no fue una clase del tema en general, los científicos expusieron el resultado de la investigación propia de éste proyecto en particular, de la particularidad de lo que ocurre a nivel biológico en un terreno viñamarino, ocasión en la que se produjo lo que podríamos decir que fuera el primer encuentro entre la ciencia y la ciudad, en lo que va de desarrollo del proceso.

Durante esta clase de gran nivel académico, frente a una audiencia de consejeros atentos, los científicos explicaron en detalle los conceptos ambientales, químicos y biológicos, junto con los resultados de sus investigaciones y los análisis realizados en los laboratorios de la Universidad Técnica Federico Santa María para el desarrollo del proyecto. A su vez, las observaciones y consultas permitieron que en su indagatoria el COSOC pudiera tomar conciencia de la relevancia del proyecto no solo desde el punto de vista ambiental para la ciudad, sino que para el desarrollo científico local.

*"Antes de trabajar en Las Salinas (Roberto Orellana y Michael Seeger) también habían trabajado en otros temas de contaminación bien importantes en la zona, ustedes que son de acá saben que la refinería de Concón es una fuente de trabajo bien importante y si no fuera por Concón, Santiago se paraliza, porque todo el petróleo que se refina para la zona central de Chile viene de ahí, no viene de Concepción, por lo tanto el que está más preocupado de que Concón funcione es Santiago, más que ustedes. Ha habido varios derrames allá, y han participado, incluso habían publicado artículos de contaminación a raíz de los derrames en las costas de la quinta región y en otras partes de Chile que están ligados a revistas científicas, entonces a raíz de estos derrames que ha habido comenzaron a estudiar la comunidad microbiana también en las zonas en las cuales ha habido contaminación y han analizado tanto bacterias que han sido capaces de ais-*



Registro reuniones del Comité de Expertos en Saneamiento con diversos actores comunitarios. (Fuente: archivo ILS)

lar, como las comunidades microbianas completas (...) seleccionaron cuales son las bacterias, que tienen más capacidades de degradar hidrocarburos y que tienen algunas otras características, presentan algunas como esta conocida internacionalmente la *Acinetobacter la DD78*, una bacteria que aislaron justamente en las cercanías de la desembocadura del río Aconcagua, es una bacteria que es capaz de degradar muchísimos, diferentes tipos de hidrocarburos y además tiene otra gracia que produce biosurfactantes (...) capaces de solubilizarlo y es bastante interesante. Esta imagen que tenemos acá es la *Pseudomonas* la conocen bastante bien, la han utilizado en bastantes procesos de biorremediación, incluso algunos de ellos ya están publicados hace tres años en la revista *Applied and Environmental Microbiology* en Estados Unidos, (...) es una bacteria que también fue aislada desde el Aconcagua, *Pseudomonas* hay muchas (...) en las bacterias las únicas que son famosas son las que nos causan enfermedades, (...) la gran mayoría de las bacterias son fundamentales; ustedes están sanos gracias a las bacterias que habitan su tubo digestivo, hay una relación absolutamente clara entre que si se enferma esa comunidad microbiana la gente se enferma, y a veces es suficiente con un transplante..."<sup>19</sup>

La importancia que tuvo el contacto directo de los científicos con el COSOC, tanto para los consejeros como para el CES, se reflejó en una posterior visita a terreno de los consejeros, momento en el que recibieron información complementaria sobre la metodología de biorremediación tras visitar la excavación existente y comprobar de manera empírica la presencia de contaminantes en el subsuelo.

De esta manera se instauró la visita a terreno, como una forma más de acercamiento a la comunidad para la comprensión del proyecto, ya que recorrer el terreno y acceder a la excavación permite entrar en contacto físico, ver, tocar y oler los suelos que se encuentran en los distintos niveles del subsuelo y constatar en qué consisten los impactos por hidrocarburos, dónde están alojadas las trazas de contaminación y cómo la técnica de la biorremediación permitirá acelerar el proceso natural de degradación de estos componentes, sin impactos significativos para el entorno.

Por último, ya en el año 2018, se instaló en la oficina de Las Salinas una sala especialmente habilitada con gigantografías para explicar detalladamente la historia del terreno, el proceso de remediación al que ya ha sido sometido y la propuesta de biorremediación para el saneamiento definitivo, todas instalaciones disponibles para visitas guiadas.

Como resultado de este proceso, se ha ido consolidando una metodología de trabajo en que este convenio colaborativo con la academia se materializa en una continua y progresiva transferencia de conocimiento, divulgación y educación ambiental a la vez que un seguimiento permanente al desarrollo del proyecto, primero en su fase teórica, en el EIA propiamente tal y posteriormente, en la fase de implementación y ejecución.

Fruto del vínculo con la academia, en este caso con el Instituto de Historia y Geografía de la PUCV, representado por el entonces director y miembro del CES, el profesor Luis Álvarez, se realizó un curso piloto o "Unidad de Aprendizaje" para profesores de educación básica, cuyo objetivo fue el de entregar contenidos esencia-



Registro actividades Unidad de Aprendizaje, visitas a terreno de dirigentes vecinales (COSOC y UNCO Santa Inés) y escuelas de educación básica al Laboratorio Vegetal de Las Salinas. (Fuente: archivo ILS)

19. Registro acta sesión del COSOC, 2 de septiembre de 2019, exposiciones de Marcel Szantó y Michael Seeger.

les para la reflexión e incorporación al aula, del conocimiento reciente desarrollado en torno al Cambio Climático. El curso, certificado por la Unidad de Cooperación Académica de la PUCV, fue elaborado por docentes que trabajan en los laboratorios de estudios urbanos, ambientales, dendroclimáticos y biogeográficos del Instituto dirigido por el profesor Alvarez.

El curso se realizó en colaboración con el Colegio Pedro Aguirre Cerda de Santa Inés y participaron 11 docentes. Luego de los módulos teóricos, el curso terminó con un módulo práctico, en el que los profesores, junto a los estudiantes de básica pudieron conocer el Laboratorio Vegetal de Las Salinas, para entender el modo como debemos adaptar nuestros entornos de esparcimiento y áreas verdes de las ciudades a los procesos naturales -y no al revés-, y así conocer las especies nativas y endógenas que han sabido sobreponerse a los cambios climáticos, las que se encuentran presentes en el Laboratorio Vegetal y en los informes de monitoreo elaborado por nuestros asesores.

A su vez, todo este material ha sido permanentemente compartido con diversos actores, del mundo público y privado que han tenido el interés de conocer los procesos de estudio y el conocimiento adquirido por los equipos técnicos que han elaborado el trabajo, tanto en el ámbito ambiental como urbano. Esta "Unidad de Aprendizaje" fue clave para determinar la necesidad de ir sistematizando el traspaso de información proveniente del Comité de Expertos en Saneamiento. A medida que avanzaba la discusión sobre la metodología, se fue acuñando el término Ciencia para la Ciudad.

Ya en el 2020 se comenzó a definir un horizonte para el desarrollo multiescalar del proyecto de saneamiento del terreno Las Salinas. Ya no es solo la limpieza de un terreno contaminado. El CES, dado el profundo involucramiento con el proyecto y la dimensión pública que tiene, desde la perspectiva de innovación tecnológica e impacto urbano y por ende social que puede llegar a tener para el país, comienza a elaborar junto al equipo de ILS una serie de iniciativas transversales a todos los elementos que componen el Plan de Reconversión Urbana. Una noción comenzó a surgir entre los científicos y la empresa. Si bien el proyecto que se estaba llevando a cabo tenía un fuerte componente local pues debía ajustarse a una realidad en particular, la metodología podía ser extrapolada en el saneamiento de otros sitios contaminados del país.

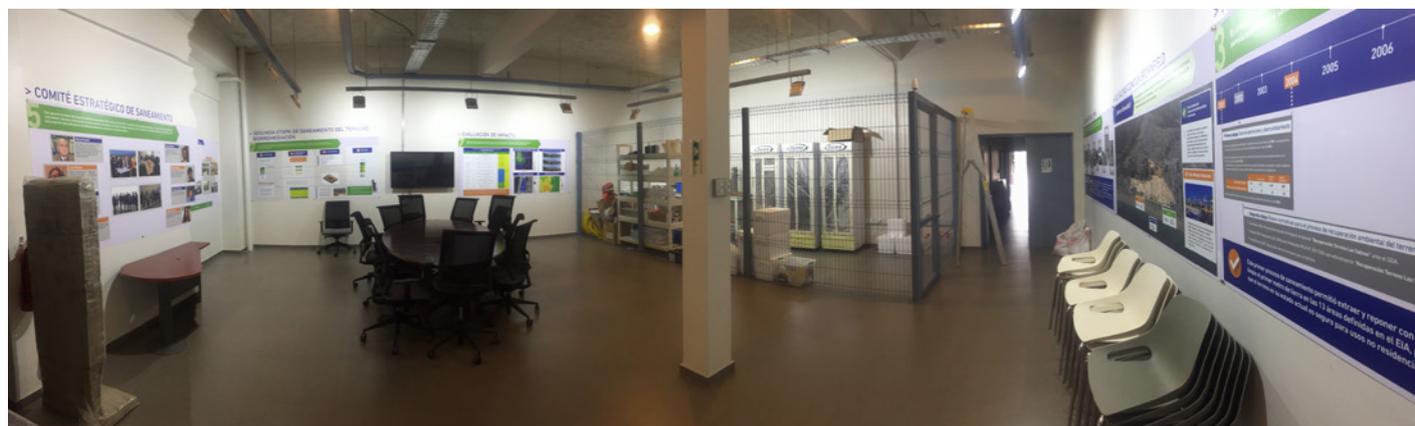
Una primera investigación arrojó que actualmente existen más de 600 sitios catastrados en Chile con contaminación de suelos y que están insertos en un entorno urbano, lo que representa una enorme oportunidad para construir una legislación que permita descontaminar reguladamente los suelos y aprovechar esos terrenos en generar buenos proyectos para las ciudades.

De esta manera surgió el Proyecto Global de Investigación (PGI), una propuesta elaborada por el Comité Científico para utilizar la técnica de la biorremediación en el saneamiento de terrenos contaminados en entornos urbanos de todo el país.

El "Saneamiento del Terreno Las Salinas" se hace cargo de una deuda histórica del sector industrial de la ciudad de Viña del Mar con su medio ambiente. La biorremediación, proceso biotecnológico que utiliza las capacidades metabólicas de microorganismos nativos introducidos para la remoción e los contaminantes de un sitio o ecosistema impactado por la actividad antropogénica, ha emergido como una praxis común en países desarrollados (países OCDE) de Europa y América del Norte como Francia, Alemania, Italia, Holanda, Bélgica, Estados Unidos, Canadá. En Latinoamérica esta técnica ha sido aplicada de forma creciente en países líderes como México, Argentina y Brasil, sin embargo, su foco ha estado centrado en sitios rurales y ecosistemas fuera de las urbes.

Aún cuando la biorremediación es una técnica ampliamente utilizada en el mundo, para que sea utilizada en nuestro país y particularmente en el terreno de Las Salinas, debe necesariamente precisar desde dónde se sostiene, de manera de establecer de forma clara el concepto subyacente que dirigirá dicho proceso.

**La presencia de hidrocarburos, además de metales pesados, pesticidas y compuestos orgánicos fenólicos en el suelo subsuperficial y agua subterránea del Sitio no solo se debió a la operación de actividades industriales, sino por la ausencia de un marco regulatorio que pusiera en resguardo al recurso natural suelo de este tipo de contaminantes (Hardin, 1968). El proceso de biorremediación elimina estos compuestos contaminantes de manera efectiva e inocua, revirtiendo el efecto de fenómenos que requieren la atención del mundo científico, académico y político local y nacional. Este tipo de afirmaciones, al ser**



Sala ambiental en el edificio de Las Salinas, Jorge Montt 2300. (Fuente: archivo ILS)

compartidas con distintos actores institucionales, al momento de explicar el proyecto son fundamentales para abrir un canal de transferencia de conocimientos que permiten otorgar garantías al proceso. Ejemplo de esto fueron las charlas del CES ante la Comisión de Medioambiente, Derechos Humanos y Biodiversidad del Colegio Médico Regional de Valparaíso y frente al Directorio del Hospital Naval, ocurridas en pleno desarrollo de la pandemia por el COVID 19, el año 2020. El Proyecto Global de Investigación apela a un proceso continuo de interlocución y transferencia de conocimientos, donde las actividades que se han relatado son apenas el principio de lo que corresponde sea un relacionamiento continuo con la sociedad civil y las autoridades.

