

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

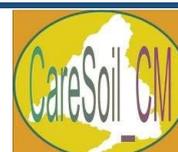
<https://www.ucm.es/caresoil/>



<i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i>	Modelización hidrogeológica con Processing Modflow X
<i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO</i>	Los modelos hidrogeológicos son representaciones en 2D o 3D de las condiciones estáticas o dinámicas de sistemas hidrogeológicos. Sintetizan las condiciones básicas de estado y dinámica de las aguas subterráneas y su relación con los cuerpos de agua superficial y los aportes atmosféricos.
<i>APLICABILIDAD</i>	<p>Los modelos permiten conocer la dinámica del medio representado, obtener balances y predecir a futuro la respuesta del medio ante diferentes cambios aplicados. Hacen posible la correcta planificación de una obra, la explotación de un recurso o la protección del medio hidrogeológico.</p> <p>Se pueden aplicar a problemáticas de obra civil, edificación, explotación y gestión de recursos hidrogeológicos, a la minería o a la protección del medio ambiente.</p>
<i>LIMITACIONES</i>	<p>La principal limitación de los modelos es la disponibilidad y existencia de datos hidrogeológicos, además de la calidad de estos. Se requiere una serie temporal mínima para la calibración del modelo.</p> <p>La existencia de ecuaciones implementadas que reproduzcan el fenómeno que se quiere representar.</p>
<i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i>	Software Processing Modflow X Grupo Hidroymab. Área de Geodinámica Externa. Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología de la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM)
<i>REFERENCIAS</i>	
<i>CONTACTO</i>	Esperanza Montero González Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. UCM emontero@ucm.es 91 394 4718



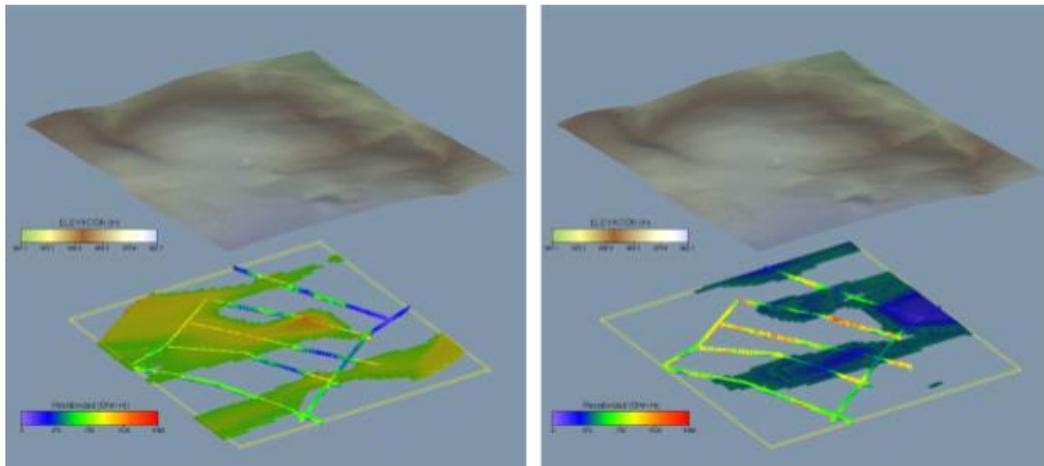
**CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS DE CARACTERIZACIÓN, REMEDIACIÓN  
Y ANÁLISIS DE RIESGOS**



