

**ECO**  
**TECHNOLOGY**  
**SOLUTIONS S.A.S**  
Innovación que cuida el planeta

# HIDROCARBUROS

## Contaminación por Hidrocarburos y Biotecnología EMO para su Remediación

1

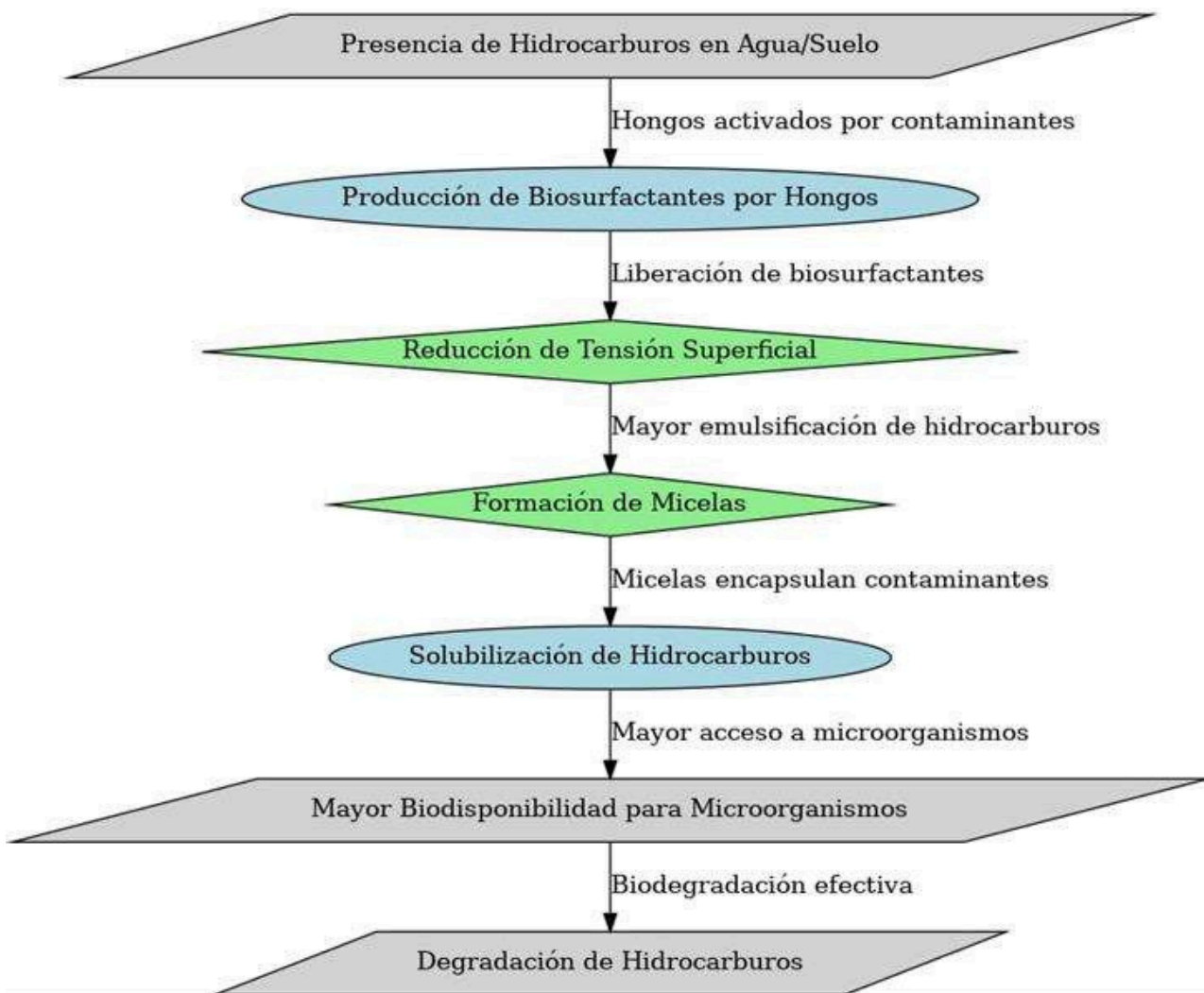
Aspecto	Descripción
<p><b>Tipos de Hidrocarburos Contaminantes</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Hidrocarburos Alifáticos:</b> Compuestos de cadena abierta (alcanos, alquenos, alquinos). Menos tóxicos pero persistentes en el ambiente.</li> <li>- <b>BTEX:</b> Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. Altamente tóxicos, solubles en agua y con efectos adversos en la salud humana y ecosistemas.</li> <li>- <b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs):</b> Compuestos con múltiples anillos bencénicos, persistentes y carcinogénicos (e.g., naftaleno, antraceno, benzo[a]pireno).</li> <li>- <b>Asfaltenos y Resinas:</b> Fracciones pesadas del petróleo que contribuyen a la formación de lodos en suelos y sedimentos.</li> </ul>
<p><b>Mecanismos de Contaminación por Hidrocarburos en Aguas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Flotación:</b> Hidrocarburos ligeros forman una película superficial que bloquea el intercambio gaseoso y afecta la fotosíntesis de organismos acuáticos.</li> <li>- <b>Disolución Parcial:</b> Algunos hidrocarburos aromáticos (BTEX) se disuelven en agua, aumentando su toxicidad y biodisponibilidad.</li> <li>- <b>Evaporación:</b> Fracciones volátiles (benceno, tolueno) se dispersan en la atmósfera, contribuyendo a la contaminación del aire y afectando la salud humana.</li> <li>- <b>Emulsificación:</b> Mezcla de hidrocarburos con agua, formando emulsiones que dificultan su eliminación.</li> <li>- <b>Adsorción y Sedimentación:</b> Hidrocarburos pesados se adhieren a partículas suspendidas y se depositan en sedimentos, afectando organismos bentónicos.</li> </ul>
<p><b>Mecanismos de Contaminación por Hidrocarburos en Suelos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Alteración de la Estructura del Suelo:</b> Formación de capas impermeables que reducen la infiltración de agua y oxígeno, afectando microorganismos y plantas.</li> </ul>

