

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA FITORREMEDIACIÓN EN VERTEDEROS INDUSTRIALES

Noemí Torrado Rodríguez
Francisco Ortega Fernández
Gemma Marta Martínez Huerta
Ignacio Fernández Corral
Universidad de Oviedo

Abstract

Industries are one of the main residues generators. Most of these residues have big amounts of complex contaminants as heavy metals. To date, the majority of the actions carried out in landfills were limited to dump and seal non-usable materials, generating lixiviates that must be normally treated during decades after its closure. Recently, new methods have been developed based in the capability that some live elements have of acquire certain materials, specifically metals. Like that, plants eliminate contaminants of soil accumulating them in their parts. However, in a global point of view, it is possible that this sorption cause a bigger problem due to the fact that chop and prune residues, leaves, etc., of these kind of plants are residues with a bigger concentration of contaminants that the own residue. That is, it is necessary to evaluate globally the life cycle of these plants, establishing plantations shifts, care and withdrawal operations and the processes to carry out with the residues coming from each one of these phases. Specifically in this communication it is assessed the utilization of herbaceous for acquire heavy metals in steel slag, evaluating the real sustainability of the system.

Keywords: *life cycle assessment; phytoremediation; recovery of degraded areas; industrial wastes*

Resumen

Las industrias son grandes generadores de residuos, muchos de ellos con altos contenidos de contaminantes complejos como metales pesados. Hasta ahora la mayor parte de las actuaciones realizadas en los vertederos se limitaban al vertido y sellado en condiciones estancas de materiales no aprovechables, generando lixiviados que frecuentemente deben ser tratados durante décadas tras la clausura. Recientemente se han desarrollado nuevos métodos de eliminación de contaminantes basados en la capacidad que tienen algunos elementos vivos de adquirir ciertas materias, específicamente metales. Así, las plantas eliminarán los contaminantes del suelo almacenándolos en sus órganos. No obstante, considerado de forma global, es posible que esta absorción provoque un mal mayor puesto que los residuos de corte, poda, hojas, etc. de estas plantas suponen un elemento con contaminación más concentrada que el propio residuo. Es decir, se debe valorar de forma global el ciclo de vida de estas plantas, estableciendo los turnos de plantación, cuidado y retirada y los procesos a realizar con los residuos procedentes de cada una de las fases. Concretamente en esta comunicación se valora la utilización de herbáceas para adquisición

de metales pesados en escorias metalúrgicas, valorando la verdadera sostenibilidad del sistema.

Palabras clave: *análisis de ciclo de vida; fitorremediación; recuperación de terrenos degradados; residuos industriales*

1. Introducción

En los tiempos en los que vivimos, la contaminación es un problema que cada día preocupa más a la sociedad en general. La idea de desarrollo sostenible formulada en 1987 en la Comisión Brundtland (Dixon et al., 1989), es en la actualidad la base de la mayoría de las políticas de tema medioambiental, orientadas a satisfacer las necesidades del presente sin comprometer los recursos y posibilidades de las generaciones futuras. De esta manera, se pretende que todas las acciones a realizar que afecten al medio ambiente, sean sostenibles.

El actual nivel de desarrollo de la sociedad, precisa de una industria amplia que satisfaga todas sus necesidades. Los avances tecnológicos y la demanda de la sociedad actual, hacen que las industrias sean grandes generadoras de residuos y de contaminantes, no tanto por la peligrosidad de los residuos emitidos, sino también por la cantidad de éstos que se generan.

La industria siderúrgica, es una de las industrias que más residuos emite, principalmente por el amplio mercado al que abastece. Dentro de esta industria, las escorias producidas presentan un volumen importante de residuos que, por la falta de valorización del material, se acumulan actualmente en vertederos. Las características de estas escorias hacen que los vertederos en los que se almacenan, contengan una gran cantidad de metales pesados en su interior, dichos metales podrían llegar a contaminar las aguas subterráneas por lixiviación. Se trata por tanto de un problema de gran relevancia.

