

Tipo de Documento: DI -  
Presentado por: ARGENTINA  
Punto de Agenda CACAT

## **Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Bases Antárticas Argentinas**

[ulr@mrecic.gov.ar](mailto:ulr@mrecic.gov.ar) - [zvu@mrecic.gov.ar](mailto:zvu@mrecic.gov.ar) - [flx@mrecic.gov.ar](mailto:flx@mrecic.gov.ar) - [wpc@mrecic.gov.ar](mailto:wpc@mrecic.gov.ar)

### ***Resumen***

Este informe refiere al programa de biorremediación de suelos contaminados con Gas Oil Antártico (GOA) y otros hidrocarburos, desarrollado por Argentina para cumplir las directrices establecidas en el Protocolo de Madrid y su Anexo III. Basado en investigación científica, se desarrollaron estrategias para optimizar la actividad microbiana de degradación de hidrocarburos a bajas temperaturas mediante la bioestimulación y el manejo del suelo, utilizando un diseño en biopilas contenidas que permiten el tratamiento on-site. Se han tratado hasta el momento aproximadamente 15ton de suelo contaminado en Base Carlini. Actualmente, procesos similares están en desarrollo en la Base Petrel (suelo contaminado con Gasoil) y en Base Carlini (suelo contaminado con liquido hidráulico). Complementando dichas estrategias, se está investigando un enfoque alternativo que utiliza plantas y microorganismos, en un diseño denominado “ecopilas”, buscando incrementar los porcentajes de remoción logrados con la estrategia de biopilas. Adicionalmente, con Australia, se desarrollaron protocolos armonizados para el Manual de Remediación del Comité de Protección Ambiental. Así la Argentina busca validar soluciones biotecnológicas para abordar desafíos ambientales y contribuir al Objetivo 4 del Plan de Trabajo Estratégico Plurianual del Sistema del Tratado Antártico (STA).

### ***Objetivos, Etapas, y Relevancia del Problema***

El objetivo de estas actividades es el desarrollo y aplicación de métodos de biorremediación para suelos antárticos contaminados con hidrocarburos. Este trabajo involucra varias etapas: Investigación científica básica y aplicada; Ensayos en microcosmos, Ensayos a campo, Prospección de focos de contaminación; Tratamiento a escala total, Publicación de reportes.

La contaminación por hidrocarburos es un problema relevante para los programas antárticos, fundamentalmente porque la mayoría de ellos utiliza GOA como fuente de energía en bases antárticas. De igual relevancia es el hecho que la maquinaria naval, terrestre y pesada requiere insumos compuestos por hidrocarburos (combustibles, lubricantes, fluidos hidráulicos, grasas). Estos hidrocarburos involucran un riesgo para el ambiente, ya que su introducción accidental en el ecosistema antártico resulta en efectos nocivos, agudos y crónicos, sobre la macro y microfauna.

Basada en los compromisos asumidos con el Protocolo de Madrid (1991), la Argentina implementó un diagnóstico integral de sus actividades en Antártida, identificando a la contaminación de suelos por hidrocarburos como un riesgo prioritario a atender. En ese camino se identificó a la biorremediación (remoción de contaminantes utilizando sistemas biológicos) como una tecnología a desarrollar adecuada para el ambiente antártico. Como respuesta a ese requerimiento, el Instituto Antártico Argentino (IAA), inició en la década de 1990 un proyecto de investigación y desarrollo de estrategias de biorremediación basado en microorganismos autóctonos del continente antártico.