<p>NOMBRE TECNOLOGÍA</p>	<p>CONDUCTIVÍMETRO CMD-EXPLORER (GF Instruments) SISTEMA ELECTROMAGNÉTICO EN DOMINIO DE FRECUENCIAS MULTIPROFUNDIDAD</p>
<p>FUNDAMENTO TÉCNICO</p>	<p>Los sistemas EM en Dominio de Frecuencias inducen, mediante antenas sin contacto con el suelo, un campo EM primario que penetra en el subsuelo e induce en los materiales conductores un campo EM secundario. A partir de la medida de ambos campos EM en antenas receptoras, el equipo mide de manera automática valores de resistividad aparente y componente en fase a tres profundidades de manera simultánea.</p>
<p>APLICABILIDAD</p>	<p>La resistividad depende de la composición de suelo y de las aguas que contiene, y la componente en fase de la presencia de metales. Estos parámetros permiten la caracterización y mapeo del subsuelo en aplicaciones ambientales, geotécnicas, arqueológicas, aguas subterráneas, edafología, prospección de materias primas y localización y detección de servicios.</p> <p>Debido a la rapidez de toma de datos (1 s por medida simultánea a tres profundidades) es especialmente útil para monitoreo, mediante repetición de medidas a lo largo del tiempo.</p> <p>El mapeo permite extraer secciones y realizar inversiones tomográficas en cualquier orientación, obtenido la estructura de resistividades del subsuelo hasta 6,7 m de profundidad.</p>
<p>LIMITACIONES</p>	<p>Las antenas disponibles abarcan la caracterización del subsuelo en dos modos (HIGH y LOW), que abarcan los siguientes rangos de profundidades: MODO LOW: 1.1 m, 2.2 m, y 3.3 m. MODO HIGH: 2.2 m, 4.4 m y 6.7 m.</p> <p>La presencia de elementos metálicos en superficie en distancias menores a 3-4 m, pueden producir señales que interfieren en las medidas de propiedades del subsuelo.</p>
<p>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</p>	<p>CMD – EXPLORER, con tres pares de antenas integradas y un GPS TOPCON diferencial.</p> <p>Todo el equipo se transporta en una caja de aluminio de 134 x 25 x 36 cm y 25.5 kg de peso total.</p> <p>El equipo se encuentra en el Laboratorio del Grupo GTA en la Facultad de CC Geológicas de la Univ. Complutense de Madrid</p>
<p>REFERENCIAS</p>	<p><a href="#">GF Instruments, S.R.O.</a></p> <p>Muñoz Martín A. y Granja, J.L. (2017) Aplicación de técnicas geofísicas en caracterización de suelos contaminados, en: Contaminación de Suelos (Ed. Mundi-Prensa), pág: 405-443.</p> <p>Muñoz Martín, A., Lorenzo, ML., Feo, E. C., Roso, J., Granja Bruña, JL. &amp; García, P. C. (2021). Aplicación de un sistema electro-magnético en dominio de frecuencias (FDEM) para la caracterización de suelos contaminados por arsénico. <i>Geotemas (Madrid)</i>, (18), 489.</p>



Sistema CMD-Explorer con los tres pares de antenas integradas y el GPS TOPCON, en trabajos de caracterización ambiental. Profundidad de penetración hasta 6,7 m.



Obtención de la distribución 3D y 2D de resistividades elevadas (izquierda) y bajas (derecha), que permiten la cuantificación espacial de las zonas con desarrollo de suelos, rellenos y escombreras y zonas de fractura en un estudio caracterización de suelos contaminados por arsénico.

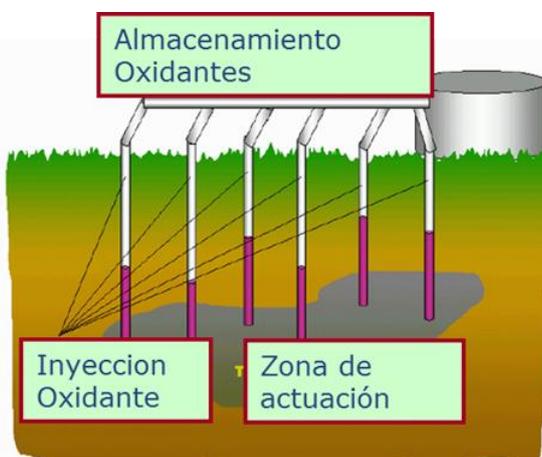
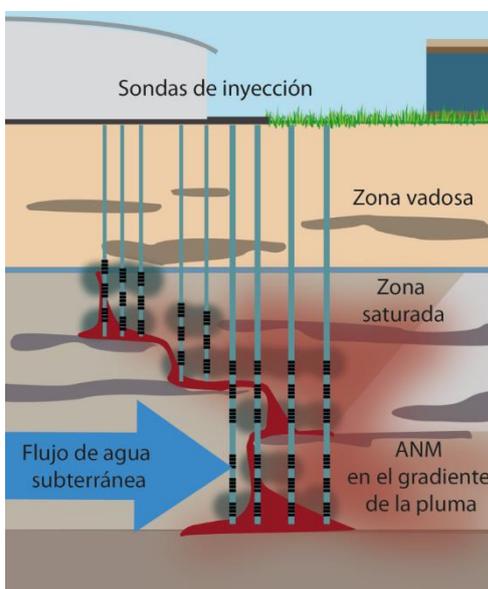
**TECNOLOGÍAS DE CARACTERIZACIÓN, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

