

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**DETERMINACIÓN DE METALES EN SUELOS CERCANOS A UN ANTIGUO
INCINERADOR DE DESPERDICIOS BIOMÉDICOS REGULADOS EN EL
MUNICIPIO AUTÓNOMO DE CAGUAS:
ESTUDIO DE CASO**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Manejo y Evaluación de Riesgo

Por
Nelson Martínez Matías

12 de mayo de 2008

DEDICATORIA

*Al Todopoderoso YHWH, Rey de Reyes y Señor de Señores:
el Señor Jesús. Porque me has dado una nueva vida
y has puesto en mi boca una nueva canción.
Y por siempre recordarme mi linaje y noble estirpe:
soy hijo del Altísimo.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente al Señor Jesucristo por darme la fuerza para salir adelante, y porque a pesar de los demás tú siempre has escogido mi bien. Gracias Señor. Al Dr. Santos Rohena Betancourt por todos sus consejos, comentarios, y por su valiosa ayuda al realizar esta investigación. Al Dr. Nefthalí García Martínez por toda su valiosa cooperación y ayuda en este trabajo. Al Dr. Carlos Padín por estimularme a salir adelante cuando más frustrado estaba. Gracias especiales a la Dra. Ivette Torres porque pude contar con ella en los momentos en que más la necesité. A la Profesora María C. Ortiz por estimularme a seguir adelante y creer en mí. A todos los profesores de la Escuela de Asuntos Ambientales de la UMET por su valiosa ayuda en mi formación profesional. A Alex porque siempre recurrí a él cada vez que estuve perdido en mis trámites administrativos. A todos mis pasados profesores en el Departamento de Química del Recinto Universitario de Mayaguez, especialmente al Dr. Manuel Rodríguez Flores, y del Departamento de Física del Recinto de Río Piedras, especialmente al Dr. Alfredo Torruellas. Si algo soy, profesionalmente hablando, se lo debo a todos ustedes.

A todos mis amigos del Proyecto MSP-21 de la Universidad Interamericana de Bayamón. A todos los amigos del Proyecto ALACIMA. A mi amiga la Dra. Yolanda Serrano por siempre estimularme cuando más lo necesito. A todos mis compañeros maestros, especialmente los de la Escuela Superior Vocacional de Naranjito. A mi madre por todo su apoyo y comprensión. A mi abuela (Q.E.P.D.), porque siempre fui tu preferido y me amaste hasta el fin. Sé que nos volveremos a ver.

A mis hijas porque debo mucho tiempo de juego y por siempre mostrar una sonrisa. Mujeres, que amarga sería la vida sin ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE APÉNDICES.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema de estudio.....	1
Problema de estudio.....	7
Justificación del estudio.....	15
Preguntas de investigación.....	17
Metas.....	18
Objetivos.....	19
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
Trasfondo histórico.....	21
Marco conceptual.....	22
Contaminación de suelos por metales.....	22
¿Qué son los desperdicios médicos o desperdicios biomédicos?.....	23
Constituyentes de los desperdicios médicos.....	25
¿Qué riesgos plantean los desperdicios biomédicos?.....	27
Incineración de desperdicios médicos.....	28
Mercurio.....	30
Usos en la industria médica.....	30
Rutas de exposición a la sustancia.....	31
Efectos toxicológicos.....	33
Plomo.....	35
Usos en la industria médica.....	35
Rutas de exposición a la sustancia.....	35
Efectos toxicológicos del plomo.....	38
Vanadio.....	40
Usos del vanadio.....	40
Rutas de exposición a la sustancia.....	41
Efectos toxicológicos.....	42
Manganeso.....	42
Usos del manganeso.....	42
Disposición.....	43
Rutas de exposición a la sustancia.....	44
Efectos toxicológicos del manganeso.....	45
Carbono Orgánico Total (TOC).....	45

Estudios de casos.....	47
Caso I: Contaminación por metales en suelos en la vecindad de un incinerador desactivado de DBR.....	47
Caso II: Metales pesados y contaminantes orgánicos en las cenizas de un incinerador de DBR en la provincia de Buenos Aires, Argentina.....	49
Caso III: Prevención de mercurio en desperdicios médicos por sustitución de productos en el Condado Broward.....	51
Marco legal.....	54
Exposición sobre las leyes y reglamentos más importantes y sus motivaciones.....	55
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	64
Área de estudio.....	64
Descripción de la muestra.....	65
Período de estudio.....	65
Fuentes de datos.....	65
Objetivos.....	66
Diseño metodológico.....	72
Plan de muestreo.....	73
Cadena de custodia para las muestras ambientales.....	74
Procedimiento.....	75
Análisis de datos.....	83
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y ANÁLISIS.....	85
Análisis para metales en las muestras de agua estancada.....	85
Cromo.....	85
Plomo.....	87
Mercurio.....	88
Vanadio.....	89
Carbono Orgánico Total.....	96
Análisis de metales en suelos en los predios de Biocelsius.....	97
Mercurio.....	98
Plomo.....	100
Vanadio.....	101
Cromo.....	102
Metales en suelos aledaños a Biocelsius.....	104
Dirección norte.....	104
Dirección noreste.....	107
Hallazgos administrativos y gerenciales.....	113
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
Conclusiones.....	129
Recomendaciones.....	132
LITERATURA CITADA.....	134

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Resultados comparados de análisis químicos a dos muestras de agua estancada con lixiviados de los DBR colectadas con tres meses y medio de diferencia una de la otra.141
- Tabla 2. Valor de TOC obtenido en nuestro experimento para una muestra de agua estancada en comparación a los valores de TOC obtenidos por Yoshida y sus colaboradores para lixiviados procedentes de varios puntos de muestreo del SRS clausurado Henchir El Yahoudia, Túnez.142
- Tabla 3. Concentraciones determinadas de mercurio (Hg), plomo (Pb), vanadio (V) y cromo (Cr) en mg/Kg de suelo seco para una muestra de suelo en los predios de Biocelsius colectada el día 16 de marzo de 2008. Se indican también los métodos de análisis y sus límites de detección.....143
- Tabla 4. Valores promedio de concentraciones de mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr), vanadio (V) y manganeso (Mn) en suelos, reportados por el Dr. John Emsley en su obra *Nature's Building Blocks: An A – Z Guide to the Chemical Elements* (Emsley, 2003).....144
- Tabla 5. Concentración de mercurio, plomo, manganeso y vanadio en suelos en la dirección 45 grados al norte del este y una distancia de 245 metros del antiguo incinerador, en comparación a los valores promedio obtenidos por Segura-Muñoz y sus colaboradores para una distancia de entre 0-500m y los valores determinados para el suelo en el Río La Plata y Carite.145

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Charca conteniendo lixiviados procedentes de los DBR sin tratar depositados sobre el suelo en los predios de Biocelsius.147
- Figura 2. Foto aérea extraída del programa Google Earth de las antiguas instalaciones de Biocelsius, donde operaba su incinerador de DBR en relación a la quebrada tributaria del Río Grande de Loiza.148
- Figura 3. Vista de las instalaciones de Biocelsius en relación a algunas de las más importantes comunidades aledañas.149
- Figura 4. Foto tomada el 29 de septiembre de 2007 de los desperdicios biomédicos depositados sobre el suelo en los predios de las instalaciones de Biocelsius.....150
- Figura 5. Foto tomada el 29 de septiembre de 2007 del antiguo incinerador de DBR de Biocelsius tras sufrir un incendio que destruyó parcialmente las instalaciones reduciéndolo a herrumbres.151
- Figura 6. Instalaciones de Biocelsius y antigua estructura que cobijó el incinerador de DBR vistos desde otra perspectiva.152
- Figura 7. Foto tomada el 7 de noviembre de 2007 de los predios de las instalaciones de Biocelsius frente a la estructura que albergó el incinerador, tras haberse efectuado de manera parcial el recogido de los DBR durante el mes de octubre de 2007.153
- Figura 8. Foto tomada el día 7 de noviembre de 2007 de algunos desperdicios depositados en las instalaciones de Biocelsius tras haberse efectuado de manera parcial un recogido de estos en octubre de 2007.154
- Figura 9. Desperdicios en los predios de Biocelsius tras un recogido parcial de estos.....155
- Figura 10. Localización de los puntos de muestreo para determinación de mercurio y plomo en suelos en las direcciones norte, y 45° al norte del este.156
- Figura 11. Resultados de los análisis químicos de concentración de mercurio (Hg) en suelos junto a la quebrada para las distintas distancias aproximadas a las antiguas instalaciones de Biocelsius en la dirección norte.157

Figura 12. Concentración de mercurio en suelos (mg/Kg de suelo seco) en la dirección aproximadamente 45 grados al norte del este para distancias de 175 y 245 metros del incinerador de Biocelsius.	158
Figura 13. Variación en las concentraciones de plomo en suelos aledaños a las instalaciones de Biocelsius en la dirección norte.	159

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Resultados de análisis de laboratorio a muestras de agua estancada colectadas el día 7 de noviembre de 2008.....	160
Apéndice 2.	Resultados de análisis de laboratorio a muestras de suelo cercanas a Biocelsius en las direcciones norte y noreste de las instalaciones colectadas los días 16 y 23 de febrero, y a una muestra agua estancada colectada el 23 de febrero de 2008	163
Apéndice 3.	Resultado de análisis de laboratorio a muestras de suelo cercanos a Biocelsius en dirección norte colectadas por duplicado el 17 de marzo de 2008.....	169
Apéndice 4.	Resultados de análisis de laboratorio a muestras de suelo de trasfondo colectadas junto al Río La Plata y Carite el día 30 de marzo de 2008.....	170

RESUMEN

Una determinación de metales en suelos fue realizada en los predios y suelos cercanos a unas instalaciones de la extinta compañía procesadora de desperdicios biomédicos Biocelsius en el Municipio de Caguas. La compañía operó allí un incinerador para estos desperdicios, ahora desactivado, y durante el pasado año 2008 comenzó a depositar desperdicios sin tratar en el suelo. Analizamos los suelos en los predios de la compañía y varias muestras de agua estancada con el fin de evaluar la lixiviación de mercurio (Hg), plomo (Pb), vanadio (V) y cromo (Cr) desde los desperdicios vertidos en el suelo. Las concentraciones de estos metales en suelos en los predios se compararon con los Índices Guías Kelly para Suelos Contaminados (SCI, 1980), mientras que los valores determinados en agua estancada los comparamos con los Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico cuando fue posible. Una segunda determinación de estos metales en agua estancada fue efectuada tras la remoción de los desperdicios para determinar si hubo o no atenuación tras finalizarse este proceso. También, determinamos la concentración de carbono orgánico total (TOC) con el fin de evaluar la lixiviación de materia orgánica. Por último, evaluamos la concentración de mercurio y plomo en suelos cercanos a una quebrada en la dirección norte a diferentes distancias del antiguo incinerador para determinar si existía o no variación con la distancia en sus concentraciones, y una determinación de mercurio, plomo, vanadio y manganeso en la dirección noreste. Los análisis químicos en agua estancada demuestran que los metales vanadio, cromo, plomo y mercurio lixiviaron de manera apreciable desde los desperdicios, y que sufrieron una atenuación en sus concentraciones tres meses después de colectada la primera muestra, y tras la remoción de los desperdicios. El valor obtenido de TOC resultó mucho menor que valores típicos de TOC reportados para lixiviados de sistemas de relleno sanitarios. Para suelos, las determinaciones de los metales seleccionados mostraron una ligera contaminación por mercurio según los Índices Kelly, tanto en los predios de la compañía como en suelos cercanos en las direcciones norte y noreste. Demostramos también la disminución en las concentraciones de mercurio con la distancia al antiguo incinerador para estas direcciones, lo cual es característico en la identificación de una fuente puntual de contaminación (ATSDR, 1999).

ABSTRACT

A chemical analysis was done for metals in soils in, and near the closed facilities of a regulated medical waste processing plant in the municipality of Caguas, Puerto Rico. In these facilities, Biocelsius used to operate a medical waste incinerator, now deactivated. During the first months of 2007, thousands of pounds of untreated medical wastes were accumulated on the ground at the facilities. Soils from the facilities and samples of stagnant water were analyzed for mercury (Hg), lead (Pb), vanadium (V) and chromium (Cr) to evaluate leaching from the wastes. Concentration for these metals in soil were determined and compared to the Kelly Guide Indexes for Contaminated Soils (SCI, 1980). Meanwhile, concentrations for these metals in stagnant water samples were compared to the Puerto Rico Water Quality Standards when possible. A second determination for these metals in stagnant water was done three months since the first determination, after complete removal of the wastes from the ground to determine if there has been attenuation of their concentrations. Also, a total organic carbon (TOC) determination on stagnant water was done to evaluate organic matter leaching from the wastes. Finally, a mercury and lead determination was made for soils near a river in the north direction from the facilities at different distances up to 735 meters from the deactivated incinerator to investigate soil concentration dependence for the metals with distance from the facilities, and a determination of these same metals plus vanadium and manganese was made for soils in the direction northeast from the facilities. Chemical analyses of metals in stagnant water showed that vanadium, chromium, mercury and lead leached significantly from the wastes and suffered attenuation in their concentrations once the wastes were removed from the ground. TOC values determined for the stagnant water samples showed that organic matter did not leached appreciably from the wastes in comparison to lixiviates from sanitary landfills. For soils near the facilities, chemical analyses for the selected metals showed a slight contamination with mercury according to the Kelly Indexes, both in the north direction up to 675 meters, and in the northeast direction from the facilities. Results also showed a concentration decrease for mercury with distance from the deactivated incinerator, which is one of the characteristics for an atmospheric pollution point source (ATSDR, 1999).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

La contaminación de los suelos con metales pesados es un problema cada vez más preocupante. Esto, debido a la alta toxicidad de estos metales, y a la perturbación potencial a algunos sistemas biológicos (Bulgariu et al., 2007). El estudio de la contaminación de los suelos con metales, en términos generales, ha sido objeto de intenso estudio científico, tanto en suelos industriales como urbanos (Bulgariu et al., 2007, Puga et al., 2006). Incluso los sedimentos de algunos ecosistemas acuáticos se han visto afectados (Milenkovic et al., 2005). Varias son las fuentes de contaminación con metales pesados en distintos ambientes, incluyendo los suelos, citadas en la literatura científica, la mayoría de origen antropogénico. Entre ellas podemos mencionar algunas prácticas agrarias, la explotación minera, algunos procesos industriales, y determinadas prácticas en la gerencia de desperdicios sólidos, especialmente los procesos de incineración de desperdicios municipales (Segura et al., 2004). Esta última debido al hecho ampliamente conocido de que los procesos de incineración liberan metales al ambiente (Brigden et al., 2000; Segura et al., 2004; Southworth et al., 2005; Lindberg, 2005). Un caso especial, y muy particular por sus implicaciones a la contaminación del medio ambiente, es el caso de la incineración de desperdicios biomédicos regulados (DBR).

La contaminación de los suelos debido a la incineración de DBR es algo que ha sido ampliamente documentado y comprobado científicamente (Segura-Muñoz et. al, 2004; Alvin Ferraz & Alonso, 2003). Esto debido a la formación a altas temperaturas

de algunos contaminantes extremadamente tóxicos en los gases expulsados a través de las chimeneas, y a la liberación de metales pesados como plomo, mercurio, y otros los cuales son constituyentes en diversos materiales utilizados en la industria médica (OTA, 1990). Estos últimos se pueden gasificar y eventualmente ser arrastrados a suelos y aguas superficiales. Un ejemplo de los primeros son las dioxinas (Alvin Ferraz & Alonso, 2003), mientras que de los segundos un ejemplo es mercurio, el cual se gasifica y es liberado a la atmósfera a través de chimeneas para eventualmente ser depositado en aguas y suelos (EPA, 2007a).

No es de extrañar entonces el hecho, de que en los últimos años las regulaciones federales en cuanto a los límites o estándares de emisión para algunos contaminantes atmosféricos en las chimeneas de incineradores de DBR se hayan hecho cada vez más restrictivas. En el año 1997 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) promulgó nuevas restricciones a las normas de operación y estándares de emisión de contaminantes atmosféricos para incineradores (EPA, 2007b, Luger, 1997). Esto provocó el que algunos estudiosos del tema llegaran a pensar que tal vez en no muchos años la incineración de DBR se convertiría en cosa del pasado (Luger, 1997). Esto debido a que para algunos, la modernización de incineradores existentes en operación, o la adquisición de incineradores más modernos, con el propósito de cumplir con los parámetros regulatorios establecidos, convierte la incineración en un proceso cada vez más oneroso para algunas empresas como hospitales, laboratorios o facilidades de tratamiento de DBR (Luger, 1997).

El proceso de incineración de DBR es uno que revierte especial importancia para el medio ambiente. Y es que la incineración de este tipo de desperdicios no es el

resultado de la mera conveniencia de reducir el volumen de los desperdicios, entre otras. Resulta más bien de la necesidad de un método adecuado de desinfección, para una clase especial de desperdicios sólidos los cuales en su mayoría representan un riesgo a la salud pública si no son tratados de manera previa a su disposición final (OTA, 1990). Esto con el propósito de reducir el riesgo por exposición a agentes patogénicos. La incineración cumple, en la mayoría de los casos, el propósito de desinfección de DBR por destrucción termal de agentes biológicos infecciosos (OTA, 1990). No obstante el proceso de incineración, aunque reduce el riesgo por exposición a los DBR, produce una gran cantidad de contaminantes atmosféricos incluyendo metales pesados, los cuales pueden parar eventualmente en suelos y ríos convirtiéndose en un gran riesgo a la salud debido a su alta toxicidad (Brigden et al., 2000; Segura et al., 2004). Se impone entonces, si se pretende la operación de incineradores de DBR de manera satisfactoria de acuerdo a los estándares de emisión de contaminantes, y al requisito de desinfección para reducción de riesgo por exposición a agentes biológicos, un compromiso entre ambos requerimientos. Dos factores de especial importancia, desde un punto de vista ambiental, deben ser considerados antes de tomarse cualquier decisión. Primero, la viabilidad de una adhesión estricta a normas de segregación con el fin de incinerar sólo aquellos desperdicios médicos catalogados como infecciosos. Esto con el fin de reducir la incineración de desperdicios no infecciosos, pero que generan metales pesados y otros tóxicos al ser incinerados (Miller, 1998), y que en principio pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios sin más tratamiento si se observan los debidos procedimientos de seguridad ocupacional (Lichtveld et al., 1992). Segundo, la utilización de otros métodos de desinfección de DBR tales como el uso de autoclaves, la radiación ionizante, o el uso de microondas. Sin lugar

a dudas este es un problema muy serio, visto desde la perspectiva de un manejo de riesgo ambiental responsable. He aquí entonces la importancia de normas para un manejo adecuado en cuanto a los DBR.

El manejo adecuado de los desperdicios biomédicos ha generado controversias y discusión pública desde una fecha relativamente reciente. No es sino hasta el año 1988 cuando cobró fuerza el debate en torno a los posibles riesgos a la salud pública que acarrea la generación y disposición inadecuada de estos desperdicios. Ese año, tras la atención sobre el particular generada por la disposición en el mar de desperdicios médicos que luego fueron arrastrados hasta las playas de la costa este de la nación, el Congreso de los Estados Unidos se vio forzado a aprobar legislación sobre este importante asunto (OTA, 1990). Es así como nació ese año la llamada Ley de Rastreo de Desperdicios Médicos de 1988 (MWTAA, por sus siglas en inglés) como una enmienda a la Ley de Disposición de Desperdicios Sólidos de 1965 (EPA, 2007c). Esta ley, entre otras cosas, declaró cuáles desperdicios debían estar sujetos a programas de regulación y estableció estándares de segregación para estos. A los desperdicios sujetos a regulación se les llamó desperdicios médicos regulados.

No obstante, no siempre en los procesos de incineración de desperdicios biomédicos se siguen de manera estricta normas de segregación previa que garanticen sólo la quema de aquellos desperdicios catalogados como DBR. Debido a esto, muchos desperdicios no infecciosos pero que sí liberan o forman químicos tóxicos al quemarse son incinerados, entre ellos bolsas plásticas, termómetros, esfigomanómetros, interruptores eléctricos, lámparas, baterías, amalgamas dentales y algunos compuestos orgánicos como solventes y citotóxicos. El resultado de toda esta quema indiscriminada

es la generación y liberación ambiental de tóxicos, entre ellos metales pesados como plomo (Pb) y mercurio (Hg), y aún dioxinas (Miller, 1998; Ferraz & Alfonso, 2003). Estos a su vez, al ser liberados, contaminan los suelos y las aguas superficiales poniendo en riesgo la salud pública y el ambiente. Primero, las comunidades son expuestas a éstos por las diferentes vías de exposición, y segundo, diferentes especies de flora y fauna pueden ser afectadas por estos.

Nuestra isla no ha sido la excepción en lo que refiere al problema de los desperdicios médicos. En un estudio piloto realizado en la isla entre los años 1990–1991 por la JCA con el propósito de obtener datos preliminares acerca de la generación de desperdicios médicos, de obtener un perfil de los generadores, y de hacer una proyección de futuros volúmenes de desperdicios generados, se concluyó que para esta fecha se generaban en Puerto Rico aproximadamente 4,514,491 de libras de desperdicios médicos al año (JCA, 1991). Según el informe, la mayoría de estos desperdicios eran generados por hospitales, siendo la mayor parte de estos operados por el Departamento de Salud de Puerto Rico (JCA, 1991). No obstante, otras categorías de instalaciones de salud contribuían a la generación de desperdicios médicos. Entre estas el informe menciona laboratorios clínicos e histopatológicos, bancos de sangre, casas de salud, centros de diagnóstico y tratamiento, unidades de cuidado prolongado, centros de tratamiento psicosocial, unidades de salud pública, escuelas de medicina, universidades, albergues para enfermos terminales, funerarias, centros de tratamiento contra la adicción, y oficinas de médicos y dentistas. En cuanto a la distribución de estos desperdicios por zonas, la región de la isla con mayor cantidad generada era la región de San Juan con más de 300,000 libras al año de desperdicios generados.

Algo resulta muy preocupante del informe de la JCA. Es el hecho de que se llegó ya para esta fecha a la conclusión, de acuerdo a la comparación de los volúmenes reportados por generadores, con aquellos reportados por transportistas, de que unas 2,094,729 de libras de desperdicios médicos no eran dispuestas de manera final adecuada o simplemente no eran reportadas (JCA, 1991). Además, el informe declara de manera textual que para la fecha de su confección solamente el vertedero de Fajardo, el incinerador de Carolina, y las instalaciones de Celsius en Caguas estaban autorizadas a recibir desperdicios biomédicos. Esto es algo que nos parece muy importante, toda vez que demuestra que el manejo adecuado de los desperdicios médicos en la isla de Puerto Rico no es un problema nuevo, si no más bien un problema que hemos venido arrastrando desde hace varias décadas.

Finalmente el informe concluyó, además de lo mencionado en el párrafo anterior, lo siguiente: 1) que la comunidad a ser regulada en la isla no conocía el alcance de las leyes y reglamentos federales al respecto, 2) la posibilidad de estarse disponiendo de manera inadecuada de algunos desperdicios al no ser clasificados por generadores de acuerdo a la definición de biomédicos, 3) que en la isla se generaban anualmente unas 4,000,000 de libras de desperdicios biomédicos, y 4) que el número de transportistas en la isla era insuficiente para los desperdicios generados en virtud de la dispersión geográfica de los generadores.

Por otra parte casi doce años después, según datos reportados por la JCA, para el año 2003, se procesaron en Puerto Rico cerca de 27,189,784 libras de desperdicios médicos. Esta cifra representa un poco más de seis veces el valor reportado por la JCA en su informe del estudio piloto entre 1990 a 1991. De acuerdo a estos datos, podemos ver

que el problema de los desperdicios médicos puede llegar a ser alarmante si no se atiende debidamente.

Problema de estudio

Muy cercano a la Carretera 189 que conduce desde Caguas a Gurabo, en una zona industrial y comercial del Municipio Autónomo de Caguas, una antigua compañía procesadora de DBR, Biocelsius, operó hasta hace algunos años un incinerador con el fin de tratar los DBR de sus clientes. Durante los años de operación de la compañía los DBR provenientes de distintas instalaciones médico hospitalarias, laboratorios, e incluso centros de investigación como universidades del área metropolitana y pueblos limítrofes, eran incinerados con el fin de reducir el riesgo por exposición a agentes infecciosos en los desperdicios. Luego, según nos indicó la JCA, las cenizas y restos tratados de los DBR eran dispuestos sobre el terreno en el vertedero de Humacao. Durante todo este tiempo, sustancias tóxicas fueron emitidas al aire a través de la chimenea del incinerador de Biocelsius. Entre estas, cloruro de hidrógeno, el cual según la JCA se produce como parte de la incineración de plásticos junto a los DBR (JCA, 1997b), y muy probablemente metales pesados como mercurio y plomo, ya que son contaminantes usualmente presentes junto a los DBR (Brigden et al., 2000).

Según pudimos constatar personalmente de algunos expedientes de la JCA, a la compañía le fue otorgado un permiso para la operación de una fuente de emisiones atmosféricas el día 20 de agosto de 2000. Según los documentos consultados, este permiso cuyo número era el TV (Título V)-7261-13-0397-0018 debía vencer el día 12 de agosto del año 2005. Según los expedientes, la fuente de emisiones atmosféricas a la que

hacemos referencia constó, al menos para esa fecha, de un incinerador marca Consumat modelo CS-760 P-1, con capacidad para incinerar 1,685 libras de desperdicios por hora.

A la empresa, registrada a nombre de la doctora en medicina Haydee Redondo, quien fungía según los datos como Presidenta y Gerente General, también le había sido otorgado un permiso para la operación de una instalación de procesamiento de DBR con número SI-0004, más tarde cambiado al número IP-13-0055 (JCA, 2003 c). La instalación contaba con una planta física de 5,000 pies cuadrados.

Según expedientes de la JCA la compañía recibía para destrucción mediante incineración desperdicios patológicos, biomédicos, y sólidos no peligrosos comerciales e industriales. La prioridad según los documentos, eran los desperdicios patológicos y los biomédicos en general. Las cenizas eran recogidas por la firma El Coquí Waste Disposal.

A principios del año 2007 la operación de la compañía que ya no incineraba fue interrumpida de manera súbita. Esto sucedió cuando las autoridades del estado, especialmente la JCA, advino a conocimiento de que la compañía había estado recibiendo desperdicios a un ritmo mayor del que eran procesados, esta vez no por incineración, razón por la cual se habían estado acumulando y disponiendo sobre los predios de la compañía. La cantidad de desperdicios depositada sobre el terreno en los predios de Biocelsius fue estimada en más de 3.6 millones de libras (Justicia, 2007a, 2007b). Según el artículo de prensa periodística el Sr. Juan Rosario, portavoz de la organización Misión Industrial, criticó severamente la actuación de la agencia reguladora estatal, en este caso la Junta de Calidad Ambiental (JCA). Según el portavoz, la JCA pudo haber actuado con mayor premura para efectuar el recogido de los desperdicios allí depositados y expuestos al aire libre desde hace mucho tiempo atrás. La situación ambiental creada por la

disposición de todo este DBR se complicó aún más cuando en marzo del año 2007 hubo dos incendios en medio de todo este desperdicio. La quema parcial de bolsas dejó expuestas en ellas gasas, jeringuillas y tubos de sangre entre otros, según otro artículo de prensa escrita (Hopgood, 2007). Se alegaron olores objetables procedentes de la descomposición de basura biomédica como tejidos y restos humanos (Justicia, 2007a), la posible contaminación del suelo y aguas subterráneas y superficiales por el arrastre de líquidos procedentes del proceso de lixiviación de tales desperdicios debido a escorrentías y posterior filtración a través de las capas de sedimento (Justicia, 2007b), y la posible transmisión de enfermedades asociadas a los DBR las cuales pudieran ser diseminadas por vectores y posiblemente por perros realengos que bien podían entrar en contacto con los desperdicios (Caro & Sanjurjo, 2007).

El miércoles 29 de agosto de 2007, un periódico de la isla reseñó en su portada la asignación de fondos por parte del gobierno para la limpieza de los predios de terreno ocupados por Biocelsius en el Municipio Autónomo de Caguas. Según la fuente periodística (Justicia, 2007b) el Gobierno de Puerto Rico asignó 2.1 millones de dólares provenientes del Fondo de Emergencias Ambientales para la limpieza de las aproximadamente 3.6 millones de libras de DBR acumuladas allí (Ver Figura 4). Finalmente, después de una prolongada controversia tanto en el foro administrativo como en los Tribunales de Justicia, y tras la compañía Biocelsius acogerse a la Ley de Quiebras, otra compañía privada autorizada por ley a realizar el recogido y procesamiento de DBR comenzó el recogido de los 3.6 millones de libras de desperdicios biomédicos depositados en las instalaciones de Biocelsius. La compañía Western Medical, con sede en la ciudad de Mayagüez, comenzó a levantar los desperdicios que

llevaban al menos seis meses a la intemperie según el artículo de prensa, para transportarlos a sus instalaciones en Mayagüez donde debían finalmente ser procesados. Según el mismo artículo citado del periódico El Nuevo Día, el contratista tomó algunas medidas preventivas para salvaguardar el ambiente tales como la construcción de un muro para proteger la quebrada cercana. Se indicó además que se había realizado un muestreo de aguas estancadas para estudiar su composición.

Motivados por todo esto, el sábado 29 de septiembre del año 2007 nos dirigimos a los predios de las instalaciones de Biocelsius. Al llegar allí pudimos percatarnos de la gran cantidad de desperdicios apilados en bolsas plásticas formando montañas (Ver figura 4). Tomamos varias fotos del lugar con el propósito de documentar la situación allí existente. Una de las características que más nos llamó la atención fue la cercanía de un río, como a algunos 200 metros de distancia al noreste, y algo más cercano al este, de las instalaciones en cuyos predios se habían depositado los DBR sobre el terreno sin tratar. Pudimos apreciar algunas bolsas y material parcialmente quemado por el incendio al que hicimos referencia. Otro aspecto muy importante al que debemos hacer mención, es al hecho de que nos percatamos de la existencia de una fosa y un pequeño charco en uno de los lados de las instalaciones, muy cercano a lo que un día fue el incinerador de DBR de Biocelsius. La fosa fue cavada a nuestro juicio con la intención de detener y tal vez de coleccionar lixiviados para muestreo. Las aguas empozadas en la fosa y charca tenían un color verde intenso lo que es característico de crecimiento de algas y plantas acuáticas. Esto a nuestro juicio, es indicativo de la formación de lixiviados que se ha estado llevando a cabo desde que los DBR fueron depositados en el suelo a la intemperie (ver Figura 1). La lixiviación no es una conjetura si no más bien un hecho, no sólo a juzgar

por el color característico del crecimiento de algas y plantas acuáticas, y por el aspecto sucio por demás de las aguas estancadas (*obs. per.*), si no también por ser este proceso meramente uno de solución y arrastre de contaminantes a medida que el agua pasa a través de un material permeable (Ward & Trimble, 2004), en este caso, los DBR. Este hecho nos coloca frente a la posibilidad de que los lixiviados contengan también, entre sus constituyentes, metales pesados en forma de cationes, o incluso en la forma de compuestos organometálicos los cuales pueden formarse por contacto con materia orgánica en los DBR. Un ejemplo de esto, según reporta la Organización Mundial de la Salud (WHO según sus siglas en inglés) es el metilmercurio (HgCH_3), forma más tóxica de mercurio el cual se forma al depositarse mercurio en sedimentos de cuerpos de agua (WHO, 2005). No debemos olvidar que entre los constituyentes químicos de los desperdicios médicos, en términos generales, se pueden encontrar solventes orgánicos, citotóxicos, y metales pesados (OTA, 1990). De cualquier forma, en este momento, existe la posibilidad de que en los predios de terreno próximos a las instalaciones de la compañía, las concentraciones de algunos metales pesados no sólo se deban a las cenizas y/o material particulado provenientes de la operación a través de los años del incinerador de DBR, si no también al proceso de lixiviación desde que los DBR fueron depositados sobre el suelo.

Toda esta situación en torno a la empresa Biocelsius motivó el que nos interesáramos en el caso, y que tratásemos de la manera posible de evaluar el posible impacto causado al ambiente debido a la operación de la planta aludida de procesamiento de DBR. El problema al que nos enfrentábamos podía ser visto, cuando menos en principio, desde dos perspectivas diferentes. En primer lugar desde la perspectiva de las

emisiones atmosféricas emitidas a través de los años debido a la operación del incinerador de Biocelsius. En segundo lugar desde la perspectiva del posible impacto al ambiente debido a la disposición de los DBR sin tratar sobre el terreno y a la intemperie. Varias formas de llevar a cabo este propósito eran posibles, también en principio, desde ambas perspectivas. En primer lugar podemos mencionar la determinación directa en suelos de las concentraciones de sustancias químicas típicamente emitidas por incineradores, según reportadas en la literatura científica, y también por agencias reguladoras nacionales e internacionales, tanto inorgánicas, como por ejemplo metales, como orgánicas como por ejemplo dioxinas. Luego establecer una correlación, cuando fuese posible, entre estas concentraciones y la distancia de los suelos muestreados al antiguo incinerador desactivado. También era posible la comparación de las concentraciones obtenidas de estas sustancias con aquellas obtenidas para las mismas sustancias en suelos geográficamente distantes de la planta o especialmente protegidos, tanto como para considerarse libres de la influencia de incineradores, pero no de otras fuentes menores de emisiones atmosféricas como por ejemplo vehículos de motor, ya que debido al gran número de vehículos de motor que transitan por el país podemos afirmar que a nuestro juicio, casi ninguna región de Puerto Rico está totalmente protegida de las emisiones procedentes de los vehículos de motor. Otra opción era la comparación de las concentraciones de las sustancias seleccionadas en los suelos aledaños a Biocelsius con algún sistema de clasificación de suelos contaminados que incluyera estándares para tales sustancias, o con valores umbrales establecidos en ocasiones en guías de agencias reguladoras como la EPA para ciertas sustancias.