### Un Proyecto Global de Investigación (PGI) al servicio del país

El desarrollo sostenible requiere de una mirada más amplia que la prevención y la sanción, una mirada centrada en la implementación de un sistema de responsabilidades que permita desde sus alcances globales evitar las externalidades. Los modelos que han logrado revertir la sobreexplotación de recursos son aquellos donde los gestores de los proyectos son evaluados respecto a la satisfacción de las preferencias que ellos reportan, con el requerimiento de explicitar de manera sustantiva los fines que valoran (Claro, 2007).

**Debido a esto, el proyecto de biorremediación de Las Salinas no sólo se hace cargo del costo que significa la recuperación de los suelos contaminados con el fin de levantar un riesgo, sino que también plantea un modelo concreto de abolición de la posición antipro- asimétrica de administrador de la naturaleza a través de una ética ambiental, centrada en una mirada simétrica más cualitativa y que nos sitúa como co-ayudantes de los procesos naturales de remediación mediante un abordaje multidisciplinario que integra dimensiones biogeográficas, urbanas y sociales.**

Para cumplir con los objetivos del PGI y abordar el proyecto con esta nueva mirada, más simétrica, haciéndola efectiva, se resuelve analizar el proceso de participación realizando un estudio que profundiza en la interpretación de lo expresado por la comunidad en lo que va del proceso de participación ciudadana.

A través de un estudio de análisis epistemológico de las observaciones ciudadanas presentadas en el EIA, denominado Actos del Habla, se pudo en práctica el eje "Reconocimiento del Cohabitante". Esta priorización en el proceso de relacionamiento con la comunidad se explica dado los objetivos del PGI, inspirados en los principios ético ambientales levantados por el CES (hábitat, hábito, cohabitante, empirismo-positivismo y transferencia)

Se desprende que la interpretación de las observaciones realizadas por la comunidad no sólo consisten en el acto de generar las respuestas correspondientes, sino la fina interpretación de una conducta gobernada por reglas, es decir; el reconocimiento del cohabitante -en el acto de habla- es a través de un lenguaje que necesariamente incluye el dominio de un sistema de reglas que hace que el uso de los elementos, de ese lenguaje, sea regular y sistemático (Searle, 1994), lo cual muchas veces resulta incomprensible para los interlocutores, sobre todo cuando se trata de aspectos técnicos donde se dan marcadas diferencias entre ellos.

La metodología se aplica a cada una de las observaciones, que son incorporadas en una matriz, donde son analizadas en cuanto a su contenido, pero también en relación a su localización (cercanía con el proyecto), lo que permite generar una visión más clara de cuáles son las preocupaciones de la comunidad en cada zona de la ciudad. A partir de un completo trabajo de interpretación de todas las observaciones realizadas al proyecto de biorremediación del paño Las Salinas, mediante la clasificación en actos del habla y contenidos proposicionales de todas las observaciones realizadas y del posterior análisis a través de la utilización de herramienta estadística que facilita la interpretación de los resultados obtenidos de la clasificación, lo que en definitiva se traduce



Desarrollo y certificación PUCV de la Unidad de Aprendizaje, 2018. (Fuente: archivo ILS)



Charla del Comité Científico tras visita a terreno de miembros del COSOC, 2019. (Fuente: archivo ILS)

en la identificación de posibles asuntos de conflicto y canaliza de mejor manera la forma en que cada observación puede ser abordada.

El resultado de esta investigación se plasmó en el documento "Análisis de las observaciones PAC mediante la aplicación de métodos multivariados", generado por los expertos del CES Salvador Donghi y Luis Álvarez.

La hipótesis a la base de esta investigación es que existe una disimilitud y una distancia entre el experto y el ciudadano común, al momento de explicar un proyecto como el de biorremediación en una reunión -como aquellas que se generan a través de los procesos de PAC-, ya que el objetivo de describir el proyecto deja muchas veces de lado las limitantes, vacíos de conocimiento o interrogantes de los interlocutores.

Por este motivo, generar una correcta interpretación de todas las observaciones recibidas, que permita distinguir los actos de habla (afirmaciones en torno a las realidades culturales, generacionales, sociales, territorios de habitar, etc) y contenidos proposicionales (el sentido de los enunciados más allá de la lengua), permite operar en base a un lenguaje equiparado y consensuado entre experto y ciudadano.

Mediante la aplicación de métodos multivariados (un tipo de análisis estadístico que se usa para estudiar fenómenos con muchas variables) es posible interpretar las observaciones ciudadanas recibidas para darles mejor respuesta.

El estudio permitió entender y reconocer la necesidad de reconstruir una dimensión recíproca entre ciudadano y proyecto a través de un enfoque metodológico que permita la correcta interpretación de las observaciones PAC por medio

del estudio del significado de la oración, con lo cual se consigue minimizar la interferencia interpretativa del receptor.

La investigación distinguió dos aspectos importantes. El primero tiene relación con el amplio desconocimiento del proyecto (ciudadanos y autoridades políticas) -a nivel general- respecto de la importancia que tiene la recuperación de un pasivo ambiental a nivel urbano.

El segundo de ellos deriva del anterior, en relación a la necesidad que tienen proyectos altamente complejos como este, de basarse en una estrategia comunicacional inspirada en relatos de interpretación cognitiva sencilla, capaz de generar una reacción emocionalmente potente y su réplica sea familiar para la ciudadanía. Todo esto basado en la fuerte evidencia científica acumulada y sobre la cual se diseñó el proyecto de saneamiento.

El saneamiento del terreno Las Salinas es un proceso que se viene llevando a cabo por casi 20 años, desde el desmantelamiento de las petroleras y el cambio del primer metro de suelo, hasta el día de hoy, con la incorporación de nuevas tecnologías y numerosos análisis que permiten tener nuevas miradas.

Hoy nos encontramos frente a la posibilidad de sanear completa y profundamente el suelo y el agua del sitio, gracias a una técnica de remediación pionera en Chile pero ampliamente usada a nivel mundial. Una técnica basada en procesos naturales de descontaminación y que permite ser ejecutada íntegramente dentro del terreno. Una técnica que garantiza el saneamiento del terreno brindando seguridad para las personas y el medioambiente: la biorremediación.

¿Todo esto para qué?

A nivel mundial, y Chile no es la excepción, se está produciendo un fenómeno de urbanización a ritmo acelerado, tanto así que la urbanización avanza más rápido que una planificación urbana adecuada, lo que termina afectando la calidad de vida de las personas.

Cuando el crecimiento de las ciudades desplaza las industrias, que históricamente estaban ubicadas en la periferia, el proceso de traslado de estas industrias deja atrás suelos contaminados que impiden su uso.

La posibilidad de usar estos terrenos, que ya están inmersos en la ciudad, para generar una estrategia de sustentabilidad urbana -que incluya buenos accesos, diversidad de equipamiento y servicios, áreas verdes, viviendas integradas, etc.- permite traer a más personas al centro de la ciudad, evitando la segregación, los largos traslados y favoreciendo la integración.

Para el caso de Las Salinas, la posibilidad de incorporar un terreno en desuso a la trama urbana de Viña del Mar, en la forma de un desarrollo urbano bien planificado, brinda la oportunidad de revitalizar la zona y la ciudad completa.

El proyecto Las Salinas entrega, sin lugar a dudas, beneficios medioambientales, sociales y económicos. Pero genera un beneficio mayor y necesario para nuestra sociedad: integración en todas sus aristas.

Un barrio que incorpora los espacios públicos como ejes centrales de su desarrollo (representados en áreas verdes, equipamiento comunitario y cultural, amplias veredas, lugares de encuentro, etc.) y que ofrece múltiples alternativas de conectividad y movilidad da cuenta de un lugar que puede ser usado por todos, sin distinción.

Pero, además, una propuesta que permite prolongar la conexión del norte y el sur de la ciudad, y que permite unir los cerros con el borde costero -dos realidades que han estado históricamente disociadas en la región- indudablemente abre la posibilidad a toda la comunidad del área Metropolitana del Gran Valparaíso de encontrarse en un espacio que pueda sentir como propio.

# \_Cartografías SPPC

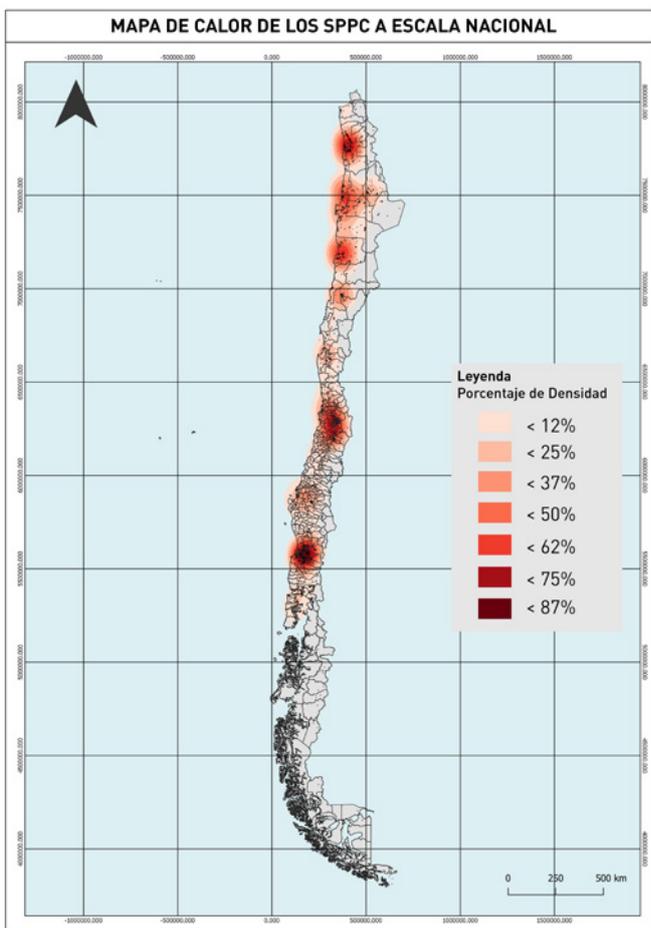
CARTOGRAFÍA DE SUELOS CON POTENCIAL PRESENCIA DE CONTAMINANTES Y VIVIENDAS EN SITUACIÓN PRECARIA

Los Pasivos Ambientales en su desarrollo se generaron distantes de las ciudades, y sin grandes conflictos por el uso de suelo, con una perspectiva de desarrollo paradigmática respecto del proceso industrializador, donde sus múltiples impactos son asimilados por omisión de referencias o antecedentes potenciales, respecto de sus contaminantes, pero el paulatino avance de las ciencias denotó un profundo desconocimiento de los elementos y procesos, generadores de riesgos al territorio y por su intermedio a las personas, y por otro lado tenemos el crecimiento urbano, que convierte estos sitios en áreas naturales para la expansión urbana con el agravante de estar contaminados, y por tanto necesarios de tratar y recuperar para el desarrollo urbano.

La información utilizada pertenece al Ministerio del Medio Ambiente, que gestionó el catastro de SPPC, aprobada por resolución exenta N° 406, de 15 de mayo de 2013, y que utilizó la "Guía metodológica para la gestión de Suelos con Potencial Presencia de contaminantes". Ejecutado por el Ministerio del Medio Ambiente junto a CORFO y consultado por Fundación Chile.