Aspecto	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Cambio en la Química del Suelo:</b> Acumulación de carbono orgánico y formación de ácidos que alteran el pH del suelo.</li> <li>- <b>Movilidad en el Subsuelo:</b> Hidrocarburos de baja viscosidad pueden migrar a capas más profundas, contaminando aguas subterráneas.</li> <li>- <b>Reducción de la Actividad Biológica:</b> Hidrocarburos tóxicos inhiben el crecimiento de microorganismos beneficiosos y afectan la biodegradación natural.</li> </ul>
<b>Efectos Ambientales de la Contaminación por Hidrocarburos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Organismos Acuáticos:</b> Asfixia por obstrucción de branquias, toxicidad celular, acumulación de compuestos en tejidos grasos, mortalidad en larvas y huevos de peces.</li> <li>- <b>Ecosistemas Terrestres:</b> Disminución de la fertilidad del suelo, afectación de la microbiota, toxicidad para la vegetación, reducción de biodiversidad.</li> <li>- <b>Atmósfera:</b> Emisión de compuestos volátiles que contribuyen a la formación de ozono troposférico y cambio climático.</li> </ul>
<b>Leyes y Normativas Aplicables</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Convenio MARPOL (Anexo I):</b> Regula la prevención de la contaminación marina por hidrocarburos y establece medidas de respuesta.</li> <li>- <b>Ley de Contaminación por Petróleo (EE. UU.):</b> Establece responsabilidad y compensación por derrames en aguas estadounidenses.</li> <li>- <b>Directiva Europea 2004/35/CE:</b> Responsabilidad ambiental en la prevención y reparación de daños ecológicos por contaminantes industriales.</li> <li>- <b>Norma ISO 14001:</b> Estándar de gestión ambiental para reducir el impacto de actividades industriales, incluyendo el manejo de hidrocarburos.</li> </ul>
<b>Mecanismos de Acción de los Biosurfactantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Reducción de la Tensión Superficial e Interfacial:</b> Los biosurfactantes disminuyen la tensión superficial entre líquidos o entre un líquido y un sólido, facilitando la dispersión y emulsificación de los hidrocarburos en el medio acuoso o en el suelo.</li> <li>- <b>Formación de Micelas y Emulsificación:</b> Los biosurfactantes forman estructuras llamadas micelas que encapsulan los hidrocarburos hidrofóbicos, aumentando su solubilidad y biodisponibilidad para los microorganismos degradadores.</li> </ul>