En segundo lugar podíamos optar por efectuar determinaciones directas de las concentraciones, en suelos en los predios de la empresa precisamente donde estuvieron depositados los DBR, para sustancias reportadas en la literatura científica o en reportes de agencias reguladoras como constituyentes comunes de la corriente biomédica y que pudieron lixiviar desde los DBR sin tratar sobre el suelo. Las sustancias investigadas bien podían ser nuevamente inorgánicas como metales o nitratos, u orgánicas como dioxinas. En el caso de la posible lixiviación de sustancias orgánicas, una posibilidad de análisis era la determinación del Carbono Orgánico Total (TOC por sus siglas en inglés) en suelos en los predios de la compañía, o en agua estancada proveniente de la infiltración de agua de lluvia a través del material permeable constitutivo de los DBR. Las concentraciones obtenidas podrían ser comparadas más adelante con valores reportados en la literatura científica para lixiviados colectados de SRS o de algún otro tipo de sistema de disposición de desperdicios sólidos con el propósito de determinar si existe o no una correlación entre este valor y los desperdicios patológicos en los DBR. Otra variante podía ser la comparación de los niveles de las sustancias seleccionadas en suelos o aguas estancadas en los predios de Biocelsius en los momentos en que los DBR estuvieron depositados sobre el suelo, con aquellas obtenidas para las mismas sustancias una vez los DBR fueron removidos, esto con el fin de determinar si hubo o no atenuación en tales niveles como resultado de la remoción de los DBR a la intemperie.

Una tercera alternativa lo era la determinación de agentes biológicos y/o patológicos tanto en suelos como en aguas estancadas. Incluidos aquí se encuentran cultivos bacteriológicos, de hongos, y/o determinaciones virales, tanto para la identificación de especies o tipos específicos como cuantitativas. Estas bien podrían ser

comparadas luego con valores obtenidos de la literatura científica para los mismos organismos en SRS o algunos otros sistemas de disposición de desperdicios sólidos.

Una cuarta opción, aunque no la última, era la realización de estudios epidemiológicos basados en la administración de cuestionarios, o en expedientes de agencias gubernamentales en torno a la incidencia de enfermedades respiratorias por ejemplo, o cualesquiera otras condiciones de salud asociadas a posibles contaminantes emitidos desde el incinerador de Biocelsius, en las comunidades vecinas a las instalaciones de la empresa. Una variante de esta forma de investigación lo constituye la integración de los estudios epidemiológicos en las comunidades, a la información obtenida de análisis químicos o biológicos a suelos y/o aguas impactadas.

Por diversas razones que no expondremos en este trabajo, para llevar a cabo nuestro estudio decidimos proceder de la manera siguiente:

- 1) Efectuar la determinación directa de las concentraciones en suelos de sustancias reconocidas por las autoridades y verificadas como comúnmente emitidas por incineradores, en nuestro caso metales, especialmente mercurio y plomo, aunque otros fueron determinados para propósitos de comparación con muestras de trasfondo o control;
- 2) Luego decidimos evaluar la lixiviación de los DBR vertidos sin tratar en el suelo en tres formas: a) mediante la determinación de algunos metales en agua estancada junto a los DBR, y una segunda determinación tras la remoción de estos, b) mediante la determinación del Carbono Orgánico Total (TOC) en la misma muestra de agua estancada y la comparación de este valor con valores reportados en la literatura científica para SRS previamente estudiados, y c)

mediante la determinación de algunos metales, especialmente mercurio, plomo, vanadio, y cromo en suelos donde estuvieron vertidos los DBR y la comparación de estos niveles con los obtenidos para muestras de trasfondo o control.

Justificación

Los desperdicios biomédicos, los cuales en su mayoría son residuos generados por procedimientos hospitalarios o asociados en alguna forma a la salud, constituyen un gran riesgo a la salud pública cuando son dispuestos en forma inadecuada, esto según nos señala un reglamento del Ministerio de Salud de la República de Colombia (MSRC, 1997). Aunque se reconoce que en términos generales el grupo con mayor riesgo de contagio por exposición a contaminantes químicos o biológicos presentes en desperdicios biomédicos es el personal hospitalario o el asociado a los servicios de salud, ya sea interno o externo, se reconoce no obstante el riesgo a la población general por la disposición y tratamiento inadecuada de éstos (MSRC, 1997). Uno de los mayores riesgos del tratamiento inadecuado de DBR es el asociado a la incineración de este tipo de desperdicios, especialmente cuando no se cumple con los estándares de control de emisiones atmosféricas, y cuando no se siguen de manera estricta procedimientos adecuados de segregación de los residuos médicos en general. Esta última porque, como es bien conocido, la incineración de desperdicios médicos incluye un sinnúmero de productos diferentes como papel, plásticos, vidrio y químicos orgánicos e inorgánicos, en adición a los materiales biológicos como tejidos, sangre, orina y fluidos corporales, los cuales liberan una gran cantidad de tóxicos al ser incinerados (Miller, 1998), entre ellos

metales pesados los cuales son de gran toxicidad (Segura-Muñoz et al., 2004). Estos al ser liberados al ambiente a través de chimeneas como ceniza fugitiva y material particulado, son depositados eventualmente en suelos y cuerpos de agua.

Además de todo esto, la gran cantidad de desperdicios biomédicos depositadas sobre el terreno y sin cubrir en los predios de la compañía Biocelsius pueden plantear, en principio, un riesgo adicional. Nos referimos a la generación de lixiviados. No debemos olvidar el hecho de que la disposición sobre el terreno y sin cubrir de los DBR no brinda las salvaguardas que ofrece la disposición de desperdicios en sistemas de relleno sanitario modernos, tales como una cubierta impermeable y sistemas de recolección de lixiviados (Miller, 1998). Además, la cercanía a las instalaciones de Biocelsius de un río el cual es tributario del Río Grande de Loiza, el cual desemboca a su vez en el Lago Carraízo, constituye un riesgo adicional. Este lago es uno de los más importantes abastos de agua potable para el municipio de San Juan y áreas limítrofes. En principio, este valioso recurso de agua también podría verse afectado por contaminantes químicos depositados en suelos provenientes del proceso de lixiviación de los DBR, los cuales pueden ser arrastrados por escorrentías durante períodos de intensa lluvia. Por lo tanto, determinar la existencia o no de algún impacto al ambiente en cualquiera de sus formas inmediatas, suelo o agua, ya sea debido a la antigua operación de un incinerador de DBR en esta zona, o a la generación de lixiviados de DBR sin cubrir, es de vital importancia para salvaguardar la salud pública.

Preguntas de investigación

Las preguntas que formulamos, y a las que dimos contestación durante el transcurso de nuestra investigación fueron las siguientes:

- 1) ¿Cómo comparan los niveles de mercurio, plomo, vanadio, y manganeso en suelos aledaños a la compañía (muestras M1), con aquellos en suelos protegidos y más distantes donde no existen incineradores (muestras M2)?
- 2) ¿Existen o no variaciones longitudinales en los niveles de mercurio y plomo en suelos en la dirección norte, con respecto a la distancia al antiguo incinerador?
- 3) ¿Cuáles son los niveles de algunos de los metales de mayor toxicidad como mercurio, plomo, vanadio, cromo, cadmio y arsénico en una muestra de agua estancada junto a los DBR sin tratar depositados a campo abierto?
- 4) ¿Existe variación en los niveles anteriores en una muestra de agua estancada tras la remoción de los DBR sobre el suelo?
- 5) ¿Qué metales se pueden esperar como productos de lixiviación cuando se vierten en el suelo desperdicios de composición similar?
- 6) ¿Cómo comparan los niveles de Carbono Orgánico Total (TOC) en agua estancada junto a los DBR vertidos en el suelo con los niveles de TOC en lixiviados de SRS reportados en la literatura?

Metas

Las metas propuestas por nosotros fueron las siguientes:

- I. Evaluar el impacto ambiental por mercurio y plomo, si alguno, al recurso suelo en las inmediaciones de Biocelsius debido a la pasada operación de un incinerador de DBR;
- II. Evaluar si existe o no evidencia que identifique al antiguo incinerador de Biocelsius como una fuente puntual de contaminación atmosférica por plomo, mercurio o ambos;
- III. Determinar que metales pesados, si alguno, entre los más tóxicos usualmente presentes en la corriente biomédica lixivian de manera apreciable cuando los DBR sin tratar son vertidos en el suelo sin cubrir o compactar;
- IV. Determinar cómo comparan las concentraciones de algunos metales pesados como mercurio, plomo, vanadio, y manganeso en suelos en los predios, y aledaños a las instalaciones de Biocelsius, con aquellas para los mismos metales en suelos no impactados por algún incinerador o por vertido de desperdicios médicos sobre el terreno utilizados como trasfondo o grupo control, y
- V. Comparar de manera indirecta la lixiviación de materia orgánica por los DBR sobre el suelo con la lixiviación de materia orgánica en SRS estudiados previamente.

Objetivos

Los objetivos de nuestra investigación son los siguientes:

- 1) Evaluar las concentraciones de algunos metales pesados, especialmente mercurio y plomo, en suelos aledaños en terrenos de la compañía

Biocelsius para determinar el impacto ambiental, si alguno, a este valioso recurso.

- 2) Evaluar las concentraciones de varios metales en muestras de agua estancada de una charca junto al lugar donde estuvieron los DBR, y suelos en los predios de Biocelsius, justo donde estuvieron depositados estos, con el propósito de determinar qué metales lixivian de manera apreciable desde los DBR, y si existe o no correlación entre lixiviación y concentración de metales en suelo.
- 3) Evaluar de manera indirecta la concentración de materia orgánica en el agua estancada de la charca junto al lugar donde estuvieron depositados los DBR, y compararla con valores obtenidos de la literatura científica para lixiviados de SRS estudiados, para determinar si hubo o no lixiviación apreciable de manera orgánica desde los desperdicios vertidos sobre el suelo.
- 4) Identificar el impacto ambiental, si alguno, al suelo justo en el lugar en que estuvieron vertidos los DBR para recomendar acciones correctivas si fuere necesario.
- 5) Evaluar la variación con la distancia en las concentraciones de mercurio y plomo en las direcciones norte, y 45 grados al norte del este de las instalaciones de Biocelsius para establecer si en el caso de uno de estos metales las instalaciones pueden ser consideradas como una fuente puntual de contaminación, y efectuar una comparación entre los niveles de

mercurio, plomo, manganeso, y vanadio en esta última dirección con niveles en suelos donde no hay incineradores.

- 6) Evaluar, de ser necesario, las acciones correctivas pertinentes para mejorar las condiciones existentes.
- 7) Identificar y discutir las posibles violaciones a leyes o reglamentos estatales y federales cometidas por la gerencia de Biocelsius en la disposición de DBR sin tratar sobre el terreno y otras acciones.
- 8) Hacer una evaluación del riesgo, ya sea inminente o potencial, de las comunidades cercanas a Biocelsius por la exposición a los metales determinados en suelos.
- 9) Hacer recomendaciones a la agencia administrativa reguladora, en este caso la JCA, en cuanto a la fiscalización, monitoreo, y verificación de cumplimiento de reglamentación aplicable por parte de las instalaciones de tratamiento de DBR, y en cuanto a la pertinencia de la reglamentación vigente. Esto con el fin de ayudar al mejoramiento de su función reguladora en la salvaguarda y protección del medio ambiente y la salud pública.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

La extinta compañía Biocelsius operó durante varios años un incinerador de DBR en la zona industrial del Municipio de Caguas denominada Parque Industrial Plácido González, localizada en el km 2.5 de la Carr. 189. Durante los años de operación de la compañía, cenizas y material particulado fue liberado al ambiente a través de la chimenea del incinerador, entre ellos, metales tóxicos contenidos en algunos de los constituyentes de los desperdicios en la corriente médica. Hace unos años la operación del incinerador de DBR de Biocelsius cesó. No obstante la compañía continuó procesando DBR en sus instalaciones. Las operaciones de Biocelsius cesaron de manera definitiva allá para abril de 2007, cuando la JCA ordenó el cese de recibo de desperdicios médicos por la compañía al percatarse de la aglomeración de estos, y de su posterior disposición sobre el terreno sin tratar al no poder ser procesados al mismo ritmo con que eran recibidos (Rodríguez-Burns, 2007). Finalmente, tras un incendio en el mes de marzo, y tras haberse acogido Biocelsius a la Ley de Quiebras, el Gobierno de Puerto Rico asignó más de dos millones de dólares del Fondo de Emergencias Ambientales para el recogido y procesamiento de los DBR sin tratar por otra compañía dedicada a estos menesteres: la compañía Western Medical. El día 4 de septiembre de 2007 se comenzó el recogido de los DBR y se estimaba que podría tardar cuatro meses o más para completarse.

Marco conceptual

La contaminación de los suelos por metales

La contaminación de los suelos con metales pesados como Hg, Pb y otros es un problema tomado muy en serio por la comunidad científica y que ha llamado la atención de agencias reguladoras (Feng et al., 2007). Por ejemplo, Belluck y sus colaboradores en los Estados Unidos (Belluck et al., 2003) realizaron un estudio integrador de datos sobre liberación de arsénico a suelos, toxicología, y exposición a la sustancia. Por su parte, Segura-Muñoz y sus colaboradores en Brasil realizaron, a nuestro juicio, un brillante estudio acerca de las concentraciones de metales en suelos en la vecindad de un SRS en el que operó una planta, hoy desactivada, de incineración de DBR (Segura et al., 2004). Mientras, en Serbia y Montenegro, Milenkovic y sus colaboradores se dieron a la tarea de estudiar las concentraciones de metales pesados en sedimentos del Río Danubio como resultado de la operación de una central hidroeléctrica (Milenkovic et al., 2005).

Los metales pesados en suelos son de gran interés debido a que pueden ser transportados a los abastos de aguas subterráneas e incluso pueden ser absorbidos por diferentes cultivos agrícolas (Feng et al., 2007). Además, en ocasiones pueden ser arrastrados por erosión a cuerpos de aguas superficiales. Los metales pesados tienden a enlazarse a distintos tipos de suelos. Varios factores afectan el grado de enlace de estos a los suelos, entre ellos el tipo de suelo, especie metálica particular, pH, contenido de materia orgánica, humedad y duración del contacto suelo-metal (Feng et al., 2007). Weng y sus colaboradores mencionan varios mecanismos de inmovilización de metales en suelos. Entre estos podemos mencionar adsorción, intercambio iónico, formación de complejos con sustancias húmicas, y reacciones de precipitación (Weng et al., 2002).

Algunos estudios indican incluso que la disponibilidad de los metales en suelos para algunas plantas varía según el tipo de suelo, aún para la misma concentración total del metal (Naidu et al., 2003). De cualquier forma, vemos como tanto la concentración total de los metales en suelos, como las distintas características físico-químicas de estos, afectan el grado de inmovilización de los metales en la matriz de los suelos, y por lo tanto, su disponibilidad tanto para ser utilizados e incorporados en plantas, como para ser arrastrados por escorrentías a los cuerpos de agua superficiales.

En el caso de suelos en áreas urbanas limítrofes a áreas donde se llevan a cabo algunos tipos de actividades industriales, no sólo existe el riesgo por exposición a metales pesados en aguas superficiales debido a erosión de los suelos. Otro riesgo que se plantea en ocasiones es el asociado a la ingestión oral de sedimentos y a la inhalación de polvo procedente de los suelos. Esto es de especial importancia en el caso de los niños, sobre todo los de menor edad, los cuales juegan en muchas ocasiones sobre el terreno teniendo como consecuencia la ingestión involuntaria de sedimentos y la inhalación de polvo. En algunos casos esto puede ser alarmante. Por ejemplo, el Departamento de Salud de Queensland estima que el 90% de la absorción de arsénico por niños, desde suelos contaminados con este metal, se debe a ingestión (Belluck et al., 2003).

Existen varias fuentes antropogénicas de metales pesados en suelos. Entre ellas podemos mencionar actividades industriales como la minería, la agricultura, algunos procesos industriales como la manufactura, y algunas prácticas de manejo de desperdicios sólidos tales como la incineración (Segura-Muñoz et al., 2004). En algunos casos la disposición final de desperdicios en SRS puede liberar metales al ambiente. Un ejemplo

es el elemento mercurio, el cual puede ser liberado al ambiente aún desde SRS en forma de vapores (Lindberg et al., 2005).

La incineración de desperdicios biomédicos es otra fuente de emisiones atmosféricas de metales pesados (Segura-Muñoz et al, 2004, Brigden et al., 2000). Para poder analizar de manera responsable de dónde provienen y cómo son liberados al ambiente los metales pesados de la llamada “corriente biomédica” de desperdicios, primeramente veamos en general qué son los desperdicios biomédicos.

¿Qué son los desperdicios médicos o desperdicios biomédicos?

La Ley de Rastreo de Desperdicios Médicos de 1988 define el término *desperdicio médico* como “*cualquier desperdicio sólido generado en el proceso de diagnóstico, tratamiento o inmunización de seres humanos o animales, en la investigación asociada a estos procesos, o en la producción o prueba de dispositivos o agentes biológicos*” (EPA, 2007d). De la propia definición legal del término, no es difícil darse cuenta del por qué se utilizan casi indistintamente los términos *desperdicios médicos* o *desperdicios biomédicos*, toda vez que incluye, no sólo desperdicios generados en la diagnóstico, tratamiento, o inmunización de seres humanos o animales si no también otros agentes biológicos en general. Esto se confirma cuando la propia EPA asegura que la definición también incluye placas y cristalería para cultivos, cultivos, e hisopos para inocular cultivos (EPA, 2007d). En general, los desperdicios médicos constituyen una pequeña porción de la totalidad de los desperdicios sólidos municipales (OTA, 1990). Incluyen todo tipo de desperdicios sólidos generados en las siguientes facilidades:

- Hospitales;

- Laboratorios clínicos;
- Consultorios médicos;
- Clínicas veterinarias;
- Funerarias y
- Otras facilidades médicas y de investigación.

Notamos el hecho de que de acuerdo a esta última categoría, se incluyen también algunos desperdicios sólidos generados en universidades y otros centros docentes, donde se lleva a cabo investigación con animales de laboratorio, como por ejemplo en ciertos estudios toxicológicos.

Generalmente los desperdicios médicos corresponden a una de cuatro categorías: 1) infecciosos, 2) peligrosos, 3) radiactivos, y 4) otros residuos generales procedentes de la industria de la salud y facilidades médicas (EPA, 2007d).

Constituyentes de los desperdicios biomédicos

Entre los desperdicios biomédicos podemos encontrar sangre desechada y sus derivados, gasas y otros materiales absorbentes impregnados con sangre húmeda o seca, recipientes usados con sangre o utilizados en análisis de laboratorio o en el desarrollo de fármacos, bolsas intravenosas, desechos patológicos como tejidos, vísceras y fluidos corporales removidos mediante procedimientos quirúrgicos en seres humanos o animales o en el embalsamamiento de cuerpos, muestras de fluidos corporales, fluidos para embalsamar, cultivos y cepas de agentes infecciosos y productos biológicos patológicos y otros asociados, mecanismos y artefactos para transferir, inocular, y mezclar cultivos y cepas, vacunas vivas y/o atenuadas, cultivos y cepas de agentes infecciosos de

laboratorios de investigación, objetos punzantes y/o cortantes como agujas hipodérmicas, agujas de sutura, bisturís, pipetas y otra cristalería, solventes y otros compuestos orgánicos utilizados en el laboratorio y ciertos desperdicios de aislamiento (OTA, 1990, EPA, 2007e, Rutala & Mayhall, 1992). En ocasiones pueden contener también algún tipo de sustancia radiactiva utilizada en investigación, en el tratamiento o diagnóstico de enfermedades, o en algún otro procedimiento hospitalario (EPA, 2007d).

En la categoría de infecciosos, de acuerdo a la definición adoptada por la EPA (EPA, 2007d), podemos encontrar sangre y sus derivados, algunos cultivos y cepas de agentes patogénicos, algunos desperdicios de aislamiento los cuales son desperdicios asociados con animales o seres humanos infectados con enfermedades altamente contagiosas, agujas hipodérmicas contaminadas y algunos desperdicios patológicos como tejidos y órganos humanos (OTA, 1990). En la categoría de desperdicios peligrosos pueden hallarse metales tóxicos, desperdicios contaminados con agentes patogénicos, solventes y químicos citotóxicos. Estos últimos son fármacos utilizados en quimioterapia, de los cuales en el año 1990 siete estaban incluidos en la “lista U” bajo la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos, (RCRA), (OTA, 1990). En la categoría de radiactivos se encuentran sustancias radiactivas de bajo nivel de radiación las cuales son generadas por la administración de radiofármacos, la práctica de medicina nuclear, y procedimientos de radio-inmunología (OTA, 1990). Generalmente estas sustancias tienen una vida media muy baja y se desintegran en no más de ocho días. En algunos casos sólo algunas horas (OTA, 1990). En último lugar tenemos aquellos desperdicios generados en la industria médica y asociada a la salud los cuales no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores. Se pueden encontrar aquí papel, envases y bolsas plásticas, cartón,

interruptores eléctricos, ciertos artefactos médicos como termómetros y esfingomanómetros, baterías médicas, lámparas y bombillas fluorescentes entre otros.

¿Qué riesgos plantean los desperdicios biomédicos?

Los desperdicios biomédicos plantean varios tipos de riesgo. Una clasificación conveniente puede ser efectuada en base a los constituyentes presentes en estos, o lo que es lo mismo, de acuerdo a las características biológicas y químicas de los desperdicios. De acuerdo a esta clasificación se distinguen dos tipos de riesgos: 1) la exposición a agentes infecciosos o patológicos presentes, y 2) la toxicidad de los contaminantes químicos presentes o que pueden ser generados por los desperdicios. Es importante mencionar que precisamente los riesgos a la salud que presentan estos desperdicios es el factor que lleva a que sean clasificados como infecciosos y/o regulados, y a que se les requiera una disposición y tratamiento adecuados según la Oficina del Congreso para el Avalúo Tecnológico (OTA por sus siglas en inglés) (OTA, 1990). Durante el tiempo que estuvo vigente la Ley de Rastreo de Desperdicios Médicos (MWTA, 1988) y sus correspondientes regulaciones (40 CFR 259), la ley se ocupó únicamente de aquellos desperdicios médicos clasificados como infecciosos, aquellos potencialmente infecciosos, y algunos otros clasificados como de especial cuidado en su manejo y disposición (OTA, 1990). Estos últimos desperdicios médicos a los que hacemos referencia se conocen en Puerto Rico hoy día como desperdicios biomédicos regulados (DBR). Son en principio, un subconjunto dentro de la totalidad de los desperdicios médicos, el cual se caracteriza por su alto riesgo potencial para transmitir una enfermedad infecciosa. También se les conoce como desperdicios infecciosos y se definen como *“aquellos desperdicios que*

contienen patógenos con suficiente virulencia y en suficiente cantidad de manera que la exposición al desperdicio de un individuo susceptible pueda resultar en una enfermedad infecciosa” (EPA, 2007d). Según Rutala & Mayhall, (Rutala & Mayhall, 1992) el Congreso y la EPA prefirieron el término desperdicio médico regulado (*regulated medical waste*) pensando en la posibilidad remota de que pudiesen transmitir alguna enfermedad infecciosa.

Además de todo esto, y como veremos más adelante, algunos riesgos a la salud pública y el ambiente que plantean los desperdicios biomédicos, no proceden únicamente de las características químicas y/o biológicas de los desperdicios, si no más bien de su disposición y/o tratamiento previos a su disposición final. Tal es el caso del método que discutiremos en este momento de tratamiento por incineración.

Incineración de desperdicios médicos

La incineración de desperdicios sólidos, incluyendo la incineración de DBR genera una gran cantidad de contaminantes atmosféricos. Ente estos se encuentran hidrocarburos aromáticos y alifáticos (Brigden et al., 2000), dioxinas, óxidos de azufre y de nitrógeno (Alvin Ferraz & Alonso, 2003), y metales pesados (Segura-Muñoz et al., 2004, Brigden et al., 2000). Muchos de estos contaminantes son extremadamente nocivos a la salud. Dioxinas es un nombre genérico que describe un grupo de compuestos químicamente similares, 75 dibenzo-dioxinas clorinadas y 135 dibenzo-furanos clorinados. Diecisiete de estos compuestos han sido clasificados como carcinógenos por la Agencia Internacional de Investigación Contra el Cáncer (Alvin Ferraz & Alonso, 2003). En el caso de los metales pesados su toxicidad depende en gran manera de la

forma en que el público está expuesto a ellos. Un gran foco de exposición son aguas superficiales contaminadas debido a 1) el arrastre del agua de lluvia de material particulado que los contiene en la atmósfera y 2) la erosión de los suelos por escorrentías. En el caso específico de mercurio, este se vaporiza fácilmente siendo al final depositado en sedimentos de ríos y otros cuerpos de agua donde finalmente se transforma en su forma más tóxica, metilmercurio. Según la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) este compuesto tóxico se acumula en los tejidos de los peces (WHO, 2005), pudiendo ser ingerido finalmente por los seres humanos.

No obstante, los procesos de incineración de DBR de por sí solos no representan grandes riesgos a la salud y al ambiente cuando son operados de acuerdo a las regulaciones vigentes aplicables. Un incinerador operado de manera apropiada reduce la masa de los desperdicios en un 90% (Alvin Ferraz & Alonso, 2003). Quizá esta sea, a nuestro juicio, una de las principales razones por la que el Sr. Alvin Ferraz nos asegure que la incineración, junto a la disposición de cenizas en SRS, sigue siendo el principal método de manejo de desperdicios médicos. El principal problema con la incineración de DBR, desde el punto de vista de los contaminantes emitidos a la atmósfera, tiene que ver más bien con el tipo de desperdicios incinerados y con las prácticas establecidas de segregación. En el caso específico de las dioxinas, este hecho ha sido científicamente demostrado. En un brillante experimento, el Sr. Alvin Ferraz y sus colaboradores demostraron claramente la dependencia entre factores de emisión de dioxinas para la incineración de desperdicios médicos, y el tipo y clasificación de desperdicios así como también la metodología de manejo y prácticas de segregación (Alvin Ferraz & Alonso, 2003). En el caso específico de los metales pesados, como veremos más adelante, el

principal problema de la incineración de DBR tiene que ver con la incineración de materiales que los contienen los cuales son utilizados en la industria médica de diversas formas, y con los riesgos a la salud y el ambiente de estos metales y sus compuestos al ser liberados. Consideremos ahora algunos materiales comunes en los desperdicios biomédicos que contienen mercurio y plomo, y algunos de los riesgos asociados a estos metales y sus compuestos.

Mercurio

Usos en la industria médica

Según datos de la Organización Mundial de la Salud, una de las principales fuentes de mercurio en la atmósfera es la industria médica. Esto precisamente debido a las emisiones provenientes de incineradores de DBR (WHO, 2005). El elemento mercurio es utilizado en muchas formas en la industria médica. Por ejemplo, un preservativo comúnmente utilizado que contiene mercurio, Timerosal, es utilizado en vacunas. Además, según reporta el Departamento de Protección Ambiental del Estado de la Florida (FDEP por sus siglas en inglés), el mercurio es utilizado en productos para el cuidado de los ojos y en distintos reactivos de laboratorio (FDEP, 1999). También se halla en amalgamas dentales, las cuales están constituidas por mercurio (45-55%) y aleaciones de metales, termómetros, y esfingomanómetros, siendo estos últimos la mayor fuente de mercurio entre todos los instrumentos de medición que lo contienen (WHO, 2005). Otro uso del mercurio es en la manufactura de baterías médicas (EPA, 2007a). Además, según la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), el vapor de mercurio es utilizado en lámparas de tubo

de descarga, mientras que el mercurio metálico es utilizado también en interruptores eléctricos y termostatos (ATSDR, 1999).

Rutas de exposición a la sustancia

La mayor parte del mercurio en el ambiente se encuentra en la forma de mercurio metálico y compuestos inorgánicos (ATSDR, 1999). Estos entran al ambiente desde minas de minerales que los contienen, emisiones de plantas generatrices impulsadas por carbón, procesos de producción de cemento, emisiones de fábricas que utilizan mercurio, y la incineración de desperdicios municipales (ATSDR, 1999). Según reporta la Comisión Europea (EC por sus siglas en inglés), estas últimas rutas de entrada al medio ambiente son muy importantes en el caso de mercurio, debido a la dificultad extrema para retenerlo aún con la aplicación de nuevas tecnologías (EC, 2002). Su presencia atmosférica es una altamente generalizada debido a la alta volatilidad, tanto del elemento metálico como de sus compuestos organomercúricos los cuales son sintetizados por diversos microorganismos (Emsley, 2003).

Las rutas de exposición más comunes a los seres humanos son la respiración de aire contaminado, la ingestión de agua contaminada, la ingestión de comida contaminada como por ejemplo pescado, y por contacto dermal (ATSDR, 1999). Una ruta de exposición al feto es a través de la placenta de la madre, ya que el mercurio elemental y sus compuestos se transportan a través de ésta (Emsley, 2003). Es importante mencionar que la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) reconoce que un grupo particular de individuos con alto riesgo de exposición al mercurio es precisamente el constituido por personas que viven en los alrededores de instalaciones

industriales que emiten la sustancia, como por ejemplo incineradores de desperdicios médicos (ATSDR, 1999).

Como mencionáramos con anterioridad otra vía de exposición, a nuestro juicio muy importante, es la ingestión oral de suelo y a la inhalación de polvo procedente de estos. Esto es de especial importancia en el caso de niños pequeños los cuales juegan en muchas ocasiones sobre terrenos sin cobertura de plantas. Este hecho ha sido reconocido por las autoridades. En el caso de ATSDR, la agencia ha reportado que los niños constituyen un grupo especial de riesgo de exposición en altas concentraciones debido a su tendencia a ingerir suelo y polvo durante sus actividades diarias (ATSDR, 1992). La ingestión de sedimentos en suelos ha sido reconocida como ruta de exposición al arsénico en suelos (Belluck et al., 2003), llegándose a estimar por el Departamento de Salud de Queensland que el 90% de la absorción de arsénico de suelos contaminados con este metal se debe a ingestión (Belluck et al., 2003). Nos parece obvio entonces que, en términos generales, la contaminación de suelos con cualquier metal pesado constituya una ruta de exposición significativa para ellos en niños, toda vez que la ingestión involuntaria de suelos no hace distinción entre contaminantes constituyentes.

El mercurio no tiene ningún rol biológico conocido. No obstante el elemento mercurio está presente en todos los organismos vivos (Emsley, 2003). En el cuerpo humano se encuentra en una cantidad total promedio de 6 miligramos (Emsley, 2003). El vapor de mercurio se convierte eventualmente en otras formas del compuesto pudiendo finalmente ser depositado en suelos y ríos. Algunos microorganismos convierten el mercurio metálico en metilmercurio (ATSDR, 1999). En esta forma se deposita

usualmente en sedimentos de ríos pero puede entrar a la cadena alimentaria vía ingestión de pescado ya que se acumula en los tejidos de los peces (WHO, 2005).

Efectos toxicológicos

Es importante mencionar que todos los compuestos del mercurio son tóxicos a los seres humanos, especialmente metilmercurio (Emsley, 2003). Grandes cantidades de metilmercurio en forma gaseosa pueden ser fatales al ser inhaladas, pudiendo llegar a ser peligrosas si son absorbidas por la piel. Se estima que el 80% del vapor de mercurio inhalado es absorbido en la sangre a través de los pulmones (WHO, 2005). Puede causar daño a los sistemas digestivo, respiratorio, nervioso, inmunológico, a los riñones, y a los pulmones (WHO, 2005). Algunos efectos adversos a la salud por exposición a mercurio son temblores, inestabilidad emocional, afecciones visuales y auditivas, parálisis, insomnio y deficiencias en el desarrollo del feto. La Organización Mundial de la Salud ha declarado que estudios sugieren que no existe una cantidad umbral para la sustancia por debajo de la cual no existan efectos adversos a la salud de los seres humanos (WHO, 2005).

El mercurio posee una gran afinidad por los átomos de azufre de algunos aminoácidos que lo contienen. Esto ocasiona que en el caso de enzimas que contienen estos aminoácidos, estas puedan ser inactivadas cuando el mercurio se une a los átomos de azufre (Emsley, 2003). Un ejemplo particular y de gran importancia es el caso del sistema Na^+/K^+ y la enzima ATP-asa el cual es esencial para el buen funcionamiento del sistema nervioso humano. Este sistema es uno altamente sensitivo al mercurio (Emsley,

2003). Esto se refleja en algunos síntomas característicos de envenenamiento por mercurio, como por ejemplo temblores y disturbios mentales (Emsley, 2003).

Por último pero no menos importante, el mercurio produce otros efectos adversos al ambiente, especialmente a la fauna. Tanto el metilmercurio como el mercurio inorgánico son sumamente tóxicos a aves y mamíferos en general. Algunos experimentos han demostrado que los órganos más sensitivos en estos animales son el sistema nervioso y el riñón (EC, 2002). También se han demostrado defectos reproductivos, daño al hígado y reducción significativa en la absorción intestinal para concentraciones entre 25-60 mg/Kg de masa seca. Otros efectos adversos incluyen daños a las funciones cardiovascular y enzimática, y también daños en la respuesta inmunológica (EC, 2002).

En el caso de organismos acuáticos, estos son más afectados por las formas orgánicas de la sustancia tales como metil y dimetilmercurio (EC, 2002). Altas concentraciones de formas inorgánicas también afectan adversamente a algunas algas. En invertebrados acuáticos también se han documentado defectos reproductivos por la exposición a la sustancia.

El mercurio también es tóxico a los microorganismos. Esta característica es responsable de que haya sido utilizado como fungicida en ocasiones (EC, 2002). Esta toxicidad en microorganismos revierte especial importancia para el equilibrio en algunos ecosistemas, toda vez que la actividad de muchos microorganismos en suelos es vital para los ciclos de carbono y otros nutrientes en suelos, los cuales constituyen el fundamento para la cadena alimentaria.

En el caso de las plantas la situación es mucho menos severa que en los organismos antes mencionados, habiendo llegado a ser catalogadas como insensitivas a la sustancia. No obstante, se han documentado algunos efectos menores (EC, 2002).