Una vez llegado al fin de vida del vertedero, es necesario solucionar el problema de la acumulación de metales pesados en el suelo, que pueden llegar a contaminar otras partes de la biosfera. Una de las soluciones posibles al problema sería la atenuación natural. Este término engloba aquellos procesos naturales en los que no ha intervenido la mano del hombre e incluyen mecanismos físico-químicos como la dilución, dispersión y adsorción de los contaminantes, así como procesos biológicos microbianos que disminuyan de alguna forma la presencia de contaminantes. Es importante tener en cuenta que muy pocos suelos ofrecen las condiciones ideales para el desarrollo de microorganismos que degraden los contaminantes lo suficiente como para prevenir su propagación (Frick, Farrel & Germida, 1999). Por lo tanto, esta opción no se considera viable.

Otra solución es el aprovechamiento de los metales concentrados en la vegetación de la zona afectada por la contaminación. Es decir, valorizarlos para que de alguna manera se pueda obtener un beneficio de ellos y puedan disminuir el número de recursos vírgenes utilizados en la industria. Esta opción no es viable dado que la concentración de metales pesados aprovechables en las plantas es muy pequeña como para poder obtener un beneficio o darle un aprovechamiento.

Una opción para eliminar o extraer los metales de los suelos es la conocida como fitorremediación y consiste en la plantación de especies vegetales capaces de extraer contaminantes del suelo. Esta alternativa para disminuir la contaminación de los suelos, es cada día más aceptada por la sociedad, y tiene la ventaja de ser una solución compatible con la idea de desarrollo sostenible mencionada anteriormente.

La fitorremediación es una técnica muy aceptada en áreas con contaminación difusa, y es mucho menos costosa que otros métodos que consiguen los mismos resultados. Si la contaminación en la zona es baja o moderada, ésta podría remediarse haciendo crecer plantas acumuladoras de metales pesados (Garbisu & Alkorta, 2001). Es una técnica preferible a los métodos utilizados actualmente para el tratamiento de suelos contaminados, como son la deposición en vertedero, fijación o filtración. De esta manera se recupera el suelo in-situ, se transforma en un estado biológicamente más seguro que su disposición permanente en otro lugar.

Pero... ¿es realmente sostenible esta solución?.

Esta pregunta puede resolverse mediante el análisis del ciclo de vida. El ciclo de vida es una metodología que enlaza el concepto de sostenibilidad con los diferentes procesos a llevar a cabo, en este caso, para disminuir o llegar a eliminar contaminantes presentes en el suelo. El análisis de ciclo de vida es una tecnología aceptada y reconocida internacionalmente para evaluar cargas e impactos ambientales asociados a cualquier proceso o producto, teniendo en cuenta todas las etapas de la vida del mismo. Esta herramienta tiene en cuenta todas las entradas y salidas, tanto directas como indirectas que afectan al sistema, permitiendo manejar todos los factores ambientales del mismo. Tiene por tanto un rango de aplicación mayor que otras herramientas de gestión ambiental como la Evaluación de Impacto Ambiental o la Auditoría Ambiental. La aplicación de esta metodología está reflejada en la ISO 14040 y la ISO 14044.

El objetivo de este trabajo es analizar si la fitorremediación es realmente una técnica ecológicamente sostenible-con un menor impacto ambiental asociado. A través del análisis del ciclo de vida, se evaluará la posibilidad de fitorremediar un suelo contaminado con metales pesados en un vertedero con escorias siderúrgicas con la opción de no realizar ninguna acción.

2. Desarrollo

La fitorremediación se define como aquella técnica que utiliza las plantas para eliminar contaminantes del medio ambiente o disminuir su peligrosidad. Este término se conoce también como biorremediación, remediación botánica o remediación verde (Chaney et al., 1997). Esta tecnología se puede aplicar tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos presentes tanto en el suelo, como en el agua y aire.

La fitorremediación se puede clasificar según su principio de funcionamiento en fitoextracción, la fitofiltración, la fitoestabilización, la fitovolatilización, rizofiltración y la fitodegradación (Garbisu & Alkorta, 2001).

- La fitoextracción elimina los contaminantes de suelos con problemas de contaminación. Lo que hacen las plantas es transportar y concentrar los contaminantes presentes en el suelo a los brotes superficiales (no subterráneos). La fitoextracción se refiere a la eliminación de metales de los suelos.
- La fitofiltración (también conocida como rizofiltración) se trata del uso de las raíces de las plantas o las plántulas para absorber y adsorber contaminantes desde corrientes acuosas, especialmente los metales. Las raíces de las plantas o plántulas crecen, absorben, precipitan y concentran los metales tóxicos de los efluentes contaminados.
- La fitoestabilización es el uso de las plantas para reducir la disponibilidad de los contaminantes en el medio ambiente. Las plantas estabilizan los contaminantes en los suelos, esto es, volviéndolos menos tóxicos y reduciendo el riesgo de una degradación medioambiental.