### ***Acciones***

Inicialmente se analizó la factibilidad de utilizar microorganismos antárticos como herramientas de biorremediación, demostrando que, a pesar de las bajas temperaturas, algunos microorganismos autóctonos presentan la capacidad metabólica para degradar hidrocarburos alifáticos y aromáticos<sup>(1)</sup>. A continuación, se evaluaron estrategias como la bioestimulación y el bioaumento en experimentos de laboratorio y a campo a escala microcosmos<sup>(2,3,4,5,6)</sup> (Figura 1). En base a la evidencia científica obtenida, se identificó a la bioestimulación de la comunidad microbiana autóctona mediante la adición de nutrientes, como la estrategia que presentó la mejor relación costo-beneficio. A partir de allí, se optimizó esta estrategia utilizando modelos matemáticos y estadísticos, buscando maximizar la actividad microbiana degradadora de hidrocarburos<sup>(7)</sup>. Esa optimización fue validada en ensayos a campo en biopilas conteniendo 500 kg de suelo contaminado con hidrocarburos en Base Carlini, logrando una remoción del 75% de los hidrocarburos en 40 days<sup>(8,9)</sup>. En paralelo se buscó comprender la ecología y dinámica de las comunidades microbianas involucradas en los procesos de biorremediación, identificando a algunos taxones microbianos como actores clave en los mismos<sup>(10,11)</sup> y comprendiendo la relevancia de las interacciones entre miembros de consorcios microbianos<sup>(12)</sup>. Estos desarrollos permitieron el reciente tratamiento de 15 ton de suelos contaminados con GOA en Base Carlini utilizando biopilas optimizadas (Figura 2A). Durante la campaña antártica de verano 2024-2025 se inició la transferencia de esta tecnología, dando inicio en base Petrel al tratamiento de un pasivo ambiental consituído por 2,5 ton de suelo (Figura 2B). Otro desarrollo en proceso actualmente es el tratamiento en biopilas de suelo de la base Carlini contaminado con líquido hidráulico, causado por el derrame de 20 L de este fluido por una falla de un manipulador telescópico. Este nuevo desafío amplía el espectro de contaminantes abordados con la tecnología desarrollada. A fin de incrementar la capacidad de remoción de hidrocarburos, se están investigando las ventajas de la fitorremediación asistida por microorganismos, donde se explotan las interacciones planta-microorganismos en un diseño denominado Ecoplia. En ese sentido recientemente se estudió la tolerancia de una especie vegetal antártica (*Deschampsia antarctica*) al GOA<sup>(13)</sup> (Figura 3).

La experiencia técnica desarrollada por Argentina en biorremediación incluye una colaboración bilateral con Australia. Esta cooperación se materializó en la coautoría de protocolos y conferencias, aportando información, plasmada en el Manual de Remediación de Sitios Contaminados del Comité de Protección Ambiental (CPA), un documento que integra prácticas validadas en bases como Carlini (Argentina) y Casey (Australia). Este rol activo basado en ciencia pone de manifiesto el compromiso de la Argentina con la conservación de la calidad ambiental del continente Antártico en línea con el Sistema del tratado Antártico <sup>(14)</sup>.