Plomo

Usos en la industria médica

Aunque a diferencia del mercurio, el plomo no tiene un uso directo en la industria médica, si puede aparecer de manera indirecta con otros desperdicios médicos y/o hospitalarios (OTA, 1990). Esto porque en la práctica, materiales que lo contienen pueden llegar a ser incinerados al no ser segregados de los desperdicios médicos regulados (EC, 2002), o simplemente porque en ocasiones la segregación puede resultar impráctica. Puede ser hallado junto a desperdicios médicos en baterías, plásticos y algunos tipos de soldadura (ATSDR, 2007). Se dice que la principal fuente de plomo en desperdicios médicos son los plásticos. Esto porque el plomo, junto al cadmio, son utilizados en estos como pigmentos y foto estabilizadores (OTA, 1990). Además es utilizado en tubos de rayos catódicos y algunas cerámicas (EC, 2002). En computadoras y pantallas de televisión es utilizado para proteger al usuario contra la radiación. Además es utilizado todavía en la forma de acetato de plomo, como el ingrediente activo de algunas gelatinas para oscurecer el cabello en los hombres (Emsley, 2003).

Rutas de exposición a la sustancia

La mayor parte del plomo en la atmósfera procede de las diferentes actividades humanas. El elemento está presente en la atmósfera en forma de partículas las cuales se

depositan finalmente en suelos debido al arrastre del agua de lluvia e incluso a la gravitación (ATSDR, 2007). La agencia citada destaca el hecho de que en el caso de plomo, los suelos y sedimentos, de manera específica, constituyen un sumidero para la sustancia. Esto debido al hecho de que la sustancia es adsorbida fuertemente en los minerales constituyentes de estos (ATSDR, 2007). Esto causa que generalmente el plomo sea retenido en las capas superiores de los suelos y no se difunda o lixivie apreciablemente a las capas de suelo más profundas afectando así aguas subterráneas (ATSDR, 2007). No obstante, a pesar de que mayormente es un metal enlazado al material particulado y con movilidad relativamente baja, no se acumula biológicamente en términos generales, razón por la cual su concentración no se incrementa en la cadena alimentaria (EC, 2002). El plomo orgánico es mucho más tóxico que sus formas inorgánicas, aunque su fuente principal la cual es gasolina con plomo, ha sido prohibida en algunas naciones como veremos más adelante (EC, 2002).

Las fuentes antropogénicas de plomo incluyen entre otras la minería, manufactura de productos de plomo, combustión de petróleo y carbón, y por último la incineración de desperdicios sólidos (ATSDR, 2007). En los Estados Unidos y otros países algunas fuentes antropogénicas que existieron en el pasado como lo es el uso de tetraetilo de plomo como aditivo de la gasolina, y su uso en pinturas y soldaduras de latas, han sido prohibidos del todo o estrictamente regulados (Emsley, 2003; ATSDR, 2007). En la Unión Europea, el uso de gasolina con plomo también ha sido prohibido (EC, 2002). No obstante, los efectos de este uso indiscriminado de la sustancia en el pasado pueden ser significativos debido a la acumulación de la sustancia en el ambiente (ATSDR, 2007).

Las principales vías de exposición son la respiración de aire contaminado, la ingestión de alimentos y agua contaminados con plomo, y la ingestión de suelos y polvo procedente de estos (ATSDR, 2007). El plomo en material particulado atmosférico puede contribuir de manera significativa a la exposición ocupacional y a la de individuos fumadores (EC, 2002).

La ingestión de agua contaminada puede ser significativa para comunidades en las cuales su sistema de agua potable es susceptible a corrosión en tuberías caseras (AAA, 2006). Esto debido a que antiguamente se utilizaba el plomo como soldadura en algunas tuberías de agua. En algunos casos, según nos reporta la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA) en su *Informe de Calidad de Agua* del año 2006, la erosión de depósitos que lo contienen puede ser significativa, ya que es una de dos fuentes citadas por la entidad gubernamental como origen del contaminante en el agua potable (AAA, 2006).

En cuanto a la ingestión del plomo en la cadena alimentaria, el metal hace su entrada a través de alimentos que lo contienen, aunque se cree que esta contribución es una muy baja para causar envenenamiento por la sustancia (Emsley, 2003). Se estima que alrededor de 1 miligramo de plomo es ingerido en promedio por los seres humanos diariamente (Emsley, 2003). Algunos vegetales como el maíz, tomates, y pepinos, lo contienen en concentraciones relativamente bajas (2 – 24 ppb). No obstante, se ha reportado que lechugas cultivadas en suelos cercanos a una planta procesadora de plomo lo han llegado a incorporar hasta alcanzar una concentración de 3,000 ppb, cifra que aún se considera baja como para causar daño significativo (Emsley, 2003).

La ingestión de suelos y polvo procedente de estos constituye una vía de exposición muy importante especialmente en el caso de los niños. Esto debido a las razones antes expuestas para otros metales (ATSDR, 1992; Belluck, 2003). La Comisión Europea también lo reconoce de esta forma, y asegura que este hecho es una de las principales preocupaciones de la población en términos generales (EC, 2002). Asegura la organización que las cantidades ingeridas dependerán de la edad, las características de conducta de los menores, y de la disponibilidad del plomo en los suelos. Algunos estimados para la exposición potencial de niños al polvo, los cuales incluyen ingestión por actividad común manos a boca, alcanzan 0.2g/día para niños entre 1-6 años. No obstante, la organización asegura que en algunos casos puede llegar a 5g/día (EC, 2002).

Se reconoce como un grupo con alto riesgo de exposición a las comunidades cercanas a instalaciones donde se producen, o se dispone de, productos que contienen plomo (ATSDR, 2007).

Efectos toxicológicos

El plomo produce una diversidad de efectos adversos en los seres humanos los cuales dependen en gran manera de la concentración y duración de la exposición (EC, 2002). Suelen ir desde la inhibición de ciertas enzimas hasta la muerte en el peor de los casos. Por razones metabólicas los niños son mucho más susceptibles a estos efectos en comparación a los adultos (EC, 2002). También son más susceptibles por su conducta, toda vez que suelen jugar al aire libre y por lo tanto están más expuestos al polvo de los suelos que pueden contenerlo.

Entre los efectos adversos más comunes se hallan algunos asociados al sistema nervioso central. El plomo es rápidamente absorbido hasta llegar al torrente sanguíneo y los tejidos blandos. Luego se acumula en los huesos, los cuales pueden servir como fuente endógena de la sustancia con el paso de los años, y liberarlo en alguna etapa de la vida de los individuos aunque no exista más exposición (EC, 2002).

Al ser absorbido en el torrente sanguíneo, el plomo se convierte en un inhibidor de las enzimas responsables de la producción de hemoglobina, lo cual resulta a su vez en un incremento en la concentración de la molécula precursora, ácido aminolauvulínico (ALA), la cual es la causante de muchos de los síntomas de envenenamiento por plomo (Emsley, 2003). A nivel molecular, la toxicidad del plomo surge de la formación de enlaces entre el elemento y los grupos sulfidrilo de algunas proteínas, especialmente la enzima ferroquelasa la cual interviene en la formación de la hemoglobina. Por esta razón uno de los síntomas más comunes asociados a la intoxicación por plomo es la aparición de anemia (McKee & McKee, 2003). Otros síntomas asociados al envenenamiento por plomo son anorexia, dolores musculares, debilidad general, dolores abdominales, infertilidad, y encefalopatía, afección de la corteza cerebral caracterizada por jaquecas, irritabilidad, insomnio, retardación mental, y en casos extremos alucinaciones y/o parálisis (McKee & McKee, 2003). En algunos casos puede presentarse nefritis y/o problemas renales con la de absorción de nutrientes (McKee & McKee, 2003). Entre los defectos reproductivos en varones se han reportado anomalías morfológicas y bajo conteo de espermatozoides (EC, 2002).

En cuanto a niños, los estudios epidemiológicos sugieren una relación entre altos niveles de plomo en la sangre y bajo coeficiente intelectual (EC, 2002).

En cuanto al impacto ambiental del plomo, es conocido el hecho de que las plantas no solamente lo toleran en concentraciones relativamente altas en los suelos, si no que en ocasiones ha parecido estimular su crecimiento (Emsley, 2002). El principal impacto ambiental del plomo en suelos es el producido a los microorganismos en estos, debido principalmente a la importancia de la actividad microbiana en los ciclos de nutrientes.

Vanadio

Usos del vanadio

El vanadio y sus compuestos son comúnmente utilizados en los Estados Unidos para fabricar aleaciones en la industria del acero. Estas aleaciones son luego utilizadas en la manufactura de piezas de automóviles, resortes, y cajas de bolas. 14% del consumo doméstico de vanadio es en la producción de aleaciones de ferrovanadio las cuales son de gran valor en la manufactura de propulsores de aviones tipo “jet” (ATSDR, 1992). Mientras, las aleaciones de titanio y vanadio sin hierro son también de gran valor en la manufactura de aviones supersónicos. Además, los catalizadores de vanadio se utilizan en varias reacciones de oxidación como la manufactura de anhídrido ftálico y ácido sulfúrico, y en la manufactura de pesticidas, tintes negros, y pigmentos para las industrias textil, de imprenta, y de cerámicas. También se utiliza en pequeñas cantidades como modificador de color en lámparas de vapor de mercurio, como agente secador en pinturas y barnices, inhibidores de corrosión en limpiadores de flujo de gases, y como ingrediente en agentes de revelado fotográfico (ATSDR, 1992). Es importante mencionar, a juzgar

por las fuentes consultadas, que el vanadio no tiene ningún uso directo en la industria médica.

Es importante mencionar que aunque no es del todo conocido su uso en el cuerpo humano, el vanadio es un elemento esencial en este. Se cree que su rol es uno regulador de las enzimas que gobiernan la manera en que el sodio opera en el cuerpo, aunque bien pudiera tener otras funciones (Emsley, 2003).

Además, también es esencial para otras especies. Por ejemplo, algunos microbios que convierten nitrógeno en el ión amonio necesitan vanadio (Emsley, 2003).

Rutas de exposición a la sustancia

Las fuentes naturales de vanadio atmosférico incluyen el polvo de los suelos, aerosoles marinos, y emisiones volcánicas. Las antropogénicas incluyen emisiones atmosféricas procedentes de procesos de manufactura, la quema de aceite residual y la de carbón (ATSDR, 1992).

Otra vía de exposición es la ingestión a través de los alimentos, ya que los niveles típicos se encuentran entre 0.01 y 0.1 ppm. Por ejemplo, el trigo lo contiene en 0.08 ppm, papas 0.02 ppm, mientras que el arroz lo puede tener hasta en 0.8 ppm y la lechuga hasta en 1 ppm. Algunas plantas que producen ácido linoléico como las de girasol lo pueden contener hasta en 50 ppm (Emsley, 2003).

Por último, algunas fuentes de emisiones de vanadio al agua incluyen deposiciones húmedas y secas, la erosión de los suelos, la lixiviación desde rocas y suelos, aguas residuales urbanas, fertilizantes, y lixiviación de cenizas y desperdicios de la preparación del carbón (ATSDR, 1992).

Efectos toxicológicos

El vanadio no está catalogado como una amenaza seria a la salud o el ambiente (Emsley, 2003). Se cree incluso que estimula el metabolismo. No obstante, se han reportado casos de irritación severa a los ojos y a la garganta por parte de trabajadores expuestos al pentóxido de vanadio (V_2O_5) (Emsley, 2003).

Manganeso

Usos del manganeso

El manganeso se utiliza principalmente en la forma de ferromanganeso para la producción de acero, al que le imparte dureza y fortaleza. Se utiliza para fabricar acero de carburo, acero inoxidable, y acero para altas temperaturas (ATSDR, 2000 b). Por otra parte el dióxido de manganeso es comúnmente utilizado en la producción de pilas secas, fósforos, pirotecnia, porcelanas, materiales enlazantes de vidrios, vidrio de amatista, y como precursor para otros compuestos de manganeso. Mientras, el cloruro de manganeso es utilizado como precursor de otros compuestos de manganeso, catalizador en la cloración de compuestos orgánicos, suplementos alimentarios para animales, y pilas secas (ATSDR, 2000 b). El sulfato de manganeso es utilizado primordialmente como fertilizante, y como suplemento alimentario para ganado. Se utiliza además en barnices, cerámicas y fungicidas. Por último el Permanganato de Potasio, debido a su fortaleza como agente oxidante, es utilizado como desinfectante, inhibidor del crecimiento de algas, para limpieza de metales, para teñidos, como blanqueador, y como preservativo para flores frescas y frutas (ATSDR, 2000 b). Además, este último es utilizado también en agua y en plantas de tratamiento de aguas con propósitos de purificación. En su forma

orgánica se encuentra mayormente como MMT, aditivo de la gasolina cuyo propósito es aumentar el nivel de octanaje, y el cual ha venido a reemplazar el uso de tetraetilo de plomo. Las fuentes consultadas no mencionan ningún uso directo del manganeso en la industria médica (ATSDR, 2000 b, Emsley, 2003), aunque durante la era victoriana fue utilizado en la forma de permanganato para hacer gárgaras con el propósito de combatir la halitosis, para el dolor de garganta, y como antiséptico y desodorizante (Emsley).

Además, nos dice el Dr. John Emsley que el manganeso es esencial para todas las especies, incluyendo a los seres humanos (Emsley, 2003). En estos últimos, aunque su rol no está dilucidado del todo, es necesario para el funcionamiento de varias enzimas. Se sabe que está implicado en el metabolismo de glucosa, en la acción de la vitamina B1, y que está asociado también al RNA (Emsley, 2003).

Disposición

Es importante mencionar que el manganeso está listado como una sustancia tóxica bajo la Sección 313 de la Ley EPCRA (*Emergency Planning and Community Right to Know Act*) y bajo el Título III de la Ley SARA (*Superfund Amendments and Reauthorization Act*). Por lo tanto, la disposición final de desperdicios que contienen manganeso está estrictamente controlada y reglamentada (ATSDR, 2000 b).

Por otra parte la disposición de compuestos de manganeso en al agua requiere un permiso de la EPA.

Rutas de exposición a la sustancia

El manganeso se encuentra naturalmente en suelos, agua y alimentos (ATSDR, 2000 b). En suelos específicamente, es uno de los metales más abundantes en la forma de óxidos e hidróxidos. En ocasiones los suelos pueden llegar a ser deficientes en el metal, razón por la cual el ganado que pasta en ellos puede llegar a padecer por su deficiencia (Emsley, 2003). De aquí la necesidad de que, en ocasiones, sea añadido en la forma de fertilizante, o como suplemento dietético para animales. Por otra parte, algunos suelos pueden llegar a tener niveles de manganeso tóxicos para algunas especies vegetales (Emsley, 2003). En general las plantas lo toleran en concentraciones relativamente altas, como en el caso de algunos pastos que pueden contenerlo en concentraciones de entre 17 hasta 300 ppm (Emsley, 2003). Su valor promedio en suelos es aproximadamente 400 ppm, con un campo de valores de concentraciones entre 7 hasta más de 9,000 p.p.m. (Emsley, 2003)

El manganeso es un constituyente normal del cuerpo humano y su mayor y más importante ruta de exposición para la población es a través de la ingestión de alimentos que lo contienen. El valor promedio de ingestión a través de estos es de 1-5 mg/día (ATSDR, 2000 b). La leche es algo baja en manganeso aunque otros alimentos son una buena fuente del metal. Entre estos últimos se encuentran los cereales y nueces, semillas de girasol, cocos, maní, almendras, nueces de Brasil, “blueberries”, aceitunas, aguacates, maíz, trigo, avena, arroz, y té (Emsley, 2003).

Por último, las fuentes de emisión de manganeso al ambiente incluyen algunos procesos naturales, además de la quema de combustibles fósiles, la incineración de desperdicios, y la producción de cemento (ATSDR, 2000 b).

Efectos toxicológicos

La exposición al polvo y/o vapores de manganeso es una amenaza a la salud. Se han documentado casos de trabajadores expuestos a los vapores del manganeso caliente, los cuales han padecido de la llamada “fiebre del vapor” (Emsley, 2003). Sus síntomas son fatiga, anorexia y disfunción eréctil. Mineros expuestos han experimentado la llamada “locura del manganeso”, cuyos síntomas son risa o llanto involuntario, agresividad, desilusión y halucinaciones. Estos pueden confundirse con aquellos del *Mal de Parkinson*, aunque hoy día, la enfermedad es muy rara (Emsley, 2003).

Carbono orgánico total

El análisis químico de *carbono orgánico total* (TOC por sus siglas en inglés) para una muestra ambiental, ya sea de suelo o agua, es una medida de la cantidad de materia orgánica en la muestra (Prescott et al., 2005). En el caso de muestras ambientales esta determinación es muy común, toda vez que es uno de varios parámetros que al igual que los de demanda química de oxígeno, (COD por sus siglas en inglés), demanda bioquímica de oxígeno (BOD por sus siglas en inglés), pH, potencial de oxidación-reducción, análisis de metales, y composición química, se utilizan para medir la calidad de un lixiviado, por ejemplo el procedente de un SRS (Yoshida et al., 2002). También es muy común junto al BOD y COD para el análisis de calidad de aguas, ya sean potables o de desperdicios, toda vez que la información obtenida de todos estos análisis es complementaria (Prescott et al., 2005). El valor de TOC para una muestra es una medida del grado de contaminación por materia orgánica en la muestra; a mayor su valor, mayor contaminación por químicos orgánicos (Yoshida et al., 2002). Esto es de especial

importancia, toda vez que la materia orgánica en el agua junto a algunos compuestos inorgánicos como fosfatos y nitratos, promueve el crecimiento de microorganismos y plantas acuáticas contribuyendo así al proceso de eutroficación (Prescott et al., 2005).

El carbono orgánico total o TOC incluye todo el carbono en la muestra, sea o no utilizable por microorganismos (Prescott et al., 2005). Se determina mediante la oxidación de toda la materia orgánica en la muestra a altas temperaturas en una corriente de oxígeno, y la posterior determinación del CO₂ producido, ya sea por espectrometría infrarroja, o por métodos potenciométricos (Prescott et al., 2005).

Un ejemplo de la caracterización de lixiviados procedentes de SRS mediante el uso de este análisis, es el reportado por los investigadores liderados por Mitsuo Yoshida (Yoshida et al., 2002). En un estudio realizado por estos investigadores, se determinó la calidad de los lixiviados procedentes de un SRS clausurado en Henchir El Yahoudia, Túnez, utilizando varios parámetros como concentración de metales, BOD, pH, y TOC. Se colectaron muestras de lixiviados en ocho puntos del antiguo SRS. Los resultados de los análisis de estos investigadores en el SRS clausurado fueron luego comparados con aquellos para una muestra de agua en el lago Sebkhat utilizada como control o trasfondo. En el caso del carbono orgánico total (TOC) los valores obtenidos por los investigadores fueron desde 0.9 hasta 2.1 g/L, lo cual según ellos son valores usualmente obtenidos para SRS nuevos. El valor obtenido para la muestra de control en el lago Sebkhat fue de 0.171g/L. Los investigadores concluyeron, tras efectuar varios análisis cromatográficos complementarios al análisis de TOC, que existía en los lixiviados del SRS clausurado contaminación por varios grupos orgánicos (Yoshida et al., 2002).

Estudios de casos

Caso I: Contaminación por metales en suelos en la vecindad de un incinerador desactivado de DBR

En un importante estudio realizado en la ciudad de Ribeirao Preto, Brazil, el Señor S. I. Segura-Muñoz y sus colaboradores (Segura-Muñoz et al., 2004) se dieron a la tarea en el año 2003, de determinar las concentraciones de algunos metales pesados en suelos cercanos a un SRS en el que también operó un incinerador de DBR, hoy día desactivado. El SRS comenzó operaciones en el año 1989 junto a la planta incineradora, la cual se mantuvo activa hasta el mes de febrero del año 2002. La razón para su desactivación según los investigadores, se debió a que la planta se volvió algo anticuada con el paso del tiempo. El SRS junto a la antigua planta de incineración desactivada se encuentra, según los investigadores, en un área rodeada mayormente por terrenos agrícolas.

Un estudio previo del Señor Segura-Muñoz allá para el año 2000, en el cual se evaluaron concentraciones de metales hasta una distancia de 500 metros del mismo sistema combinado SRS/incinerador, reveló altas concentraciones para siete metales pesados. Esto al ser comparadas con las concentraciones para estos mismos siete metales procedentes de suelos en un área cercana especialmente protegida (Segura-Muñoz, 2002).

En su estudio del año 2004 el Sr. Segura-Muñoz y sus colaboradores determinaron las concentraciones de arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn), talio (Tl), y vanadio (V) para distintas distancias a lo largo de la dirección de los cuatro puntos cardinales, hasta 2km de distancia máxima. Estas fueron entonces comparadas con las concentraciones para estos mismos metales obtenidas de la Estación Ecológica del

Bosque Santa Teresa en Ribeirao Preto, un área especialmente protegida y preservada, que dista a unos ocho kilómetros del sistema bajo consideración. Estas muestras fueron utilizadas como grupo de control. Además, se compararon las concentraciones de metales obtenidas en este estudio, hasta donde fue apropiado, con las concentraciones obtenidas para los mismos metales del estudio anterior, previo a la desactivación del antiguo incinerador de DBR. Esto se hizo con el propósito de determinar si hubo o no algún grado de atenuación en los niveles de estos metales con el transcurso del tiempo debido a la desactivación del antiguo incinerador. Por último, los investigadores compararon las concentraciones de metales obtenidas con los estándares del Sistema de Clasificación de Suelos Contaminados de Londres (*Her Majesty's Stationery Office*) (HMSO, 1991), con el fin de determinar si existía o no contaminación, y también el grado de contaminación de los suelos estudiados, para alguno de los metales monitoreados.

Los resultados de las concentraciones de metales estudiados fueron, en términos generales, comparables a los resultados obtenidos por otros investigadores y comúnmente reportados en la literatura científica. No se encontraron concentraciones de metales significativamente superiores a las determinadas para el grupo control procedentes de los suelos en la Reserva Forestal Santa Teresa. La mayoría de los metales no mostraron niveles significativamente superiores a los umbrales determinados en el sistema de clasificación citado, salvo los niveles de Mn y V, correspondientes a una clasificación de “contaminados” y “ligeramente contaminados” respectivamente. Por último, al compararse los niveles obtenidos para el estudio del año 2003 con los niveles para iguales metales en el estudio del año 2000, se halló que los niveles de cadmio (Cd), cromo (Cr), manganeso (Mn), y plomo (Pb) habían disminuido significativamente para

el año 2003 en comparación con los niveles determinados en el año 2000. Debido a este resultado, los investigadores concluyeron que durante el transcurso de este período de tiempo había habido atenuación en los niveles de estos metales.

Caso II: Metales pesados y contaminantes orgánicos en las cenizas de un incinerador de DBR en la provincia de Buenos Aires, Argentina

En el año 2000 investigadores de la organización ambiental internacional Greenpeace llevaron a cabo un estudio para determinar algunos de los contaminantes constituyentes en las cenizas del incinerador de desperdicios médicos y peligrosos Trieco, en la provincia de Buenos Aires, Argentina (Brigden et al., 2000). Durante el mes de julio se colectaron dos muestras de cenizas procedentes del incinerador y guardadas en barriles en las instalaciones, una denominada AM0033 la cual no contenía ningún desperdicio médico visible, y la otra denominada AM0034 la cual sí contenía muestras visibles de desperdicios médicos. Junto a las muestras descritas también se tomó una muestra de sedimento de un canal de agua procedente de las cercanías del incinerador la cual se denominó AM0036.

Los investigadores determinaron que entre los desperdicios que estaba permitido incinerar, y para los cuales la compañía poseía un permiso de incineración, se hallaban compuestos de metales pesados como cromo, zinc, cadmio, mercurio y plomo, así como también una gran variedad de compuestos orgánicos. Estos últimos incluían compuestos clorinados y otros halogenados, con la excepción de los dibenzofuranos y las dibenzoparadioxinas clorinadas.

Los resultados de los análisis químicos realizados a las muestras de cenizas demostraron que estas contenían una gran variedad de metales tóxicos, y otros

potencialmente tóxicos. También se demostró que las concentraciones de los metales en las cenizas eran muy altas comparadas con concentraciones de metales en suelos utilizadas como referencia. Las dos muestras de cenizas también mostraron una gran cantidad de compuestos orgánicos, entre estos compuestos aromáticos como bencenos sustituidos con grupos alquilo y también compuestos alifáticos lineares. Se encontraron también compuestos alifáticos cíclicos en AM0034. No obstante, se encontró una mayor variedad de compuestos orgánicos en las cenizas de la muestra AM0034. De cualquier forma, la mayoría de los compuestos identificados en ambas muestras fueron hidrocarburos. Algunos de ellos fueron identificados como poli-aromáticos, los cuales fueron atribuidos por los investigadores a una combustión incompleta de sustancias orgánicas. No obstante los investigadores reconocieron que otras fuentes externas podían contribuir a la presencia de hidrocarburos y compuestos poli-aromáticos, tales como el tráfico vehicular, ya que los derivados del petróleo crudo los contienen y las cenizas no constituían un elemento aislado del ambiente.

En el caso de la muestra de sedimento AM0036 se halló que contenía una gran cantidad de metales pesados, y en concentraciones muy altas en comparación a concentraciones de referencia en suelos (Brigden et al., 2000). En el caso de los metales cadmio, mercurio y zinc las concentraciones determinadas fueron incluso mucho mayores a las determinadas en ambas muestras de cenizas del incinerador lo cual es indicativo, según los investigadores, de una posible acumulación de los metales en el suelo. En cuanto a los compuestos orgánicos se refiere, tanto la variedad de compuestos determinados, como las concentraciones de estos, resultaron similares a las determinadas en las muestras de cenizas, especialmente para la muestra AM0034 la cual mostraba

desperdicios médicos aún reconocibles. Esto es indicativo según los investigadores, no sólo de la dispersión de las cenizas si no también de la lixiviación generada de compuestos procedentes de estas cenizas (Brigden et al., 2000).

En conclusión, en vista a las altas concentraciones de los metales pesados determinadas en la muestra de sedimento AM0036, y en vista del arrastre de cenizas desde el área de almacenamiento, los investigadores concluyeron que las cenizas del incinerador constituían una fuente mayor de contaminación del área con metales pesados. Concluyeron además que el hecho de que las concentraciones de algunos metales fueran mayores en los sedimentos que las determinadas en las cenizas sugería una de dos procesos, la acumulación de metales lixiviados procedentes de las cenizas, o el acarreo selectivo de fracciones de ceniza con concentraciones más altas de estos metales. Por último, los investigadores concluyeron que era altamente probable el que una gran cantidad de contaminantes estuvieran siendo emitidos a través de las emisiones al aire procedentes de estas instalaciones.

Caso III: Prevención de mercurio en desperdicios médicos por sustitución de productos en el Condado de Broward

El Condado de Broward en el Estado de la Florida ha creado un programa de prevención de mercurio en incineradores y SRS. El programa está basado principalmente en la sustitución de baterías médicas que contienen el metal por baterías basadas en el elemento zinc (EPA, 2007a). Como parte de este esfuerzo, ha iniciado también un programa de reciclaje de baterías con electrodos de mercurio mediante el cual estas son devueltas al fabricante tras cumplirse su vida útil. De no poder ser recicladas,

simplemente son caracterizadas como desperdicios peligrosos, y llevadas como tales hasta instalaciones de procesamiento.

También se ha efectuado un inventario de todos los instrumentos médicos que contienen mercurio, además de una revisión de todos los procedimientos de limpieza de derrames accidentales de mercurio en instalaciones médicas y de termostatos e interruptores eléctricos usados. Mediante el estudio se determinó que el hospital promedio del condado descartaba entre 100 – 16,000 baterías médicas al año las cuales habían estado siendo dispuestas en contenedores regulares o de desperdicios bio-peligrosos (infecciosos) (EPA, 2007a).

Las autoridades del condado advirtieron al personal hospitalario, en sus visitas a las distintas instalaciones, acerca de la responsabilidad legal de las autoridades hospitalarias en cuanto al manejo adecuado de los desperdicios generados en sus instalaciones. Al cabo de un tiempo las autoridades del condado regresaron a las instalaciones hospitalarias a verificar el cumplimiento con el plan para la reducción de mercurio, y confirmar que el personal comprendía el propósito y alcance de todas las regulaciones estatales y federales al respecto (EPA, 2007a). Se volvió a enfatizar el hecho de que los desperdicios médicos que contenían mercurio ya no eran aceptables en instalaciones de recobro de recursos o en SRS.

Las autoridades hospitalarias del condado asintieron de manera muy gentil a los cambios propuestos. En muchos hospitales el curso de acción favorecido fue la sustitución de baterías de mercurio por baterías basadas en zinc. Las baterías que estaban en uso fueron devueltas a sus fabricantes o dispuestas como desperdicios peligrosos. Se estimó por las autoridades que cerca de 63,000 baterías de mercurio habían alcanzado su

entrada a la corriente de desperdicios del condado, lo cual equivalía a un total de 1,750 lbs. de mercurio depositadas anualmente, basado en el hecho de que la batería médica común de 8.4 voltios contiene una masa total de mercurio de 0.5 onzas (EPA, 2007a).

Al momento de la decisión de efectuar el cambio al uso de baterías de vapor de zinc, estas eran utilizadas comúnmente en monitores cardíacos telemétricos. La decisión se tomó a favor de estas debido a que se conoce de su mejor funcionamiento además de que duran más. No obstante, su desventaja mayor consistía en que son de mayor costo. Además poseen la segunda desventaja de que se descargan fácilmente cuando no están en uso. Luego de una evaluación de sus ventajas y desventajas, se llegó a la conclusión de que la segunda desventaja mencionada no era una significativa, ya que los monitores en hospitales están casi siempre en uso continuo (EPA, 2007a).

Al final, y luego de un estudio tomando en consideración no sólo los costos de las baterías de vapor de zinc, si no también el costo de manejar los desperdicios de mercurio, se llegó a la conclusión de que algunos hospitales obtendrían un ahorro neto de dinero al efectuar el cambio al uso de baterías de vapor de zinc. Este ejemplo pone de manifiesto un aspecto a nuestro juicio muy importante y significativo en cuanto al manejo de desperdicios sólidos se refiere. Y es a la relación entre el manejo eficiente de los desperdicios sólidos y la necesidad de inclusión de los aspectos y parámetros ambientales en cualquier análisis costo-beneficio al momento de tomar decisiones. En el caso citado, si las autoridades hospitalarias hubiesen tomado en consideración el costo de manejo de los desperdicios que contienen mercurio con antelación a la puesta en vigor del plan de reducción de la sustancia, hubiesen llegado probablemente a la misma decisión de optar por el uso de baterías médicas basadas en zinc. No obstante de una lectura simple de la

fuelle citada podemos inferir que previo al plan de reducci3n de mercurio las autoridades hospitalarias s3lo tomaban en consideraci3n el factor costo, esto a pesar del mejor funcionamiento de las bater3as de zinc (EPA, 2007a). Todo esto nos lleva a pensar de manera obligada que la 3nica raz3n por la cual no se inclu3a el factor costo de manejo de mercurio al tomar la decisi3n de utilizar bater3as basadas en la sustancia, es simplemente debido a que en t3rminos generales, las autoridades hospitalarias dispon3an de ellas, en la mayor3a de los casos, junto al resto de los desperdicios m3dicos hospitalarios tales como los infecciosos.

Marco legal

En general, la aprobaci3n de leyes ambientales y sus reglamentos asociados administrados por agencias reguladoras, tiene el prop3sito de salvaguardar la salud p3blica y el ambiente de los peligros que plantea el impacto de algunas actividades humanas, entre otras, la disposici3n de desperdicios s3lidos. En la presente discusi3n expondremos brevemente las leyes ambientales aplicables m3s importantes con respecto a los desperdicios m3dicos regulados y algunas de sus motivaciones.

Aunque en 3ltima instancia en Puerto Rico, el manejo de los desperdicios m3dicos est3 reglamentado por la JCA a trav3s del Reglamento de Desperdicios S3lidos no Peligrosos en su Cap3tulo V titulado Desperdicios Biom3dicos Regulados, s3lo lo discutiremos brevemente ya que m3s adelante, en nuestra discusi3n y an3lisis, expondremos y comentaremos algunas de sus disposiciones desde la perspectiva de las posibles violaciones a estas por la gerencia de Biocelsius.

Exposición sobre las leyes y reglamentos más importantes y sus motivaciones

En el año 1988 fue aprobada por el Congreso de los Estados Unidos la llamada Ley de Rastreo de Desperdicios Médicos (MWTAA, por sus siglas en inglés) como una enmienda a la Ley de Disposición de Desperdicios Sólidos de 1965 (EPA, 2007c). Esta ley entre otras cosas:

- 1) definió legalmente el término desperdicio médico,
- 2) declaró cuales desperdicios médicos debían estar sujetos a programas de regulación,
- 3) estableció un programa de rastreo desde la generación hasta su disposición final para los desperdicios regulados, imponiendo responsabilidad a los generadores,
- 4) estableció normas de segregación, empaque, rotulación y almacenamiento de los desperdicios médicos,
- 5) requirió el archivo de documentos relacionados a los desperdicios médicos y,
- 6) estableció penalidades por el mal manejo de estos a generadores y/o procesadores.

Como resultado de la aprobación de esta ley, en el año 1989, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) promulgó regulaciones. Inicialmente estas regulaciones se pusieron en efecto en cuatro estados de la nación, a saber: New York, New Jersey, Connecticut y Rhode Island. También se incluyó a Puerto Rico, que para efectos jurídicos es un estado de la nación. Durante un programa inicial de dos años de duración la EPA recopiló información acerca del manejo de los desperdicios biomédicos la cual sirvió de modelo para el desarrollo de programas

similares en otros estados de la nación y para agencias federales (EPA, 2007c). A estos estados y a Puerto Rico, para propósitos del programa, se les llamó estados cubiertos (EPA, 2007e). En el año 1990, se añadió el Subtítulo J a la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA, por sus siglas en inglés) el cual establece el Programa de Desperdicios Biomédicos a ser desarrollado por la EPA (Rohena, 2005).

Para el año 1991, la EPA sometió un informe al Congreso de los Estados Unidos acerca de los hallazgos de los referidos programas. Algunos de estos hallazgos fueron tan alarmantes que se requirieron reglamentos específicos de la EPA (Rohena, 2005). Estos estuvieron contenidos en el Título 40, Parte 259 del Código de Reglamentos Federales (40 CFR 259). Entre otras cosas establecieron requisitos que deben cumplir los generadores de desperdicios biomédicos, así como también los transportadores e instalaciones de procesamiento. Establecieron además requisitos a cumplirse en la destrucción y disposición de éstos (Rohena, 2005).