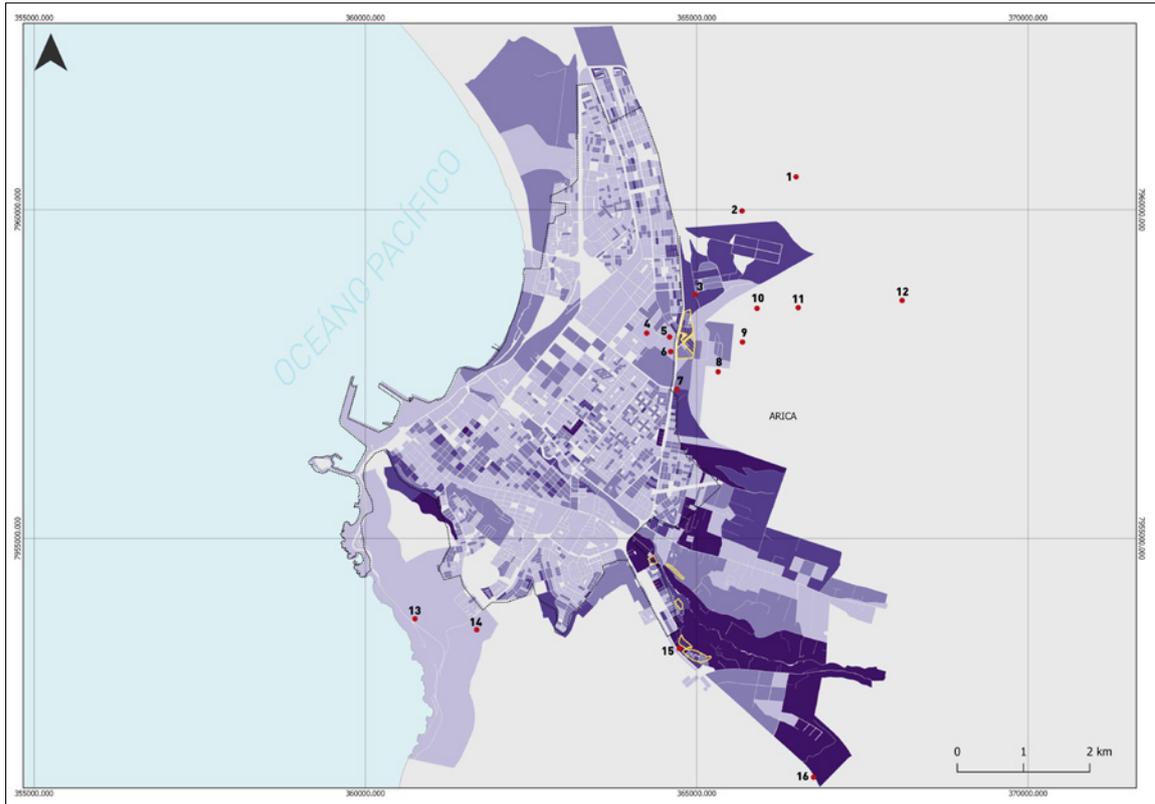
Entenderemos por SPPC, a los Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, y corresponde a un lugar o terreno delimitado geográficamente en el que se desarrollan o han desarrollado actividades potencialmente contaminantes, incluye suelos abandonados y activos o en operación.

Para la interpretación de los SPPC, se utilizaron archivos vectoriales de los microdatos del censo 2017, se utiliza la densidad de viviendas en estado precario por manzana, con presencia de moradores. Su materialidad se describe como: "en estado recuperable e irrecuperable". Teniendo la Pobreza lecturas multidimensionales donde las "carencias" concurren con las "vulnerabilidades", la aproximación presentada se refiere a las "carencias" o la pobreza física. Como lo observamos en las imágenes hay una relación directa respecto de la precariedad de las entidades urbanas y las periferias, como así también las periferias como áreas de crecimiento espontaneo son las primeras que se encuentran con los pasivos ambientales.



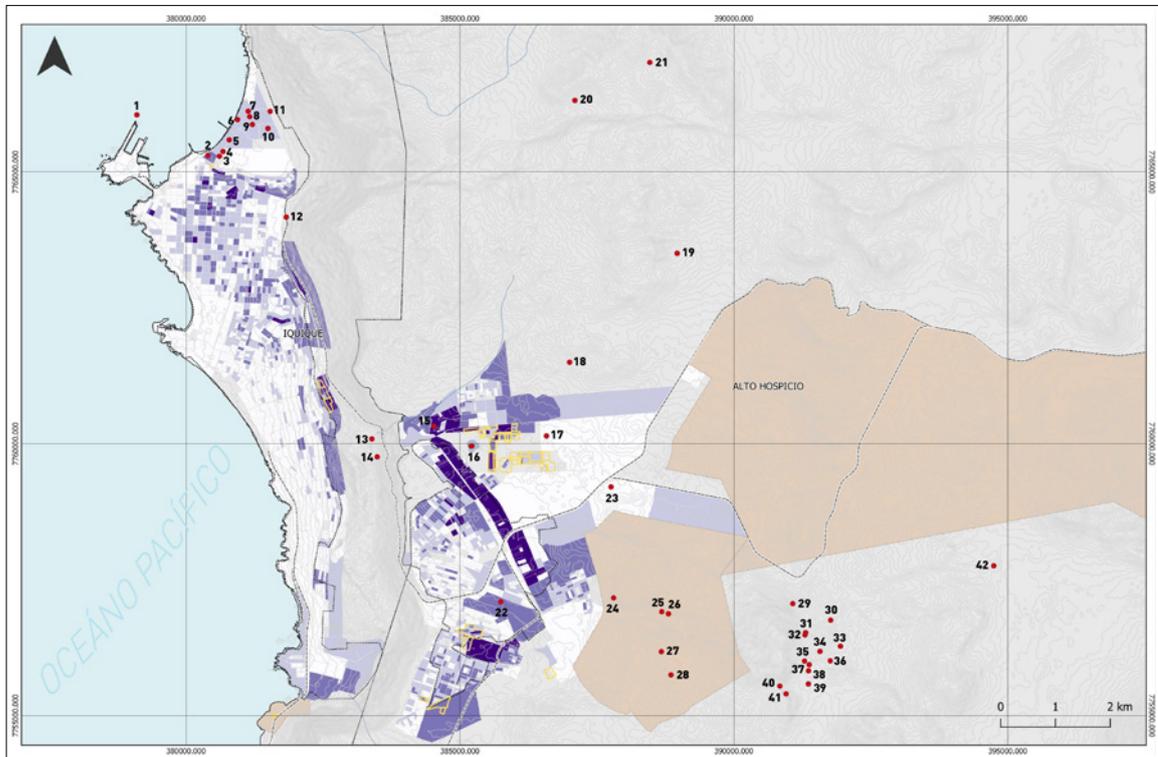
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA

ARICA



REGIÓN DE TARAPACÁ

IQUIQUE Y ALTO HOSPICIO



LEYENDA		Áreas pobladas		Viviendas precarias por manzana	
	SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes		Áreas urbanas		0 a 1
			Campamentos		2 a 10
					11 a 13
					31 a 170

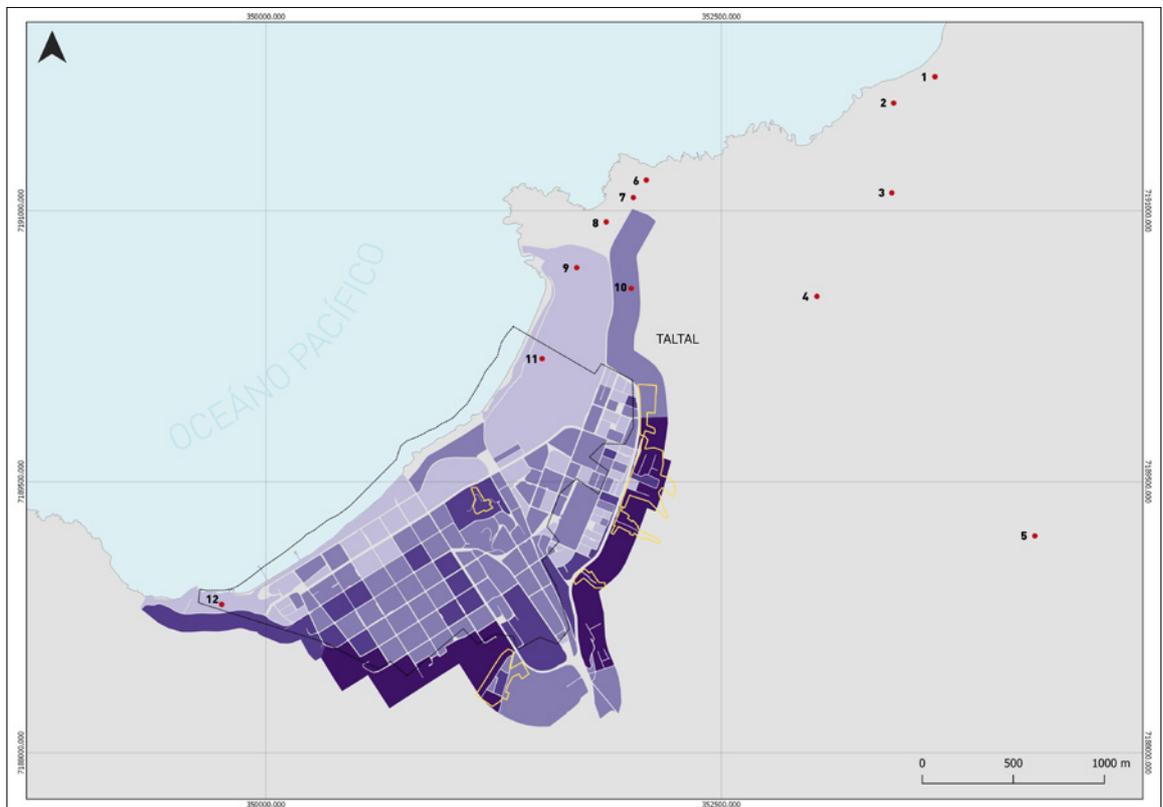
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

TOCOPILLA, MEJILLONES Y ANTOFAGASTA



REGIÓN DE ANTOFAGASTA

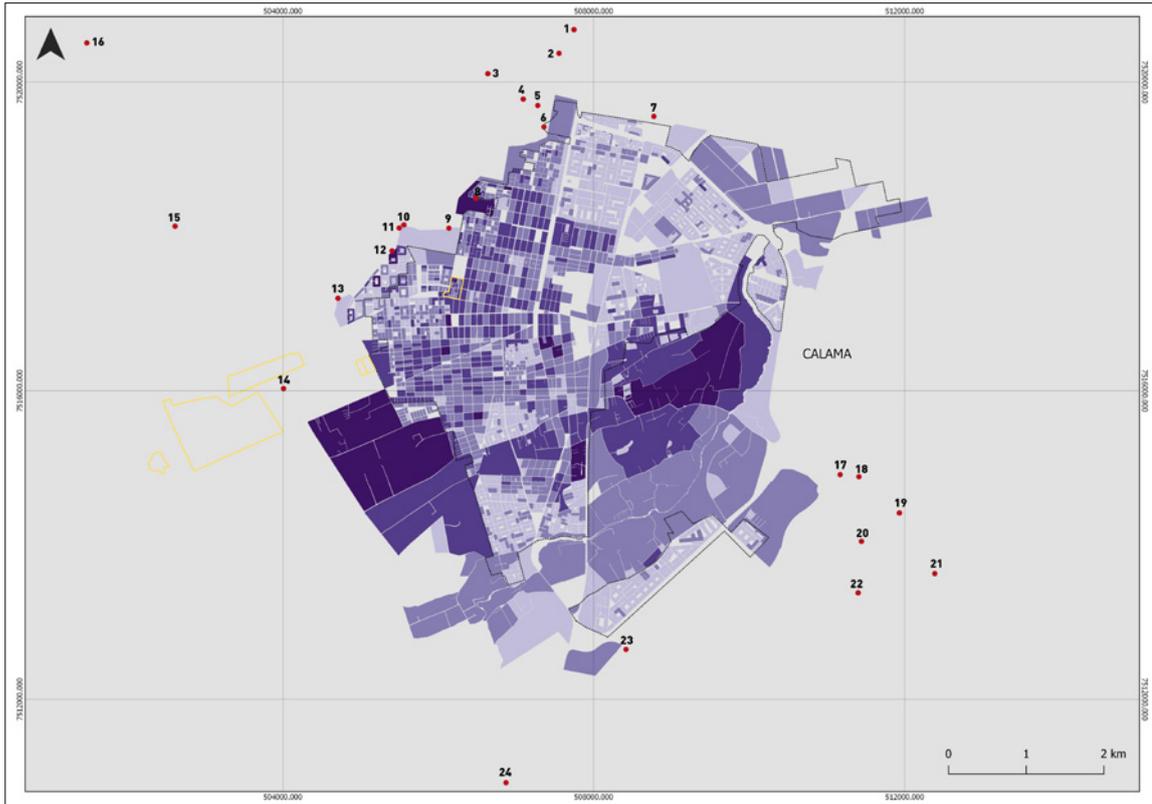
TALTAL



LEYENDA	 SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes	Áreas pobladas	- - - - - Áreas urbanas — Campamentos	Viviendas precarias por manzana	0 a 1	2 a 10
					11 a 13	31 a 170