Aspecto	Descripción
	<p>- <b>Mejora de la Movilidad de los Contaminantes:</b> Al reducir la tensión interfacial, los biosurfactantes facilitan la movilidad de los hidrocarburos en el medio, permitiendo un acceso más fácil para los microorganismos que los degradan.</p> <p>- <b>Estimulación de la Actividad Microbiana:</b> Los biosurfactantes pueden actuar como fuente de carbono y energía para ciertos microorganismos, estimulando su crecimiento y actividad degradadora.</p> <p>- <b>Desorción de Contaminantes Adsorbidos:</b> Facilitan la liberación de hidrocarburos que están adsorbidos en partículas del suelo o sedimentos, haciéndolos más accesibles para la biodegradación.</p>
<b>Otras Tecnologías y Sustancias Utilizadas en España para la Descontaminación de Hidrocarburos</b>	<p>- <b>Biorremediación con Microorganismos Autóctonos:</b> Utilización de microorganismos presentes en el propio ecosistema para degradar hidrocarburos. Esta técnica ha demostrado ser eficaz en la eliminación de contaminantes tras vertidos, como el ocurrido en Ibiza.</p>

## PROCESO DE DESCONTAMINACION

4



## EMORGANIK SOLUCION MADRE

Se han identificado 2361 genes relacionados con la biorremediación de contaminantes petroquímicos en suelos y aguas en nuestra solución madre. Estos genes codifican enzimas clave como deshidrogenasas, reductasas y descarboxilasas, que participan en la degradación de hidrocarburos y otros compuestos tóxicos.

5

### Mecanismos de Descontaminación EMO para Cada Tipo de Contaminante:

#### 1. Hidrocarburos Alifáticos (Alcanos, Alquenos, Alquinos)

- Enzimas clave: Deshidrogenasas y monooxigenasas.
- Mecanismo:
  - Se inicia con la oxidación del hidrocarburo por una alcanohidroxilasa o monooxigenasa, insertando un grupo hidroxilo (-OH).
  - Luego, las deshidrogenasas convierten los alcoholes en aldehídos y finalmente en ácidos carboxílicos.
  - Se integran en el ciclo de Krebs y son degradados en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

#### 2. BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno)

- Enzimas clave: Deshidrogenasas, dioxygenasas y reductasas.
- Mecanismo:
  - Se oxidan con ayuda de dioxygenasas, abriendo el anillo bencénico.
  - Posteriormente, las deshidrogenasas generan catecoles, que luego son metabolizados por la ruta del orto o meta-clivaje.
  - Finalmente, las reductasas convierten los intermediarios en ácidos que pueden ser mineralizados.

### 3. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

- Enzimas clave: Dioxygenasas, deshidrogenasas y reductasas.
- Mecanismo:
  - Dioxygenasas catalizan la inserción de oxígeno en el sistema de anillos bencénicos, formando dioles.
  - Deshidrogenasas continúan la degradación de estos dioles en compuestos más solubles.
  - Reductasas ayudan en la reducción de los intermediarios tóxicos, facilitando su metabolismo en microorganismos.

### 4. Asfaltenos y Resinas

- Enzimas clave: Descarboxilasas, hidrolasas y peroxidasas.
- Mecanismo:
  - Descarboxilasas fragmentan los asfaltenos en unidades más pequeñas.
  - Hidrolasas rompen enlaces éster y amida en las resinas.
  - Peroxidadas oxidan los compuestos más persistentes, facilitando su transformación en productos biodegradables.

## Mecanismo de Acción EMO de Cada Enzima en la Descontaminación

### 1. Deshidrogenasas

- Mecanismo de Acción: Catalizan la transferencia de electrones desde los contaminantes a cofactores como NAD<sup>+</sup> o FAD. Esto inicia la degradación de hidrocarburos alifáticos y aromáticos.
- Impacto en Descontaminación:
  - Oxidan hidrocarburos en compuestos más solubles y biodegradables.
  - Ayudan en la biodegradación de fenoles y compuestos aromáticos.
  - Ejemplo: Glutamato deshidrogenasa, clave en la degradación de compuestos nitrogenados derivados del petróleo.