- La fitovolatilización es el uso de las plantas para volatilizar los contaminantes. Las plantas extraen los contaminantes volátiles del suelo y los volatilizan a través del follaje.
- La fitodegradación es el uso de plantas además de sus microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos. Las raíces de las plantas junto con los microorganismos asociados a estas, se utilizan para remediar los suelos contaminados por compuestos orgánicos.

Para considerar una planta como una óptima fitorremediadora, tendrá que tener capacidad para hiperacumular y tolerar metaloides, además de tener una gran cantidad de biomasa, a ser posible ser repulsiva para los herbívoros para evitar de esta manera perjudicar la cadena alimenticia, ser fácil de cultivar y ser susceptible de transformación genética (Kotrba et al., 2009).

La fitorremediación es además una técnica que tiene muchas ventajas: bajos costes, baja demanda de energía y además un alta aceptación por parte de la sociedad. Sin embargo, tiene el principal inconveniente de ser un proceso más lento que otros que son utilizados para el mismo fin (Payet & Gambazzi, 2008).

La planta seleccionada en el presente trabajo para llevar a cabo el análisis del ciclo de vida de un proceso de fitorremediación ha sido *Melilotus alba* (meliloto blanco). La elección de esta planta se basó en la capacidad de la mencionada planta para acumular metales en su parte aérea y en su producción de biomasa. Además se trata de una planta que no requiere muchos cuidados y que se puede dar en toda la superficie peninsular. Se trata de una planta bienal que mide aproximadamente medio metro de altura (en ocasiones incluso hasta un metro). Se da en general en casi cualquier terreno que no esté cuidado, sobre todo en terrenos calcáreos (Turkington, Cavers & Rempel, 1978).

Una vez la planta ha sido seleccionada considerando las características del emplazamiento, se procedió a realizar un ensayo del crecimiento en el suelo de estudio, con objeto de conocer la producción de biomasa y la capacidad de acumulación de metales pesados. Es necesario conseguir la información de lo que la planta absorbe por unidad de superficie y año.

Para el caso estudiado la necesidad de cuidados de las plantas es poco relevante dado que la fitorremediación se va a realizar en una zona donde la precipitación anual es del orden de 1.100mm, por lo que no se consideró necesario labores de mantenimiento. En cualquier caso, si la plantación se hubiera realizado en una época no adecuada (en periodos de estrés hídrico por ejemplo), sería necesario realizar un control de las plantas y mantener un riego especialmente durante las primeras etapas de la vida de la planta, ya que se trata de una tarea crítica para el buen desarrollo de las mismas. Además, para asegurar unas condiciones óptimas, es necesario que no haya déficit de macroelementos en el suelo.

3. Desarrollo de ciclo de vida

Para la realización del ciclo de vida se ha utilizado la herramienta informática SimaPro. SimaPro es la herramienta más extensamente utilizada en el mundo para el análisis de ciclo de vida. Incluye bases de datos y permite realizar los análisis de ciclo de vida entre varios indicadores. En este caso se utilizará el Ecoindicador 99, donde el número indica el impacto medioambiental producido por un proceso, material o componente. Cuanto mayor es este número, más impacto ambiental se produce. Este indicador se expresa en milipuntos (mPt) por unidad funcional.

Las hipótesis de partida del estudio son:

- No se tendrá en cuenta en el estudio la elección de la planta fitorremediadora más adecuada para su propagación.
- No se tendrá en cuenta la concentración de otros metales que no sean Zn, Cd o Pb, debido a la falta de datos referentes a la acumulación de estos metales por la planta.
- Se tendrá en cuenta la plantación, cuidados, recolección, transporte y disposición final de las plantas hiperacumuladoras al final de su vida.

Se tomará como unidad funcional el volumen de suelo ocupado por 1 área de superficie y 30 cm de profundidad, dado que esta es la superficie que se puede considerar útil desde un punto de vista trófico.