<https://www.ucm.es/caresoil/>



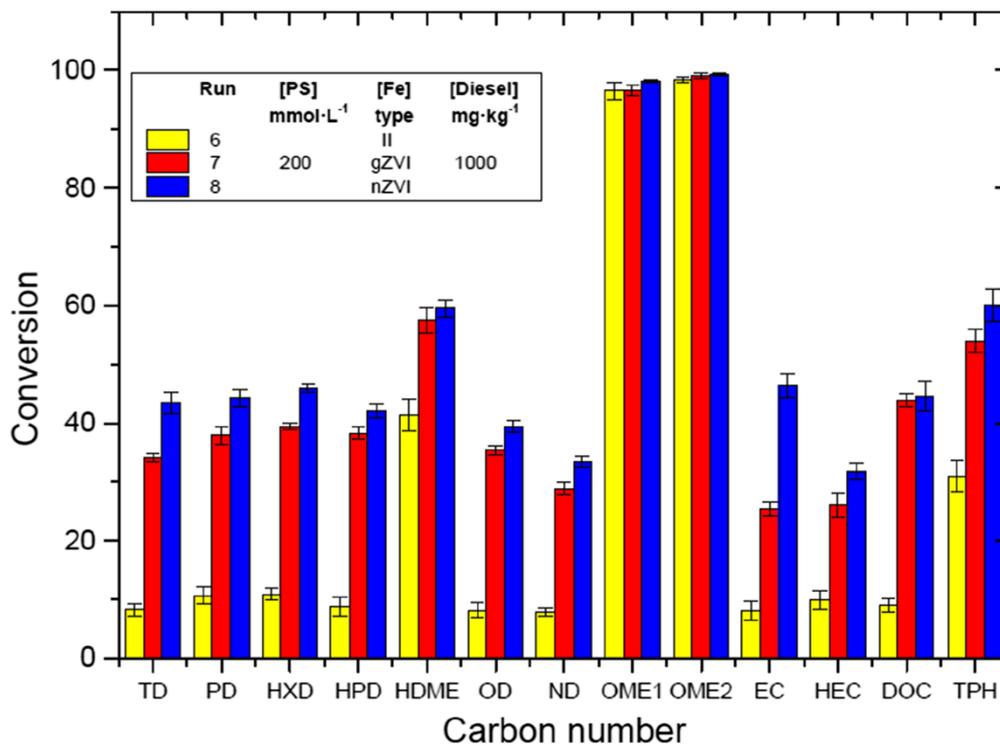
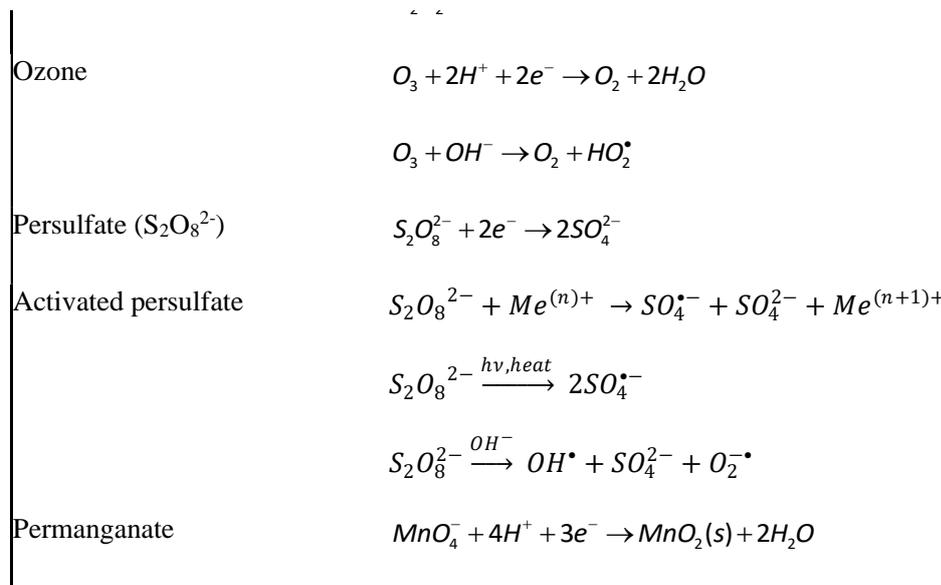
<p>NOMBRE TECNOLOGÍA</p>	<p>In Situ Chemical Oxidation (ISCO)</p>
<p>FUNDAMENTO CIENTÍFICO- TÉCNICO</p>	<p>La inyección de oxidantes en el subsuelo permite la eliminación de contaminantes orgánicos de muy variada naturaleza, siendo los menos biodegradables los que más fácilmente se oxidan con esta técnica.</p> <p>Entre los principales oxidantes (permanganato, persulfato y peróxido de hidrógeno), el grupo INPROQUIMA cuenta con experiencia en la aplicación de Persulfato y Peróxido de Hidrógeno. Ambos oxidantes generan radicales (sulfato o hidroxilo) al añadir activadores al persulfato o catalizadores al peróxido de hidrógeno).</p> <p>El diseño adecuado de este tratamiento requiere conocer la cinética de reacción del oxidante con los contaminantes y con el suelo, siendo esta última reacción un aspecto limitante en el transporte del oxidante. La construcción de modelos de transporte reactivos que realiza el grupo permiten estimar y optimizar los tiempos y dosis necesarias.</p> <p>Estos sistemas se pueden aplicar también al tratamiento on site de los suelos excavados.</p>
<p>APLICABILIDAD</p>	<p>El tratamiento ISCO requiere permeabilidades no demasiado bajas, siendo poco efectivo en arcillas-limos, debiendo evaluarse cada caso.</p> <p>El persulfato es muy estable en el suelo, por lo que se puede transportar largas distancias, requiere activadores (Fe(II), álcali, temperatura), que no son catalizadores sino reactivos.