No obstante, el programa de demostración establecido en los estados cubiertos finalizó el día 22 de junio de 1991. Como consecuencia de esto, las provisiones en la Parte 259 (40 CFR 259) fueron removidas del CFR (EPA, 2007e).

La Sección 11009 de la ley MOWA también requería al Administrador de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) el preparar un reporte acerca de los efectos a la salud de los desperdicios médicos en un término de 24 meses (Lichtveld, 1992). Se requería que el reporte incluyera: 1) una descripción del riesgo potencial de infección o daño debido a la segregación, manejo, almacenamiento, tratamiento o disposición de los desperdicios médicos, 2) un estimado del número de personas receptoras de algún daño o infectadas por objetos punzantes, y la naturaleza y

seriedad de los daños, 3) un estimado del número de personas infectadas anualmente por otras causas relacionadas a la segregación, manejo, almacenamiento, tratamiento o disposición de los desperdicios y la naturaleza y seriedad de las infecciones, y 4) un estimado del por ciento de casos, en relación a todos los casos reportados en la nación, de infección con enfermedades como hepatitis B y SIDA, que pudiera ser atribuido a algún tipo de contaminación con desperdicios médicos (Lichtveld, 1992).

Las conclusiones del informe presentado al Congreso por ATSDR fueron muy importantes e incluso determinantes para algunos, de la acción adoptada por el Gobierno Federal más adelante con respecto a los desperdicios médicos (Boatright & Edwards, 1995). En términos generales los resultados de la investigación llevada a cabo por ATSDR demostraron que los desperdicios biomédicos representaban un riesgo muy bajo de infección con enfermedades como Hepatitis B y SIDA, especialmente para los individuos no asociados al manejo de los desperdicios médicos en hospitales y facilidades de salud (Boatright & Edwards, 1995).

Aunque algunos han catalogado la acción federal en relación a los desperdicios médicos como una lenta a partir de la aprobación y posterior caducidad de la ley MWTA y sus programas, algunos la justifican en base a los hallazgos del importante informe de ATSDR (Boatright & Edwards, 1995). Para una revisión de la metodología utilizada por ATSDR para recopilar información a nivel nacional para el mencionado informe, el lector interesado puede referirse al brillante artículo investigativo escrito por Maureen Y. Lichtveld y sus colaboradores (Lichtveld et al., 1992).

Al día de hoy, los desperdicios biomédicos son regulados mayormente a nivel de los estados y sus territorios. Se reconoce que la mayoría de los estados han establecido

mediante ley y reglamentaciones una jurisdicción activa en cuanto al manejo de los desperdicios médicos (EPA, 2007e, Boatright & Edwards, 1995)

En el año 1991, bajo la autoridad delegada por la EPA al Estado Libre Asociado de Puerto Rico para la adopción de un programa de desperdicios biomédicos, la Junta de Calidad Ambiental (JCA) promulgó su *Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Biomédicos* (JCA, 1991a). Todo esto gracias a enmiendas a la Ley 9 de 1970 sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico las cuales facultaron a la JCA a recibir tal delegación (Rohena, 2005). En diciembre del año 1997, el *Reglamento para el Manejo de Desperdicios Biomédicos* promulgado por la JCA en el año 1991 fue derogado. No obstante, el manejo de los desperdicios biomédicos en Puerto Rico sigue aún reglamentado por la JCA bajo autoridad delegada de la EPA, esta vez mediante la incorporación de todas las disposiciones relativas a estos desperdicios al *Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos no Peligrosos* aprobado en el año 1997, específicamente en su Capítulo V, bajo el título *Desperdicios Biomédicos Regulados* (DBR) (JCA, 1997 a).

Entre las disposiciones más importantes de este Capítulo V sobre Desperdicios Biomédicos Regulados se encuentran las siguientes:

- Regla 580 (b) - Define los desperdicios médicos a ser regulados por este capítulo;
- Regla 580 (c) – Exclusiones y excepciones. Declara qué tipos de desperdicios no son considerados como DBR, como por ejemplo, las cenizas de incineradores de DBR;

- Regla 581 – Establece normas para generadores tales como la solicitud de número de generador de DBR, la preparación de planes de manejo y administración de DBR en las instalaciones por los generadores. Que incluyan requisitos de segregación, identificación, almacenaje, tratamiento en el lugar de generación, y transportación;
- Regla 582 – Establece requisitos previos a la transportación de los DBR tales como rotulación, segregación, empaque, y reutilización de recipientes;
- Regla 584 – Establece normas para manejadores intermedios e instalaciones de disposición final tales como el requerimiento de permisos, procesos aceptados de tratamiento y/o destrucción de los DBR tales como incineradores y autoclaves;
- Regla 585 – Esta regla establece y requiere a generadores, transportadores, manejadores intermedios, e instalaciones de disposición final, un sistema de manifiestos para el rastreo de los desperdicios desde su origen hasta su disposición final, y
- Regla 586 – Esta regla hace compulsorio el mantenimiento de registros e informes.

Además de todo esto, en el caso específico de incineradores de desperdicios médicos, estos están sujetos a las disposiciones reglamentarias del *Reglamento de Control de la Contaminación Atmosférica (RCCA)* (JCA, 1995). Esto a tono a su vez y sujeto a las disposiciones de la Ley Federal de Aire Limpio (CAA por sus siglas en

inglés) y los estándares de emisiones atmosféricas promulgados por la EPA en cumplimiento a sus enmiendas (40 CFR Parte 62).

Algunas de las disposiciones reglamentarias más importantes del RCCA son las siguientes:

- Regla 102 – Define los términos más importantes como fuentes de emisión, contaminantes atmosféricos peligrosos, y contaminantes regulados;
- Regla 201 – Requiere la aprobación de la ubicación de una fuente de emisión previo a la otorgación de permisos;
- Regla 203 – Prohíbe construir o modificar una fuente de emisión sin haberse obtenido antes un permiso de la JCA;
- Regla 204 – Prohíbe la operación de una fuente de emisión sin la previa obtención de un permiso a tal efecto de la JCA;
- Regla 302 – Provee para la otorgación de dispensas de emergencia en circunstancias especiales;
- Regla 401 – Establece prohibiciones generales;
- Regla 402 – Prohíbe la quema a campo abierto;
- Regla 403 – Establece límites de opacidad para fuentes estacionarias y para vehículos de motor;
- Regla 405 (b) – Prohíbe la emisión de materia particulada en exceso de 0.40 libras por cada 100 libras de carga de desperdicios, y
- Regla 410 – Limita el contenido máximo de azufre permitido en combustibles.

Además, en el caso específico de Redondo Waste Systems haciendo negocios como Biocelsius, como consecuencia de estar sujeta a las disposiciones legales de dos reglamentos de la JCA, requería dos tipos de permisos distintos para la operación de su instalación para el procesamiento de desperdicios biomédicos en el Sector Industrial Plácido González de la Carretera 189 en Caguas. Un permiso para la operación de una planta de tratamiento de desperdicios biomédicos regulados, y otro permiso para la operación de una fuente mayor de emisiones atmosféricas, en su caso el incinerador de DBR.

Al momento de escribir este trabajo, abril del año de Nuestro Señor 2008, la jurisdicción de la JCA del Estado Libre Asociado de Puerto Rico sobre todo lo relacionado a la generación, manejo, tratamiento, transporte, y disposición de los desperdicios biomédicos regulados (DBR) procede, y tiene como fuente de derecho las siguientes leyes, disposiciones, y reglamentos:

- La Sección 19 del Artículo VI de la Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (1952), la cual declara como política pública la eficaz conservación de los recursos naturales;
- La Ley 9 de 1970 Sobre Política Pública Ambiental, la cual es ley orgánica de la JCA, según derogada y sustituida por la Ley 416 Sobre Política Pública Ambiental del año 2004, la cual faculta a la JCA a expedir “Órdenes de Hacer” y de “Cese y Desista”, a aprobar reglamentos en los asuntos bajo su jurisdicción, a imponer multas, y a recibir delegación de la EPA a nombre de los Estados Unidos de América ;

- La Sección 3.17 de la Ley 170 de Procedimiento Administrativo Uniforme, la cual faculta a la Agencia Administrativa o Reguladora (JCA) a usar procedimientos adjudicativos de emergencia en situaciones donde exista peligro inminente a la salud, bienestar, o seguridad públicas, o que requieran pronta acción de la agencia, y a la vez otorga jurisdicción al Honorable Tribunal de Primera Instancia a entender en asuntos relacionados a órdenes de la JCA y a emitir Órdenes en Auxilio de Jurisdicción a favor de esta;
- El Capítulo V del *Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos no Peligrosos* titulado *Desperdicios Biomédicos Regulados*, el cual regula todo lo relacionado a la generación, manejo, transporte, tratamiento, y disposición de este tipo de desperdicios;
- El *Reglamento de Control de Contaminación Atmosférica* de la JCA de Puerto Rico, el cual regula todo lo relacionado con las emisiones atmosféricas y normas establecidas para incineradores, y
- La autoridad delegada por el Administrador de la EPA a la JCA de Puerto Rico, según memorandos de entendimiento entre la agencia reguladora federal y el Honorable Gobernador de Puerto Rico.

Además, aunque al día de hoy la EPA no reglamenta los desperdicios médicos, sí los regula bajo el Subtítulo J de RCRA. La agencia también tiene jurisdicción limitada, y se reserva el derecho a actuar en aquellos asuntos en los cuales ocurra algún tipo de violación a alguna de las leyes federales vigentes administradas por la agencia. Todo esto debido a que, aunque no existe regulación federal directa sobre los desperdicios

biomédicos bajo RCRA, sí existen requerimientos federales a los desperdicios médicos bajo la Ley Federal de Aire Limpio (CAA), y bajo la Ley Federal de Insecticidas, Fungicidas y Rodenticidas (FIFRA) (EPA, 2007e). Por ejemplo, bajo la ley CAA la EPA emitió en el año 1997 nuevos estándares de emisión y funcionamiento para fuentes de emisiones atmosféricas tales como los incineradores (EPA, 2007e). En el caso de la ley FIFRA, los pesticidas anti-microorganismos y los agentes químicos utilizados en ciertos tipos de tecnologías de tratamiento para desinfección, deben ser registrados con la EPA.

Además, si los desperdicios médicos contienen algunas de las sustancias listadas bajo RCRA como extremadamente peligrosas en la llamada “lista U”, estos desperdicios no pueden ser dispuestos como no peligrosos en SRS u otros sistemas de disposición de desperdicios, ni pueden ser incinerados, salvo en el caso de que sus concentraciones sean trazas (OTA, 1990). En alguna violación a esta disposición la EPA puede asumir la jurisdicción que por ley posee.

Por último, la EPA puede intervenir si el estado no actúa conforme a las leyes y reglamentos locales, en este caso la Ley 416 sobre Política Pública Ambiental y el Capítulo V del Reglamento para el Control de Desperdicios Sólidos no Peligrosos, o en auxilio de jurisdicción en apoyo al estado en cualquier situación de emergencia que pueda surgir.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Área de estudio

Nuestra área de estudio está constituida por las instalaciones, y por terrenos en las inmediaciones a la antigua compañía Biocelsius en el Barrio Bairoa del Municipio Autónomo de Caguas. El área se extiende aproximadamente unos 740 metros hacia el norte de las instalaciones, y unos 260 metros en dirección aproximadamente 45 grados al norte del este. En el área, o cerca de esta, se hallan lotes industriales, algunos comercios, y varias urbanizaciones. Las antiguas instalaciones de Biocelsius están ubicadas en el Parque Industrial Plácido González, Carretera 189 de Caguas a Gurabo, km 2.5 interior, lote A-1. Ubica entre los paralelos $18^{\circ}14' 28.5''$ y $18^{\circ}14' 29.4''$ norte, y los meridianos $66^{\circ}00'48.6''$ y $66^{\circ}00' 47.7''$ oeste según fotografías del programa Google-Earth (Europa Technologies, 2008) (ver Figura 2).

A unos grados al oeste del norte, como a unos 100 metros de distancia, las instalaciones colindan con el cementerio municipal. Unos grados al este del sur, colindan con un taller de reparación de vehículos pesados. Por el lado oeste colindan con un taller de servicio automotriz. Hacia el noreste y al este discurre una quebrada muy cercana la cual es tributaria del Río Grande de Loíza, el cual en última instancia desemboca en el Lago Carraízo (ver Figura 2). Por el lado este, la quebrada dista como a unos 100 metros de distancia de las instalaciones, mientras que por el norte dista a una distancia aproximada de unos 160 metros en su punto más próximo. Hacia el sur se encuentran

entre otras, las urbanizaciones Santa Elvira, Villa María, Villa Las Mercedes, Caguax y Notre Dame (ver figura 3).

Descripción de la muestra

Las muestras estudiadas fueron mayormente suelos sustraídos de entre cinco a ocho centímetros de profundidad de los predios de terreno cercanos a Biocelsius en las direcciones norte junto a la quebrada, y unos 45 grados al norte del este de las instalaciones. Tomamos también dos muestras de suelo a la misma profundidad en las instalaciones de Biocelsius, justo en el lugar donde estuvieron depositados los DBR, dos muestras de agua estancada de una charca cercana a los DBR conteniendo lixiviado de estos, y una muestra de suelo junto a la charca señalada con lixiviados (ver Figura 1). Tomamos las muestras a esta profundidad ya que los metales, especialmente plomo, se encuentran mayormente en los primeros centímetros de suelo (ATSDR, 2007).

Período del estudio

El estudio fue realizado entre los meses de septiembre de 2007 y marzo del año 2008.

Fuentes de datos

A todas las muestras se les efectuaron análisis químicos por un laboratorio ambiental certificado los cuales fueron posteriormente analizados. Además, analizamos fotografías tomadas de las instalaciones de Biocelsius, tanto antes como después de la

remoción de los DBR y fotografías aéreas de la zona y otros datos extraídos u obtenidos del programa Google Earth ®.

Por último, analizamos otros datos secundarios como una resolución, un informe de una Oficial Examinadora, cartas a la gerencia de Biocelsius y órdenes, todos ellos de la JCA.

Objetivos

- 1) Evaluar las concentraciones de mercurio y plomo en suelos aledaños a las instalaciones de la compañía Biocelsius en la dirección norte, y de mercurio, plomo, vanadio y manganeso en suelos cercanos en la dirección noreste para determinar el impacto ambiental, si alguno, a este valioso recurso.**

Para lograr este objetivo tomamos cinco muestras de suelo junto a la quebrada, cada una por duplicado, a una profundidad aproximada de entre cinco a ocho centímetros de la superficie, a diferentes distancias de la antigua fuente de emisión en la dirección al norte de las instalaciones, y aproximadamente en línea recta. También tomamos dos muestras de suelo, también por duplicado, en la dirección aproximadamente 45 grados al norte del este de las instalaciones de Biocelsius (ver Figura 10). Luego, con el propósito de comparar, tomamos dos muestras de suelo junto a otro río, que fuesen de matriz similar de acuerdo a los mapas de suelos de Puerto Rico. Escogimos los suelos junto al Río La Plata en el Municipio de Cayey, muy cercanos al lugar en que el puente de la Carretera Estatal 1 atraviesa el río. También tomamos dos muestras de suelo de un área especialmente protegida de nuestra isla, en nuestro caso la Reserva Forestal Carite en el Barrio Guavate de Cayey. Estos últimos, aunque no son de matriz similar a los terrenos junto a la quebrada aledaña a Biocelsius, no tienen incineradores cercanos de acuerdo a

documentos provistos a nosotros por la JCA. Luego, todas las muestras fueron transportadas a un laboratorio ambiental certificado siguiendo la cadena de custodia establecida, para efectuar los correspondientes análisis químicos de niveles de los metales monitoreados. Se determinó si existe o no una variación en las concentraciones de metales para las distancias medidas, y también los promedios aritméticos de concentraciones de metales para las distintas distancias de la fuente. Por último se efectuaron dos comparaciones: en primer lugar una de las concentraciones de metales en terrenos aledaños al solar de Biocelsius con aquellas obtenidas para los suelos junto al Río La Plata, y en segundo lugar otra de las concentraciones de metales en terrenos aledaños a Biocelsius con los Índices Guía Kelly para Suelos Contaminados de la Sociedad para la Industria Química de Londres (SCI por sus siglas en inglés) (SCI, 1980).

- 2) Evaluar las concentraciones de mercurio, plomo, como y vanadio en muestras de agua estancada y suelos en terrenos de las instalaciones para determinar cuál de estos lixivió de manera apreciable desde los DBR vertidos en el suelo sin cubrir, y si existe alguna correlación entre lixiviación de los DBR y la concentración de estos metales en suelo.**

Para llevar a cabo este objetivo tomamos dos muestras del agua estancada de una charca cercana a los DBR. Una fue tomada en los días en que los DBR estaban siendo removidos por la compañía contratada para tratarlos y disponer finalmente de ellos, el 7 de noviembre de 2007. La segunda fue tomada tres meses y medio después, tras completarse la remoción de los DBR el día 30 de noviembre de 2007 según nos fue confirmado por la JCA, el día 23 de marzo de 2008. Las concentraciones de los metales seleccionados en ambas muestras fueron comparadas para determinar si había habido atenuación tras la remoción de los DBR. Cuando fue posible, los resultados de

las concentraciones de metales en el agua estancada fueron comparados con los *Estándares de calidad de Agua*, específicamente para aguas superficiales (JCA, 2003). También se tomaron dos muestras de suelo, una del lugar justo donde estuvieron depositados los DBR, y otra del suelo junto a la charca. Luego, las concentraciones de metales en la muestra de suelo junto a la charca fueron comparadas con las de la muestra de suelo del lugar donde estuvieron depositados los DBR. Las concentraciones de metales en esta última muestra fueron comparadas con los *Índices Guía Kelly para Suelos Contaminados* (SCI, 1980).

- 3) **Evaluar la concentración de materia orgánica en el agua estancada de la charca cercana a los DBR, para determinar si hubo o no lixiviación apreciable como resultado del vertido de estos sobre el terreno, y determinar cómo compara este valor con valores reportados en la literatura científica para lixiviados de SRS.**

Para llevar a cabo este objetivo ordenamos una determinación del Carbono Orgánico Total (TOC) a una de las muestras de agua estancada colectada el día 7 de noviembre de 2007. Luego, el valor obtenido de TOC fue comparado con los valores de lixiviados de siete puntos de muestreo para un SRS estudiado por Yoshida y sus colegas (Yoshida et al., 2002).

- 4) **Evaluar el impacto ambiental, si alguno, al suelo justo en donde estuvieron depositados los DBR para recomendar acciones correctivas si fuese necesario.**

Para llevar a cabo este objetivo se compararon las concentraciones de los metales monitoreados en los suelos bajo consideración con aquellas máximas consideradas como seguras y sugeridas por agencias como la EPA en guías como la *EPA'S National Guidelines for Lead Hazards in Dust, Soil and Paints: A Summary and Analysis* (EPA, 1994 a). También utilizamos los *Índices Guía Kelly para Suelos Contaminados* (SCI, 1980).

- 5) **Evaluar la variación con la distancia en las concentraciones de mercurio y plomo en las direcciones norte, y 45 grados al norte del este de las instalaciones de Biocelsius para establecer si en caso de uno de estos metales las instalaciones pueden ser consideradas como una fuente puntual de contaminación, y efectuar una comparación entre los niveles de mercurio, plomo, manganeso, y vanadio en esta última dirección con niveles en suelos donde no hay incineradores.**

Para llevar a cabo este objetivo determinamos las concentraciones de plomo y mercurio en suelos junto a la quebrada en la dirección al norte de las instalaciones, y comparamos la variación de las concentraciones promedio para las diferentes distancias mediante una gráfica de barras. Por último, comparamos las concentraciones de mercurio, plomo, manganeso, y vanadio obtenidas para las muestras de suelo en la dirección al noreste de las instalaciones con las obtenidas para los mismos metales en las muestras obtenidas del Río La Plata y Carite. Todas estas a su vez fueron comparadas con los Índices Guías Kelly para Suelos Contaminados (SCI, 1980) y con los valores obtenidos por Segura-Muñoz y sus colaboradores para suelos en las cercanías de una planta incineradora de DBR desactivada en Brasil (Segura-Muñoz et al., 2004).

- 6) **Evaluar, de ser necesario, las acciones correctivas pertinentes para mejorar las condiciones existentes.**

Para llevar a cabo este propósito efectuamos una revisión de literatura para determinar algunos de los métodos de remediación más comunes para contaminación ligera con mercurio. Luego, efectuamos una evaluación de los cursos de acción a seguir en caso de contaminación leve por mercurio en suelos, incluyendo el no hacer nada.

- 7) **Identificar y discutir las posibles violaciones a leyes o reglamentos estatales cometidas por la gerencia de Biocelsius.**

Para lograr este propósito investigamos algunas de las disposiciones más importantes del Capítulo V del *Reglamento de Desperdicios Sólidos no Peligrosos* (JCA, 1997) titulado *Desperdicios Biomédicos Regulados*, y del Reglamento de Control de Contaminación Atmosférica (JCA, 1995). Luego examinamos algunos documentos provistos por la JCA tales como “Órdenes de Hacer”, resoluciones, cartas, y un informe de una Oficial Examinadora.

8) Hacer una evaluación del riesgo ya sea inminente o potencial, de las comunidades aledañas por exposición a los metales monitoreados en los suelos cercanos a Biocelsius.

Para llevar a cabo este último objetivo comparamos las concentraciones de los metales monitoreados con los Índices Guías Kelly (SCI, 1980) y determinamos si correspondía a algunas de las categorías de suelos contaminados. Para plomo también comparamos con los umbrales establecidos en las guías *EPA'S National Guidelines for Lead Hazards in Dust, Soil and Paints: A Summary and Analysis*, más allá de los cuales la agencia recomienda acciones correctivas específicas (EPA, 1994 a).

9) Hacer recomendaciones a la agencia administrativa reguladora, en este caso la JCA, en cuanto a la fiscalización, monitoreo, y verificación de cumplimiento de reglamentación aplicable por parte de las instalaciones de tratamiento de DBR, y en cuanto a la pertinencia de la reglamentación vigente. Esto con el fin de ayudar al mejoramiento de su función reguladora en la salvaguarda y protección del medio ambiente y la salud pública.

Para lograr este objetivo hicimos un análisis de lo que a nuestro juicio eran las deficiencias mayores, errores de juicio o apreciación u omisiones involuntarias en el cumplimiento de su deber ministerial de la JCA en cuanto a: 1) la fiscalización de la empresa Biocelsius y posiblemente de otras empresas con permisos otorgados para las mismas actividades económicas y 2) la otorgación, renovación o revocación de

permisos de operación de la empresa Biocelsius. Esto, de acuerdo a la reglamentación vigente en Puerto Rico al día de hoy.

Diseño metodológico

A diferencia del experimento descrito anteriormente de Segura-Muñoz, en nuestro experimento tomamos en consideración la dirección de los vientos. Además incluimos en nuestro experimento un análisis de lixiviación de los DBR vertidos sobre el suelo basado en dos partes: 1) la determinación de metales en una muestra de agua estancada muy cerca de los desperdicios y 2) la determinación del carbono orgánico total en una muestra de la misma agua estancada.

Varias son las circunstancias que hacen de una parte de nuestro experimento algo distinto en términos experimentales, aunque no del todo conceptuales, al realizado por Segura-Muñoz y su equipo de trabajo en la determinación de concentraciones de metales en suelos cercanos a una planta incineradora de DBR desactivada en Brasil aludido en nuestra propuesta (Segura Muñoz et al., 2004). Entre ellas podemos mencionar las siguientes: 1) los investigadores mencionados monitorearon suelos en la dirección de los cuatro puntos cardinales en torno al incinerador desactivado, lo cual fue posible debido a las condiciones geográficas del experimento las cuales permitían tal cosa, 2) en nuestro experimento, el tomar muestras a lo largo de la dirección de los cuatro puntos cardinales resultó imposible, toda vez que en las inmediaciones del antiguo incinerador muchos terrenos están completamente desarrollados y urbanizados, por lo que existen pocos lugares apropiados para muestreo, 3) Segura-Muñoz y sus colaboradores no tomaron en consideración la dirección de los vientos, 4) según se infiere del trabajo de estos

investigadores, en su caso, los terrenos alrededor del incinerador desactivado son agrícolas, y 5) siendo completamente estrictos, en Puerto Rico, debido a la alta densidad poblacional, al gran número de vehículos de motor que transitan por nuestras carreteras, y al gran número de industrias, a nuestro juicio, no existen suelos completamente protegidos de fuentes de emisiones atmosféricas.

No obstante, a pesar de todas las dificultades técnicas para la toma de muestras y por consiguiente para el análisis de datos de suelos en zonas industriales, y a pesar de la dificultad en la selección de suelos como grupo control para propósitos comparativos, la casi inexistencia en la isla de zonas industriales o residenciales puras, y por consiguiente la continua exposición de las comunidades a las emisiones atmosféricas y desperdicios sólidos procedentes de procesos industriales, justifica a nuestro juicio nuestro plan de muestreo y nuestro diseño experimental.

Plan de muestreo

En nuestro plan de muestreo se colectaron las siguientes muestras:

1. Dos muestras de agua estancada en los predios de Biocelsius cerca de los desperdicios sobre el suelo. Una con anterioridad a la remoción de los DBR vertidos en el suelo y sin tratar, el 7 de noviembre de 2007. La otra tres meses y medio después, tras la completa remoción de los DBR por la firma contratada para tratarlos y disponer finalmente de ellos, el día 23 de febrero de 2008.

2. Una muestra de agua estancada adicional para determinación del Carbono Orgánico Total (TOC) fue colectada el día 7 de noviembre de 2007, antes de la remoción de los DBR.
3. Dos muestras de suelo en los predios de Biocelsius. Una junto a la charca de donde se tomaron las dos muestras de agua estancada, y otra en el terreno justo donde estuvieron depositados los DBR. Estas se tomaron el día 16 de febrero de 2008.
4. Siete muestras, cada una por duplicado para totalizar catorce, de suelos aledaños a las instalaciones de Biocelsius. Cinco de estos pares se tomaron en la dirección norte a las instalaciones, a distancias estimadas del antiguo incinerador de 175, 255, 425, 675 y 735 metros. Los otros dos pares de muestras se tomaron en la dirección aproximadamente 45 grados al norte del este a distancias aproximadas de 175 y 255 metros del antiguo incinerador. Estas últimas fueron colectadas 16 y 23 de febrero de 2008.
5. En último lugar se colectaron cuatro muestras, dos de suelo junto al Río La Plata en Cayey, cerca del lugar donde el puente de la carretera #1 pasa sobre este, y dos de suelo de la Reserva Forestal Carite en el Barrio Guavate de Cayey, justo a orillas de la Carretera 184, km 26, hm 0. Estas fueron colectadas el día 30 de marzo de 2008.

Cadena de custodia para las muestras ambientales

Suelos - En el caso de muestras de suelo para determinación de metales, estas no necesitan ningún preservativo y tienen un tiempo de retención o “*holding time*” de seis meses tras haberse colectado estas.

Metales en agua estancada – Las muestras de agua estancada para metales llevan como preservativo ácido nítrico (HNO_3). No obstante, si no son colectadas con el preservativo este se añade en el laboratorio y se espera un tiempo de dieciséis (16) horas para ser analizadas. El tiempo de retención de la muestra es de seis meses. En nuestro caso, una de las muestras fue colectada en un frasco provisto por el laboratorio el contenía ya el preservativo. A la otra se le añadió el preservativo al llegar al laboratorio.

Carbono Orgánico Total (TOC) – Esta prueba lleva un preservativo de H_2SO_4 y tiene un tiempo de retención de 28 días. Si no se colecta con preservativo entonces es añadido en el laboratorio y se esperan 24 días antes de ser analizada.

Procedimiento

Los pasos específicos seguidos en nuestra investigación experimental fueron son los siguientes:

1. El día 29 de septiembre de 2007, como a eso de las 3:00 p.m. nos dirigimos a las instalaciones de Biocelsius localizadas en el kilómetro 2.5 de la carretera estatal 189 de Caguas a Gurabo. Al llegar, observamos de la manera más cuidadosa el lugar y tomamos fotos de la situación allí existente. La figura 1, al igual que las figuras 4, 5 y 6 son de fotos tomadas ese día.

2. El miércoles 7 de noviembre de 2007 hicimos una segunda visita a las instalaciones de Biocelsius. Eran aproximadamente las 5:15 de la tarde y el cielo estaba nublado aunque no había llovido. Se notaba que habían comenzado a recoger los DBR, lo cual es evidente en las fotos de este día (Figuras 7 a la 9). Algo que notamos de manera inmediata fue el fuerte olor a podrido en el ambiente, lo cual es consistente con la remoción parcial de algunos DBR, los cuales según los artículos de prensa contenían desperdicios patológicos sin tratar. Esta vez tomamos de manera preliminar dos muestras de agua estancada de una charca anexa al lugar donde estaban aún depositados los DBR. Esto lo hicimos con el objetivo de determinar las concentraciones de algunos metales pesados que pudieron ser lixiviados por los DBR. Las muestras fueron contenidas y transportadas en botellas plásticas limpias.
3. El viernes 9 de noviembre de 2007 las muestras fueron llevadas a las oficinas de la empresa *Analytical Environmental Services* (AES) localizadas en Santurce para análisis químico. Se ordenaron dos tipos de análisis químico: carbono orgánico total (TOC) a la primera muestra, mientras que para la segunda muestra se ordenó la determinación de arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo y vanadio.
4. Con el propósito de determinar la posible variación de las concentraciones de metales en suelos con respecto a la posición del antiguo incinerador de DBR, decidimos tomar muestras de suelo a diferentes distancias de las instalaciones de Biocelsius. Debido a las limitaciones geográficas, y a la

5. Tomando en consideración el perfil de la dirección de los vientos en la zona establecido por los investigadores Altaii y Farrugia (Altaii & Farrugia, 2003), y utilizando las fotografías de satélite del programa Google Earth®, identificamos posibles puntos para tomar muestras de suelo. Las direcciones escogidas fueron la dirección norte, con ligeras desviaciones de algunos grados al este y al oeste a lo largo de la quebrada, y la dirección aproximadamente 45 grados al norte del este en trayectoria casi rectilínea. Solamente fueron monitoreados suelos los cuales, a simple vista, no hubiesen sido físicamente alterados mediante el uso de excavadoras o algún otro artefacto mecánico (ver Figura 10).
6. El sábado 16 de febrero de 2007 regresamos a las instalaciones de Biocelsius. Esta vez, con la ayuda del “auger” para tomar muestras de suelo tomamos dos muestras: una de los predios donde estuvieron depositados los desperdicios, y otra de suelo aledaño a la charca que presumiblemente contenía lixiviados de los desperdicios médicos. Las muestras fueron tomadas de los primeros 5 a 8 centímetros medidos desde

la superficie. Esto debido a que el plomo y principalmente el mercurio se encuentran mayormente en los primeros centímetros de suelo (ATSDR, 1999).

7. Tras tomar las muestras anteriores, procedimos de la misma forma a tomar muestras de suelo de las inmediaciones al solar de Biocelsius. Las direcciones escogidas de muestreo, como dijimos anteriormente, fueron las direcciones al norte de las instalaciones, y en la dirección de aproximadamente 45 grados al norte del este. Las distancias aproximadas al antiguo incinerador fueron estimadas utilizando el sistema de posicionamiento global del programa de computadoras Google Earth® (Europa Technologies, 2008). Para esto, utilizamos las fotografías de satélite del área monitoreada del programa y luego identificamos puntos de muestreo. Estos puntos fueron escogidos localizando otros puntos de referencia o lugares reconocibles de la fotografía de satélite y que fuesen ser accesibles físicamente. En ocasiones hicimos también uso de un odómetro marca *Rolatape*, modelo *Measure Master* MM-30-M adquirido de la firma *Instant Print* para ayudarnos en determinar distancias. Las muestras fueron tomadas por duplicado, aproximadamente a dos metros una de la otra y a una profundidad de 5 a 8 centímetros de la superficie. Fueron contenidas en pequeñas bolsas limpias plásticas provistas por el fabricante del “*auger*” para tomar muestras de suelo. La muestra más distante en la dirección norte, también en duplicado, fue tomada una semana después, el sábado 23 de febrero a eso de las 3:00 p.m. Las

distancias aproximadas al antiguo incinerador se muestran en la figura número 10.

8. El sábado 23 de febrero de 2008, tres meses y medio después de colectada la primera muestra del 7 de noviembre de 2007, tomamos también una nueva muestra del agua estancada de la charca aludida anteriormente. El propósito fue comparar si existía o no atenuación en las concentraciones de los metales determinados la primera vez, tras la remoción completa de los desperdicios médicos vertidos sobre el suelo el 30 de noviembre de 2007. La muestra fue tomada en una botella plástica limpia provista por el laboratorio AES.
9. Todas las muestras fueron transportadas a las oficinas de AES. Tanto las colectadas el sábado 16, como las colectadas el sábado 23 de febrero.
10. Los resultados de las concentraciones de metales en las dos muestras de agua estancada , la muestra tomada el 7 de noviembre de 2007, y la muestra tomada el 23 de febrero de 2008 fueron comparados para los metales determinados. También fueron comparados con las determinaciones de metales en una muestra de suelo junto a la charca de agua estancada tomada el 16 de febrero de 2008. El propósito fue determinar si existe o no atenuación en el tiempo en las concentraciones específicas de los metales cromo, plomo, vanadio y mercurio entre la muestra de agua estancada tomada en noviembre de 2007 y aquella tomada en febrero de 2008. También determinar si existe o no correlación entre la posible atenuación de estos metales en el agua estancada, y las

concentraciones en una muestra de suelo junto a la charca, con la posible lixiviación, y la remoción total, de los desperdicios que estuvieron depositados en los predios de Biocelsius.