3.1 Escenario de fitorremediación

Para determinar la biomasa producida por las plantas de *Melilotus alba* se tomó como información de partida los experimentos realizados por Tlustos donde es posible encontrar detallados análisis de la producción de la planta y la acumulación de diferentes metales pesados en su interior (Tlustos et al., 2006). Dado que la planta es bienal, a la hora de realizar los cálculos se tiene en cuenta que los procesos de siembra, recogida, etc., se realizarán cada dos años.

En este estudio se evaluará el crecimiento de la mencionada planta en diferentes tipos de suelo. Los valores de biomasa contemplados varían entre 1,46 y 2,14 kg/m². Para el análisis de ciclo de vida se ha decidido optar por un criterio conservador, por lo tanto, se tomará como dato base la producción de 1,46kg/m² de biomasa.

Los metales analizados fueron el cadmio, el plomo y el zinc con acumulaciones en cada individuo de 0,388 mg/kg de Cd, 7,12 mg/kg de Pb y 17,3 mg/kg de Zn.

Según estos datos y en base a lo citado por Turkington, Cavers y Rempel (1978), se sabe que la parte aérea presenta un 57% de biomasa. De la misma manera la parte constituida por las raíces de la planta es de un 11% aproximadamente. De esta manera se obtienen los resultados presentados en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Biomasa producida y acumulación de metales

	Biomasa (kg/m ²)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Parte aérea	1,46	0,388	7,12	17,3
Raíces	0,282	0,075	1,374	3,339

Con el fin de simplificar la realidad para el cálculo del tiempo en el que se consigue la fitorremediación, se considera que la planta es capaz de acumular en sus órganos la misma cantidad de metales pesados, independientemente de la cantidad de éstos presentes en el suelo, dado que con los niveles existentes en el terreno se superan con creces las capacidades de absorción hasta llegar a la saturación.

Se han realizado análisis de suelo en 6 muestras de una zona contaminada con los metales pesados contemplados. Para el cálculo de la fitorremediación se ha utilizado de nuevo los datos desde un punto de vista conservador. Se estima que la densidad del suelo de estudio es de 1.200 kg/m³ y que el contenido en humedad es de un 70%. Por tanto, tomando como referencia la unidad funcional anteriormente mencionada, la densidad del suelo y el contenido de humedad, se sabe que una unidad funcional tiene un peso seco de 10.800 kg.

Dado que cada Comunidad Autónoma tiene unos límites de permisibilidad en cuanto a la concentración de metales distinta, se tomarán como datos los descritos por Kabata-Pendias y Pendias (2001).

Después de la recolección de las plantas, éstas se transportarán a un centro de incineración. El potencial calorífico del *Melilotus alba* se valora en base al potencial calorífico de la alfalfa, debido a la ausencia de datos caloríficos relativos a la planta de estudio. La elección de la alfalfa y no de otra, se debe a su similitud con la *Melilotus alba* ya que ambas pertenecen a la familia de las leguminosas. De esta manera sabemos que cada kg de materia seca proporciona 20,84 MJ de energía. Teniendo en cuenta la cantidad de biomasa total producida en un año se obtienen 8.451,78kWh al año.

Para estimar el tiempo en que las plantas van a absorber todos los metales disponibles del suelo, se tendrá en cuenta la capacidad de absorción de metales por la planta (Tlustos et al., 2006) y la media de la cantidad de metales disponibles para la planta en las 6 muestras obtenidas. Los metales contenidos en el suelo se encuentran agrupados en fracciones: intercambiable, reducible, oxidable y residual. La fracción residual no está disponible para la planta. Por tanto se tienen las siguientes cantidades: 0,012mg/kg de Cd, 1,367mg/kg de Pb y 1,383mg/kg de Zn.

De esta manera se concluye que es necesario fitorremediar durante 14 años para eliminar los metales pesados (en este caso el Pb es el factor limitante, es decir, la planta necesita más tiempo para absorber el Pb en sus órganos que para el Zn o el Cd) de esa parte superficial. Este periodo de 14 años puede considerarse normal, dependiendo de la concentración y del metal pesado, ateniéndose a la bibliografía existente (Gerth,2000), donde los valores superiores a 10 años son los más frecuentes.

Las fases presentes en el escenario de fitorremediación son

- Plantación
- Recogida
- Transporte
- Incineración

A la hora de la elección de la semilla a plantar, y dado que no existe dentro de la base del SimaPro la planta elegida para fitorremediar, se ha elegido una planta de la especie *Trifolium*. La elección se ha basado en la mayor similitud de esta planta a *Melilotus alba* frente a otras presentes en la base de datos considerándose que no introduce errores significativos.