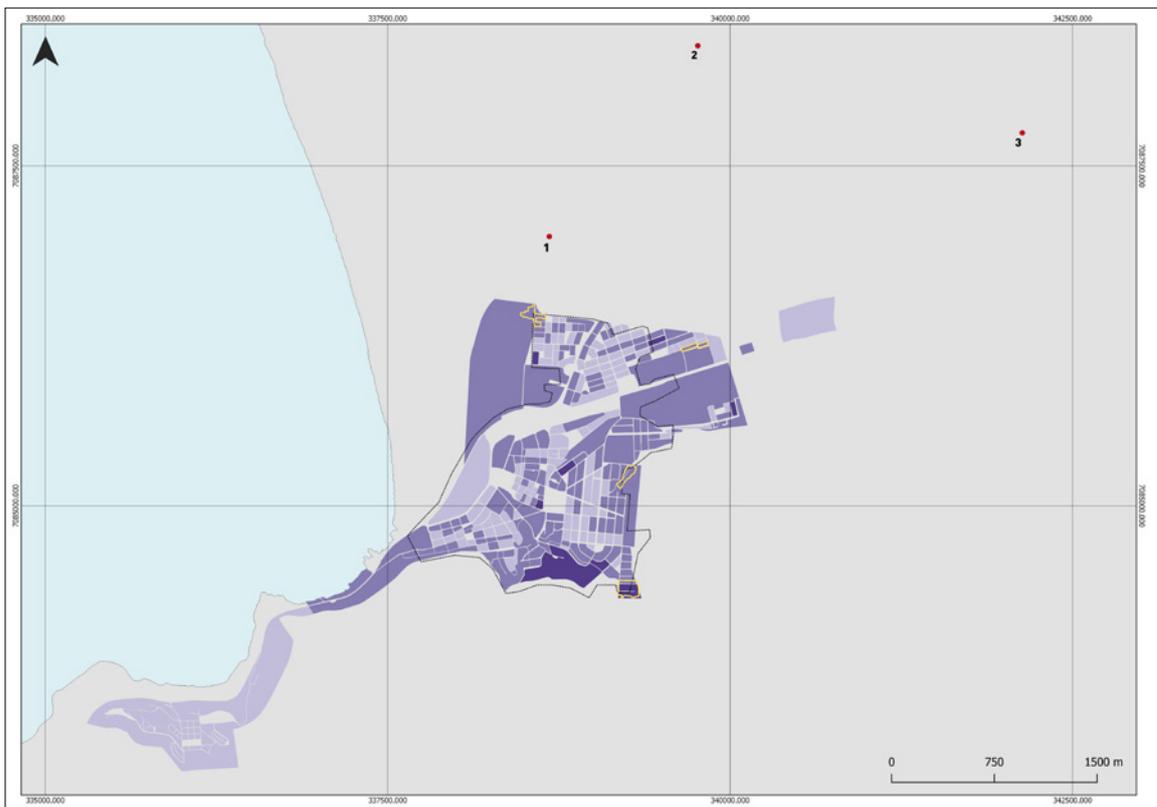
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

CALAMA



REGIÓN DE ATACAMA

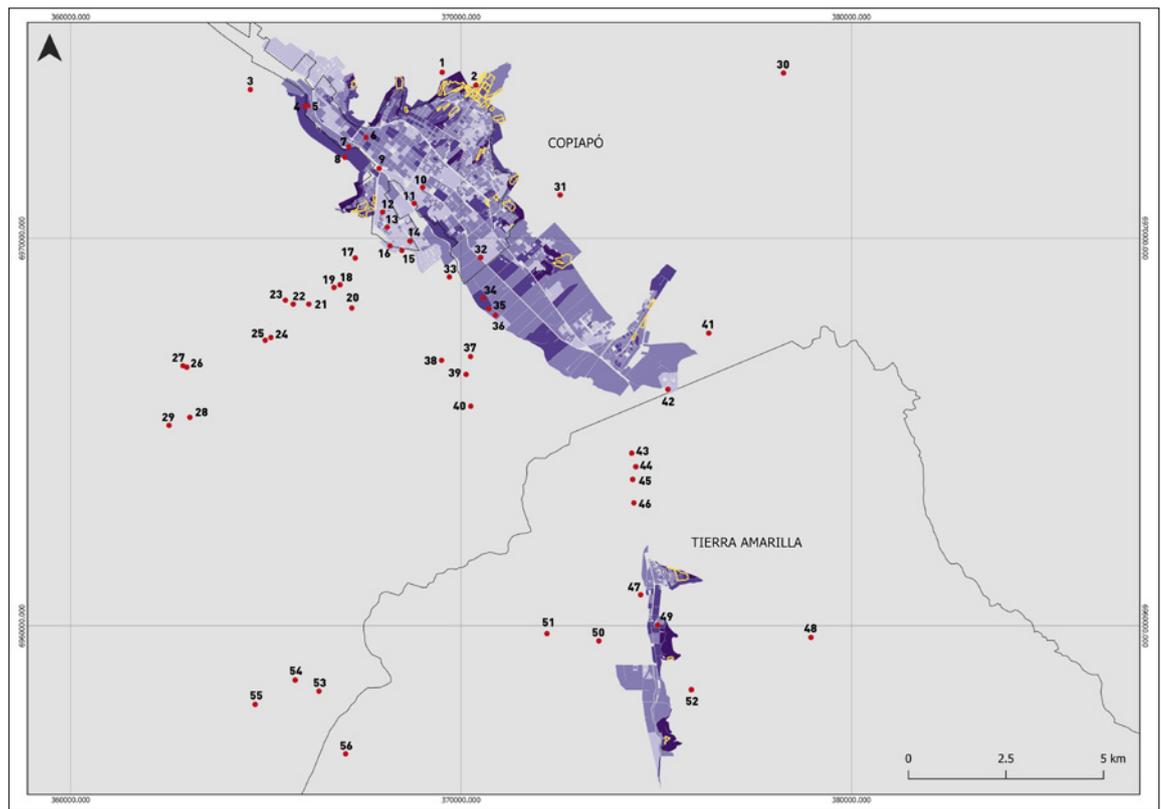
CHAÑARAL



<p>LEYENDA</p> <p> SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes</p>	<p>Áreas pobladas</p> <p>----- Áreas urbanas</p> <p>———— Campamentos</p>	<p>Viviendas precarias por manzana</p>	0 a 1	2 a 10
			11 a 13	31 a 170

REGIÓN DE ATACAMA

COPIAPÓ Y TIERRA AMARILLA



REGIÓN DE COQUIMBO

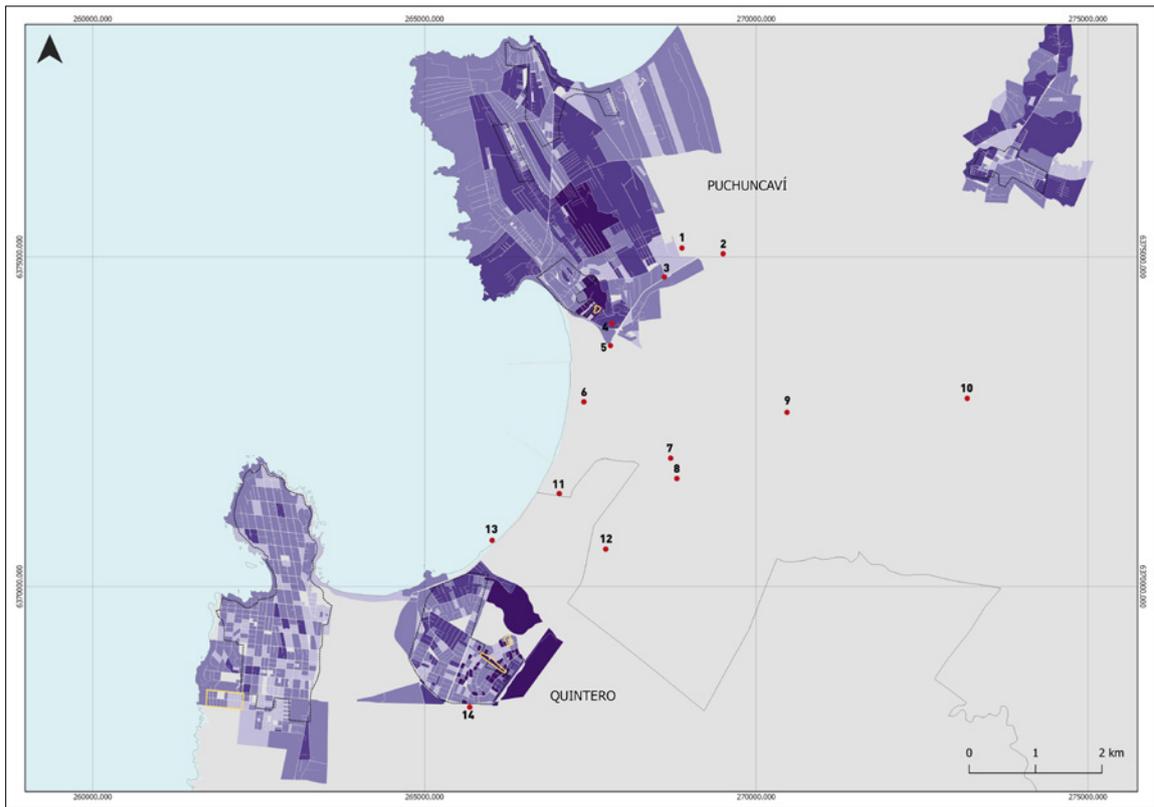
COQUIMBO Y LA SERENA



LEYENDA	 SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes	Áreas pobladas	- - - - - Áreas urbanas — Campamentos	Viviendas precarias por manzana	
				0 a 1	2 a 10
				11 a 13	31 a 170