## Referencias

1. Mac Cormack WP y Fraile ER (1997) Characterization of a hydrocarbon degrading psychrotrophic Antarctic bacterium. *Antarctic Science*, 9(2):150-155
2. Ruberto L, Dias R, Lo Balbo A, Vazquez S, Hernandez E, Mac Cormack WP (2009) Influence of nutrients addition and bioaugmentation on the hydrocarbon biodegradation of a chronically contaminated Antarctic soil. *Journal of applied microbiology*, 106:1101-1110. doi:10.1111/j.1365-2672.2008.04073.x
3. Ruberto L, Vazquez SC, Curtosi A, Mestre MC, Pelletier E, Mac Cormack WP (2006) Phenanthrene biodegradation in soils using an Antarctic bacterial consortium. *Bioremediation Journal*, 10:191-201.
4. Ruberto L, Vazquez SC, Mac Cormack WP (2003) Effectiveness of the natural bacterial flora, biostimulation and bioaugmentation on the bioremediation of a hydro-carbon contaminated Antarctic soil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 52:115-125.
5. Dias R, Ruberto L, Calabro A, Lo Balbo A, Del Panno MT, Mac Cormack WP (2014) Hydrocarbon removal and bacterial community structure in on-site biostimulated biopile systems designed for bioremediation of diesel-contaminated Antarctic soil. *Polar biology*, 38 (5):677-687
6. Dias R, Ruberto L, Hernandez E, Vazquez S, Lo Balbo A, Del Panno MT, Mac Cormack WP (2012) Bioremediation of an aged diesel oil-contaminated Antarctic soil: Evaluation of the “on site” biostimulation strategy using different nutrient sources. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 75:96-103.
7. Martínez Álvarez LM, Lo Balbo A, Mac Cormack WP, Ruberto LAM (2015) Bioremediation of a petroleum hydrocarbon-contaminated Antarctic soil: Optimization of a biostimulation strategy using response-surface methodology (RSM). *Cold Regions Science and Technology* 119:61-67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.07.005>
8. Martínez Álvarez LM, Ruberto LAM, Lo Balbo A, Mac Cormack WP (2017) Bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils in cold regions: Development of a pre-optimized biostimulation biopile-scale field assay in Antarctica. *Science of the Total Environment*, 590-591:194-203
9. Martínez Álvarez LM, Ruberto LAM, Gurevich JM, Mac Cormack WP (2020) Environmental factors affecting reproducibility of bioremediation field assays in Antarctica. *Cold Regions Science and Technology*, 169, 102915
10. Vázquez S, Nogales B, Ruberto L, Hernández E, Christie-Oleza J, Lo Balbo A, Bosch R, Lalucat J, Mac Cormack W (2009) Bacterial Community Dynamics during Bioremediation of Diesel Oil-Contaminated Antarctic Soil. *Microbial Ecology* 57:598-610. doi:10.1007/s00248-008-9420-9.
11. Martínez Alvarez L, Bolhuis H, Mau GK, Kok-Gan C, Sing C, Mac Cormack WP, Ruberto L. Identification of key bacterial players during successful full-scale soil field bioremediation in Antarctica . *International Biodeterioration & Biodegradation* (2022)
12. Massot, F., Bernard, N., Alvarez, L. M. Martinez, Martorell, M. M., Mac Cormack, W. P., & Ruberto, L. A. M. (2022). Microbial associations for bioremediation. What does “microbial consortia” mean? *Applied Microbiology and Biotechnology* . DOI: 10.1007/s00253-022-11864-8
13. Basile Dazzi C, Massot F, Piotto M, Recalde L, Ricco MV, Mac Cormack W, Ruberto L. Diesel Tolerance in the Antarctic Grass *Deschampsia antarctica*: From Laboratory to Field in Extreme Conditions” .. *Physiol Plant*.;177(4):e70362. (2025)
14. Ruberto L, Martínez Alvarez L, Massot F, Mac Cormack WP. “Management and bioremediation of hydrocarbon-polluted soils in Antarctica” *Journal of Antarctic Affairs*, 7 43-64 (2020) <http://www.agendaantartica.org/agendaen/journal.html>.



Figura 1. Ensayos en microcosmos en Base Carlini donde se evaluaron diferentes estrategias de biorremediación



A

B

Figura 2. Trabajos de acondicionamiento del suelo contaminado con GOA para su disposición y tratamiento en biopilas en base Carlini (A) y Petrel (B).

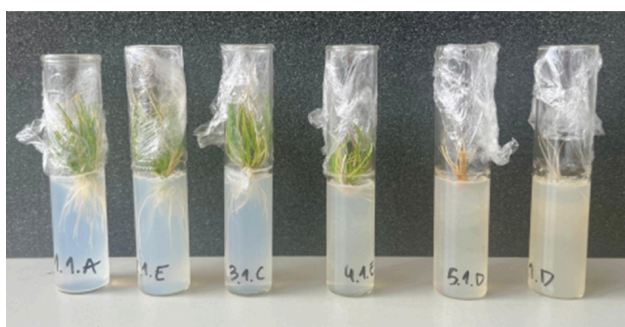


Figura 3. Ensayos de tolerancia al GOA de *Deschampsia antarctica* in vitro y a campo