El problema de deshacerse de la materia recolectada se ha solucionado con la incineración de ésta, siendo la energía obtenida de este proceso es muy pequeña. Este análisis presentado tiene en cuenta la incineración del material y el depósito de las cenizas en el vertedero.

3.2 Escenario de inacción

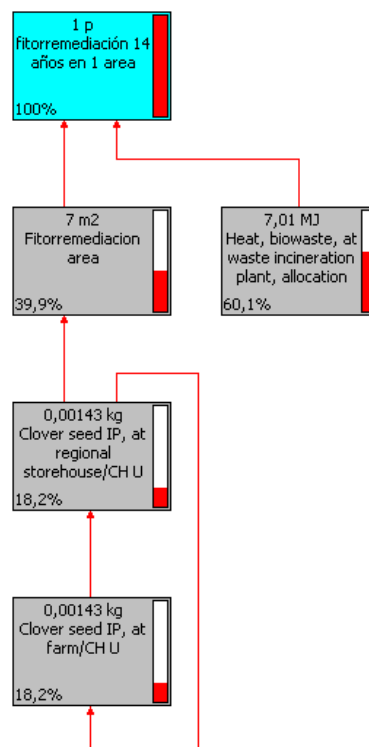
La alternativa a la fitorremediación sería la inacción. En este caso se tendrá en cuenta la opción de no realizar ninguna tarea en el suelo durante los 14 años que se tardaría en fitorremediar.

Las principales emisiones a la biosfera de esta opción es la permanencia de los contaminantes en el suelo y la contaminación de aguas subterráneas debido a la lixiviación de estas.

4. Evaluación del daño

Los resultados obtenidos de la valoración de impactos se han calculado a partir del Ecoindicador 99. El ecoindicador 99, al agrupar los resultados de cada una de las categorías de daño consideradas en un único indicador, utiliza un panel de expertos para obtener los factores de peso de la etapa de valoración. Este panel de expertos, en lugar de valorar todos y cada uno de los efectos ambientales, únicamente valora las tres categorías de daño siguientes: salud humana, calidad del ecosistema y agotamiento de recursos. Se considera por su simplicidad y claridad el indicador adecuado para el estudio.

Figura 1. Red del escenario de fitorremediación



Para la fitorremediación de la zona contemplada en el estudio con un horizonte de 14 años, dados los cálculos realizados anteriormente, se tiene en cuenta el área de fitorremediación y la gestión de los residuos que se puedan producir. Como se puede comprobar en la **Figura 1**, la gestión de los residuos del proceso de fitorremediación supone mayor impacto que las labores llevadas a cabo para la plantación y cultivo de las plantas hiperacumuladoras. Así, la gestión de los residuos derivados de la fitorremediación va a ser el responsable de un 60,1% del impacto total generado.