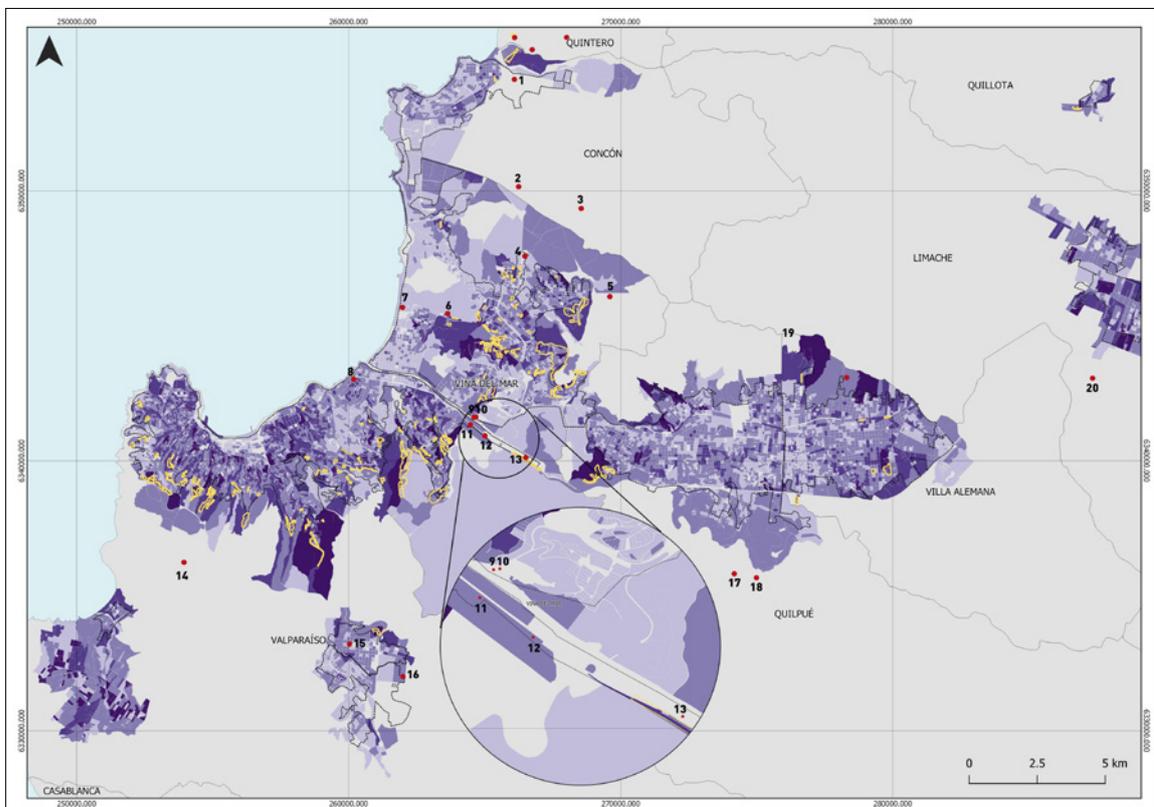
REGIÓN DE VALPARAÍSO

QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ



REGIÓN DE VALPARAÍSO

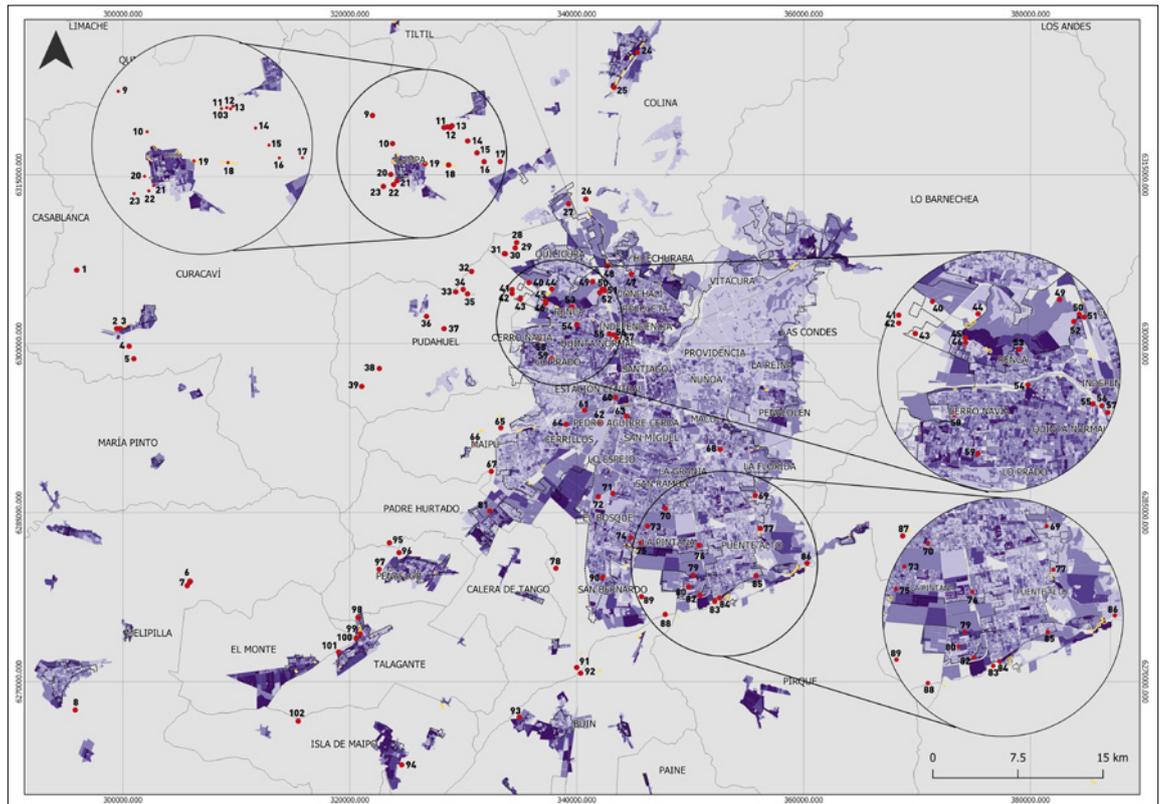
GRAN VALPARAISO



<p>LEYENDA</p> <p><span style="color: red;">●</span> SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes</p>	<p>Áreas pobladas</p> <p>----- Áreas urbanas</p> <p>———— Campamentos</p>	<p>Viviendas precarias por manzana</p>	0 a 1	2 a 10
			11 a 13	31 a 170

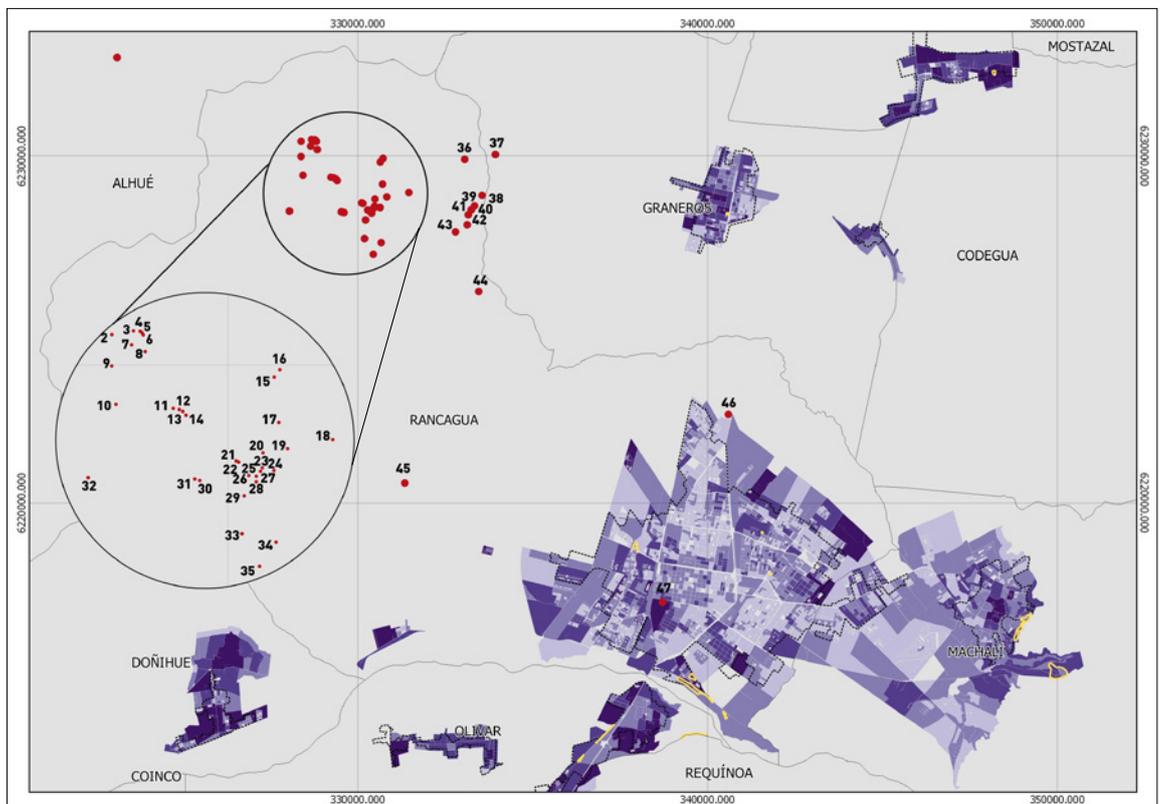
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

GRAN SANTIAGO



REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS

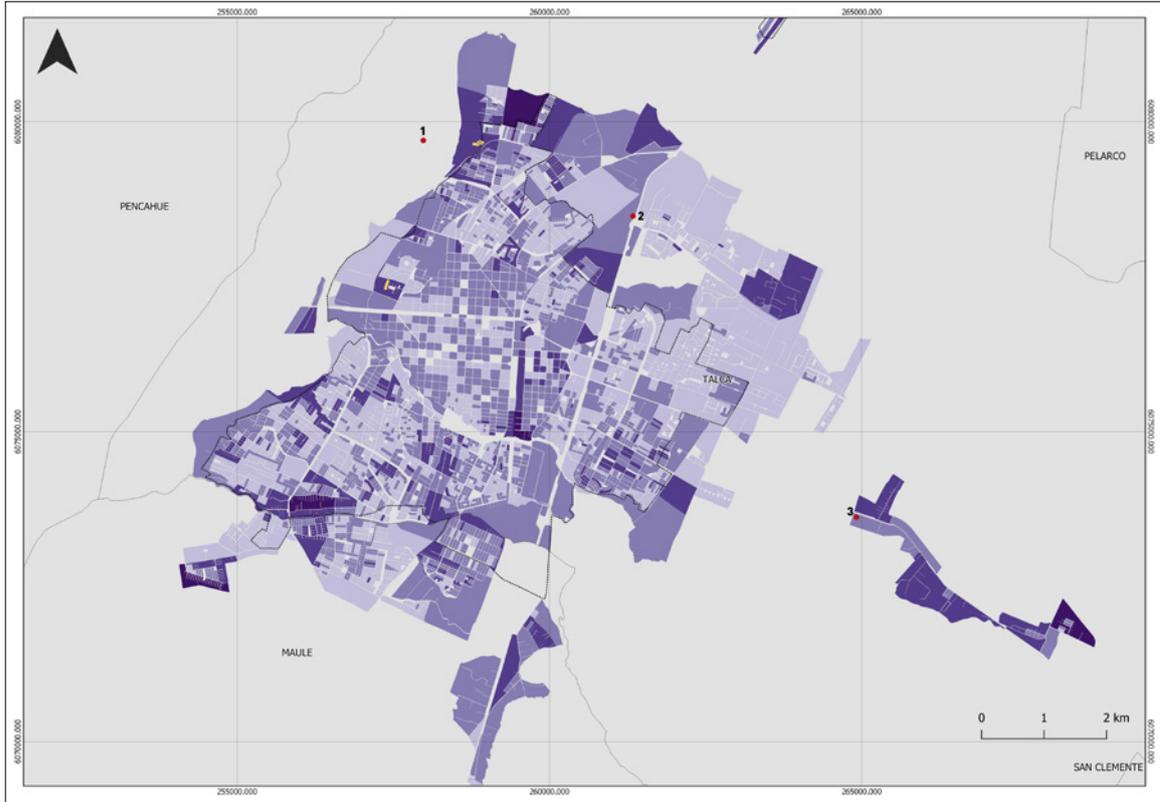
RANCAGUA



LEYENDA	● SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes	Áreas pobladas	----- Áreas urbanas —— Campamentos	Viviendas precarias por manzana	
				0 a 1	2 a 10
				11 a 13	31 a 170

REGIÓN DEL MAULE

TALCA



REGIÓN DE ÑUBLE

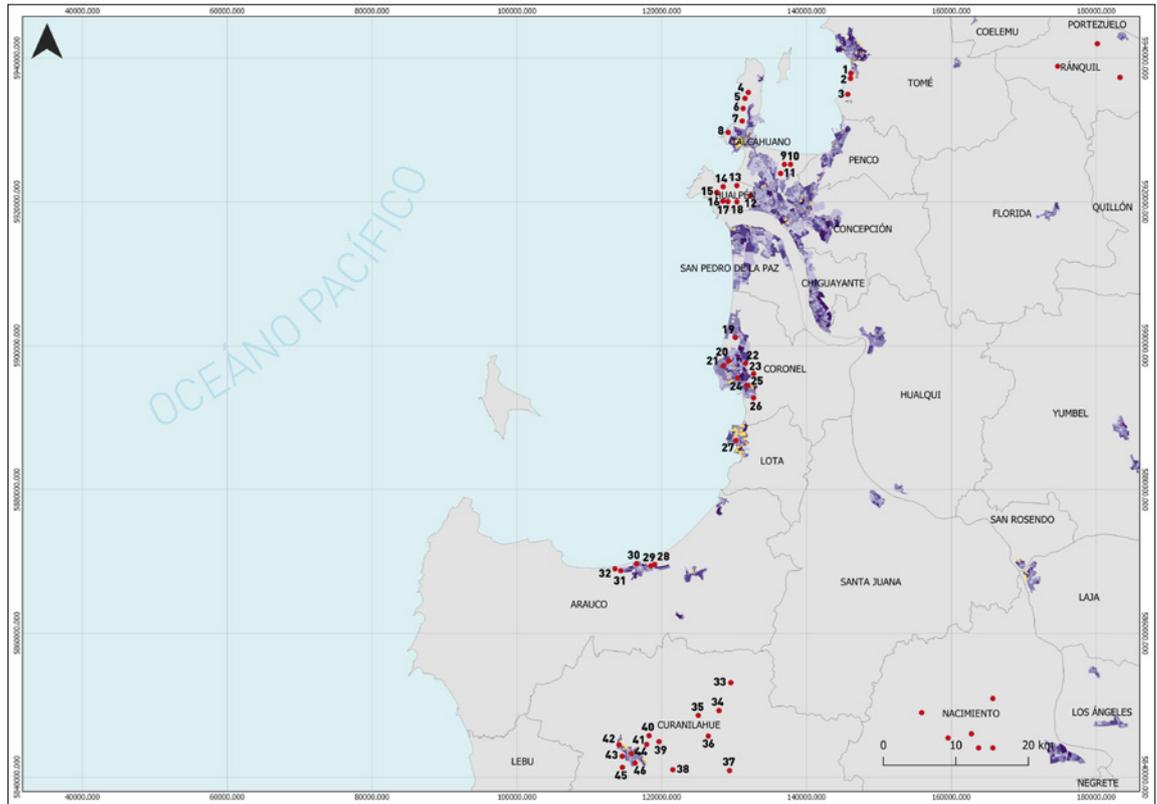
CHILLÁN Y CHILLÁN VIEJO



<p>LEYENDA</p> <p><span style="color: red;">●</span> SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes</p> <p>Áreas pobladas</p> <p>----- Áreas urbanas</p> <p>———— Campamentos</p>	<p>Viviendas precarias por manzana</p> <table border="1"> <tr> <td>0 a 1</td> <td>2 a 10</td> </tr> <tr> <td>11 a 13</td> <td>31 a 170</td> </tr> </table>	0 a 1	2 a 10	11 a 13	31 a 170
		0 a 1	2 a 10		
11 a 13	31 a 170				