11. Se compararon luego las concentraciones determinadas de Hg para dos muestras de suelo en los predios de Biocelsius, donde una vez estuvieron depositados los desperdicios médicos, con los Índices Guía Kelly para Suelos Contaminados (SCI, 1980). Esto con el propósito de determinar si existe o no contaminación por mercurio en los predios de lo que un día fue Biocelsius.
12. El día 17 de marzo de 2008 colectamos dos muestras adicionales de suelo junto a la quebrada en la dirección al norte de las instalaciones. Esta vez la distancia aproximada al incinerador fue entre 730-740 metros. Nuevamente estimamos esta distancia haciendo uso del sistema GPS de Google Earth[®] junto al odómetro anteriormente descrito adquirido de la firma Instant Print.
13. El día 18 de marzo de 2008 estas dos últimas muestras de suelo fueron transportadas a las oficinas de los laboratorios ambientales AES para determinación de mercurio y plomo.
14. Tras tener todos los resultados de las determinaciones de mercurio y plomo, procedimos a determinar la concentración promedio de mercurio para cada par de muestras de suelo junto a la quebrada y a diferentes distancias con respecto al antiguo incinerador de Biocelsius en la dirección norte. Esto para determinar si existen o no diferencias longitudinales en las

concentraciones de mercurio con respecto a la ubicación del antiguo incinerador en esta dirección.

15. Comparamos también los promedios de las concentraciones de mercurio para los dos pares de muestras de suelo en la dirección aproximadamente 45 grados al norte del este. Esto con el propósito de determinar si existe o no variación longitudinal en las concentraciones de mercurio en suelos con respecto al antiguo incinerador en esta otra dirección. Aunque estamos conscientes de que en esta dirección sólo tomamos dos pares de muestras por las razones que más tarde discutiremos, esta comparación es muy importante con el propósito de confirmar posiblemente la variación longitudinal en las concentraciones de mercurio en términos generales con respecto a la fuente de emisión. Esto último es de suma importancia, ya que es un criterio en la identificación de fuentes puntuales de emisión atmosféricas (ATSDR, 1992).
16. Por último, se compararon las concentraciones de mercurio en las muestras de suelo cercanas a la quebrada en las direcciones norte, y 45 grados al norte del este, con los niveles obtenidos por los investigadores Segura-Muñoz y sus colaboradores (Segura-Muñoz et al., 2004) para suelos cercanos a un antiguo incinerador desactivado de DBR. También se comparó con los estándares de clasificación de suelos arriba mencionados para determinar si existe o no algún grado de contaminación por mercurio en suelos cercanos a las antiguas instalaciones de Biocelsius.

17. El domingo 30 de marzo de 2008 tomamos las muestras de suelo para ser utilizadas como grupo control o trasfondo. El propósito de esto fue el efectuar una comparación de las concentraciones de los metales seleccionados en los suelos aledaños a Biocelsius, con aquellas para los mismos metales en suelos en regiones donde no existen incineradores cercanos. Los lugares seleccionadas para tomar estas muestras lo fueron, en primer lugar, la Reserva Forestal Carite en el Barrio Guavate del Municipio de Cayey, específicamente dos muestras, una a cada lado de la Carretera Estatal 184 a la altura del kilómetro 26, hectómetro 0. En segundo lugar la ribera del Río La Plata en el mismo municipio, cerca de la Carretera Estatal 1. En el caso de las muestras junto al Río La Plata, quisimos comparar con suelos de matriz más o menos similar a aquellos junto a la quebrada en la dirección norte a las instalaciones de Biocelsius. Para esto utilizamos los mapas de suelos de la región este y central de Puerto Rico confeccionados por R.C. Roberts y sus colaboradores para el Buró de Química y Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Roberts et al., 1936). De acuerdo a estos mapas, los suelos junto a la quebrada al norte de Biocelsius están clasificados como Planicies Inundables Húmedas de buen drenaje, de material gris granítico, fácilmente pulverizable, y lavadas por el río (*Flood Humid Plains, well drained, gray, friable, granitic material, riverwash*). Mientras, aquellos junto al Río La Plata están clasificados como Planicies Inundables Húmedas de buen drenaje, de material color marrón, fácilmente

pulverizable y de residuos volcánicos estratificados (*Flood Humid Plains, well drained, brown, friable, tuffaceous material*). Es importante mencionar que de acuerdo a esta antigua pero muy importante clasificación, ambos tipos de suelos son apropiados para la siembra de la caña de azúcar. Las muestras de la ribera junto al Río La Plata fueron tomadas a eso de la 1:30 de la tarde, una a cada lado del puente en la carretera, justo al pasar sobre el río. Las muestras de suelo de la Reserva Forestal Carite fueron tomadas 40 minutos después, a eso de las 2:10 de la tarde. Ambas muestras fueron tomadas a una profundidad de entre cinco a ocho centímetros utilizando el mismo instrumento para tomar muestras de suelo descrito anteriormente y adquirido de la firma Cole-Parmer. Las muestras fueron colectadas en bolsas plásticas limpias para muestras de suelo incluidas junto al equipo por el fabricante.

18. El martes 1 de abril de 2008 las muestras fueron llevadas a las oficinas de los laboratorios ambientales AES en Santurce para determinación de los metales mercurio (Hg), plomo (Pb), vanadio (V), y manganeso (Mn).
19. Tras obtener los resultados de las concentraciones para los metales seleccionados en estas últimas muestras de control o trasfondo, estos fueron comparados con las concentraciones para estos mismos metales tanto en los predios de las instalaciones de Biocelsius cuando fue posible, como en las muestras de suelos aledaños en las direcciones norte y 45 grados al norte del este.

Análisis de datos

Para analizar nuestros datos determinamos los promedios aritméticos de la concentración de metales monitoreados para las distancias medidas aproximadas con respecto de la fuente de emisión atmosférica.

También utilizamos para el análisis de metales en agua, y en algunas muestras de suelo, las siguientes referencias, guías, estándares o reglamentos:

- *EPA'S National Guidelines for Lead Hazards in Dust, Soil and Paints: A Summary and Analysis* (EPA, 1994 a);
- Índices Guía Kelly para Suelos Contaminados de la Sociedad para la Industria Química del Reino Unido (SCI, 1980);
- *Reglamento de Estándares de Calidad de Agua* de la JCA del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (RECA);
- En algunos casos, estándares para metales en suelos reportados en los perfiles toxicológicos para algunos metales, confeccionados por la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR);
- Valores típicos promedios de concentraciones de metales en suelos reportados por el Dr, John Emsley en su importante obra *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Chemical Elements* (Emsley, 2003),
y
- Valores reportados en la literatura científica para concentraciones de metales en suelos en experimentos similares, y para TOC en lixiviados de un SRS.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

Análisis para metales en las muestras de agua estancada

Una determinación de los metales arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), y vanadio (V) a la muestra de agua estancada tomada el 7 de noviembre de 2007 reveló los resultados mostrados en la Tabla 1. Los límites de detección para los metales fueron respectivamente 0.002, 0.0002, 0.0002, 0.0003, 0.001 y 0.001 mg/litro. Todos los metales, con la excepción de mercurio, fueron determinados por espectrometría de emisión atómica ICP (*inductively coupled plasma atomic emission spectrometry*) (EPA, 1991). Este último fue determinado por el método de espectrometría de absorción atómica de vapor frío (*cold vapor atomic absorption spectrometry*) (EPA, 1994). En el caso de arsénico y cadmio sus concentraciones resultaron más bajas que el límite de detección del instrumento por lo que no fueron detectadas. Esto nos lleva a descartar de manera inmediata la lixiviación de estos metales por los desperdicios médicos depositados en el suelo. Casi todas las concentraciones de los metales monitoreados resultaron muy bajas a nuestro juicio con una sola excepción, vanadio, la cual discutiremos más adelante. Mientras, discutiremos primeramente los otros metales determinados.

Cromo

En el caso de cromo, la concentración obtenida de 0.036 mg/litro (ppm) resultó mayor a la concentración máxima permitida para Cr^{+6} en aguas superficiales de

0.011mg/litro (ppm) según el *Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico* (RECA) (JCA, 2003). Es importante mencionar que el RECA establece estándares específicos para los iones Cr^{+3} y Cr^{+6} y no para cromo total. Esto significa que habiendo sido determinado en nuestro experimento la concentración total de cromo y no las concentraciones específicas para el metal en sus diversos estados de oxidación, es de esperarse concentraciones de Cr^{+6} menores a 0.036 mg/litro puesto que esta cifra representaría la concentración máxima de este ión si no existiese ningún otro estado de oxidación en la muestra. De cualquier forma, la concentración total determinada para cromo es un poco más de tres veces la permitida para Cr^{+6} . Esto es suficiente a nuestro juicio para pensar, aún en ausencia de datos acerca de la distribución de especies iónicas para este metal, que la concentración de Cr^{+6} bien pudiera ser mayor de 0.011mg/litro.

Una segunda determinación de cromo total a una muestra de agua estancada de la misma charca extraída el día 23 de febrero de 2008, utilizando el mismo método analítico y con igual límite de detección, reveló esta vez una concentración de 0.004 mg/litro para la sustancia. Esta concentración resultó ser esta vez igual a unas veinte veces el límite de detección para la sustancia y para el método instrumental utilizado: 0.0002 mg/litro. No obstante, este valor resultó ser esta vez mucho más bajo al obtenido para la sustancia en la muestra extraída de la misma charca con más de dos meses de antelación, el día 7 de noviembre de 2007, con anterioridad a la finalización del recogido de los desperdicios depositados sobre el suelo, lo cual muestra una atenuación en la concentración de este metal durante el período de casi de tres meses tras la finalización del proceso de remoción de los desperdicios vertidos sobre el suelo el día 30 de noviembre de 2007.

Plomo

En el caso de plomo, la concentración determinada fue de 0.015 mg/litro. No obstante, no fue posible comparar esta concentración con el nivel máximo permitido para aguas superficiales según el RECA. Esto, debido a que la concentración máxima permitida en aguas superficiales para este metal no es uno fijo si no dependiente de la dureza del agua, o lo que es lo mismo, la concentración de sales de calcio y magnesio, especialmente carbonatos (Birk, 1994), las cuales no fueron determinadas. Sin embargo, a pesar de que sabemos que el agua monitoreada no es costera o estuarina, si pudimos comparar con los niveles máximos permisibles para estas según el *Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico*: 0.015 mg/litro, y 0.0081 mg/litro para la protección y propagación de especies que dependen de estos cuerpos de agua. Podemos darnos cuenta de que la concentración máxima permitida para estas aguas resultó ser igual a la determinada para la muestra de 0.015 mg/litro. En el caso de la permitida para la protección y propagación de especies dependientes del cuerpo de agua, esta resultó ser casi el doble de la permitida. Esto significa entonces que si estas aguas fuesen estuarinas, la protección y propagación de especies dependientes de este cuerpo de agua podrían verse amenazadas según el aludido reglamento.

Una segunda determinación del metal utilizando el mismo método de análisis químico y con el mismo límite de detección, esta vez a una muestra de agua estancada de la misma charca pero extraída también el 23 de febrero de 2008, reveló una concentración inferior al límite de detección para la sustancia y el método analítico. Por esta razón la sustancia no fue detectada en esta ocasión en la charca. Este hecho, al igual que en el caso del cromo, demuestra que hubo una atenuación de la concentración del

metal en el agua estancada, lo que es compatible con el cese de generación del metal en forma soluble desde los lixiviados, tras la remoción final de los desperdicios depositados sobre el suelo. Interesantemente, una determinación del metal en una muestra del suelo anexo a la charca tomada el día 16 de febrero de 2008 tampoco reveló la presencia del metal. Esta vez el límite de detección fue de 0.63 mg/Kg de suelo seco para la sustancia en una matriz sólida (suelo). El método de análisis utilizado fue también el de espectrometría de emisión atómica ICP.

Mercurio

En el caso de mercurio la concentración determinada fue 0.0004 mg/litro, lo cual resultó muy cercano al límite de detección para el método de análisis utilizado de 0.0003 mg/litro. No obstante este valor, el cual es equivalente a 0.4 µg/litro es mucho mayor, en efecto igual a ocho veces la concentración permitida para este metal en aguas superficiales según el RECA: 0.050 µg/litro. Esta concentración máxima permitida, según este reglamento (JCA, 2003), fue establecida con el propósito de proteger la vida acuática y por razones de salud humana y para la propagación y preservación de especies. Debemos pensar entonces que si la charca de la cual fue tomada esta muestra fuese vital para la salud humana o para la vida silvestre, estas podrían en principio verse amenazadas. Además, y a nuestro juicio más importante aún, la relativa cercanía de esta charca al lugar donde estuvieron depositados los DBR, y la construcción del montículo o muro de tierra por la empresa recolectora de los desperdicios con el propósito de detener lixiviados, señalan casi obligadamente al proceso de lixiviación de los DBR como

responsable de las concentraciones relativamente altas de mercurio en la muestra de agua estancada colectada el 7 de noviembre de 2007.

Una segunda determinación del metal a una muestra de agua estancada tomada de la misma charca y transcurridos más de dos meses después, el 23 de febrero de 2008, no reveló la presencia de mercurio. El método de análisis utilizado fue el mismo mencionado anteriormente para la sustancia. Varias razones se pueden esbozar para la atenuación del mercurio en el agua estancada. El mercurio, a diferencia de los otros tres metales detectados en la muestra de agua estancada colectada el 7 de noviembre de 2007, tiene una gran afinidad por los compuestos orgánicos, razón por la cual en cuerpos de agua con materia orgánica y en sedimentos, se halla mayormente en la forma de compuestos organometálicos, especialmente metilmercurio (Emsley, 2003). Esto es de especial importancia si consideramos el hecho de que entre los DBR depositados en el suelo había desperdicios patológicos. Además de todo esto, tanto el mercurio metálico, como sus compuestos organometálicos, son altamente volátiles (Emsley, 2003).

Vanadio

En último lugar, el caso del metal vanadio amerita a nuestro juicio especial atención. La concentración determinada del metal en la muestra de agua estancada fue de 0.099 mg/litro. Esta concentración representa noventa y nueve veces el límite de detección del elemento para el método analítico utilizado. Para todos los demás metales determinados excepto cromo, cuya concentración determinada representa unas ciento ochenta veces el límite de detección, las concentraciones resultaron mucho más cercanas al límite de detección del instrumento para el método utilizado. No existe un estándar

para vanadio en el citado *Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico* (JCA, 2003). Tampoco es una de las cuarenta sustancias utilizadas como criterio de toxicidad para el procedimiento denominado TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) (40 CFR 261.24) desarrollado por la EPA para determinar peligrosidad de desperdicios sólidos bajo la ley RCRA (*Resource Conservation and Recovery Act*). Vanadio es un elemento químico que se encuentra muy diseminado en la naturaleza. Prácticamente se encuentra en todas partes incluyendo los alimentos. Es el único de los metales monitoreados por nosotros que tiene un rol biológico en los seres humanos, y afortunadamente aún en dosis relativamente altas, no tiene efectos nocivos en los seres vivos (Emsley, 2003). El Dr. John Emsley en su valiosa obra *Nature,s Building Blocks, an A-Z Guide to the Chemical Elements* destaca el hecho de que en la atmósfera en general, vanadio se encuentra en una concentración promedio de 0.02 nanogramos/m³ pudiendo llegar a 1µg/m³ en regiones muy pobladas debido a la quema de aceite para calentamiento (Emsley, 2003). En nuestra isla, debido a la condición de clima tropical, no se requiere la quema de aceite para calentamiento invernal. No obstante, una contribución a la emisión atmosférica de vanadio proviene de la quema de otros combustibles fósiles, especialmente aceite residual, aunque es importante el hecho de que por mucho, los procesos naturales sobrepasan a las fuentes antropogénicas como fuentes de emisión del metal a los recursos suelo y agua (ATSDR, 1992). Ente estos procesos naturales se encuentran las emisiones volcánicas, la erosión de los suelos, y la disolución de rocas por efectos climatológicos (ATSDR, 1992). Considerando únicamente las fuentes de emisiones antropogénicas de vanadio al recurso agua, la última fuente citada menciona, además de las ya mencionadas, la lixiviación de minerales que lo contienen, todos

residuales urbanos, ciertos tipos de fertilizantes, y la lixiviación de cenizas procedentes de procesos de combustión. Además, se menciona también como posible fuente la lixiviación de los desperdicios en rellenos sanitarios (ATSDR, 1992). En el caso considerado por nosotros la posible lixiviación de vanadio por desperdicios en rellenos sanitarios cobra especial importancia. Y es que los SRS no son si no un sistema especial de disposición de desperdicios sólidos sobre el terreno. Y aunque los DBR depositados sobre el terreno considerados por nosotros en el caso Biocelsius no constituyen precisamente un SRS, es de esperarse un mayor grado de lixiviación de los desperdicios que fueron depositados allí en comparación a un SRS. Esto debido especialmente a la falta de compactación y a la falta de deposición de material cobertor impermeable formando capas con el propósito de reducir la infiltración de agua. Estas prácticas, como es ampliamente conocido, reducen la permeabilidad de los desperdicios (Taylor & Allen, 2006).

El vanadio es utilizado mayormente en la industria del acero en donde funge como un aditivo, haciéndolo resistente a impactos, a la vibración, y a la corrosión (Emsley, 2003). Con este se fabrican piezas de automóviles y otros productos. También es utilizado en la fabricación de aleaciones de hierro y vanadio (ferrovanadio) las cuales son de gran valor en la fabricación de motores para propulsar aviones supersónicos. Se utiliza también en compuestos utilizados como catalizadores, pesticidas, tintes, pigmentos, en la industria de la cerámica, como modificador de color en lámparas de vapor de mercurio, pinturas, barniz, e inhibidores de corrosión (ATSDR, 1992). Estos usos del vanadio abonan a pensar en una posible lixiviación del metal desde los

desperdicios depositados, debido a la presencia de piezas y pedazos de acero y otros metales entre los desperdicios (*obs. per.*). Esto se muestra en la Figura 8.

Otro análisis más reciente del metal, efectuado esta vez a una muestra de agua estancada de la misma charca tomada el sábado 23 de febrero de 2008, reveló una concentración de 0.015mg/litro de la sustancia. Esta vez el valor determinado correspondió a unas quince veces el límite de detección del instrumento de 0.001mg/litro para el mismo procedimiento analítico utilizado de espectrometría de emisión atómica ICP. Esta disminución en la concentración determinada de vanadio es cónsona, a nuestro juicio, con el proceso de lixiviación de los desperdicios que estuvieron depositados en los predios de Biocelsius. Varios son los factores que nos inducen a pensar de esta forma. Entre ellos podemos mencionar los siguientes: 1) la presencia de pedazos de acero y otros metales entre los desperdicios, lo cual pudimos constatar de manera personal, 2) el elemento vanadio se encuentra en la naturaleza en seis estados de oxidación a saber: -1, 0, +2, +3, +4, y +5, siendo los tres últimos los más abundantes por mucho (ATSDR, 1992), 3) casi todos los compuestos más abundantes de vanadio con estos últimos estados de oxidación, con la excepción de metavanadato de amonio (NH_4VO_3) el cual es ligeramente soluble, son solubles o moderadamente solubles en agua a temperatura ambiente (ATSDR, 1992), siendo los vanadatos muy solubles (Emsley, 2003), y 4) el hecho de que el recogido de los DBR depositados en los predios de Biocelsius se completó el día 30 de noviembre según nos fue confirmado por la JCA. Veamos por qué.

La presencia de partes y piezas de acero corroído y metales entre los desperdicios es un hecho que pudimos verificar personalmente. No obstante, no podemos asegurar la ausencia de otras fuentes de vanadio entre los desperdicios, toda vez que es posible por

ejemplo, la disposición de lámparas de vapor de mercurio entre estos, además de la posible disposición de tintes, pinturas, y otros desperdicios que lo contengan, que bien pudieron lixiviar. Esto es compatible con la gran diversidad de materiales que se hallaban entre los desperdicios depositados en Biocelsius, a nuestro juicio sin restricción, junto a los DBR. Un factor que debemos mencionar siendo estrictos, es la resistencia a la corrosión del metal debido a la formación de una capa de óxido en su superficie, lo cual lo hace resistente incluso a bases fuertes, aunque, en cambio, es atacado por ácidos (Emsley, 2003). Este último factor nos induciría a descartar la lixiviación de metales como fuente de vanadio, a no ser por el hecho de que pudimos constatar la presencia de piezas de metal corroído. De cualquier forma, es muy difícil determinar con exactitud la procedencia de estas piezas metálicas debido a la gran cantidad de desperdicios que estuvieron depositados allí, al incendio acaecido en las instalaciones de Biocelsius el cual destruyó parcialmente el incinerador, y a la traslación física de grandes cantidades de desperdicios mediante el uso de una excavadora durante la remoción por etapas de los desperdicios (Justicia, 2007b).

En segundo lugar, debido a la alta solubilidad en agua a temperatura ambiental de la mayoría de los compuestos de vanadio, nos parece lógico que la mayor parte del vanadio en el agua estancada, se encuentre en forma iónica en solución y no en la forma metálica sedimentada la cual es insoluble (ATSDR, 1992). Si añadimos a esto el hecho de que el recogido de los desperdicios depositados sobre el terreno fue concluido el día 30 de noviembre de 2007, entonces debemos pensar que la disminución en la concentración de vanadio en el agua estancada, en relación a la concentración en la muestra tomada el 7 de noviembre con anterioridad a la remoción completa de los

desperdicios, fue debida más bien a la remoción de los desperdicios que le sirvieron de fuente mediante procesos de lixiviación, y no a la sedimentación de vanadio en solución.

Por último, una determinación de vanadio a una muestra de suelo tomada el 16 de febrero de 2008 junto a la charca de la cual se extrajeron las muestras de agua estancada, reveló una concentración del metal por debajo del límite de detección del instrumento de 0.66 mg. de sustancia/Kg. de suelo seco para el mismo método analítico de espectrometría de emisión atómica ICP. Esto es algo de esperarse, suponiendo que los lixiviados de los desperdicios allí depositados cesaron de recorrer el ligero declive en dirección a la charca una vez los desperdicios fueron removidos, y especialmente tras la construcción del muro de tierra que la propia compañía a cargo del recogido construyó en agosto del pasado año 2007, según un importante periódico de la isla (Hopgood, 2007).

Podemos darnos cuenta entonces de que sin excepción, para todos los metales cuyas concentraciones fueron determinadas en la muestra de agua estancada tomada el 7 de noviembre de 2007, cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), y vanadio (V), las concentraciones determinadas resultaron mucho menores en la muestra de agua estancada tomada el 23 de febrero de 2008.

Varios factores pudieron contribuir a la atenuación de las concentraciones de los metales determinados en el agua estancada, tras un período de algo más de tres meses transcurridos entre la toma de ambas muestras. Entre estas podemos mencionar las siguientes, las cuales son a nuestro juicio los más importantes: 1) la construcción del muro o barricada por la empresa que recogió los DBR para tratamiento y disposición final según reportada por la prensa (Hopgood, 2007), 2) la remoción de los DBR vertidos en el suelo, la cual finalizó el día 30 de noviembre de 2007 según nos confirmó la JCA,

3) la posible sedimentación de sales poco solubles de los metales, y 4) la incorporación de los metales a algas y plantas acuáticas mediante procesos biológicos llevados a cabo por estas.

Las primeras dos razones expuestas no necesitan a nuestro juicio más comentario. No obstante la tercera y la cuarta razón merecen justificación. En el caso de la incorporación de metales en algas y plantas acuáticas, este es un fenómeno que ha sido previamente estudiado y reportado por otros experimentadores. Por ejemplo, las macrófitas acuáticas *Juncus Bulbosus*, *Lobelia Dortmanna* y *Nuphar Lutea* han mostrado en estudios altos niveles de incorporación de metales tóxicos, entre ellos plomo (Pb) y cromo (Cr) (Ohlson & Staaland, 2001). No obstante, en solución acuosa todos los fosfatos, excepto Fosfato de Amonio, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, y los de metales del Grupo IA son insolubles, mientras que todos los carbonatos son insolubles con excepción de aquellos de metales del Grupo IA y el Carbonato de Amonio (Mortimer, 1983). Es de esperarse entonces que fosfatos y carbonatos de mercurio, plomo, vanadio, y cromo, si se encontraban en solución aunque en muy bajas concentraciones al momento de tomar la primera muestra, sufran sedimentación a medida que el agua estancada de la charca se evaporaba debido al sol intenso y las altas temperaturas características de nuestra isla. Por otra parte, todos los nitratos son solubles en solución acuosa (Mortimer, 1983). Es probable entonces que los metales plomo (Pb), mercurio (Hg), vanadio (V), y cromo (Cr), se hallasen en forma de nitratos cuando la primera muestra del agua estancada fue colectada. En el caso de cloruros todos son solubles excepto los de plata (Ag), mercurio (Hg), y plomo (Pb) (Mortimer, 1983), por lo que no podemos descartar entonces la presencia de cloruros de cromo y vanadio en el momento en que se tomó la muestra del 7

de noviembre de 2007. El haber considerado fosfatos, carbonatos, nitratos, y cloruros de estos metales se justifica por dos razones principales: 1) fosfatos, carbonatos, y nitratos son característicos de la materia orgánica en desperdicios biomédicos patológicos los cuales fueron reportados en la prensa como presentes en los DBR vertidos en el suelo, y 2) cloro y algunos de sus compuestos son liberados durante la quema de plásticos, quema que acaeció *de facto* a una buena parte de los desperdicios vertidos en el suelo, toda vez que un incendio fue reportado por la prensa en las instalaciones, del que se pueden evidenciar rastros en las fotos tomadas por este servidor que suscribe. De cualquier forma, aunque estos últimos procesos, la sedimentación de sales insolubles de estos metales, y la incorporación de estos en plantas acuáticas por procesos biológicos, explican en parte la disminución en las concentraciones de estos metales en el agua estancada, indudablemente, las concentraciones mayores detectadas en la muestra del 7 de noviembre de 2007 tienen su origen en procesos de lixiviación desde los DBR depositados sobre el suelo, toda vez que resulta lógico que las concentraciones disminuyesen al desaparecer la fuente de estos metales, especialmente en vista de los dos últimos procesos de atenuación mencionados. Una comparación de las concentraciones de metales en el agua estancada para la muestra colectada el 7 de noviembre de 2007, con aquellas obtenidas para la muestra colectada el 23 de marzo de 2008 se muestra en la Tabla 1.

Carbono Orgánico Total

Una determinación del Carbono Orgánico Total (TOC, por sus siglas en inglés) a otra muestra del agua estancada de la misma charca colectada también el día 7 de

noviembre de 2007, reveló una concentración total de 21.0 mg de carbono por litro de solución (p.p.m.). Esta concentración de carbono orgánico total es mucho menor a las reportadas por Yoshida y sus colaboradores para nueve puntos de muestreo de lixiviados en el SRS clausurado Henchir El Yahoudia, Túnez (Yoshida et al., 2002). En el caso de las nueve muestras colectadas por estos investigadores las concentraciones determinadas de TOC se extendieron desde 0.921 hasta 2.143 gm/litro, lo que según declaran en su trabajo investigativo son valores comunes para lixiviados de SRS nuevos. Nótese que el valor de TOC obtenido por nosotros para la muestra de agua estancada de 21.0, es uno reportado en miligramos/litro y no en gramos/litro. Al convertirlo a gm/litro para fines de comparación con los valores de los citados investigadores, este resultado es equivalente a 0.021gm/litro, lo que resulta mucho menor al reportado por los citados investigadores (Yoshida et al., 2002). No debemos olvidar que en SRS la cantidad de materia orgánica depositada puede ser muy alta, toda vez que en estos se depositan desperdicios domésticos los cuales pueden contener residuos de alimentos y/o material vegetal como residuos de plantas y madera. Una comparación del resultado obtenido de TOC para la muestra de agua estancada de la charca junto a los DBR con los valores obtenidos por Yoshida y sus colaboradores se muestra en la Tabla 2.

Análisis de metales en suelos en los predios de Biocelsius

Una determinación de los metales mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr), y vanadio (V) efectuada a una muestra de suelo colectada el 16 de febrero de 2008 justo en el lugar donde estuvieron depositados los DBR, arrojó los resultados mostrados en la Tabla 3, los cuales discutiremos brevemente.

Mercurio

La concentración de mercurio fue determinada en 3.25mg de la sustancia por kilogramo de suelo seco (ppm). De acuerdo a las *Guías Índices Kelly para la Clasificación de Suelos Contaminados* (SCI, 1980), esta concentración de mercurio corresponde a la categoría de suelos ligeramente contaminados con el metal. Debemos mencionar el hecho de que de acuerdo a la misma fuente citada, esta clasificación fue desarrollada de manera específica para suelos en lugares cercanos a la industria del gas en Londres, Inglaterra. Aunque en nuestro caso, el suelo analizado no tiene relación alguna con la industria del gas, esta clasificación nos brinda una idea de qué concentraciones del metal podemos considerar como seguras para la protección de la salud pública de comunidades que pudiesen estar expuestas al polvo de estos suelos. Es importante mencionar, para propósitos de comparación, que una determinación de los niveles de mercurio promedio en suelos vírgenes y cultivados para un sinnúmero de países reveló concentraciones promedio desde 0.02 hasta 0.625 mg Hg/Kg de suelo seco (ATSDR, 1999). Como podemos ver, estas concentraciones son inferiores a la concentración determinada para el metal en nuestra muestra. Cabe mencionar que la última fuente citada (ATSDR, 1999) menciona como fuentes más importantes del metal en suelos las deposiciones atmosféricas provenientes de la quema de combustibles fósiles, especialmente carbón, procesos industriales que utilizan mercurio como la producción de cloroalcalinos, la producción de cemento, la incineración de desperdicios sólidos municipales y médicos, y la actividad minera, contribuyendo estos con un 80% de las deposiciones. Otro 15 %, según la fuente, corresponde a la aplicación directa del metal al suelo, a través de fertilizantes, fungicidas, y desperdicios municipales como baterías y

termómetros (ATSDR, 1999). Estas otras fuentes directas para la deposición de mercurio en suelo son de especial importancia, toda vez que baterías y termómetros, así como otros dispositivos médicos, son parte de la corriente de desperdicios médicos. Otro hecho importante que debemos mencionar es que de acuerdo al Dr. John Emsley en su valiosa obra citada por nosotros, los valores típicos promedio de mercurio en suelos se encuentran entre 1×10^{-5} a 5×10^{-4} mg/Kg de suelo seco (ppm), llegando a ser hasta 0.2 mg/Kg de suelo seco para suelos contaminados (Emsley, 2003). En este caso en particular, vemos que el valor obtenido por nosotros para la concentración de mercurio en esta muestra es mucho mayor que los reportados por el Dr. Emsley como normales en suelos, e incluso varias veces mayor que el reportado por este profesional como característico de suelos contaminados (Emsley, 2003). Debiendo descartar en nuestro caso la combustión de carbón, procesos industriales que utilicen mercurio, y la actividad minera en las cercanías de las instalaciones de Biocelsius como fuentes del metal en los predios de la compañía toda vez que estos procesos no se llevan a cabo en esta zona, debemos declarar que a nuestro juicio, esta concentración en el suelo justo en el lugar donde estuvieron depositados los DBR es indicativa de procesos de lixiviación desde materiales que lo contienen en tales desperdicios. Desde luego, esto es compatible con lo declarado anteriormente por otra de las fuentes citadas (ATSDR, 1999).

Es importante que mencionemos que en la tarde del día 29 de abril de 2008, nos comunicamos de manera personal con una oficial de la empresa *Pfizer Pharmaceuticals* la cual tiene una planta farmacéutica en la Zona Industrial Plácido González. A preguntas de este servidor la oficial nos aseguró que en su planta la empresa no procesa, utiliza, o emite mercurio como parte de sus procesos industriales.

Plomo

La concentración de plomo para la misma muestra fue determinada en 1.15 mg de la sustancia por kilogramo de suelo seco. De acuerdo a los Índices Guías Kelly para Suelos Contaminados (SCI, 1980) esta concentración corresponde a una clasificación de suelos no contaminados con el metal. Es importante mencionar que la EPA, en su documento titulado *EPA'S Nacional Guidelines for Lead Hazards in Dust, Soil and Paint: A Summary and Analysis*, (EPA, 1994 a), fija un límite en 400 mg/Kg de suelo seco para la sustancia (ppm), más allá del cual la concentración de plomo en suelos no se puede considerar segura, y tras lo cual recomienda tomar acciones correctivas. Este límite lo establece para áreas propensas a ser utilizadas por niños tales como los patios traseros de residencias, escuelas, centros de cuidado diurno, y parques de recreo o públicos. Entre las recomendaciones de la EPA en su documento, para suelos con concentraciones de plomo desde 400 hasta 5,000 ppm de la sustancia, se encuentran el establecer barreras entre los niños y el suelo contaminado, el plantar cobertura como grama o arbustos, la traslación de máquinas de juego a lugares alejados de los suelos contaminados, la restricción de acceso mediante letreros y cercas, el control de contaminación posterior, y la colocación de avisos públicos de contaminación de suelos por las agencias locales. Más allá de 5,000 ppm de la sustancia en suelos la EPA recomienda, además de los avisos públicos, la colocación de barreras permanentes para restringir el acceso y la remoción y reemplazo de los suelos contaminados. También el Dr. John Emsley en su valiosa obra citada por nosotros (Emsley, 2003), reporta como normal un campo de valores de concentraciones de plomo en suelos entre 2 a 190 ppm, con un valor promedio de 23 ppm en la mayoría de los suelos. Podemos ver entonces, de acuerdo a estos datos,

que el valor determinado en nuestro experimento para esta muestra de suelo de sólo 1.15 ppm se encuentra muy por debajo de los niveles que se podrían considerar inseguros o de alto riesgo de exposición a la sustancia.

Por último y a nuestro juicio muy importante, concentraciones por encima de las consideradas como normales en el caso de mercurio en comparación a las determinadas para plomo en la misma muestra de suelo, son indicativas a nuestro juicio de un mayor grado de lixiviación del mercurio desde los DBR en comparación al plomo. Esto es algo de esperarse, si consideramos las posibles fuentes para ambos metales en la corriente biomédica. En el caso de plomo, este hace su entrada en la corriente biomédica mayormente a través de los plásticos, donde es utilizado junto al cadmio como pigmento y fotoestabilizador (OTA, 1990). Por lo tanto, es de esperarse un mayor grado de liberación del plomo durante la incineración de los desperdicios y no por lixiviación desde plásticos sin incinerar. Mientras, el mercurio hace su entrada de una forma más directa en la corriente biomédica, a través de dispositivos médicos que lo utilizan tales como esfingomanómetros y termómetros, y también en amalgamas dentales entre otros (ATSDR, 1999). Es de esperarse entonces un mayor grado de lixiviación de mercurio en comparación al plomo en este caso.