Figura 2. Ponderación

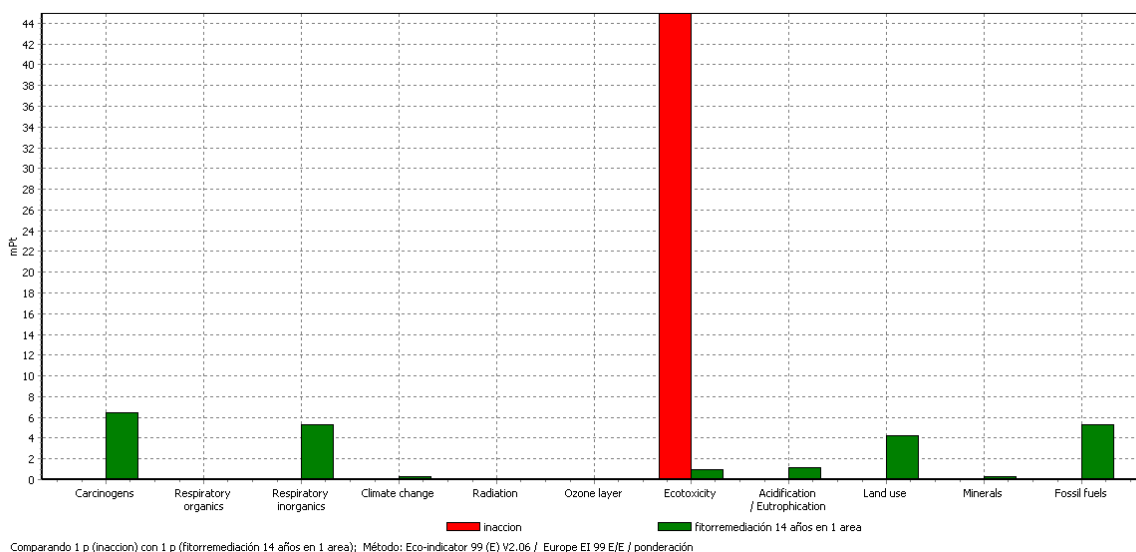
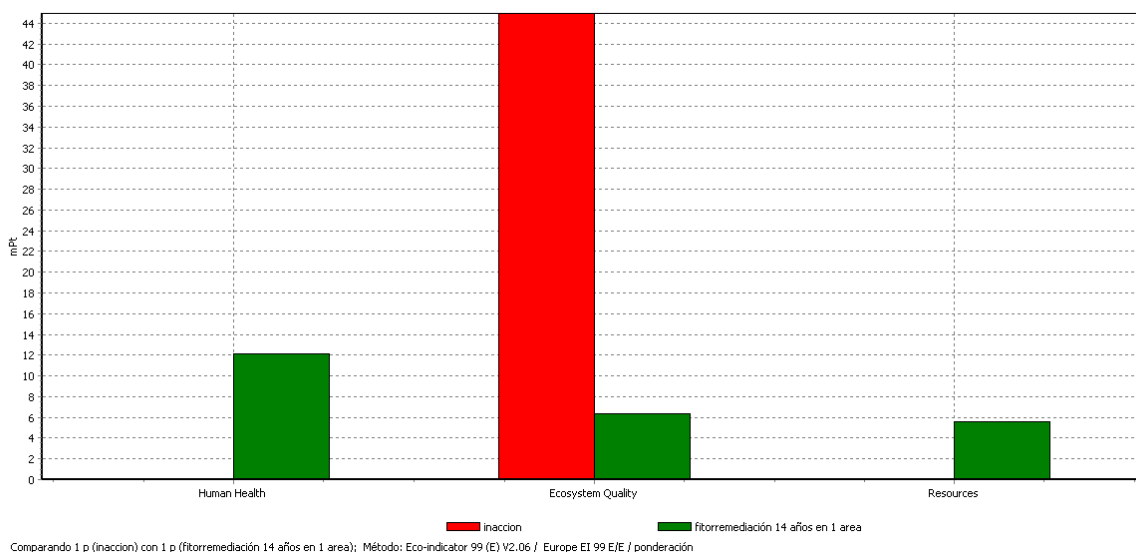
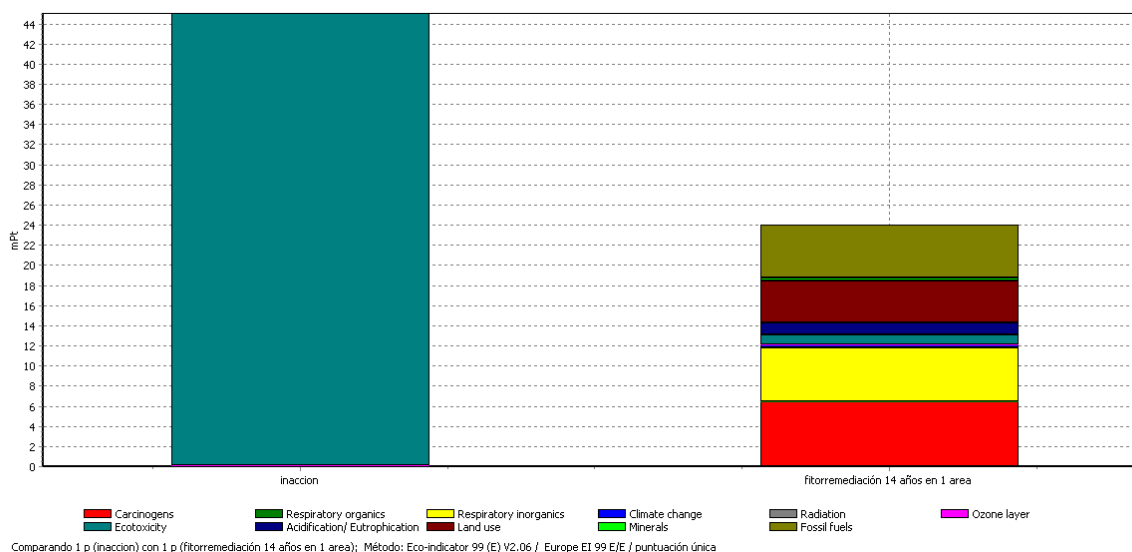