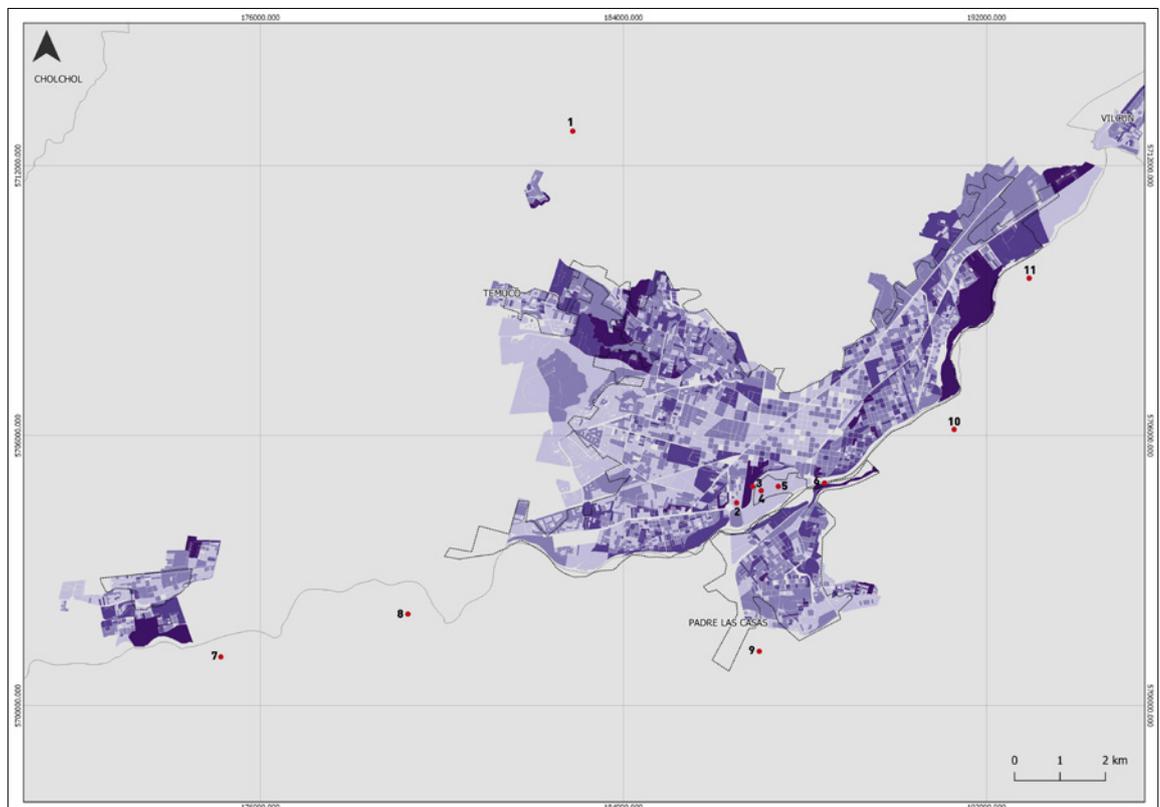
REGIÓN DEL BÍO-BÍO

CONCEPCIÓN



REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

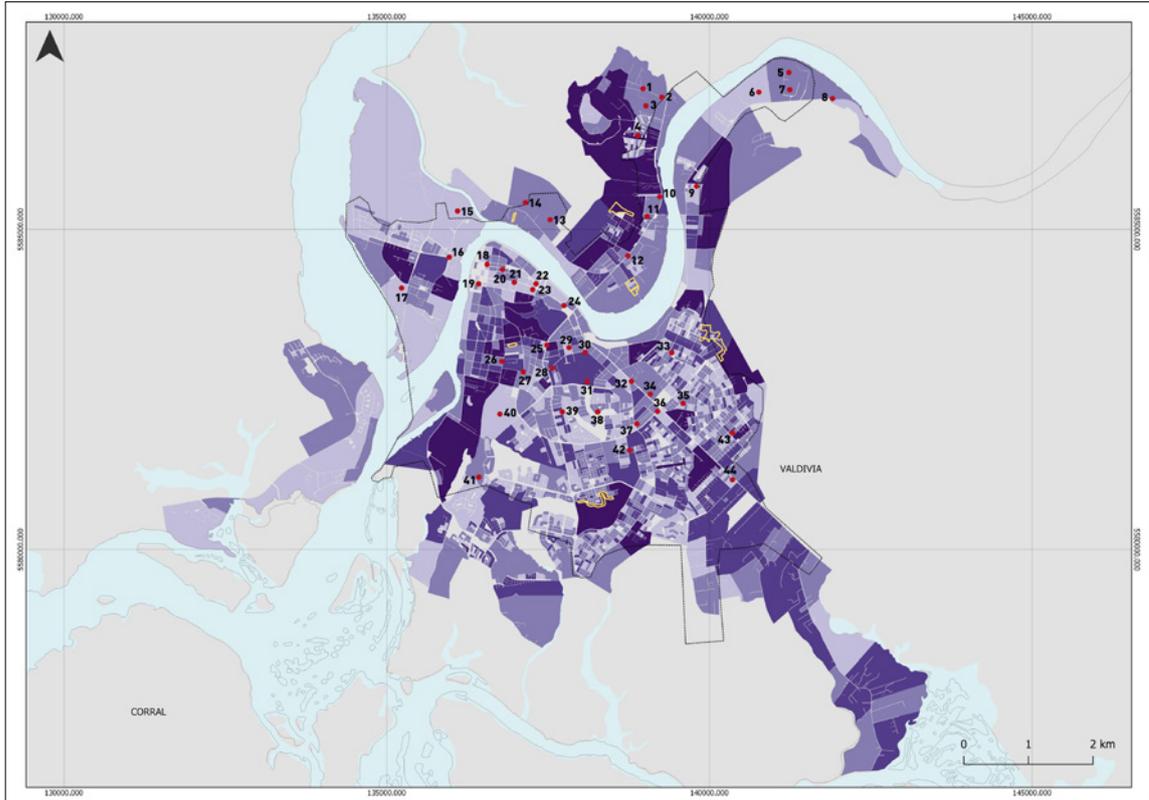
TEMUCO Y PADRE LAS CASAS



LEYENDA	 SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes	Áreas pobladas	----- Áreas urbanas ———— Campamentos	Viviendas precarias por manzana	0 a 1	2 a 10
					11 a 13	31 a 170

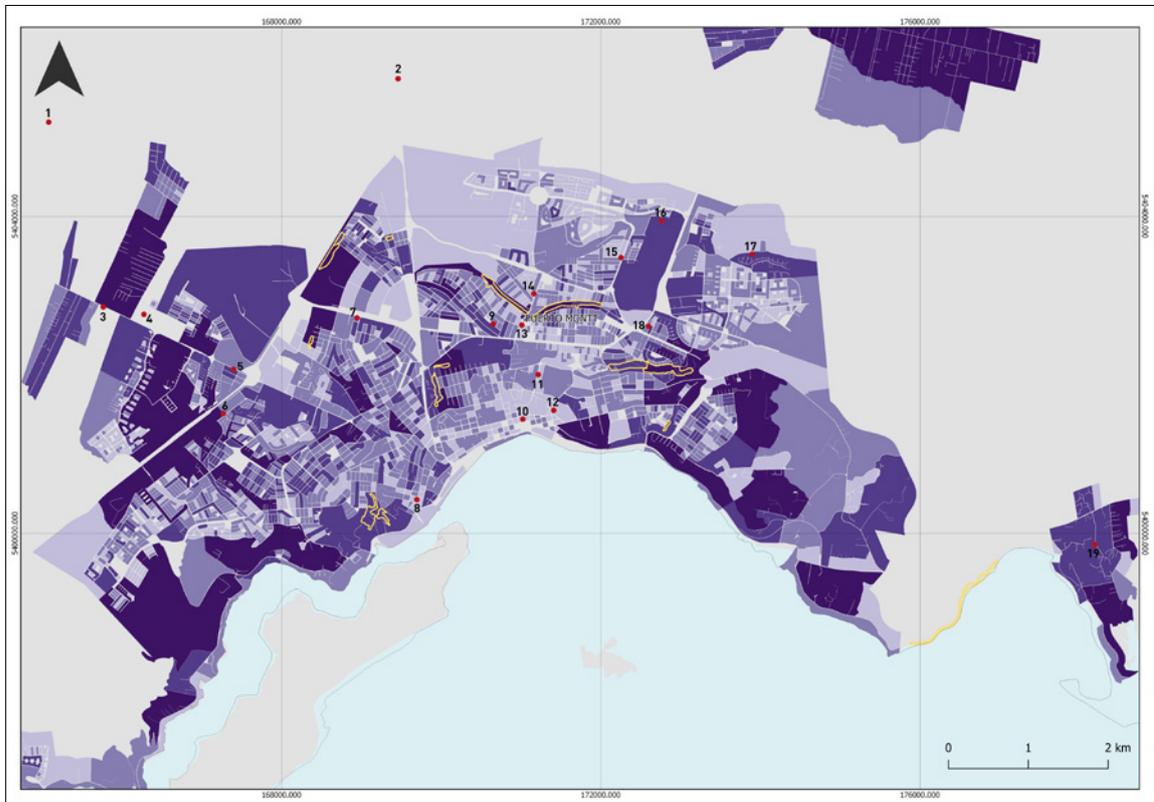
REGIÓN DE LOS RÍOS

VALDIVIA



REGIÓN DE LOS LAGOS

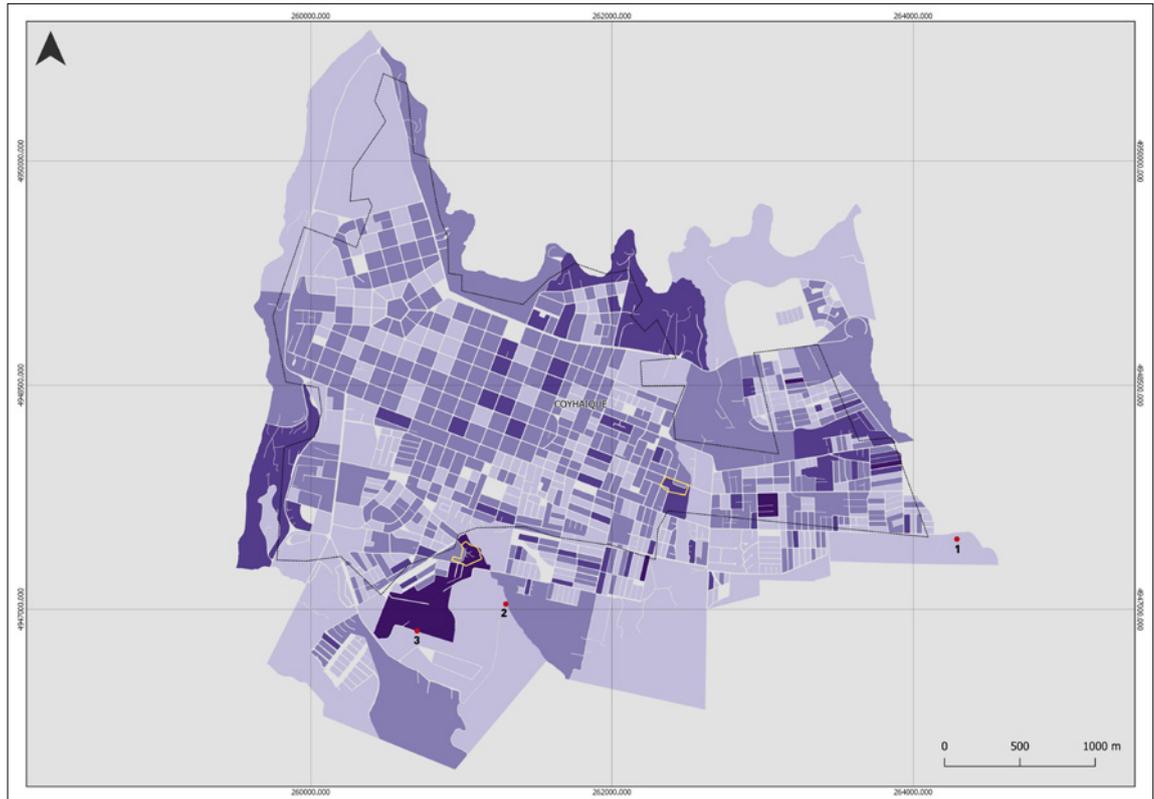
PUERTO MONTT



<p>LEYENDA</p> <p> SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes</p>	<p>Áreas pobladas</p> <p>----- Áreas urbanas</p> <p>———— Campamentos</p>	<p>Viviendas precarias por manzana</p>	0 a 1	2 a 10
			11 a 13	31 a 170

REGIÓN DE AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBAÑEZ DEL CAMPO

COYHAIQUE



REGIÓN DE MAGALLANES

PUNTA ARENAS



LEYENDA	 SPPC Suelos con potencial presencia de contaminantes	Áreas pobladas	----- Áreas urbanas ———— Campamentos	Viviendas precarias por manzana	0 a 1	2 a 10
					11 a 13	31 a 170

# Bibliografía

**Agamuthu P, Tan YS, Fauziah SH. (2013).** Bioremediation of hydrocarbon contaminated soil using selected organic wastes. *Procedia Environmental Sciences* 18, 694–702.