Vanadio

En el caso de vanadio, la concentración determinada para la muestra fue de 1.34 mg/Kg de suelo seco. De acuerdo a los *Índices Guías Kelly para Suelos Contaminados* (SCI, 1980), esta concentración corresponde a una clasificación de suelos no contaminados con el metal. También el Dr. Emsley en su obra anteriormente citada por

nosotros declara como típicamente normales en suelos concentraciones entre 10 hasta 500 ppm de la sustancia, con un promedio de aproximadamente 100 ppm (Emsley, 2003). Esto significa que la concentración determinada en nuestra muestra está muy por debajo de los niveles considerados como promedios en suelos, y muy por debajo de los que pudieran ser considerados como de contaminación de estos.

Cromo

La concentración determinada de cromo (Cr) para la muestra fue de 3.23 mg/Kg de suelo seco (ppm). Nuevamente, de acuerdo a los Índices Guías Kelly para Suelos Contaminados (SCI, 1980), esta concentración corresponde a una clasificación de suelos no contaminados con el metal. También el Dr. Emsley nos dice que las concentraciones usuales en suelos pueden variar de entre 1 hasta 450 ppm, siendo el promedio igual a 50 ppm. Podemos que aquí, al igual que en el caso de vanadio, los niveles determinados de la sustancia son mucho menores, tanto en comparación al nivel promedio en suelos reportado por el Dr. Emsley, como en comparación a los niveles considerados como de contaminación en los Índices Kelly (SCI, 1980).

La obtención de estos bajos niveles de la sustancia en nuestra muestra es explicable, a nuestro juicio, por el hecho de que el cromo no tiene un uso directo en la industria médica y por lo tanto en la corriente de desperdicios biomédicos. La Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés) señala en su perfil toxicológico para la sustancia algunos de los usos más comunes para el metal. Entre estos menciona los siguientes: en la industria metalúrgica en la producción de acero inoxidable y en ciertas aleaciones; en la industria refractoria como componente

en ladrillos cromo-magnesita y magnesita-cromo, y cromita para uso como cubierta en hornos industriales de altas temperaturas; y en la industria química como pigmento en la forma de cromo (III) y cromo (VI), cromo (VI) en la terminación de metales, cromo (III) en teñido de pieles, y cromo (VI) como preservativo para maderas (ATSDR, 2000). Por lo tanto, no es de extrañarse el hecho de haberse obtenido niveles tan bajos de cromo en suelos justo en el lugar en que estuvieron depositados los DBR, lo que sugiere una pobre lixiviación del metal, si es que realmente la hubo, a partir de estos.

Algo que sí nos extraña entonces, es el hecho de que no sabemos cómo explicar con seguridad la concentración relativamente alta para el cromo total en la muestra del agua estancada de la charca cercana a los desperdicios colectada el día 7 de noviembre de 2007, salvo como procedente del proceso de lixiviación desde metales contenidos en los desperdicios, probablemente de pedazos de acero inoxidable o tal vez de algún otro metal. Es posible, debido al ligero declive en dirección a la charca con agua estancada, que un lixiviado procedente de los DBR rico en cromo alcanzara esta en un tiempo lo suficientemente corto como para no permitir la sedimentación del metal en el suelo antes de alcanzar la charca. No obstante esto es algo meramente especulativo, toda vez que no efectuamos ninguna determinación de metales de sedimentos en el fondo de la charca.

En cuanto a las concentraciones de estos cuatro metales en una muestra de suelo junto a la charca de agua estancada, sólo uno de ellos fue detectado: mercurio. Las concentraciones determinadas para los otros tres metales, plomo (Pb), vanadio (V), y cromo (Cr) fueron por debajo de los límites de detección para el método analítico utilizado, por lo cual fueron reportados como no detectados. La concentración determinada de mercurio para esta muestra fue aún mayor a la determinada para la

muestra de suelo justo en el lugar bajo el cual estuvieron vertidos los DBR: 4.21 mg/Kg de suelo seco. Obviamente esta concentración, siendo mayor a 3.25 mg/Kg de suelo seco, corresponde a la categoría de suelos ligeramente contaminados con el metal de acuerdo a los Índices Guía Nelly para Suelos Contaminados. Este valor ligeramente mayor es razonable si consideramos el ligero declive existente hacia el lado este de los predios de Biocelsius y en dirección a la charca de agua estancada. Aunque ciertamente el día 7 de noviembre de 2007 cuando tomamos la primera muestra de agua estancada de la charca no tomamos una muestra de suelo junto a esta y no podemos por lo tanto efectuar una comparación, es lógico el suponer algún tipo de atenuación del metal luego de tres meses por las razones que ya hemos expuesto. Aunque es algo especulativo, nos resulta también lógico el suponer que por lo menos en nuestro caso, el mercurio mostró una baja movilidad en el suelo en los predios de Biocelsius junto a la charca, toda vez que habiendo estado disponible en este, aún así no se transportó hasta la charca por escorrentías, razón por la que no fue detectado en la última muestra de agua estancada. En el caso de los otros metales resulta entonces razonable la no detección de estos en el agua estancada, toda vez que no estando disponibles en el suelo, por lo que no fueron detectados, no pueden ser arrastrados hasta la charca por escorrentías.

Metales en suelos aledaños a Biocelsius

Dirección norte

En el caso de los suelos aledaños a Biocelsius en la dirección norte, un análisis de la variación en las concentraciones de mercurio con respecto a las instalaciones mostró sin lugar a dudas una disminución con respecto a la distancia. Este resultado es uno muy

importante, toda vez que este patrón de distribución es característico de una fuente puntual de emisión, en este caso, el antiguo incinerador de Biocelsius (ATSDR, 1999). Una gráfica mostrando este comportamiento se muestra en la Figura 11. Se muestran también en la figura las concentraciones promedio determinadas para el metal en muestras por duplicado, y las distancias aproximadas correspondientes con respecto al antiguo incinerador. Es interesante el hecho de que, por lo menos hasta una distancia aproximada de 675 metros, la concentración promedio determinada para mercurio corresponde a la categoría de suelos ligeramente contaminados con el metal de los Índices Guía Kelly (SCI, 1980). En este caso sólo el valor promedio de concentración de mercurio para las últimas dos muestras (1.19 mg/Kg de suelo) corresponde a la categoría de suelos no contaminados con el metal. La distancia estimada de este último par de muestras de suelo con respecto al antiguo incinerador es igual a 735 metros.

El caso de plomo resultó un poco distinto al de mercurio debido a las razones que expondremos a continuación. Aunque en términos generales se puede observar una disminución en las concentraciones del metal a medida que los suelos se alejan del antiguo incinerador y las instalaciones de Biocelsius, no podemos explicar del todo lo que a nuestro juicio son algunas anomalías en las concentraciones del metal obtenidas para cada par de muestras. Por ejemplo, a una distancia aproximada de 175 metros del antiguo incinerador, el valor reportado en la Figura 13 de 4.77 mg de plomo/ Kg de suelo seco corresponde sólo a una de las muestras y no al promedio de dos muestras tomadas por duplicado. La razón para esto radica en que, aún cuando la concentración determinada para una de las muestras resultó igual a 4.77 mg/Kg de suelo seco, el metal no fue detectado en la otra muestra, esto a pesar de que las muestras fueron tomadas con

aproximadamente un metro de separación una de la otra. En el caso del par de muestras colectadas a una distancia aproximada de 255 metros, la sustancia no fue detectada en ninguna de ellas, razón por la que, el valor de cero mg/Kg de suelo seco de la gráfica en la figura 12, significa realmente que la concentración de la sustancia en el suelo junto a la quebrada para esa distancia, estuvo por debajo del límite de detección del instrumento analítico para el método utilizado, de 0.63 mg/Kg de suelo seco. El valor de cero se reportó únicamente debido a que el programa Excel de Microsoft no provee para la inclusión de letras (ND) cuando se supone que los caracteres sean numéricos. Al alejarnos del antiguo incinerador y llegar a una distancia aproximada de 425 metros sucedió algo similar a lo acontecido para la distancia de 175 metros. El valor reportado en este caso de 4.86 mg de plomo/Kg de suelo seco corresponde nuevamente a una sola de las muestras, ya que para la otra muestra el metal no fue detectado. De todas formas, el valor determinado a esta distancia para la muestra a la que sí se le detectó plomo fue ligeramente mayor en relación a la que sí se le detectó plomo a la distancia de 175 metros. Ya para distancias aproximadas de 675 y 735 metros del antiguo incinerador los valores reportados en la Figura 13 son promedios de los valores de las dos muestras colectadas por duplicado. Sin lugar a dudas se puede ver aquí entonces una disminución en la concentración de plomo con respecto a la distancia del antiguo incinerador, obteniéndose el valor menor de todos a 735 metros: 2.02 mg/Kg de suelo seco. Es necesario señalar que este comportamiento al que hacemos referencia para distancias entre 175 hasta 425 metros del incinerador sólo se pudo observar para plomo y no para mercurio. Nótese que cada par de muestras fue colectado con una separación aproximada de un metro una de la otra, razón por la cual no podemos, de manera honesta y

responsable, dar una explicación totalmente satisfactoria, a nuestro juicio, toda vez que esperaríamos concentraciones similares del metal en muestras de suelo colectadas prácticamente en el mismo lugar.

Dirección noreste

Los resultados de las concentraciones de mercurio en la dirección 45 grados al norte del este se muestran en la Figura 12. Sólo se colectaron muestras a distancias aproximadas de 175 y 245 metros. No fue posible colectar más muestras de suelo en esta dirección toda vez que algunos terrenos son privados, además de que algunos no lucían del todo apropiados para tal cosa debido ya que parecían alterados por el uso de excavadoras.

La concentración promedio de mercurio para una distancia aproximada de 175 metros resultó muy similar a la concentración en la dirección norte para la misma distancia. En la dirección norte 4.36 y en la dirección noreste 4.47 mg/Kg de suelo seco. En cambio al comparar el valor para 245 metros en la dirección noreste con el valor para 255 metros en dirección norte vemos que el primero es algo menor, 3.61 mg/Kg de suelo seco en comparación al segundo, 4.25 mg/Kg de suelo seco. No obstante ambos valores corresponden nuevamente a la categoría de suelos ligeramente contaminados con el metal según los *Índices Guías Kelly* (SCI, 1980).

En cuanto al plomo, este no fue detectado a la distancia de 175 metros en ninguna de ambas muestras, mientras que su concentración promedio determinada a 245 metros fue de 7.81mg/Kg de suelo seco. En el caso de este último valor es interesante el hecho de que es igual al promedio de 13.4 y 2.23 mg/Kg de suelo seco, valores relativamente

distantes uno del otro a pesar de corresponder a muestras con una separación de varios metros una de la otra. Es muy posible que esta diferencia sea debida en parte a que a esta distancia, ya el suelo haya sido algo alterado por el uso de excavadoras o alguna otra máquina para remover o aglutinar tierra. Especialmente considerando que muchos metales como el plomo y el mercurio se concentran en los primeros centímetros de suelo (ATSDR, 1999, 2007).

Es muy importante mencionar que aún el valor de 13.4 mg de plomo/Kg de suelo seco es uno muy bajo en suelos como para que estos sean considerados contaminados con el metal. De acuerdo a los *Índices Guía Kelly* (SCI, 1980), este valor corresponde a la clasificación de suelos no contaminados con el metal. Además, el valor recomendado por la EPA en su documento titulado *EPA'S National Guidelines for Lead Hazards in Dust, Soil and Paint* más allá del cual la agencia recomienda se tomen acciones correctivas específicas es igual a 400 mg/Kg de suelo seco (ppm), lo cual es muy superior a 13.4 ppm (EPA, 1994 a). Por último, esta concentración también está por debajo de la concentración promedio en suelos para el metal reportada por el Dr. John Emsley en su obra ya citada por nosotros (Emsley, 2003), lo cual el lector puede verificar. Un resumen de valores de concentraciones promedio en suelos para mercurio, plomo, vanadio y manganeso según reportados por el Dr. Emsley, así como del campo de valores considerados normales para las sustancias se encuentra en la Tabla 4.

En último lugar, una determinación de las concentraciones promedio de mercurio (Hg), plomo (Pb), vanadio (V) y manganeso (Mn) en la dirección noreste y a una distancia aproximada de 245 metros, reveló las concentraciones que se muestran en la Tabla 5. Estas concentraciones determinadas se comparan en la tabla con los valores

promedio obtenidos para las mismas sustancias en las muestras colectadas del Río La Plata, de la Reserva Forestal Carite, y con los valores promedio obtenidos por Segura-Muñoz y sus colaboradores para suelos aledaños a un incinerador de DBR desactivado en Brasil hasta una distancia de 500 metros (Segura-Muñoz et al. 2004). Podemos ver que las concentraciones determinadas de mercurio para las muestras de suelo junto al Río La Plata fueron similares a las determinadas para los terrenos en las inmediaciones de Biocelsius para distancias entre 175 a 425 metros de las instalaciones. Según los Índices Guías Kelly estas concentraciones corresponden a una clasificación de suelos ligeramente contaminados con el metal lo que indica un grado similar de contaminación por el metal en ambos suelos cercanos a un río. En el caso específico de los suelos junto al Río La Plata, estos fueron escogidos para propósitos de comparación debido a que son de matriz similar, aunque no idénticos, a los suelos junto a la quebrada cerca de las instalaciones de Biocelsius. En el caso de los suelos junto a la quebrada cercanos a estas instalaciones, y según los mapas de clasificación de suelos elaborados por Roberts y sus colaboradores (Roberts et al, 1936), estos son clasificados de la siguiente manera: *flood humid plains, well drained, gray, friable, granitic material; riverwash*, lo cual puede ser traducido como planicies inundables húmedas de buen drenaje, de material gris granítico fácilmente pulverizable, y lavadas por el río. Mientras, los suelos junto al Río La Plata cercanos al puente sobre la Carretera 1 están clasificados de la siguiente manera: *flood humid plains, well drained, brown, friable, tuffaceous material*, lo cual puede ser traducido como planicies inundables húmedas de buen drenaje, de material color marrón granítico fácilmente pulverizable, y de residuos volcánicos estratificados. Con el propósito de ayudarnos en esta traducción consultamos los valiosos diccionarios Webster (Británica,

1986). Según la valiosa fuente el granito es una roca ígnea fácilmente reducida a trozos, de alta dureza, y constituida mayormente por cuarzo, mientras que “tuff” es una roca de residuo volcánico más o menos estratificado. Podemos ver entonces que el origen de ambos suelos de acuerdo a esta clasificación es uno volcánico, que ambos son de material fácilmente pulverizable, y ambos son planicies inundables húmedas. Además, de acuerdo a Roberts y sus colaboradores estos suelos son apropiados para la siembra de caña de azúcar. Esto es algo a nuestro juicio, y de acuerdo a lo declarado a nosotros por el Dr. Neftalí García muy importante, toda vez que naturalmente distintos tipos de suelos tienen distintas concentraciones promedio de metales, no sólo de acuerdo a las condiciones externas prevalecientes como el grado de contaminación, si no también de acuerdo a su origen geológico lo cual determina su matriz. En el caso de Biocelsius, la evidente reducción en la concentración de mercurio en suelos con la distancia a las instalaciones, como hemos dicho, es una característica indicativa del patrón de distribución para fuentes puntuales de contaminación (ATSDR, 1999), lo que en nuestro caso podríamos identificar con el incinerados desactivado. En el caso de los suelos junto al Río La Plata, no habiendo incineradores cercanos de acuerdo a los permisos concedidos para estas fuentes de emisión por la JCA, ni tampoco plantas cercanas de elaboración de cemento o que procesen mercurio, o industrias que destilen petróleo o que quemen aceite residual o carbón por ejemplo, nos vemos forzados a pensar que este grado ligero de contaminación en los suelos cercanos al río puede en principio ser debido a la acumulación de mercurio arrastrado por las aguas río abajo, y que se deposita en los suelos junto a él, a medida que este crece en períodos de lluvias intensas.

Para los demás metales, los niveles resultaron significativamente más bajos que los de suelos cercanos a Celsius, con la excepción de plomo, el que a una de distancia de 245 m al noreste sólo fue superado por el nivel para esa sustancia en Carite. Aún así, todos estos niveles están por debajo de los necesarios para que los suelos sean considerados contaminados según los índices Kelly, razón por la cual nos vemos obligados a declarar que no existe en estos suelos contaminación por estos metales.

Aún así, dos observaciones importantes podemos hacer, además de las ya hechas, en relación a los valores de la Tabla 5. En primer lugar, todos los valores promedio de concentraciones de mercurio determinados para las muestras colectadas en nuestro estudio, las aldeañas a Biocelsius, las de suelos junto al Río La Plata, y las de Carite, resultaron mucho mayores a las determinadas para el metal por el Sr. Segura-Muñoz y sus colaboradores en suelos cercanos al incinerador desactivado de DBR en Brasil. Sólo en la concentración de manganeso (Mn) los tres lugares de estudio de la isla fueron superados por los suelos estudiados por Segura-Muñoz. No obstante aún la concentración de manganeso obtenida por este investigador, 665.7 mg/Kg de suelo seco, corresponde a la categoría de suelos no contaminados por el metal. Únicamente la concentración promedio de vanadio (V) obtenida por el investigador, 304.0 mg/Kg de suelo seco, corresponde a una categoría de suelos ligeramente contaminados por el metal. No obstante, como ya habíamos discutido, este metal no presenta grandes riesgos a la salud pública o al ambiente de acuerdo a los estudios existentes y se encuentra muy diseminado en todos los ambientes (ATSDR, 1992, Emsley, 2003). Quizás esto sea algo característico del grado de industrialización, a nuestro juicio excesiva de nuestra isla en comparación a otros países como Brasil donde, según se deduce del mismo escrito científico del Sr.

Segura Muñoz ya citado, existen todavía suelos completamente agrícolas y alejados de la influencia de fuentes de emisiones, tanto atmosféricas como a cuerpos de agua (Segura Muñoz et al. 2004).

En segundo lugar, el valor promedio obtenido de plomo (Pb) para los suelos a orillas de la Carretera 184 en la Reserva Forestal Carite, quizás refleja un alto grado de contaminación por plomo en las pasadas décadas, toda vez que el plomo fue añadido en el pasado en la forma de tetraetilo de plomo a la gasolina, como forma de aumentar el rendimiento de esta reduciendo la preignición (Emsley, 2003). Aunque sabemos que desde la década de 1980 en los Estados Unidos y sus territorios la gasolina con plomo ha sido prohibida, no es menos cierto que bajo ciertas circunstancias el plomo exhibe una muy baja movilidad en suelos, lo que es compatible con su retención y conservación en estos por muchos años (ATSDR, 2007). También es compatible con el hecho de que el plomo, una vez emitido a la atmósfera, se deposita en suelos relativamente cercanos a su fuente de emisión, especialmente las partículas más pesadas y de mayor tamaño que lo contienen (ATSDR, 2007).

Hallazgos administrativos y gerenciales

Redondo Waste Systems, operando bajo el nombre de Biocelsius, operaba ya una instalación para el procesamiento de desperdicios biomédicos para el año 1990, antes de la aprobación por la JCA del *Reglamento para el Manejo de Desperdicios Biomédicos Regulados* de 1991. Esto surge del mismo informe del estudio piloto sobre los desperdicios biomédicos confeccionado por la JCA en el año 1991 (JCA, 1991b). Según el informe, Biocelsius era para esa fecha una de seis firmas autorizadas a recoger

desperdicios biomédicos en la isla. Las otras firmas autorizadas para realizar esta actividad y la ubicación de sus oficinas eran las siguientes: M & R Medical Wastes Systems en Mayagüez, Medical Wastes Transport en Aibonito, Central Medical Wastes Transport en Comerío, Comercial Incineration en Carolina, y Browning Ferris Industries of Puerto Rico en Río Piedras (JCA, 1991b). No surge de dicho informe si ya para esta fecha la compañía operaba las dos instalaciones que sabemos operó en el Municipio de Caguas, o si por el contrario para esa fecha operaba sólo una de ellas. Una de estas instalaciones a las que hacemos referencia está ubicada en la Carretera 183 de Caguas a San Lorenzo, y es aquella en la cual la compañía operaba un sistema de autoclave y una trituradora para el tratamiento por esterilización de DBR de tipo no patológico. La otra es aquella ubicada en la Carretera Estatal 189 de Caguas a Gurabo, donde para comienzos de la década del año 2000 la compañía operaba un incinerador de DBR, y la cual es objeto de nuestro estudio de metales en suelos.

Para esta última instalación, Biocelsius contaba con un permiso de operación para una planta de procesamiento de desperdicios sólidos no peligrosos. Este permiso, inicialmente otorgado por la JCA bajo el número SI-004 el día 24 de marzo de 1997, y cuyo número fue cambiado años más tarde al IP-13-0055 (JCA, 2003 c), se suponía que venciese el día 24 de marzo de 2002. Contaba además Biocelsius con otros permisos para esta misma instalación. Uno lo era el PFE (Permiso de Fuente de Emisión) número TV-7261-13-0397-0018 para operar un incinerador de DBR el cual fue solicitado el día 26 de marzo de 1997 y concedido por la JCA el día 20 de agosto del año 2000, y que se suponía venciese el día 20 de agosto de 2005, y otro permiso expedido por la JCA el día 11 de junio de 2001 para la recolección y transportación de desperdicios sólidos con

número SR-13-0028, el cual se suponía venciese el día 11 de junio de 2004 ya que sólo tenía una vigencia de tres años (JCA, 2003 b).

El día 24 de enero de 2002, Biocelsius sometió a la JCA una solicitud para la renovación del permiso de operación SI-004 (cambiado luego a IP-13-0055) (JCA, 2002). No obstante, según nos aseguraron funcionarios de la División de Contaminación de Terrenos y de la División Legal de la JCA, este permiso nunca fue renovado. Las razones para esto las expondremos a continuación.

La compañía Biocelsius ya confrontaba problemas, a nuestro juicio bastante serios, para este año 2002. Esto a juzgar por las serias deficiencias reportadas por los técnicos ambientales de la JCA tras una visita de inspección a sus instalaciones donde operaba el incinerador, realizada el día 14 de febrero de 2002. En una carta fechada para el día posterior a dicha visita, 15 de febrero de 2002, y dirigida a la Dra. Haydee Redondo Maymí, Presidenta de Redondo Waste Systems, la JCA declara que ya para esta fecha la compañía Biocelsius operaba en violación al Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos no Peligrosos (RMDSNP) (JCA, 2002 a). Se señala también en la carta que la compañía operaba incluso en violación a su propio plan de operaciones titulado *Manual de Operaciones, Transportación y de Emergencia de la Planta de Manejo y Disposición de Desperdicios No Peligrosos e Infecciosos de Redondo Waste Systems*, según establecido en su parte IV, “*Programa de Adiestramiento, Equipo de Seguridad Personal*” y según otras partes del mismo. Entre los señalamientos hechos por la JCA los cuales violaban su propio reglamento se destacan en la carta los siguientes:

- El personal de la compañía no contaba con protectores para la cara ni con guantes resistentes a objetos punzantes;

- No contaban con extintores de incendios en el área de almacén;
- Se observaron recipientes plásticos para re-uso vacíos y sin limpieza;
- El área de operaciones no contaba con los requisitos de limpieza y organización para asegurar que los trabajos se realizaran en forma segura para el ambiente;
- Se encontraron desperdicios patológicos provenientes del Hospital Menonita en un recipiente plástico fechados para el 1 de octubre de 2001;
- Se observó que algunos desperdicios no contaban con paletas u otros recipientes similares para garantizar la seguridad en las instalaciones;
- Las áreas verdes de un patio interno de las instalaciones estaban llenas de cajas con desperdicios biomédicos y recipientes plásticos;
- Las áreas de almacenamiento no contaban con una sección de clasificación e identificación de desperdicios;
- Se encontraron desperdicios patológicos tales como un pie humano y un perro, en estado putrefacto, además de desperdicios no destruidos completamente tras el proceso de incineración;
- En el área de almacenamiento se encontraron desperdicios biomédicos sin identificar y fuera de empaques, y objetos punzantes en el piso, además de moscas y mimes;
- La instalación no contaba con un sistema de refrigeración para evitar la putrefacción de los desperdicios patológicos, y

- Se observaron en el área de almacenamiento desperdicios biomédicos en bolsas rojas provenientes del Hospital San Pablo los cuales excedían los quince días.

Por razones a nuestro juicio obvias, en la carta firmada por el Sr. Carmelo Vázquez Fernández, Director del Programa de Contaminación de Terrenos, la JCA denegó el continuar la evaluación de la renovación del permiso de operación de la instalación de Redondo Waste Systems Inc., hasta tanto la compañía corrigiese las deficiencias detectadas en sus instalaciones. Se le concedieron a la firma quince (15) días a partir del recibo de la notificación para que corrigiese dichas deficiencias si pretendía la renovación de su permiso de operación.

Varias cosas nos parecen importantes y queremos comentar acerca de estas imputaciones hechas por la JCA. Específicamente nos referimos a las imputaciones a las que hacemos énfasis, violaciones al propio plan de operaciones de Biocelsius, y también al RMDSNP en el caso de desperdicios patológicos. Nótese que los desperdicios patológicos procedentes del Hospital Menonita a los que se alude en la carta estaban fechados para el 1 de octubre de 2001, mientras que la visita de inspección a la que también se hace referencia se llevó a cabo el día 14 de febrero de 2002. Es decir, si la fecha de 2001 era correcta como de haberse recibido ese desperdicio patológico, habían transcurrido cuatro meses y medio sin que ese desperdicio fuera tratado mediante incineración, en abierta violación a la Regla 584 C (4) del RMDSNP. Este hallazgo resulta bastante serio cuando se declara también en la carta que se encontraron un pie humano y un perro en estado putrefacto, lo cual es indicativo de que había transcurrido el tiempo suficiente para que llegaran a este estado sin que fueran preservados para evitar la

putrefacción. Este hecho es sustentado también con el hallazgo declarado de que la instalación tampoco contaba con un sistema de refrigeración para evitar la putrefacción de los desperdicios patológicos.

Dos hallazgos adicionales son muy importantes, tanto como para no poder dejarlos sin comentar. En primer lugar, el hecho de que se hallaran durante la visita de inspección desperdicios incinerados pero no destruidos completamente tras este proceso. Este hecho sugiere que aún a los desperdicios incinerados posiblemente no se les estaba dando el suficiente tiempo de retención, o la temperatura adecuada en las cámaras de combustión. Obviamente, este hallazgo pudo haber constituido solamente un hecho aislado, o bien pudo ser el resultado de una omisión voluntaria y premeditada, con el posible propósito de lograr una economía de combustible a la compañía, aún en perjuicio de aquellos que pudiesen verse afectados por tal acción, en cuyo caso pudo llegar a convertirse en un *modus operandii*. En segundo lugar debemos comentar el hallazgo no menos importante de que en las instalaciones no se pudo identificar un área o sección de clasificación e identificación de desperdicios. Este hecho es uno muy significativo toda vez que se podría entender entonces, o que este proceso no se realizaba de la manera más adecuada, o que simplemente no se llevaba a cabo en lo absoluto. Esto es muy importante debido a que la clasificación e identificación de desperdicios es un paso previo a la segregación de estos, etapa que a su vez debería redundar en principio, en la prevención de la incineración de desperdicios que no debieran ser incinerados debido a su potencial de producir contaminantes atmosféricos peligrosos.

Además de todo esto, varios otros incidentes a nuestro juicio muy importantes relacionados al caso Biocelsius y el aludido permiso merecen una discusión seria. Veamos los siguientes.

El día 12 de agosto de 2002 personal de la JCA, tanto del Programa de Contaminación de Terrenos como del Área de Calidad de Aire, realizaron una visita a las instalaciones de Biocelsius. Esta visita fue documentada días más tarde en una carta informativa dirigida al Sr. Carmelo Vázquez Fernández por el técnico principal, María de los Ángeles Ortiz (JCA, 2002 b). Aunque no logramos entender algunas declaraciones de la carta, puesto que algunas de las cosas que se mencionan no son a nuestro juicio compatibles del todo con declaraciones hechas a nosotros por varios empleados de la JCA, ni tampoco con el mismo título de ésta, varios cosas resultan interesantes en la documentación de esta visita. Se hacen en la carta varios señalamientos. Entre ellos se destacan los siguientes: 1) que la visita a las instalaciones de Biocelsius se había efectuado por órdenes del Lcdo. Carlos López, oficial examinador; 2) que la visita se efectuó a pesar de que se le notificó a un tal Lcdo. Ángel Rosario de que no se debía llevar a cabo cual lo acordado, puesto que había sido avisada, no sabemos por quién, a la gerencia de Biocelsius, y por lo tanto se esperaba hallar todo en condiciones aceptables; 3) la preocupación del técnico principal, María de los Ángeles Ortiz, en torno a la actitud hostil mostrada por la Dra. Haydee Redondo hacia el personal de la JCA; 4) que la visita fue efectuada, además del técnico principal, por la Sra. Dilcia Becerra, de la División de manejo de Desperdicios Especiales, el Ing. Héctor Ávila del Área de Mejoramiento de Calidad de Aire, y por el Lcdo. Ángel Rosario de la Oficina de Asuntos Legales; 5) que en la visita se había encontrado todo limpio, un fuerte olor a cloro, y pintura

aparentemente reciente en el incinerador, y 6) que la inspección no se había podido completar debido a lo que fue calificado como una “actitud agresiva” de la Dra. Redondo hacia el personal de la JCA.

Los aspectos que no logramos entender de esta última carta son los siguientes. De acuerdo al título de la carta, se supone que se iba a inspeccionar el 12 de agosto de 2002 el sistema de incineración de Biocelsius. No obstante se dice también en la carta que la visita se realizó a la instalación de Biocelsius localizada en la Carretera 183 km. 1.7. Según fuimos informados por empleados de la JCA, y según se puede deducir de otros documentos en poder nuestro, el único incinerador de Biocelsius estaba siendo operado en la instalación localizada en la Carretera 189, km. 2.5, Sector Industrial Plácido González de Caguas, mientras que en su otra instalación, Biocelsius operaba un sistema de tratamiento de DBR el cual consistía de un sistema de autoclave para esterilización por vapor, y una máquina trituradora para la posterior destrucción de estos. Esto nos lleva a pensar que, o la dama que suscribe cometió algún error en la redacción de la carta al referirse a la dirección física de la instalación visitada, lo cual tiene sentido si consideramos que la Sra. María de los Ángeles Ortiz, declara en ella que dicha inspección no tenía que ver con la solicitud de renovación del permiso SI-0004, o al “incinerador” al que se refiere en la carta es tal vez el sistema de autoclave, o la empresa operaba entonces dos incineradores, uno en la instalación del Sector Industrial Plácido González y otro en la instalación de la Carretera 183. Esta última alternativa es menos probable a nuestro juicio, toda vez que el Área de Mejoramiento de Calidad de Aire nos informó de un único permiso par operar un incinerador (TV-7261-13-0397-0018), y del cual nos facilitó copia.

Otro aspecto que a nuestro juicio merece mención es la alegada notificación de la visita de los técnicos de la División de Terrenos a la gerencia de Biocelsius. Aunque es algo puramente especulativo, nos induce a pensar que posiblemente alguien en la agencia velaba por los intereses particulares de esta compañía.

En otra carta en nuestro poder fechada el día 30 de septiembre de 2002 dirigida a la Dra. Haydee Redondo Maymí, y firmada por la junta en pleno compuesta por el Lcdo. Esteban Mujica Cotto, Presidente, la Sra. Flor L. del Valle López, Vice Presidenta, y Ángel O. Berríos, Miembro Asociado, el Área de Mejoramiento de Calidad de Aire (AMCA) de la JCA, a pesar de todas las violaciones que la misma junta imputaba a Biocelsius, le otorgó a la compañía un permiso de modificación para una fuente de emisión con número PFE-13-0992-1161-III-C (JCA, 2002 c). Según la carta, la modificación propuesta lo fue el cambio de escenario al de una quema combinada. El permiso se suponía venciera el día 30 de septiembre de 2005.

El jueves 10 de abril de 2008 varias empleadas del Área de Mejoramiento de Calidad de Aire (AMCA) nos explicaron muy amablemente que el cambio de escenario al que se hacía alusión en el permiso era al de una quema combinada de 90% de desperdicios patológicos y 10% de otros desperdicios biomédicos, con el fin de evitar así la aplicación de las normas más restrictivas de la Regla 405(b) del Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica.

Casi tres años después de la otorgación del permiso de modificación o construcción PFE-13-0992-1161-III-C, y veintiún días antes de su vencimiento, el 9 de septiembre de 2005, la JCA en pleno con el Lcdo. Carlos W, López Freytes como Presidente y los mismos otros dos miembros, a pesar de todas las imputaciones hechas a

Biocelsius, concedió otra autorización a esta compañía, esta vez para la revisión del permiso de construcción aludido, mediante carta dirigida a Ángel Pérez (JCA, 2005). Esta vez, según declara textualmente la carta, la revisión se autorizó con el propósito de cambiar el nombre de la instalación de Redondo Waste System Inc. a Big Blue Corporation d/b/a Bio Celsius, reflejar el cambio del oficial responsable, su número de teléfono, y la dirección postal. De acuerdo a este nuevo cambio autorizado por la junta, la Sección I del permiso de construcción, que ya había sufrido un cambio anterior por lo que se desprende de la carta el día de marzo de 2001, leería de la siguiente forma:

Nombre de la fuente: Big Blue Corporation d/b/a Bio Celsius

Número de permiso: PFE-13-0992-1161-III-C

Dirección Física: Carretera 189 km. 2.6 Int.
Parque Industrial Plácido González
Lote A-1
Caguas, P.R.