## 2. Reductasas

- Mecanismo de Acción: Introducen electrones en los contaminantes, favoreciendo su reducción química y descomposición. Son cruciales para la biotransformación de compuestos altamente tóxicos.
- Impacto en Descontaminación:
  - Degradan compuestos nitroaromáticos (como TNT o dinitrotolueno).
  - Participan en la detoxificación de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs).
  - Ejemplo: NAD(P)H deshidrogenasa, que reduce quinonas y previene su toxicidad en ambientes acuáticos.

## 3. Descarboxilasas

- Mecanismo de Acción: Eliminan grupos carboxilo de ácidos orgánicos y aromáticos, transformándolos en moléculas más simples que pueden integrarse en rutas metabólicas.
- Impacto en Descontaminación:
  - Degradan compuestos aromáticos complejos en fragmentos más manejables.
  - Facilitan la conversión de residuos orgánicos en moléculas más biodegradables.
  - Ejemplo: Aconitato descarboxilasa, que ayuda en la degradación de derivados del benceno en suelos contaminados.

## PROCESOS ADICIONALES EN LA DESCONTAMINACION DE SUELOS Y AGUAS POR HIDROCARBUROS.

Actualmente, el análisis de la **SOLUCION MADRE EMORGANIK** está basado en genes presentes en el metagenoma funcional.

Sin embargo, para incrementar la eficacia del proceso y teniendo en cuenta la situación particular de contaminación, adicionalmente se propone:

1. Seleccionar y combinar cepas microbianas con capacidades complementarias para degradar diferentes fracciones del petróleo.


- Ejemplo: Se pueden usar *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Alcanivorax* y *Sphingomonas*, que tienen enzimas especializadas en hidrocarburos.
- Incrementar bacterias y hongos: Los hongos como *Phanerochaete chrysosporium* producen peroxidasa que pueden descomponer HAPs.

 Beneficio: Se maximiza la eficiencia de degradación al aprovechar múltiples rutas metabólicas simultáneamente.

2. Uso de Nanotecnología para Potenciar la Degradación


Los hidrocarburos suelen ser hidrófobos, lo que dificulta su biodisponibilidad para las bacterias.

- Uso de nanopartículas para mejorar la dispersión de los contaminantes en el agua o suelo.
- Nanopartículas de óxidos metálicos ( $\text{Fe}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) pueden catalizar la oxidación de hidrocarburos y mejorar la disponibilidad de compuestos para los microorganismos.
- Emulsificantes y surfactantes microbianos como la ramnolípidos de *Pseudomonas* pueden ayudar a aumentar la biodisponibilidad.

 Beneficio: Mayor contacto entre las enzimas y los hidrocarburos, acelerando su degradación.

3. Aplicación de Bioestimulación y Bioaumentación

- Bioestimulación: Ajustar factores ambientales (pH, nutrientes, oxígeno) para mejorar la actividad microbiana.
- Bioaumentación: Introducir microorganismos previamente seleccionados en bioreactores para potenciar la remoción de contaminantes.
- Uso de fertilizantes orgánicos (nitrógeno y fósforo) para favorecer la actividad de los degradadores de hidrocarburos.

 Beneficio: Crea condiciones óptimas para la actividad biológica sin requerir modificaciones genéticas.

4. Monitoreo y Modelado con Inteligencia Artificial

La eficiencia de la biorremediación varía según el tipo de suelo, temperatura, humedad, y concentración de contaminantes. Propuesta:

- Implementar sensores y modelos de inteligencia artificial para analizar datos en tiempo real y ajustar las condiciones óptimas del proceso.
- Uso de aprendizaje automático para predecir la velocidad de degradación y ajustar los parámetros ambientales en suelos contaminados.
- Modelos basados en machine learning pueden predecir qué microorganismos serán más eficientes en un sitio específico.

 Beneficio: Reduce tiempos de biorremediación y optimiza la aplicación de recursos.