**Arrieta O, Rivera A, Arias L, Rojano B, Ruíz O, Cardona S. (2012).** Biorremediación de un suelo con diésel mediante el uso de microorganismos autóctonos. *Gestión y Ambiente* 15, 27–39.

**Atlas R. (1981).** Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. *Microbiological Reviews* 45, 180–209.

**Adams, G. O., Fufeyin, P. T., Okoro, S. E., & Ehinomen, I. (2015).** Bioremediation, Biostimulation and Bioaugmentation: A Review. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 3(1), 28–39. <https://doi.org/10.12691/ijebb-3-1-5>

**Agudelo, A. (2010).** Un método de gestión ambiental adecuado para el tratamiento y la disposición final de un residuo peligroso caso: tierra fuller contaminada con aceite dieléctrico. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

**Akinremi, O. O., Janzen, R. L., Lemke, R. L., & Larney, F. J. (2000).** Response of canola, wheat and green beans to leonardite additions. *Canadian Journal of Soil Science*, 80, 437–443.

**Alexander, M. (1994).** Biodegradation and Bioremediation. San Diego, California: Academic Press.

**Álvarez, M. B. C. (2009).** Depuración de efluentes contaminados por hidrocarburos aromáticos policíclicos mediante carbones activados: Evaluación del proceso de adsorción. Universidad de Oviedo.

**Arrieta, O. (2011).** Evaluación de la influencia del bioestímulo sobre un suelo contaminado con diesel y su integración a la gestión ambiental (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia–Sede Medellín. Asquith, E. a, Geary, P. M., Nolan, A. L., & Evans, C. a. (2012).

**Atlas, R., & Bartha, R. (2001).** Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Educación.

**Altman, D.J.; Hazen, T.C.; Tien, A.J.; Worsztynowicz, A. & Ulfig, K. (1997).** Test plan, the Czechowice Oil Refinery bioremediation demonstration of a process waste lagoon. Revision 1, report, May 10, 1997; Aiken, South Carolina. Recuperado en Octubre de 2018 desde: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc690685/m1/1/>

**Ball, a. S., Stewart, R. J., & Schliephake, K. (2012).** A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. *Waste Management & Research*, 30, 457– 473. <https://doi.org/10.1177/0734242X11419892>

**Barrington, S., Choiniere, D., Trigui, M., & Knight, W. (2003).** Compost convective airflow under passive aeration. *Bioresource Technology*, 86(3), 259–266. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00155-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00155-4)

**Barrios, L. (2012).** Determinación de curvas características de flujo de aire y modelamiento de cinéticas degradativas en reactor de lecho estático convectivo. Universidad Nacional de Colombia.

**Bedair, H. M., & Al-Saad, H. T. (1992).** Dissolved and particulate - adsorbed hydrocarbons in the waters of shatt al-arab river, Iraq. *Water, Air, and Soil Pollution*, 61, 397–408.

**Bento, F. M., Camargo, F. a O., Okeke, B. C., & Frankenberger, W. T. (2005).** Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. *Bioresource Technology*, 96, 1049–1055. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.008>

**Borah, D., & Yadav, R. N. S. (2016).** Bioremediation of petroleum based contaminants with biosurfactant produced by a newly isolated petroleum oil degrading bacterial strain. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(1), 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.02.005>

**Bratkova, S., Nikolova, K., Chakalov, K., & Rilski, I. (2012).** Potential for Bioremediation of Calcareous Soils By Rhizospheric Bacteria and Humic Acids. *Mining and Mineral Processing*, 55.

- Bray, R., & Kurtz, L. (1945).** Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*, 59(1), 39–46.
- Butenschoen, O., Scheu, S., & Eisenhauer, N. (2011).** Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1902–1907. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.05.011>
- Chang JS, Chou CL, Lin GH, Sheu SY, Chen WM. (2005).** *Pseudoxanthomonas kaohsiungensis*, sp. nov., a novel bacterium isolated from oil-polluted site produces extracellular surface activity. *Systematic and Applied Microbiology* 28, 137–144.
- Cavazos-Arroyo, J., Pérez-Armendáriz, B., & Mauricio-Gutiérrez, A. (2014).** Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 11(4), 539–550.
- Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., & Zhang, J. (2015).** Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>
- Cho, Y., Rhee, S., & Lee, S. (2000).** Effect of Soil Moisture on Development. *Florida Entomologist*, 3, 915–919.
- Fantroussi, S. El, & Agathos, S. N. (2005).** Is bioaugmentation a feasible strategy for pollutant removal and site remediation. *Ecology and Industrial Microbiology*, 8, 268– 275.
- FAO. (2015).** El suelo es un recurso no renovable. Retrieved from [fao.org/soils-2015](http://fao.org/soils-2015)
- Franco, M. G., Corrêa, S. M., Marques, M., & Perez, D. V. (2015).** Emission of Volatile Organic Compounds and Greenhouse Gases from the Aerobic Bioremediation of Soils Contaminated with Diesel. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(August), 50. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2349-y>
- Franzetti, A., Di Gennaro, P., Bevilacqua, A., Papacchini, M., & Bestetti, G. (2006).** Environmental features of two commercial surfactants widely used in soil remediation. *Chemosphere*, 62, 1474–1480. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.009>
- Fuentes S, Barra B, Caporaso J, Seeger M. (2016).** From rare to dominant: a fine-tuned soil bacterial bloom during petroleum hydrocarbon bioremediation. *Applied and Environmental Microbiology* 82, 888–96.
- Fuentes S, Mendéz V, Águila P, Seeger M. (2014).** Bioremediation of petroleum hydrocarbons: catabolic genes, microbial communities, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology* 98, 4781–4794.
- García, P., Lucena, J., Ruano, S., & Nogales, M. (2009).** Guía práctica de fertilización racional de los cultivos en España. Geary, P. M., & Evans, C. (2012). Comparative Bioremediation of Petroleum Hydrocarboncontaminated Soil by Surfactant Addition . Comparative Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil by Biostimulation , Bioaugmentation and Surfactant Addition, (August 2015).
- Gentry, T., Rensing, C., & Pepper, I. (2004).** New Approaches for Bioaugmentation as a Remediation Technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34(August 2014), 447–494. <https://doi.org/10.1080/10643380490452362>
- Gómez, W., Gaviria, J., & Cardona, S. (2009).** Atenuación Natural Y La Bioaugmentación En Un Suelo Contaminado Con Una Mezcla De Gasolina - Diesel. *Dyna*, (160), 83– 93.
- Gonzales-Naranjo, V., Leal, M., Lillo, J., Bustamante, I., & Palacios-Díaz, P. (2010).**
- Grace Liu, P. W., Chang, T. C., Whang, L. M., Kao, C. H., Pan, P. T., & Cheng, S. S. (2011).** Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: Effects of strategies and microbial community shift. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(8), 1119–1127. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.09.002>
- Halder, C. a, Warne, T. M., Little, R. Q., & Garvin, P. J. (1984).** Carcinogenicity of petroleum lubricating oil distillates: effects of solvent refining, hydroprocessing, and blending. *American Journal of Industrial Medicine*, 5, 265–274.
- Hamme, J. D. Van, Singh, A., & Ward, O. P. (2003).** Recent Advances in Petroleum Microbiology Recent Advances in Petroleum Microbiology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67(4), 503–549. <https://doi.org/10.1128/MMBR.67.4.503>
- Haritash, a. K., & Kaushik, C. P. (2009).** Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. *Journal of Hazardous Materials*, 169, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.137>
- Haug, R. T. (1993).** The Practical Handbook of Compost Engineering. Washington DC: Lewis Publisher.

- Helmy, Q., Laksmono, R., & Kardena, E. (2015). Bioremediation of Aged Petroleum Oil Contaminated Soil: From Laboratory Scale to Full Scale Application. *Procedia Chemistry*, 14, 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.045>
- Jayashree, R., & Vasudevan, N. (2007). Effect of tween 80 added to the soil on the degradation of endosulfan by *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2), 203–210.
- Karjiban, R. A., Basri, M., Rahman, M. B. A., & Salleh, A. B. (2012). Structural Properties of Nonionic Tween80 Micelle in Water Elucidated by Molecular Dynamics Simulation. *APCBEE Procedia*, 3(October 2015), 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.06.084>
- Katime, I., Quintana, J., & Villacampa, M. (2003). Micelas. *Revista Iberoamericana*, 4(2), 123–151.
- Khamforoush, M., Bijan-Manesh, M.-J., & Hatami, T. (2012). Application of the Haug model for process design of petroleum hydrocarbon-contaminated soil bioremediation by composting process. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 533–544. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0129-4>
- Killops, S. D., & Al-Juboori, M. a H. a. (1990). Characterisation of the unresolved complex mixture (UCM) in the gas chromatograms of biodegraded petroleum. *Organic Geochemistry*, 15(2), 147–160. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(90\)90079-F](https://doi.org/10.1016/0146-6380(90)90079-F)
- Kim, I. S., Park, J., & Kim, K. (2001). Enhanced biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons using nonionic surfactants in soil slurry, 16, 1419–1428.
- Kogbara, R. B., Ayotamuno, J. M., Worlu, D. C., & Fubara-Manuel, I. (2015). A case study of petroleum degradation in different soil textural classes. *Recent Patents on Biotechnology*, 9(2), 1–15.
- Labud V, Garcia C, Hernández T. (2007). Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. *Chemosphere* 66, 1863-1871.
- Lee, M., Srinivasan, S., & Kim, M. K. (2010). New taxa in Alphaproteobacteria: *Brevundimonas olei* sp. nov., an esterase-producing bacterium. *Journal of Microbiology*, 48(5), 616–622. <https://doi.org/10.1007/s12275-010-9367-7>
- Lee, S.-H., Oh, B.-I., & Kim, J. (2008). Effect of various amendments on heavy mineral oil bioremediation and soil microbial activity. *Bioresource Technology*, 99, 2578–2587. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.039>
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2004). Brock Microbiologia de los Microorganismos. (Pearson Prentice Hall, Ed.). Illinois.
- Mansur, A. A. (2015). Bioremediation of Libyan soil contaminated with crude oil tank bottom sludge. RMIT University.
- Mao, X., Jiang, R., Xiao, W., & Yu, J. (2015). Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 285, 419–435. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.009>
- Margesin, R., & Schinner, F. (1997). Bioremediation of diesel-oil-contaminated alpine soils at low temperatures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 47, 462–468. <https://doi.org/10.1007/s002530050957>
- Margesin, R., Zimmerbauer, a., & Schinner, F. (2000). Monitoring of bioremediation by soil biological activities. *Chemosphere*, 40(April 1999), 339–346. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00218-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00218-0)
- Minnesota, U. of. (1997). University of Minnesota Biocatalysis and Biodegradation Database. <https://doi.org/10.1186/2042-5783-2-1>
- Moscoso, F., Teijiz, I., Deive, F. J., & Sanromán, M. A. (2012). Efficient PAHs biodegradation by a bacterial consortium at flask and bioreactor scale. *Bioresource Technology*, 119, 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.095>
- Nanclares, D. (2016). Evaluación de las bacterias aisladas de material particulado PM2.5 captado en tres estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire del Área Metropolitana Valle de Aburrá. Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Nessler. (1999). Determination of ammonia-nitrogen. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1–6.
- Novelo-Torres, M. A., & Gracia-Fadrique, J. (2005). Concentración micelar crítica mediante la ecuación de absorción de Gibbs. *Educación Química*, 16(1), 63–67.
- Nayak A, Kumar Sanganal S, Kumar Mudde S, Oblesha A, Karegoudar T. (2011). A catabolic pathway for the degradation of chrysene by *Pseudoxanthomonas* sp. PNK-04. *FEMS Microbiology Letters* 320, 129-134.