Dirección postal: PO Box 6616
Caguas, P.R. 00726

Oficial responsable: Ángel Pérez
Presidente
Big Blue Corporation d/b/a Bio Celsius

Teléfono: (787) 258-3838

Existe un aspecto respecto de todo lo que acabamos de discutir, a nuestro juicio más preocupante aún. Y es que a nuestro mejor entender la JCA, a pesar de contar con una División Legal, no realizó un análisis legal responsable y juicioso del estado de situación de la compañía Biocelsius, en cuanto a los permisos de operación otorgados a esta se refiere. Veamos.

En relación a la solicitud de renovación del permiso IP-13-0055, y tras varias instancias e incidentes procesales, el día 29 de octubre de 2003 la Oficial Examinadora, Lcda. Miriam González Olivencia sometió un informe a la JCA acerca de algunos de sus hallazgos relacionados al caso (JCA, 1003 c). En dicho informe del cual tenemos copia en nuestro poder, la Lcda. González hace mención de otros hallazgos acerca de las operaciones de Biocelsius, y también hace un resumen a grandes rasgos de las deposiciones de algunos conocedores de la disciplina ambiental, de la Doctora Redondo, y de vecinos de las comunidades aledañas a la Zona Industrial Plácido González de Caguas durante una vista pública para considerar la otorgación del permiso aludido que había sido celebrada el día 26 de marzo de 2003.

Debido a la complejidad en algunos casos y a la extensión de algunas de las deposiciones en dicha vista, y en vista de que el lector puede consultar el aludido informe que es un documento público, no comentaremos estas deposiciones, con la única excepción de declarar que todas, con la excepción obvia de aquella de la Dra. Redondo, fueron en oposición a la renovación del permiso. No obstante, sí comentaremos algunos de los más importantes hallazgos, imputaciones a Biocelsius, y declaraciones de la Lcda. González en dicho informe. Entre ellos podemos mencionar los siguientes:

- Que la gerencia de Biocelsius, en violación a la Regla 405 del RCCA había fallado en muestrear la chimenea de su incinerador cada cinco años por cuanto lo había hecho más tarde de lo debido;
- Desperdicios incinerados que se podían reconocer, entre ellos patológicos;

- Ausencia de registro de la tasa de incineración para mostrar cumplimiento con el límite de 1680 lb/hr;
- Temperaturas menores a 1460 grados en la cámara primaria del incinerador y menores de 1700 grados en la cámara secundaria;
- Ausencia de lectura de emisiones visibles;
- Descarga el incinerador accesando el terreno;
- Ausencia de aparato para medir opacidad;
- Desperdicios patológicos sin tratar y sin refrigeración, y
- La emisión de dos órdenes de cumplimiento por parte de la EPA a Biocelsius, una por incumplimiento a disposiciones del 40 CFR 62.14470 que obligan cualificar a operadores de incineradores, y del 40 CFR 62.14411 que obligan a realizar pruebas de emisión para demostrar cumplimiento con estándares de emisión, y otra por alegadas descargas ilegales de aguas usadas a recursos de aguas de los Estados Unidos (33 U.S.C. Sección 1362 (7)).

Hay algo que no queremos dejar pasar inadvertido en relación a las declaraciones de la propia Lcda. González, y de acuerdo a las propias declaraciones de la Dra. Redondo el día de la vista pública según narrado por la Oficial Examinadora.

Según nos fue informado en la Oficina de Contaminación de Terrenos el día 10 de abril de 2008, el permiso de operación IP-13-0055, el cual se suponía venciese el día 24 de marzo de 2002 nunca fue renovado, algo en lo que estuvo de acuerdo un abogado de la JCA al que consultamos varias veces, incluso ese día de 10 de abril de 2008. No obstante, en una visita al Área de Calidad de Aire ese mismo día, los técnicos de dicha división de

la JCA nos aseguraron que Biocelsius estuvo autorizada a incinerar hasta el 20 de agosto del año 2005 en virtud de que el permiso TV-7261-13-0397-0018 el cual los autorizaba a operar una fuente de emisión expedido por ellos había expirado en esa fecha. Esto, a pesar de que les comunicamos el hecho ya discutido de que el permiso para operar su instalación en la Zona Industrial Plácido González, IP-13-0055, instalación donde estaba localizado el incinerador, había vencido desde el 20 de marzo de 2002.

Al este servidor reconvenir a los argumentos de legalidad de incineración por parte de la empresa de una de las empleadas, en el sentido de que era imposible que esta empresa hubiese estado operando de manera legal su incinerador hasta el año 2005, toda vez que el otro permiso había expirado años antes y nunca había sido renovado, la empleada declaró entonces que los permisos concedidos por su división no tenían nada que ver con los permisos otorgados por la División de Contaminación de Terrenos.

No conformes con la explicación de los amigos en el Área de Calidad de Aire nos dieron, decidimos regresar ese día 10 de abril a la División de Terrenos. Tras inquirir a uno de los técnicos de terrenos acerca de lo declarado a nosotros por sus compañeros de Calidad de Aire, el empleado nos refirió al Capítulo IX, Regla 649 D (3), el cual lee de la siguiente manera:

“Si la solicitud de renovación se somete sesenta (60) días o más antes de la fecha de expiración del permiso, el mismo continuará vigente hasta la fecha de emisión del nuevo permiso y el poseedor continuará cumpliendo con todas las condiciones del permiso existente”.

Podemos ver entonces que, de acuerdo a este técnico de terrenos, el permiso de Biocelsius para operar su instalación nunca venció debido a que según él, de acuerdo a

esta disposición del RMDSNP, el permiso debía continuar vigente hasta tanto se renovara el mismo, toda vez que oportunamente se había solicitado su renovación. No conformes con esta explicación este servidor refirió entonces al empleado a otra disposición del mismo reglamento, la Regla 642 I del Capítulo IX la cual reza:

“Todo permiso para operar una instalación de desperdicios sólidos no peligrosos será válido por un período máximo de cinco (5) años”.

Nos preguntamos entonces, e inquirimos al empleado acerca de cómo era posible que en el RMDSNP hubiese dos disposiciones aparentemente contradictorias, y cómo era que la junta las interpretaba de manera, a nuestro juicio acomodaticia, a favor de Redondo Waste Systems y su compañía Biocelsius.

Por último ese mismo día, no conformes con la explicación del técnico en la División de Terrenos decidimos consultar a un abogado de la División Legal de la JCA. El abogado nos confirmó lo que en efecto ya suponíamos, que la JCA interpretaba estas disposiciones a favor de Biocelsius. Según el abogado, Biocelsius no había estado operando de manera ilegal luego del 24 de marzo de 2002 las instalaciones del incinerador, toda vez que la JCA nunca les revocó el aludido permiso, aunque tampoco lo renovó, si no que lo había dejado “en suspenso”. Procedimos entonces a expresarle al abogado nuestra inconformidad, toda vez que esta interpretación nos pareció absurda ya que podía dejar, de ser correcta, algunos permisos con vigencia permanente “*de facto*”. El abogado nos indicó entonces que alguien con legitimación activa debió impugnar alguna de las disposiciones contradictorias, o la decisión de la JCA de dejar en suspenso la consideración del aludido permiso.

De cualquier forma, gracias a la valiosa ayuda de este abogado de la JCA, y gracias a la valiosa ayuda de una empleada de la presidencia de la agencia, ese día pudimos tener acceso a algunos de los documentos aludidos por nosotros, específicamente la resolución R-03-33-1 de la JCA y el informe del 29 de octubre de 2003 de la Oficial Examinadora.

No conformes con lo informado a este servidor el día 10 de abril de 2008 por los empleados de la JCA, varios días después de nuestra visita nos dedicamos a examinar algunas de las disposiciones del RMDSNP. Cuál no fue nuestra sorpresa al percatarnos entonces de que otra disposición del reglamento, a nuestro juicio muy bien pensada, advierte ya la posibilidad de contradicción en ciertas disposiciones y muestra el remedio administrativo a seguir en tal caso. Se trata de la Regla 523 del Capítulo II, bajo el título “DISPOSICIONES CONFLICTIVAS O CONTRADICTORIAS” que reza:

“Cuando dos o más disposiciones de este Reglamento sean aplicables a la misma situación de hechos y éstas resultaran ser contradictorias o conflictivas entre sí, se aplicará la que sea más restrictiva. Si surgieran conflictos o contradicciones entre disposiciones de este Reglamento y cualesquiera otras disposiciones legales o reglamentarias administradas por una agencia gubernamental con jurisdicción y estas últimas resultasen ser más restrictivas que las primeras, sólo se aplicaran las disposiciones más restrictivas. No obstante, nada de lo dispuesto por esta Regla deberá interpretarse como que exime a alguna persona de tener que cumplir con las reglas y los requisitos que le sean exigibles por dichas agencias, aún cuando dichas reglas o requisitos sean menos restrictivos que las disposiciones de este Reglamento”.

No creemos conveniente el comentar esta disposición del RMDSNP en cuanto a lo expuesto por nosotros en alusión al vencimiento del aludido permiso de operación IP-13-0055, ya que a nuestro juicio se explica por sí misma. No obstante sí comentaremos otros tres aspectos que nos parecen importantes.

En primer lugar está el hecho de que la misma Oficial Examinadora del caso, la Lcda. Miriam González concuerda con nosotros, en oposición a lo expuesto por el abogado consultado en la JCA, en que el permiso IP-13-0055 venció el día 24 de marzo de 2002 (Véase informe en su página 1 y otras, JCA, 2003 b), en segundo lugar la Oficial Examinadora declara en su informe que el permiso de fuente de emisión estaba supeditado al permiso de operación IP-13-0055, y en último lugar que según el informe la Doctora Redondo declaró que había cesado de incinerar el día 15 de septiembre de 2002. Esto a pesar de que según los técnicos de Calidad de Aire, la gerencia de Biocelsius y la Dra. Redondo manifestaban estar incinerando hasta el año 2006, y a pesar de que según la JCA, las instalaciones de Biocelsius mostraban hasta el pasado año 2007 una gran acumulación de desperdicios patológicos.

Todo esto expuesto anteriormente nos induce a concluir de manera irrevocable que cuando menos desde el día 24 de marzo de 2002, hasta el día 15 de septiembre de 2002, Biocelsius operó su sistema de incineración en la Zona Industrial Plácido González de manera ilegal, y en abierta violación a las leyes y reglamentos ambientales estatales y federales aplicables.

Algunos otros documentos en nuestro poder apuntan a otro número de violaciones a los reglamentos y leyes aplicables por Biocelsius en la operación de la otra instalación donde operaba el sistema de autoclave y trituración de DBR. No obstante, un análisis

minucioso y profundo de las operaciones de esta empresa está más allá del alcance de esta investigación, además de que convertiría nuestra discusión en una muy extensa. El lector ávido puede referirse a otros documentos de la JCA los cuales son de dominio público.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Varias son las conclusiones a las que podemos llegar de acuerdo a los resultados experimentales de nuestra investigación. Entre ellas podemos mencionar las siguientes, que a nuestro juicio son las más importantes:

- i. En términos generales la evidencia indica que desde los desperdicios vertidos sobre el suelo algunos metales lixiviaron de manera apreciable, especialmente vanadio, lo cual refleja de manera indirecta la composición de metales en los desperdicios y la diversidad de materiales junto a los DBR.
- ii. El valor de TOC determinado para la muestra de agua estancada de la charca cercana a los desperdicios indica que desde los DBR la materia orgánica no lixivió de manera apreciable en comparación a lixiviados típicos de SRS.
- iii. Los predios de terreno justo en el lugar donde estuvieron vertidos los DBR muestran una ligera contaminación por mercurio de acuerdo a los *Índices Guías Kelly* (SCI, 1980).
- iv. Los terrenos aledaños a las instalaciones de Biocelsius en la dirección norte, hasta una distancia aproximada de 675 metros, muestran una ligera contaminación por mercurio de acuerdo a los *Índices Guías Kelly para Suelos Contaminados* (SCI, 1980). Lo mismo es cierto en una dirección

aproximadamente 45 grados al norte del este hasta una distancia aproximada de 245 metros con relación a las instalaciones. Estos suelos, al igual que los suelos junto al Río La Plata en Cayey y los muestreados en Carite, aunque no constituyen un riesgo inminente sí constituyen un riesgo potencial de contaminación por mercurio para la población cercana que realice actividades en ellos.

- v. Para el metal mercurio, la disminución en la concentración del metal con la distancia de las instalaciones de Biocelsius es indicativo de un patrón de distribución característico de una fuente puntual de contaminación (ATSDR, 1999).
- vi. En términos generales, en cuanto al plomo se refiere, existe también un patrón de disminución en su concentración con respecto a la distancia de las instalaciones en la dirección norte.
- vii. Las concentraciones determinadas de mercurio para las muestras de suelo junto al Río La Plata y Carite resultaron similares a las determinadas para los terrenos en las inmediaciones de Biocelsius para distancias entre 175 a 425 metros de las instalaciones, y correspondientes a la categoría de suelos ligeramente contaminados con el metal según los Índices Guías Kelly (SCI, 1980), lo que indica un grado similar de contaminación por este metal. Este hecho los convierte en un riesgo potencial de contaminación por mercurio para la comunidad expuesta al polvo de estos.
- viii. Los suelos utilizados como grupo control en Carite y el Río La Plata en Cayey, en términos generales, mostraron concentraciones mayores para

todos los metales con excepción de mercurio, el cual mostró una concentración promedio similar en el suelo junto al Río La Plata, y ligeramente menor en Carite, y plomo el cual mostró una concentración mayor sólo en comparación al Suelo junto al Río La Plata y no con respecto a los suelos en Carite. No obstante, no pueden ser clasificados como contaminados por plomo (Pb), vanadio (V), o manganeso (Mn) de acuerdo a los citados índices.

En cuanto al análisis de los documentos estudiados y citados por nosotros de la JCA, junto al estudio de algunas de las disposiciones más importantes del RMDSNP en su Capítulo V, nos conducen de manera irremediable a concluir lo siguiente:

- i. Que cuando menos desde el día 20 de marzo del año 2002, hasta el 15 de septiembre de ese mismo año, la compañía Redondo Waste Systems haciendo negocios como Biocelsius, operó su sistema de incineración de manera ilegal y en abierta violación a varias disposiciones del RMDSNP.
- ii. Que como también aseguran algunos de los documentos citados de la JCA Redondo Waste Systems violó, de manera temeraria a nuestro juicio y en varias ocasiones, las leyes y reglamentos ambientales aplicables en la operación de sus instalaciones de tratamiento y disposición de DBR.
- iii. Que la agencia reguladora estatal, en este caso la JCA, actuó de manera negligente y débil de carácter en su deber ministerial de hacer cumplir los reglamentos y leyes ambientales vigentes, y sobretodo en hacer cumplir la

política ambiental del Estado Libre Asociado de Puerto Rico para salvaguardar el ambiente y la salud pública.

Recomendaciones

En cuanto a las determinaciones de metales en los suelos aledaños a las instalaciones estudiadas de Biocelsius, al no existir contaminación por ninguno de los metales determinados, con la excepción de mercurio, responsablemente debemos declarar que la situación existente en estos suelos no amerita ninguna acción correctiva o de remediación.

En cuanto a las concentraciones de mercurio se refiere, aunque la situación prevaleciente en los suelos aledaños a Biocelsius es una de contaminación ligera por el metal de acuerdo a los *Índices Guías Kelly*, no creemos que tal grado de contaminación amerite algún tipo de acción correctiva o de remediación inmediata. Por lo menos no más de lo que lo ameritan los suelos en Carite o junto al Río La Plata en Cayey, toda vez que el grado de contaminación de acuerdo a las concentraciones promedio determinadas para el metal en ambos suelos es similar. Por otra parte, aunque de acuerdo a los citados índices existe una ligera contaminación por el metal en estos suelos, los valores obtenidos se sitúan cercanos al límite inferior para ser considerados contaminados de acuerdo a estos índices. Otro factor a considerar al declarar esto es el hecho de que estos suelos tampoco son propensos a ser utilizados por niños menores en juegos, toda vez que en algunos lugares el terreno es un tanto escabroso, lleno de piedras, con mucha vegetación, y de difícil acceso. No obstante, es recomendable una nueva determinación de mercurio en estos suelos si se pretende en un futuro algún tipo de extracción de la corteza terrestre

de estos suelos. Algo que también nos preocupa es la posible contaminación de las aguas de la quebrada, ya que en varias ocasiones nos percatamos de algunas personas adultas pescando en el lugar. No obstante, la determinación de contaminantes en el agua de la quebrada no es el objeto de este estudio, aunque sí creemos que puede y debiera ser el objeto de estudios futuros.

En cuanto a su gestión administrativa, hacemos las siguientes recomendaciones a la JCA:

- Mayor fiscalización de las empresas bajo su jurisdicción;
- Hasta donde sea posible, impulsar el procesamiento criminal de los transgresores a leyes ambientales;
- La creación de una sola división en la JCA para la expedición de todos los permisos de operación para instalaciones de procesamiento y/o disposición final de desperdicios sólidos y otros;
- Impulsar la realización de estudios epidemiológicos sobre la prevalencia de enfermedades respiratorias y/o cáncer a las comunidades vecinas por parte del Departamento de Salud, y
- Determinación de las concentraciones de otros contaminantes en suelos para descartar contaminación por estos, o tomar acciones correctivas si fuere necesario.

Mientras, recomendamos a desarrolladores o a cualquier persona natural o jurídica, la realización de nuevos análisis químicos de mercurio en los suelos cercanos a las instalaciones estudiadas de Biocelsius, previo a cualquier proceso de extracción de la corteza terrestre como medida preventiva de riesgo de exposición al mercurio.

LITERATURA CITADA

- Altaii, K. & Farrugia, R.N. (2003). *Wind Characteristics on the Caribbean Island of Puerto Rico*. *Renewable Energy*, 28: 1701-1710. <http://www.sciencedirect.com>.
- Alvin Ferraz, M.C.M., Alfonso, S.A.V. (2003). *Dioxin Emission Factors for the Incineration of Different Medical Waste Types*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44: 460-466.
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (1992). *Toxicological Profile for Vanadium and Compounds*. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58.pdf>
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (1999). *Toxicological Profile for Mercury*. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>
- Agency for Toxic Substance and Disease registry. (2000a). *Toxicological Profile for Chromium*. <http://atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.pdf>.
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (2000b). *Toxicological Profile for Manganese*. <http://atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf>.
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (2007). *Toxicological Profile for Lead*. <http://atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>.
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico. (2006). *Informe de Calidad de Agua*.
- Belluck, D.A., Benjamín, P., Baveye, P., Sampson, J. & Johnson, B. (2003). *Widespread Arsenic Contamination of Soils in Residential Areas and Public Spaces: An Emerging Regulatory or Medical Crisis*, *International Journal of Toxicology*, 22: 109-128.
- Birk, J.P. (1994). *Chemistry*. Houghton Mifflin Company, U.S.A. p. 468.
- Boatright, D.T. & Edwards, A.J. (1995). *A Comprehensive Biomedical Waste Survey*, *Journal of Environmental Health*, Vol. 95, no. 8.
- Brigden, K., Labunska, I., Stringer, R., Johnston, P., Santillo, D. & Ashton, J. (2000). *Identification of Organic Pollutants and heavy metal Contaminants in Samples collected from the Trieco Hazardous and Medical Waste Incinerator, Buenos Aires Province, Argentina 2000*. Greenpeace Research Laboratories, Department of Biological Sciences, University of Exeter, Exeter, UK.

- Bulgariu, L., Bulgariu, D., Robu, B. & Macoveanu, M. (2007). *The impact of Urbane Soils Pollution with Heavy Metals (Cd, Pb) – Case Study: Industrial Zone, Iasi City*. Series Chemistry 16 (1) 65-82.
- Caro, L. & Sanjurjo, L. (2007). *Salud no Huele el Problema*. Primera Hora. p. 3, 29 de agosto.
- EC, European Commission DG ENV. E3 (2002). *Heavy Metals in Waste; Final Report*, Denmark. http://www.pbfree.com/pdf/weee-rohs_info/heavymetals.pdf
- Emsley, J. (2003). *Nature's Building Blocks: A-Z Guide to the Chemical Elements*. Oxford University Press, Oxford, New York, U.S. pp. 254-261.
- Europa Technologies, (2008). *Google Earth*. www.googleearth.com.
- Feng, N., Dagan, R. & Bitton, G. (2007). *Toxicological Approach for Assessing the Heavy Metal Binding Capacity of Soils*, Soil & Sediment Contamination, 16: 451-458
- Florida Department of Environmental Protection, (1999). *Best Management Practices for Reducing and Managing Mercury in Florida Medical Facilities: Field Testing*.
- Hopgood, E. (2007). *Arranca Limpieza en Solar de Biocelsius*. El Nuevo Día. p 16, 5 de septiembre.
- Junta de Calidad Ambiental. (1991a). *Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Biomédicos*.
- Junta de Calidad Ambiental. (1991b). *Estudio Piloto: Desperdicios Bio-Médicos, Evaluación de la Comunidad Regulada y Proyección de Volumen*.
- Junta de Calidad Ambiental. (1995). *Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica*.
- Junta de Calidad Ambiental. (1997a). *Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos no Peligrosos*. <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/2D37EF80-3560-4421-876A-4194479651BC/0/control/DesperdiciosSolidosNoPeligrosos>.
- Junta de Calidad Ambiental. (1997b). *Permiso de Operación para una Fuente de Emisión Cubierta bajo el Título V*. Redondo Waste Systems, Inc. Pág. 9.
- Junta de Calidad Ambiental. (2002a). *Solicitud de Renovación de Permiso de Operación*. Carta dirigida a la Dra. Haydee Redondo Maymí, 15 de febrero de 2002.

- Junta de Calidad Ambiental. (2002b). *Solicitud de Inspección Sistema de Incineración de Desperdicios Sólidos no Peligrosos y Biomédicos Regulados*. Carta dirigida por la Técnico Ambiental Principal, María de los Ángeles Ortiz, al Sr. Carmelo Vázquez Fernández, Director del Programa de Reglamentación sobre Contaminación de Terrenos. 27 de agosto de 2002.
- Junta de Calidad Ambiental. (2002c). *Modificación de Permiso de Construcción*. Carta dirigida a la Dra. Haydee Redondo Maymí. 30 de septiembre de 2002.
- Junta de Calidad Ambiental. (2003a). *Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico*. Versión enmendada.
- Junta de Calidad Ambiental. (2003b). *Resolución Interlocutoria R - 03 – 33 - 1*. Sobre: Solicitud de Permiso para Operación de un Incinerador. 25 de noviembre de 2003.
- Junta de Calidad Ambiental. (2003c). *Informe de la Oficial Examinadora, Lcda. Miriam González Olivencia, sobre solicitud de permiso para operación de un incinerador*. 29 de octubre de 2003.
- Junta de Calidad Ambiental (2005). *Revisión permiso de construcción*. Carta dirigida al Sr. Ángel L. Pérez. 9 de septiembre de 2005.
- Justicia, S.M. (2007a). *Ahogados por Hedor de Basura Biomédica*. Primera Hora. p. 2-3, 28 de agosto.
- Justicia, S.M. (2007b). *Fondos para Limpiar Basura Biomédica*. Primera Hora. p 2-3, 29 de agosto.
- Lichtveld, M.Y., Rodenbeck, S.E. & Lybarger, J.A. (1992). *The Findings of the Agency for Toxic Substances and Disease Registry Medical Waste Tracking Act Report*, Environmental Health Perspectives, Vol. 98, pp. 243-250.
- Lindberg, S., Southworth, G., Bogie, M.A., Blasing, T.J., Owens, J., Roy, K., Zhang, H., Kuiken, T., Price, J., Reinhart, D. & Sfeir, H. (2005). *Airborne Emissions of Mercury from Municipal Solid Waste, I: New Measurements from Six Operating Landfills in Florida*. Air & Waste Management Association, 55: 859-869.
- Luger, D. (1997) *Smoke Out*. Health Systems Review, Vol. 30, I, p.11
- McKee, T. & McKee, J.R. (2003). *Biochemistry: The Molecular Basis of Life*, Tercera Edición. McGraw-Hill, N.Y. Page 498.
- Milenkovic, N., Damjanovic, M. & Ristic, M. (2005). *Study of Heavy Metal Pollution in Sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro*. Polish journal of Environmental Studies, Vol. 14, No. 6, 781-787.

- Miller, G.T. (1998). *Living in the Environment: Principles, Connections and Solutions*. Wadsworth Publishing Company. U.S.A. Page 581.
- Ministerio de Salud de la República de Colombia. (1997). *Plan de Manejo Seguro de los Residuos a Nivel de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud*. Primera Edición. Junio.
- Naidu, R., Oliver, D. & McConell, S. (2003). *Heavy Metal Phytotoxicity in Soils*. National Environment Protection Council, Adelaide, Australia, pp. 235-241. http://www.ephc.gov.au/pdf/cs/workshopdocs/17_Phytox_Naidu_HeavyMetal.pdf
- Ohlson, M. & Staaland, H. (2001). *Mineral Diversity in Wild Plants: Benefits and Bane for Moose*. OIKOS, Copenhagen, 94: 442-454.
- Prescott, L.M., Harley, J.P. & Klein, D.A. (2005). *Microbiology*, Sixth Edition. Mc. Graw Hill Inc., N.Y. pp. 636-637.
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C. & Campos., A. (2006). *Contaminación por Metales Pesados en Suelo Provocada por la Industria Minera*. Ecología Aplicada, 5(1,2) 149-155.
- Roberts, R. C. (1936). *Puerto Rico Soil Map, East Central Sheet*. U.S. Department of Agricultura, Bureau of Chemistry and Soils, Soil Survey Division, Charles E. Kellogg, Chief.
- Rohena, S. (2005) *El Manejo de los Desperdicios Sólidos Peligrosos y no Peligrosos de Conformidad a la Ley de Conservación y de Recuperación de Recursos (RCRA) del 21 de octubre de 1976 Según Enmendada*, Vol. 1.
- Rutala, W.A. & Mayhall, C.G. (1992). *Medical Waste*, The Society for Hospital Epidemiology of America Position Paper. Inspection Control and Hospital Epidemiology, Vol. 13, no. 1, pp. 38-48.
- Society for the Chemical Industry. (1980). *Kelly Indices Guidelines for Contaminated Soils*. Proc. Conference on Reclamation of Contaminated Land, Eastbourne U.K. http://www.clarrc.ed.ac.uk/index.php?option=com_docman&task=down&bid=19.
- Segura Muñoz, S.I., Bocio, A., Trevilato, T.M.B., Takayanagui, A.M.M. & Domingo, J.L. (2004). *Metal Concentrations in Soil in the Vicinity of a Municipal Solid Waste Landfill with a Deactivated Medical Waste Incineration Plant, Ribeirao Preto, Brazil*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 73: 575-582.

- Southworth, G., Lindberg, S., Bogie, M.A., Zhang, H., Kuiken, T., Price, J., Reinhart, D. & Sfeir, H. (2005). *Airborne Emissions of Mercury from Municipal Solid Waste, II: Potential Losses of Airborne mercury before Landfill*. Air & Waste Management Association, 55: 870-877.
- Taylor, R., Allen, A. (2006). *Waste Disposal and Landfill : Information Needs*. World Health Organization, Geneva. pp. 339-362. Extraído marzo 7, 2008. www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/en/groundwater12.pdf
- Tortora, G.J., Funke, B.R., Case, C.L. (2002). *Microbiology: An Introduction*. CA, Estados Unidos de América: Benjamin Cummings, Pearson Education Inc. San Francisco, CA, U.S.A. Page 594.
- U.S. Congress, Office for Technology Assessment (1990). *Finding the Rx for Managing Medical Wastes*, OTA-O-459. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- US Environmental Protection Agency (a) *Mercury in Medical Waste*. Extraído octubre 3, 2007. <http://www.epa.gov/reg5oair/glakes/fact2.htm>.
- US Environmental Protection Agency (b) *Medical Waste Frequent Questions*. Extraído octubre 3, 2007. <http://www.epa.gov/epaoswer/other/medical/mwfaqs.htm>
- US Environmental Protection Agency (c) *Medical Waste Tracking Act of 1988*. Extraído septiembre 15, 2007. <http://www.epa.gov/epaoswer/other/medical/tracking.htm>.
- US Environmental Protection Agency (d) *Medical waste*. Extraído septiembre 15, 2007. <http://www.epa.gov/epaoswer/other/medical/index.htm>.
- US Environmental Protection Agency (e) *Medical Waste Regulations*. Extraído septiembre 15, 2007. <http://www.epa.gov/epaoswer/general/orientat/rom52.pdf>.
- US Environmental Protection Agency (1991). *Methods for the Determination of Metals in Environmental Samples*. EPA/600/4-91/010. <http://www.epa.gov/region03/esc/library/methods.htm#water>. Extraído febrero 25, 2008.
- US Environmental Protection Agency. (1994a). *EPA'S National Guidelines for Lead Hazards in Dust, Soil and Paint: A Summary and Analysis*.
- US Environmental Protection Agency. (1994b). *Methods for the Determination of Metals in Environmental Samples, Supplement I*. EPA-600/R-94/111. <http://www.epa.gov/region03/esc/library/methods.htm#water>. Extraído febrero 25, 2008.
- Ward, A.D., Trimble, S.W. (2004). *Environmental Hydrology*, Second Edition. CRC Press, U.S.A.

Weng, L., Temminghoff, E.J., Lofts, S., Tipping, E. & Van Riemsdijk, W.H. (2002). Complexation with Dissolved Organic Matter of Heavy Metals in a Sandy Soil, *Environmental Sciences Technology*, 36: 4804-4810.

World Health Organization. (2005). *Mercury in Health Care: Policy Paper*. http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/mercurypolpaper.pdf.

Yoshida, M., Sothom, A., Souissi, N., Bouselmi, L., Jedidi, N., Ghrabi, A. & Ferchichi, M. (2002). *Characterization of Leachate from Henchir El Yahoudia Closed Landfill*. *Solid Waste Landfill and Soil/Sediment Contamination: Case Studies in Tunisia*, pp. 1-9.

TABLAS

Tabla 1. Resultados comparados de análisis químicos a dos muestras de agua estancada con lixiviados de los DBR colectadas con tres meses y medio de diferencia una de la otra. A C₁ se le ordenó también la determinación de Carbono Orgánico Total (TOC). Las concentraciones están reportadas en mg/L.

Análisis	C₁	C₂	Estándar	Límite de detección	Método EPA
Arsénico	ND	-	-	0.002	200.7
Cadmio	ND	-	-	0.0002	200.7
Cromo	0.036	0.004	0.011(Cr ⁺⁶)	0.0002	200.7
Mercurio	0.0004	ND	5 x 10 ⁻⁵ b	0.0003	245.7
Plomo	0.015	ND	0.0081a	0.001	200.7
Vanadio	0.099	0.015	-	0.001	200.7
TOC	21.0	-	-	0.1	415.1

Tabla 2. *Valor de TOC obtenido en nuestro experimento para una muestra de agua estancada en comparación a los valores de TOC obtenidos por Yoshida y sus colaboradores para lixiviados procedentes de varios puntos de muestreo del SRS clausurado Henchir El Yahoudia, Túnez (Yoshida et al., 2002).*

Muestra	Valor de TOC (g/Litro)
L1	1.977
L2	1.652
L3	1.416
L4	0.199
L5	1.797
L6	2.029
L7	2.143
L8	2.083
L9	0.921
Agua estancada	0.021

Tabla 3. Concentraciones determinadas de mercurio (Hg), plomo (Pb), vanadio (V) y cromo (Cr) en mg/Kg de suelo seco para una muestra de suelo en los predios de Biocelsius colectada el día 16 de marzo de 2008. Se indican también los métodos de análisis y sus límites de detección.

Metal determinado	C (mg/Kg de suelo seco)	LD (mg/Kg de suelo seco)	Método
Hg	3.25	0.07	SW846/7471a
Pb	1.15	0.63	SW846/6010C
V	1.34	0.66	SW846/6010C
Cr	3.23	0.60	SW846/6010C

SW846 Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. 6010C – Espectroscopía de Emisión Atómica ICP. 7471 A – Mercurio en desperdicios sólidos o semisólidos. Absorción Atómica de Vapor Frío (CVAAS).

Tabla 4. *Valores promedio de concentraciones de mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr), vanadio (V) y manganeso (Mn) en suelos, reportados por el Dr. John Emsley en su obra Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Chemical Elements (Emsley, 2003).*

Metal	Hg	Pb	Cr	V	Mn
Campo de valores	0.00001- 0.0004	2 – 190	1 – 450	10 – 500	7 – 9,000
Promedio	-	23	50	100	440

Las concentraciones están reportadas en mg/Kg de suelo seco (ppm).

El valor de 3.25 mg/Kg de suelo seco de la tabla anterior para mercurio corresponde a la categoría de suelos ligeramente contaminados con el metal (3 – 10) en los Índices Guías Kelly para suelos contaminados (SCI, 1980). Para todos los demás metales las categorías corresponden a la categoría de suelos no contaminados.

Tabla 5. *Concentración de mercurio, plomo, manganeso, y vanadio en suelos en la dirección 45 grados al norte del este y una distancia de 245 metros del antiguo incinerador, en comparación a los valores promedio obtenidos por Segura-Muñoz y sus colaboradores para una distancia de entre 0-500m y los valores determinados para el suelo en el Río La Plata y Carite.*

Metal	Biocelsius	Segura-Muñoz	Río La Plata	Carite
Hg	4.26	0.05	4.21	3.78
Pb	9.69	7.61	6.59	15.3
Mn	339.0	665.7	549.0	454.0
V	40.1	304.0	60.8	105.0

Las concentraciones están expresadas en mg/Kg de suelo seco (ppm).

FIGURAS



Figura 1. Charca conteniendo lixiviados procedentes de los DBR sin tratar depositados sobre el suelo en los predios de Biocelsius.



Figura 2. Foto aérea de las antiguas instalaciones de Biocelsius, donde operaba su incinerador de DBR. Obsérvense la relación geográfica de las instalaciones a la quebrada, el cementerio al lado izquierdo, y las coordenadas. La foto fue extraída del programa Google Earth®.