Figura 3. Ponderación



De la **Figura 2** y **Figura 3** se puede extraer que la ecotoxicidad en el escenario de la inacción es muy grande, provocando un impacto de 45 mPt. Esta ecotoxicidad se debe principalmente al contenido del Zn en el suelo del vertedero, que se considera altamente contaminante y tóxico. Por lo tanto, en términos de ecotoxicidad es de gran importancia realizar alguna actuación en el suelo, dado que el Zn acumulado en él está causando un impacto elevado. Sin embargo, se puede comprobar de igual manera que no afecta prácticamente a ninguno de las otras categorías de daño: ni a los recursos, ni a la salud humana. La fitorremediación provoca un menor impacto en la calidad del medio ambiente que la no actuación, pero sin embargo tiene un mayor impacto en la salud humana y los recursos, especialmente en carcinógenos, eutrofización, uso del suelo y aceites fósiles.

Figura 4. Ponderación única



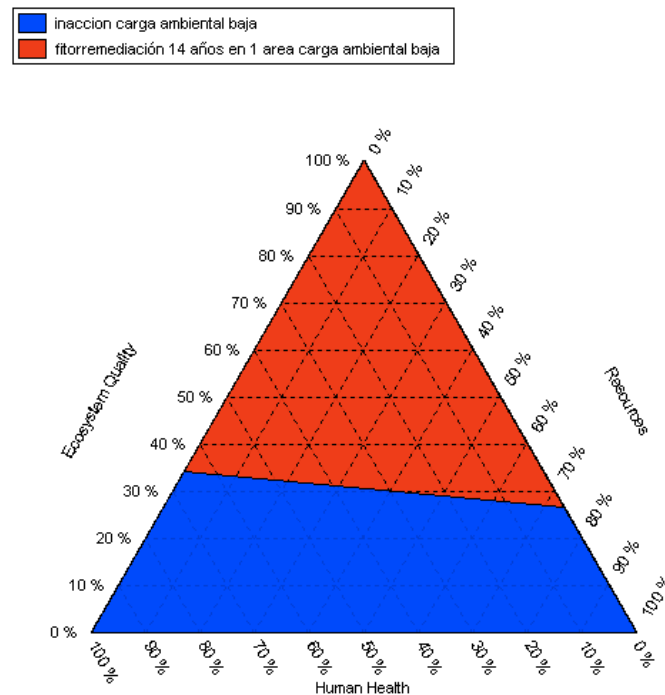
La no actuación, como se ha mencionado anteriormente, provoca un impacto muy alto en la calidad del ecosistema, en concreto en la ecotoxicidad. Como se puede apreciar en la **Figura 4**, la práctica totalidad de los efectos provocados por la no actuación se deben a este factor (ecotoxicidad), y como se ha mencionado anteriormente, este factor está causado principalmente por la presencia de Zn en el suelo.

Los efectos que la fitorremediación provoca en el medio ambiente, son debidos a motivos más diversos, como el impacto provocado por los fueles fósiles o los carcinógenos.

Se puede apreciar de igual manera en la **Figura 4**, que aunque el impacto en la salud humana y los recursos en la fitorremediación sea menor como se ha dicho anteriormente, el cómputo total del impacto asociado al ciclo de vida del proceso es menor, sumando menos mPt y siendo de forma global un método más sostenible que la no actuación.

De todas formas, la elección de una alternativa u otra depende de la ponderación que se le dé a cada una de las categorías de daño. Aunque el método Ecoindicador 99 incorpora una ponderación que permite calcular un valor final del impacto medido en puntos, se puede realizar un estudio de sensibilidad de la valoración de cada grupo de categorías (Salud Humana, Calidad del Ecosistema y Recursos) y representarlo en forma de triángulo (**Figura 5**). De esta forma, se pueden comparar dos alternativas y dependiendo de la ponderación asignada a cada grupo de categorías, elegir la mejor opción de ellas.