- Nikolopoulou M, Pasadakis N, Norf H, Kalogerakis N. (2013).** Enhanced *ex situ* bioremediation of crude oil contaminated beach sand by supplementation with nutrients and rhamnolipids. *Mar Pollut Bulletin* 77, 37–44.
- Nwankwo C. (2014).** *Using compost to reduce oil contamination in soils*. Tesis doctoral, University of Leeds, Leeds, U.K.
- Orji, F. A., Ibiene, A. A., & Dike, E. N. (2012).** Laboratory scale bioremediation of petroleum hydrocarbon - polluted mangrove swamps in the Niger Delta using cow dung. *Malaysian Journal of Microbiology*, 8(4), 219–228.
- Ortec Groupe (2014).** OGD Implementa Biopila de 24.000 m<sup>3</sup>. Recuperado en 2018 desde: [www.ortec.fr/ogd-biopile-24000-m3/](http://www.ortec.fr/ogd-biopile-24000-m3/)
- Ortiz, B., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007).** Técnicas de recuperación de suelos contaminados (pp. 7–8). Madrid, España: Elecé Industria Gráfica. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?cnicas+de+reucpe-raci?n+de+suelos+contaminados#0ln>
- Paria, S. (2008).** Surfactant-enhanced remediation of organic contaminated soil and water. *Advances in Colloid and Interface Science*, 138, 24–58. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2007.11.001>
- Pawar, R. M. (2015).** The Effect of Soil pH on Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHS). *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 6(3). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000291>
- Pinto, A., Arruda, A. P. De, Angelis, G. De, Franceschi, D. De, & Bonotto, D. M. (2007).** Laboratory study on the bioremediation of diesel oil contaminated soil from a petrol station. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38(2), 346–353. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822007000200030>
- Patel V, Cheturvedula S, Madamwar D. (2012).** Phenanthrene degradation by *Pseudoxanthomonas* sp. DMVP2 isolated from hydrocarbon contaminated sediment of Amlakhadi canal, Gujarat, India. *Journal of Hazardous Materials* 201-202, 43–51.
- Ramnarine, M., & Santoriello, L. M. (2015).** Hydrocarbons toxicity. Medscape, 7–Retrieved from <http://emedicine.medscape.com/article/1010734-overview>
- Ramos, E., & Zúñiga, D. (2008).** Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel del laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7, 123–130.
- Ratanaprommanee, C., & Shutsrirung, A. (2013).** Chemical Properties and Potential Use in Agriculture of Leonardite from Different Sources in Thailand, 1236–1246.
- Riccardi, C., Di Filippo, P., Pomata, D., Di Basilio, M., Spicaglia, S., & Buiarelli, F. (2013).** Identification of hydrocarbon sources in contaminated soils of three industrial areas. *Science of the Total Environment*, 450–451, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.082>
- Riesco, R. A. (2012).** Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Universidad Autónoma de Barcelona. Retrieved from <http://www.jaravalencia.com/docu/suelconthidroc.pdf>
- Riesenfeld, C. S., Schloss, P. D., & Handelsman, J. (2004).** Metagenomics: genomic analysis of microbial communities. *Annu Rev Genet*, 38, 525–552. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.091216>
- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2001).** *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. (McGraw-Hill, Ed.).
- Robles-González, I. V., Fava, F., & Poggi-Varaldo, H. M. (2008).** A review on slurry bioreactors for bioremediation of soils and sediments. *Microbial Cell Factories*, 7, 5. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-7-5>
- Rojas, J. (2014).** Biodegradación del colorante azul brillante, mediante Fermentación en Estado Sólido, sobre residuos de flores. Universidad Nacional de Colombia. Rojas-Avelizapa, N. G.,
- Roldán-Carrillo, T., Zegarra-Martínez, H., Muñoz-Colunga, a. M., & Fernández-Linares, L. C. (2007).** A field trial for an ex-situ bioremediation of a drilling mud-polluted site. *Chemosphere*, 66, 1595–1600. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.08.011>
- Rosen, M. J. (2004).** Surfactants and interfacial phenomena. *Colloids and Surfaces* (Tercera Ed, Vol. 40). New Jersey, USA: John Wiley & Sons. [https://doi.org/10.1016/0166-6622\(89\)80030-7](https://doi.org/10.1016/0166-6622(89)80030-7)
- Rossini, F. D. (1960).** Hydrocarbons in Petroleum. *Journal of Chemical Education*, 37(111), 554–561.
- Roy, A. S., Baruah, R., Borah, M., Singh, A. K., Deka Boruah, H. P., Saikia, N., ... Chandra Bora, T. (2014).** Bioremediation potential of native hydrocarbon degrading bacterial strains in crude oil contaminated soil under microcosm study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 94(August 2015), 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.024>

- Rynk, R., Kamp, M. van de, B. Willson, G., Singley, M. E., Kay, D., & Brinton, W. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. (Cooperative Extension, Ed.). Ithaca.
- Salinas, R. O., Cram, S., & Sommer, I. (2012). Polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in soils of the low alluvial plain in the state of Tabasco, Mexico. *Universidad Y Ciencia*, 28(2), 131–144.
- Sanders, E. ., & Miller, J. . (2010). *Microbiologist: a discovery-based course in microbial ecology and molecular evolution*. ASM press.
- Sayara, T., Sarrà, M., & Sánchez, A. (2009). Preliminary screening of co-substrates for bioremediation of pyrene-contaminated soil through composting. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2–3), 1695–1698. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.142>
- Selberg, A., Juuram, K., & Budashova, J. (2013). Biodegradation and Leaching of Surfactants During Surfactant-Amended Bioremediation of Oil-Polluted Soil. *Applied Bioremediation - Active and Passive Approaches*, 123–147.
- Sepúlveda, T. V., & Trejo, J. V. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Jiménez Editores. México: Instituto Nacional de Ecología. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Silva-Bedoya, L. M., Sánchez-Pinzón, M. S., Cadavid-Restrepo, G. E., & Moreno-Herrera, C. X. (2016). Bacterial community analysis of an industrial wastewater treatment plant in Colombia with screening for lipid-degrading microorganisms. *Microbiological Research*, 192, 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.08.006>
- Solanas, A. M. (2009). La biodegradación de hidrocarburos y su aplicación en la biorremediación de suelos. *Estudios En La Zona No Saturada Del Suelo*, IX, 8.
- Stasik, S., Wick, L. Y., & Wendt-Potthoff, K. (2015). Anaerobic BTEX degradation in oil sands tailings ponds: Impact of labile organic carbon and sulfate-reducing bacteria. *Chemosphere*, 138, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.068>
- Universidad Técnica Federico Santa María. (2016). Informe Final: Estudio Pilotos Complementarios Proyecto Las Salinas, Viña del Mar, Chile.
- US EPA (1997). *Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons*. Recuperado en Octubre de 2018 desde: <https://clu-in.org/download/remed/pet-hyd.pdf>
- Tanaka, T., Kawasaki, K., Daimon, S., Kitagawa, W., Yamamoto, K., Hideyuki, T., ... Kamagata, Y. (2014). A Hidden Pitfall in the Preparation of Agar Media Undermines Microorganism Cultivability. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(24), 7659–7666.
- Thamer, M., Al-kubaisi, A. R., Zahraw, Z., Abdullah, H. A., Hindy, I., & Khadium, A. A. (2013). Biodegradation of Kirkuk light crude oil by *Bacillus thuringiensis*, Northern of Iraq, 5(7), 865–873. <https://doi.org/10.4236/ns.2013.57104>
- Tonini, R. M. C. W., Rezende, C. E., & Grativol, A. D. (2010). Degradação E Biorremediação De Compostos Do Petróleo Por Bactérias: Revisão. *Oecologia Australis*, 14(August), 1010–1020. <https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1404.11>
- Torres, K., & Zuluaga, T. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Tringe, S. G., & Hugenholtz, P. (2008). A renaissance for the pioneering 16S rRNA gene. *Current Opinion in Microbiology*, 11(5), 442–446. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2008.09.011>
- Turgay, O. C., Erdogan, E. E., & Karaca, A. (2010). Effect of humic deposit (leonardite) on degradation of semi-volatile and heavy hydrocarbons and soil quality in crude-oilcontaminated soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170(1–4), 45–58. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1213-1>
- Tyagi, M., da Fonseca, M. M. R., & de Carvalho, C. C. R. (2011). Bioaugmentation and biostimulation strategies to improve the effectiveness of bioremediation processes. *Biodegradation*, 22, 231–241. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9394-4>
- Vallejo, V., Salgado, L., & Roldan, F. (2007). Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 7(2), 67–78. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/501/899>
- Varadavenkatesan, T., & Murty, V. R. (2013). Production of a Lipopeptide Biosurfactant by a Novel *Bacillus* sp. and Its Applicability to Enhanced Oil Recovery. *ISRN Microbiology*, 2013, 8. <https://doi.org/10.1155/2013/621519>
- Vilches A, Bylund D, Jonsson A. (2010). Enhanced natural biodegradation of diesel fuel contaminants in soils by addition of whey and nutrients. *Linnaeus ECO-TECH 10' Conference*, Kalmar, Suecia.

**Walkley, A., & Black, I. A. (1934).** An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

**Wolicka, D., Suszek, A., Borkowski, A., & Bielecka, A. (2009).** Application of aerobic microorganisms in bioremediation in situ of soil contaminated by petroleum products. *Bioresource Technology*, *100*(13), 3221–3227. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.020>

**Worley Parsons Komex. (2007).** Bioremediation of Oil Field Waste Containing Elevated Concentrations of Weathered Petroleum Hydrocarbons. Worley Parsons Komex. Edmonton, Canada.

**Walecka-Hutchinson C. (2005).** Nitrogen dynamics in diesel biodegradation: effects of water potential, soil C:N ratios, and nitrogen cycling on biodegradation efficacy. Tesis doctoral, Universidad de Arizona, Arizona, EEUU.

**Yu, J., Tao, R., & Yu, K. (2012).** Anaerobic biodegradation of benzene in salt marsh sediment of the Louisiana Gulf coast. *Ecological Engineering*, *40*, 6–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.025>

**Yu, S., Grant Clark, O., & Leonard, J. J. (2009).** Influence of free air space on microbial kinetics in passively aerated compost. *Bioresource Technology*, *100*(2), 782–790. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.051>

**Zhu, J., Shen, W., Ma, Y., Ma, L., Zhou, Q., Yuan, P., ... He, H. (2012).** The influence of alkyl chain length on surfactant distribution within organo-montmorillonites and their thermal stability. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *109*, 301–309. <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1761-9>





El presente documento nace de la necesidad de consolidar toda la información y conocimientos generados en el proceso de saneamiento y reconversión para el uso urbano de uno de los sitios industriales más emblemáticos de Viña del Mar.

Este material ha sido recopilado como un referente de consulta para la ciudadanía, los municipios y la academia interesada en los temas ambientales, sociales y urbanos relacionados con la recuperación de suelos contaminados en zonas urbanas. Además de la revisión de casos internacionales, comprende los principales resultados de estudios científicos realizados, los aspectos de interés sobre los procesos administrativos y análisis normativos, junto a las experiencias de socialización y de transferencia de conocimiento hacia la comunidad que han acompañado las distintas etapas de la recuperación del terreno de las ex petroleras en Viña del Mar.

El esfuerzo mancomunado entre empresa, equipos técnicos, científicos y académicos, traducido en cuantiosos documentos de investigación, miles de horas de análisis de laboratorios, decenas de charlas explicativas, cuatro Estudios de Impacto Ambiental (a saber: 2002 RCA, 2014 retirado, 2017 término anticipado, 2018 RCA) a lo largo de 18 años, se pone a disposición de todos los ciudadanos y ciudadanas que han sentido un legítimo interés por comprender las complejidades de un proceso inédito en el país.

Luego de una introducción sobre la temática de contaminación de suelos y las medidas adoptadas en el mundo, se revisa la historia industrial y post industrial de Las Salinas y luego se presentan las dos etapas que constituyen el proceso de saneamiento del terreno. Sobre esto último, se explica en primer lugar el saneamiento inicial del terreno, materializado en el desmantelamiento de las instalaciones que conformaron Las Petroleras, junto con el retiro de los residuos alojados en el suelo superficial. En segundo lugar, se expone el proyecto para el saneamiento definitivo del suelo sub superficial y aguas subterráneas, caracterizado por la técnica de biorremediación, a ser ejecutado entre los años 2022 y 2026.

Existiendo hoy un proyecto robusto, evaluado favorablemente por la Autoridad Ambiental y sostenido en gran parte por la evidencia empírica obtenida por grupos de científicos locales con experiencia internacional, es que se presenta este trabajo, esperando que el traspaso de la experiencia de remediación de suelos en un área urbana sea una iniciativa replicable en otras ciudades del país, para contribuir a la sostenibilidad ambiental y a la integración urbana, en un contexto de modernización de nuestra matriz industrial y la consecuente evolución de la normativa ambiental en Chile.

Viña del Mar, noviembre de 2021.