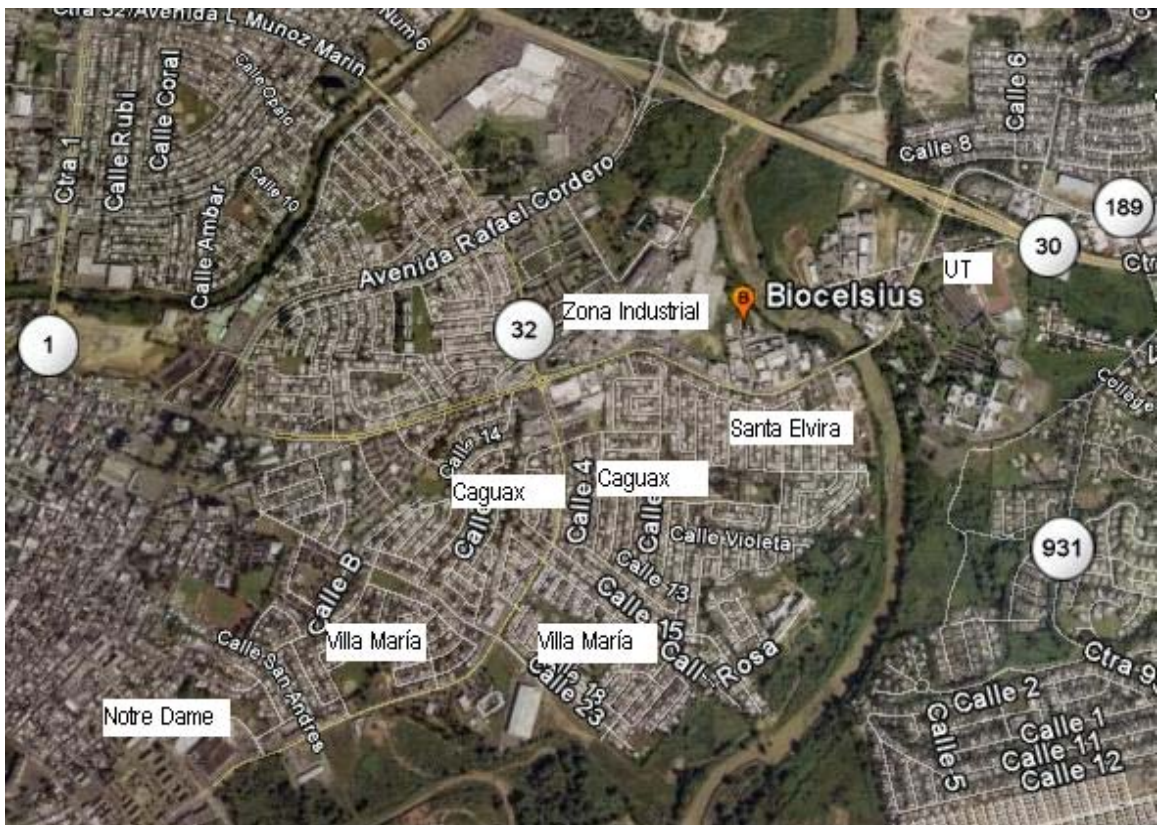


Figura 3. Vista de las instalaciones de Biocelsius en relación a algunas de las más importantes comunidades aledañas. La foto fue obtenida con el programa Google Earth® y modificada para identificar las comunidades con el programa Paint de Microsoft.



Figura 4. Desperdicios biomédicos depositados sobre el suelo en los predios de las instalaciones de Biocelsius. Nótese la gran cantidad de DBR simplemente tirados en el suelo. En algunos sectores la altura de esta montaña de desperdicios es mayor que la altura de un hombre promedio. Las manchas negras corresponden a desperdicios quemados por un incendio acaecido hacía varias semanas. El objeto color marrón en el extremo derecho y que a penas puede verse es un tanque de combustible. Tomada el día 29 de septiembre de 2007.



Figura 5. Vista del antiguo incinerador de DBR de Biocelsius tras de sufrir un incendio que destruyó parcialmente las instalaciones reduciéndolo a herrumbres. Nótese la acumulación de DBR aún en el área cercana al incinerador y la gran acumulación de contenedores de sustancias químicas vacíos en el lado izquierdo de las instalaciones. Tomada el día 29 de septiembre de 2007.



Figura 6. Instalaciones de Biocelsius y antigua estructura que cobijó el incinerador de DBR, vistos desde otra perspectiva. Nótese la chimenea del incinerador al fondo y a la izquierda dentro de la estructura, y sobretodo la extensión del suelo sobre la que estuvieron depositados los DBR. Foto tomada el día 29 de septiembre de 2007.



Figura 7. Predios de las instalaciones de Biocelsius frente a la estructura que albergó el incinerador, tras haberse efectuado de manera parcial el recogido de los DBR durante el mes de octubre. Al fondo a la izquierda se puede observar desde lejos el cementerio municipal. Pueden apreciarse al centro dos tanques de los cuales sólo pueden apreciarse sus partes superiores en fotografías anteriores. Foto tomada el día 7 de noviembre de 2007.



Figura 8. Desperdicios depositados en las instalaciones de Biocelsius tras haberse efectuado de manera parcial un recogido de estos en octubre de 2007. Obsérvese la gran cantidad de contenedores plásticos junto a los DBR. Foto tomada el día 7 de noviembre de 2007.



Figura 9. Desperdicios en los predios de Biocelsius tras un recogido parcial de estos. Hasta días antes de esta remoción parcial de desperdicios era imposible ver el suelo en medio de las montañas de DBR. Nótese la gran cantidad de desperdicios que no corresponden a la definición regulatoria o legal de DBR. Entre ellos pedazos de metal, latas de aluminio, madera, recipientes plásticos, y hasta un monitor de computadoras. También desperdicios médicos regulados tales como jeringuillas y catéteres posiblemente contaminados con fluidos corporales.

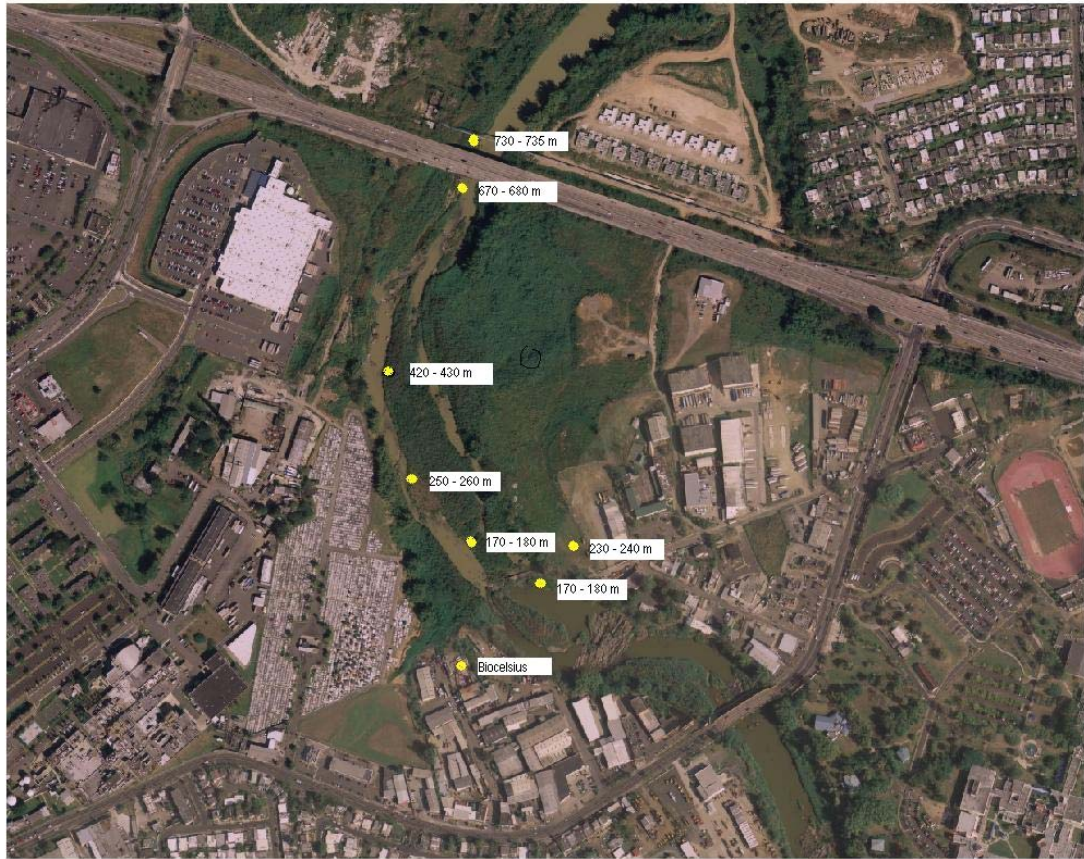


Figura 10. Localización de los puntos de muestreo para determinación de mercurio y plomo en suelos en las direcciones norte, y 45° al norte del este. Las distancias aproximadas al antiguo incinerador de Biocelsius son las siguientes: al norte y de abajo hacia arriba 175, 255, 425, 675, y 735 metros; a 45° al norte del este 170 y 245 metros. El punto amarillo más bajo corresponde a las instalaciones de Biocelsius. En la dirección este también fueron determinados manganeso y vanadio. Las distancias fueron aproximadas mediante el sistema GPS de Google Earth ®.

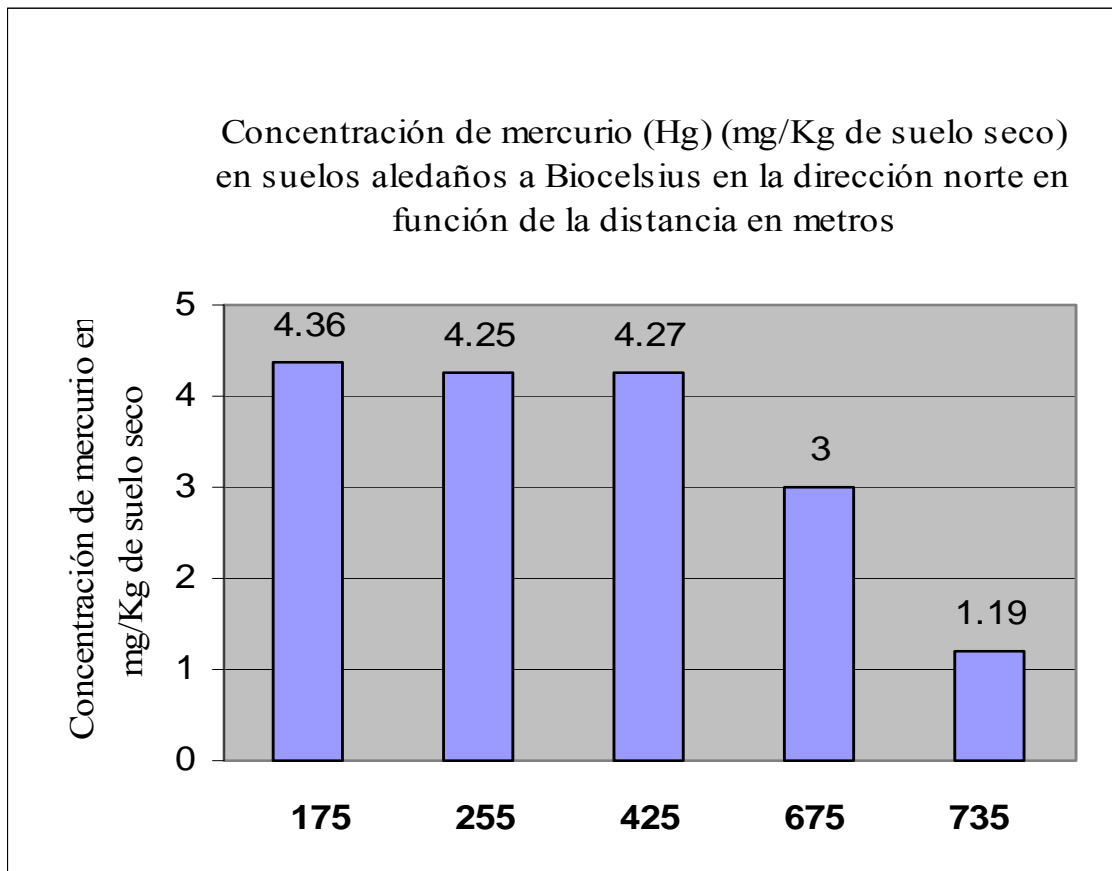


Figura 11. Resultados de los análisis químicos de concentración de mercurio (Hg) en suelos junto a la quebrada para las distintas distancias aproximadas a las antiguas instalaciones de Biocelsius en la dirección norte. Las distancias aproximadas a las instalaciones fueron determinadas con el sistema GPS del programa Google Earth®.

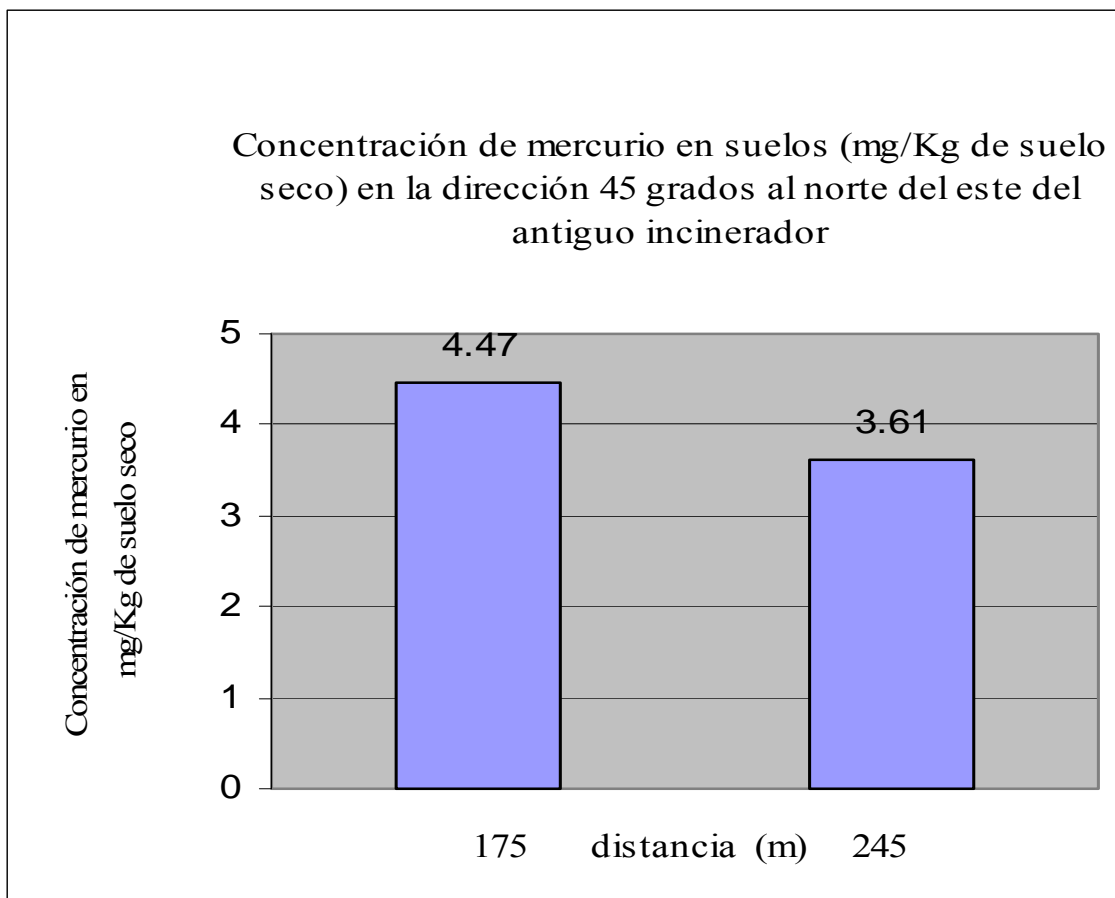


Figura 12. Concentración de mercurio en suelos (mg/Kg de suelo seco) en la dirección aproximadamente 45 grados al norte del este para distancias de 175 y 245 metros del incinerador de Biocelsius.

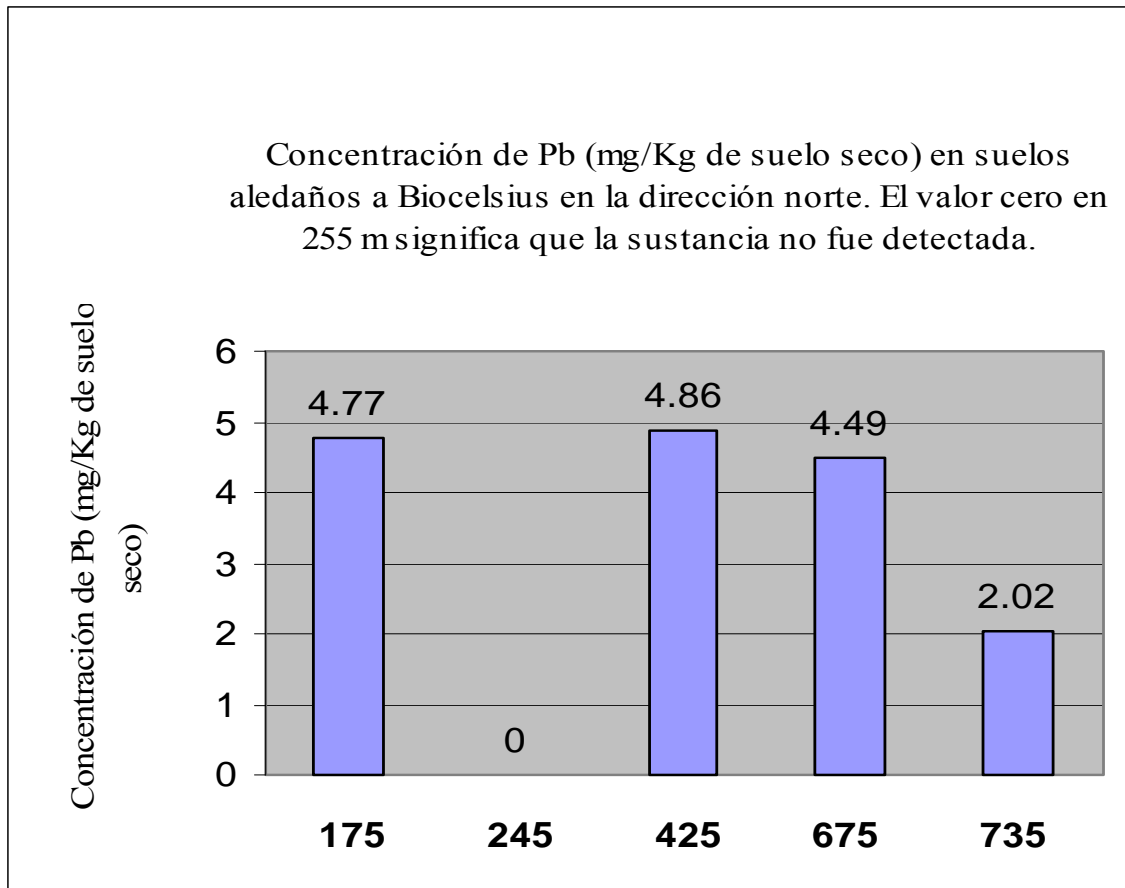


Figura 13. Variación en las concentraciones de plomo en suelos aledaños a las instalaciones de Biocelsius en la dirección norte. Para 255 metros el metal no fue detectado en ambas muestras utilizadas para determinar el promedio. Para 175 y 425 metros se utilizó sólo la concentración de una de las muestras toda vez que para la segunda muestra el metal no fue detectado.

APÉNDICES



To Whom It May Concern:

I, Miriam Estrada, in my capacity as Puerto Rico Certified Chemist, I hereby certify the attached Analytical Results for Project No. PRC12662, Zona Industrial de Caguas.



Lcda. Miriam Estrada

11/21/07
Date

ANALYTICAL ENVIRONMENTAL SERVICES INTERNATIONAL, INC.

611 Mausestrate Street
 2nd Floor
 Santurce, Puerto Rico 00907
 Ph. (787) 722-0220
 Fax (787) 724-5788

NELAP 10272
 PAT 10272
 ELAP 11583
 NVLAP 200651-0
 NELAP PR009933

**ANALYTICAL
 REPORT**

Client : Nelson Martinez Date & Time Collected: 11/7/07
 Calle Gorrion F-20 La Altagracia, Toa Baja PR 00949 Date & Time Received: 11/9/07
 Site Location: Zona Industrial de Caguas 17:40
 Lab Project PRC12662

Page 1 of 2

Sample I.D.	Laboratory I.D.	Sample Description	Analysis Performed	Results	Date & Time Analyzed	Units	MDL*	Method
A	194211	Agua Empantanada de Zona de Caguas	Arsenic	ND	11/20/07	mg/L	0.002	200.7
			Cadmium	ND	11/20/07	mg/L	0.0002	200.7
			Chromium	0.036	11/20/07	mg/L	0.0002	200.7
			Mercury	0.0004	11/20/07	mg/L	0.0003	245.1
			Lead	0.015	11/20/07	mg/L	0.001	200.7
			Vanadium	0.099	11/20/07	mg/L	0.001	200.7

ND- Not Detected / MS - Muestreo Solamente

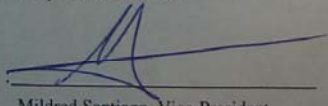
*MDL - Method Detection Limit.

This test report can not be reproduced except in full, without written approval of AES International, Inc.

Analytical results met all quality control requirements of the test method. Results relate only to the items tested.

Samples were received on acceptable conditions.

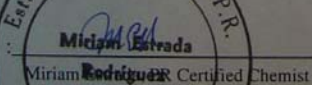
APPROVED BY



Mildred Santiago, Vice-President
 Francis W. Martinez, Laboratory Manager

DATE: 11/21/07

REVIEWED BY



Miriam Rodriguez, Certified Chemist

DATE: 11/21/07

CERTIFICATE NO:

Lic. #1074



ANALYTICAL ENVIRONMENTAL SERVICES INTERNATIONAL, INC.

611 Monserrate Street
 2nd Floor
 Santurce, Puerto Rico 00907
 Ph. (787) 722-0220
 Fax (787) 724-5788

NLLAP 10272
 PAT 10272
 ELAP 11583
 NYLAP 200051-0
 NELAP PH00933

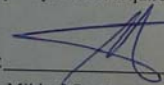
**ANALYTICAL
 REPORT**


Client : Nelson Martinez
 Date & Time Collected: 11/7/07
 Calle Gorrión F-20 La Altagracia, Toa Baja PR 00949 Date & Time Received: 11/9/07
 Site Location: Zona Industrial de Caguas
 Lab Project PRC12662 17:40

Page 2 of 2

Sample I.D.	Laboratory I.D.	Sample Description	Analysis Performed	Results	Date & Time Analyzed	Units	PQL*	Method
A	194211	Agua Empantanada de Zona de Caguas	Total Organic Carbon (TOC)	21.0	11/15/07	mg/L	1.0	EPA 415.1

*PQL - Practical Quantitation Limit.
 This test report can not be reproduced except in full, without written approval of AES International, Inc.
 ** Measurements performed at the field. / Samples were received on acceptable conditions.
 Analytical results met all quality control requirements of the test method. Results relate only to the items tested.

APPROVED BY : 
 Mildred Santiago, Vice-President
 Francis W. Martinez, Laboratory Manager
 DATE: 11/21/07

REVIEWED BY : 
 Miriam Estrada, PR Certified Chemist
 DATE: 11/21/07

CERTIFICATE NO : Lic. #1074





To Whom It May Concern:

I, Miriam Estrada, in my capacity as Puerto Rico Certified Chemist, I hereby certify the attached Analytical Results for Project No. PRC13095 for Zona Industrial de Caguas.



03/05/08
Date

ANALYTICAL ENVIRONMENTAL SERVICES INTERNATIONAL, INC.

1000 Serrate Street
 10000
 San Juan, Puerto Rico 00907
 (787) 722-0220
 (787) 724-5788

NLLAP 10272
 PAT 10272
 ELAP 11583
 NVLAP 200051-0
 NELAP PH00933

**ANALYTICAL
 REPORT**

Client: Nelson Martinez
 Address: Calle Gorrion F-20 La Altagracia, Toa Baja PR 00949
 Project: Zona Industrial de Caguas
 Project #: PRC13095
 Collected Date & Time: 2/16/08 2:00 - 4:00 PM
 Received Date & Time: 2/19/08 16:25
 Page: 1 of 2

Sample I.D.	Laboratory I.D.	Sample Description	Analysis Performed	Results	Analysis Date	Units	MDL*	Method
1	200383	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	3.25	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	1.15	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
			Vanadium	1.34	3/3/08	mg/kg	0.66	SW846/6010C
			Chromium	3.23	3/3/08	mg/kg	0.60	SW846/6010C
2	200384	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	4.21	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	ND	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
			Vanadium	ND	3/3/08	mg/kg	0.66	SW846/6010C
			Chromium	ND	3/3/08	mg/kg	0.60	SW846/6010C
N11	200385	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.39	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	4.77	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
N12	200386	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.33	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	ND	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
N21	200387	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.31	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	ND	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
N22	200388	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.19	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	ND	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
N31	200389	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.08	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	ND	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C

DL - Method Detection Limit. / ND - Not Detected
 This test report can not be reproduced except in full, without written approval of AES International, Inc.
 Analytical results met all quality control requirements of the test method
 All results relate only to the items tested. / Samples were received on acceptable conditions.

APPROVED BY: Mildred Santiago
 Mildred Santiago, Vice-President
Francis W. Martinez, Laboratory Manager

DATE: 03/05/08

VIEWED BY: Miriam Estrada Rodriguez
 Miriam Estrada, PR Certified Chemist
 Lic. #1074

DATE: 03/05/08

CERTIFICATE NO: _____



ANALYTICAL ENVIRONMENTAL SERVICES INTERNATIONAL, INC.

100 Serrate Street
 San Juan, Puerto Rico 00907
 Tel: (787) 722-0220
 Fax: (787) 724-5788

NLLAP 10272
 PAT 10272
 ELAP 11583
 NVLAP 200051-0
 NELAP PR009933

AMENDMENT ANALYTICAL
 REPORT

Client: Nelson Martinez
 Address: Calle Gorrion F-20 La Altagracia, Toa Baja PR 00949
 Location: Zona Industrial de Caguas
 Project #: PRC13095
 Collected Date & Time: 2/16/08 2:00 - 4:00 PM
 Received Date & Time: 2/19/08 16:25
 Page: 2 of 2

Sample I.D.	Laboratory I.D.	Sample Description	Analysis Performed	Results	Analysis Date	Units	MDL*	Method
E32	200390	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.46	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Lead	4.86	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
E11	200391	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.57	3/4/08	mg/kg	0.66	SW846/6010C
			Lead	ND	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
			Vanadium	ND	3/3/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Manganese	136	3/3/08	mg/kg	7.38	SW846/6010C
E12	200392	Suelo Cercano Quebrada	Mercury	4.37	3/4/08	mg/kg	0.66	SW846/6010C
			Lead	ND	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
			Vanadium	ND	3/3/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
			Manganese	159	3/3/08	mg/kg	7.38	SW846/6010C

NDL - Method Detection Limit. / ND - Not Detected
 This test report can not be reproduced except in full, without written approval of AES International, Inc.
 Analytical results met all quality control requirements of the test method
 Results relate only to the items tested. / Samples were received on acceptable conditions.

APPROVED BY: [Signature] DATE: 03/06/08
 Mildred Santiago, Vice-President
 Francisco W. Martinez, Laboratory Manager

VIEWED BY: [Signature] DATE: 03/05/08
 Miriam Estada, Certified Chemist
 Lic. #1074





To Whom It May Concern:

I, Miriam Estrada, in my capacity as Puerto Rico Certified Chemist, I hereby certify the attached Analytical Results for Project No. PRC13125 for Zona Industrial de Caguas.



03/05/08
Date

L ENVIRONMENTAL SERVICES INTERNATIONAL, INC.

Rico 00907

NLLAP 10272
 PAT 10272
 ELAP 11583
 NVLAP 200051-0
 NELAP PR00933

AMENDMENT ANALYTICAL REPORT

Nelson Martinez

Collected Date & Tin 2/23/08 15:30 - 16:00PM

Calle Gorrion F-20 La Altagracia, Toa Baja PR 00949

Received Date & Tin 2/26/08 16:15

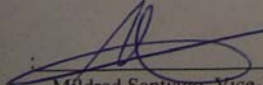
Caguas, Puerto Rico

PRC13125

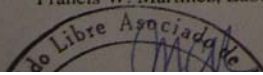
Page: 1 of 1

Laboratory I.D.	Sample Description	Analysis Performed	Results	Analysis Date	Units	MDL*	Method
200753	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	3.08	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
		Lead	3.68	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
200754	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	2.91	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
		Lead	5.31	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
200755	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	4.26	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
		Lead	13.4	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
		Vanadium	38.1	3/3/08	mg/kg	0.66	SW846/6010C
		Manganese	390	3/3/08	mg/kg	7.38	SW846/6010C
200756	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	2.96	3/4/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
		Lead	2.23	3/3/08	mg/kg	0.63	SW846/6010C
		Vanadium	42.1	3/3/08	mg/kg	0.66	SW846/6010C
		Manganese	287	3/3/08	mg/kg	7.38	SW846/6010C
200757	Agua Empantanada, Caguas	Mercury	ND	3/4/08	mg/L	0.0003	SW846/7470A
		Lead	ND	3/4/08	mg/L	0.001	SW846/6010C
		Vanadium	0.015	3/4/08	mg/L	0.001	SW846/6010C
		Chromium	0.004	3/4/08	mg/L	0.0002	SW846/6010C

od Detection Limit. / ND - Not Detected
 can not be reproduced except in full, without written approval of AES International, Inc.
 Its met all quality control requirements of the test method
 nly to the items tested. / Samples were received on acceptable conditions.

BY: 
 Mildred Santiago, Vice-President
 Francis W. Martínez, Laboratory Manager

DATE: 03/06/08



DATE: 03/06/08



To Whom It May Concern:

I, Miriam Estrada, in my capacity as Puerto Rico Certified Chemist, I hereby certify the attached Analytical Results for Project No. PRC13252 Zona Industrial de Caguas.



03/28/08
Date

ANALYTICAL ENVIRONMENTAL SERVICES INTERNATIONAL, INC.

State Street

Puerto Rico 00907

722-0220

724-5788

NELAP 10272

PAT 10272

ELAP 11583

NVLAP 200051-0

NELAP PR00933

ANALYTICAL REPORT

Nelson Martinez
 Calle Gorrion F-20 La Altagracia
 Toa Baja, P.R. 00949
 Zona Industrial de Caguas

Collected Date & Time: 3/17/08 17:30

Received Date & Time: 3/18/08 16:05

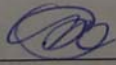
Project # : PRC13252

Page: 1 of 1

Sample I.D.	Sample Description	Analysis Performed	Results	Analysis Date	Units	MDL*	Method
202576	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	1.07	3/27/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
		Lead	2.55	3/26/08	mg/kg	1.19	SW846/3050B/7
202577	Suelo, Zona Industrial Caguas	Mercury	1.31	3/27/08	mg/kg	0.07	SW846/7471A
		Lead	1.48	3/26/08	mg/kg	1.19	SW846/3050B/7

* Method Detection Limit. / ND - Not Detected
 This report can not be reproduced except in full, without written approval of AES International, Inc.
 All results met all quality control requirements of the test method
 Data relate only to the items tested. / Samples were received on acceptable conditions.

APPROVED BY :


 Mildred Santiago, Vice-President
 Francis W. Martinez, Laboratory Manager

DATE:

03/28/08

DATE:

03/28/08



To Whom It May Concern:

I, Miriam Estrada, in my capacity as Puerto Rico Certified Chemist, I hereby certify the attached Analytical Results for Project No. PRC13319 - Cayey, Carite y Río La Plata.



04/11/08

Date

ANALYTICAL ENVIRONMENTAL SERVICES INTERNATIONAL, INC.

11 Monserrate Street
 2nd Floor
 San Juan, Puerto Rico 00907
 Ph. (787) 722-0220
 Fax (787) 724-5788

NLLAP
 PAT
 ELAP
 NVLAP
 NELAP

**ANALYTICAL
 REPORT**

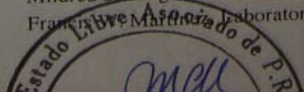
Client : Nelson Martinez Collected Date & Time: 3/30/08 15:00
 Calle Gorrión F-20 La Altagracia, Toa Baja PR 00949 Received Date & Time: 4/1/08 14:40
 Project : Cayey, Carite y Río La Plata
 Lab Project # : PRC13319

Sample I.D.	Laboratory I.D.	Sample Description	Analysis Performed	Results	Analysis Date	Units	MDL*	N
CARITE 1	203349	Suelo, Reserva Forestal Carite	Mercury	3.55	4/4/08	mg/kg	0.07	SW8
			Lead	17.3	4/8/08	mg/kg	0.63	SW8
			Vanadium	107	4/8/08	mg/kg	0.66	SW8
			Manganese	356	4/10/08	mg/kg	14.8	SW8
CARITE 1	203350	Suelo, Reserva Forestal Carite	Mercury	4.40	4/4/08	mg/kg	0.07	SW8
			Lead	13.3	4/8/08	mg/kg	0.63	SW8
			Vanadium	102	4/8/08	mg/kg	0.66	SW8
			Manganese	551	4/10/08	mg/kg	14.8	SW8
CARITE 1	203351	Suelo Junto Río La Plata, Cayey	Mercury	4.31	4/4/08	mg/kg	0.07	SW8
			Lead	7.09	4/8/08	mg/kg	0.63	SW8
			Vanadium	63.8	4/8/08	mg/kg	0.66	SW8
			Manganese	379	4/10/08	mg/kg	14.8	SW8
CARITE 1	203352	Suelo Junto Río La Plata, Cayey	Mercury	4.11	4/4/08	mg/kg	0.07	SW8
			Lead	6.08	4/8/08	mg/kg	0.63	SW8
			Vanadium	57.8	4/8/08	mg/kg	0.66	SW8
			Manganese	718	4/10/08	mg/kg	14.8	SW8

*MDL - Method Detection Limit. / ND - Not Detected
 This test report can not be reproduced except in full, without written approval of AES International, Inc.
 Analytical results met all quality control requirements of the test method
 Results relate only to the items tested. / Samples were received on acceptable conditions.

APPROVED BY :

Mildred Santiago, Vice-President
 Francisco M. M... Laboratory Manager



DATE:

4/1/08

DATE:

04/11/08