Figura 5. Triángulo de ponderación



Como se puede observar, la fitorremediación es una solución más sostenible siempre que se pondere menos de un 70% el uso de recursos, categoría castigada por la mayor actividad necesaria en este caso y los consumos que supone. Por lo tanto, puede deducirse que para las ponderaciones habituales que tienden a la igualdad, la fitorremediación es una alternativa más sostenible.

5. Conclusiones

La fitorremediación es una solución globalmente más sostenible que la opción de no realizar ninguna opción en el suelo contaminado. De hecho, la alternativa de no llevar a cabo ninguna actuación tiene un impacto relativamente alto. Sin embargo, si se tiene en cuenta el impacto a la salud humana o la necesidad de recursos, es mucho más interesante dejar que los contaminantes se eliminen de forma natural (que lógicamente será un proceso mucho más lento y provocará la eliminación de contaminantes en el suelo pero también un aumento de contaminación de las aguas subterráneas).

Sería interesante analizar como trabajo futuro, la mejora en el impacto medioambiental de la fitorremediación si se valoriza la planta recolectada a final de su ciclo de vida (con gran concentración de metales). Una opción sería el aprovechamiento de estas plantas para la producción de biodiésel, aunque en principio no se considera factible porque la especie utilizada no es oleaginosa. Otras alternativas serían el uso de este material para realizar compost o para generar biogás. Se considera ésta una vía muy interesante para próximos estudios.

De todas formas, podría ser interesante realizar un análisis de ciclo de vida con diferentes plantas para conocer cuál de ellas genera un menor impacto medioambiental.

La elección de fitorremediar o no, dependerá del riesgo que se quiera cometer a la hora de comprometer los recursos, la salud humana y la calidad del medio ambiente. Globalmente, la alternativa medioambientalmente más sostenible es la fitorremediación.

6. Referencias

- Chaney, R.L., Malik, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Brewer E.P., Angle, J.S., & Baker, JM. (1997) Phytoremediation of soil metals. *Environmental Biotechnology*.
- Dixon, J., & Fallon L.A. (1989). The concept of sustainability: Origins, extensions, and usefulness for policy. *Society & Natural Resources*, Volume 2, Issue 1 1989 , pages 73 – 84.
- Frick, C.M., Farrel, R.E., & Germida J.J. (1999). Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites. *Petroleum Technology Alliance of Canada (PTAC)*.
- Garbisu, C., & Alkorta, I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment (2001). *Bioresource Technology* 77, 229-236.
- Gerth, A. (2000). Phytoremediation of contaminated soils and sludge with special examination of heavy metal contamination. Chapter 45. *Bioremediation of contaminated soils*.
- ISO 14040 (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*.
- ISO 14044 (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001) *Trace elements in soils and plants*. CRC Press. 3rd edition.
- Kotrba, P., Najmanova, J., Macek, T., Ruml, T., & Mackova, M. (2009). Genetically modified plants in phytoremediation of heavy metal and metalloid soil and sediment pollution. *Biotechnology Advances* 27, 799–810.
- Payet, J., & Gambazzi, F. (2008). Assessing LCA and ERA for Sustainable site management in a single Framework (Snowman).
- Stomp, A.M., Han, K.-H., Wilbert, S., Gordon, M.P., & Cunningham, S.D. (1994). Genetic strategies for enhancing phytoremediation. *Ann. New York Acad. Sci.* 721, 481-491.
- Tlustos, P., Szakova, J., Hruby, J., Hartman, I., Najmanova, J., Nedelnik, J., Pavlikova, D., Batysta, M.(2006). Removal of As, Cd, Pb, and Zn from contaminated soils by high biomass producing plants. *Plant Soil Environment*, 52 (9): 413-423.
- Turkington, R.A., Cavers, & P.B., Rempel, E. (1978). The biology of Canadian Weeds. *Canadian Journal of Plant Science*, 58: 523-537.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Universidad de Oviedo. Área de Proyectos de Ingeniería.
Phone: + 34 985 10 42 72
Fax: + 34 985 10 42 56
E-mail : gestion@api.uniovi.es
URL : www.api.uniovi.es