</p> <p>El peróxido de hidrógeno catalizado por sales de Fe (Reactivo Fenton) tiene una cinética rápida de degradación de los contaminantes pero es poco estable en el subsuelo si hay carbonatos y/o materia orgánica, requiriendo la adición estabilizadores (fosfato).</p>
<p>LIMITACIONES</p>	<p>Suelos con muy bajas permeabilidades (requerirá fracturación)</p> <p>Suelos con pH neutros o alcalinos requieren la adición de quelantes si se utiliza Fe como activador o catalizador</p> <p>Suelos con alto contenido en carbonatos o SOM producen una rápida descomposición del peróxido de hidrógeno que puede producir gas de modo incontrolado</p> <p>No es la técnica más adecuada cuando existen concentraciones significativas de fases libres residuales, ya que pueden generarse repuntes en el penacho de contaminación,</p>

<p>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</p>	<p>En el grupo INPROQUIMA (UCM, Fac CC Químicas) se dispone de los equipos de laboratorio necesarios para llevar a cabo los estudios cinéticos y de los equipos de análisis para seguir el progreso de la reacción en el suelo y en la fase acuosa, tras las necesarias etapas de extracción. (GC/MS, GC/FID/ECD, IC, TOC, Surfactantes, Titración). Se realizan también ensayos en columna de suelo</p> <p>Se dispone de software de modelado y optimización</p> <p>Más detalles en <a href="https://www.ucm.es/inproquima">https://www.ucm.es/inproquima</a></p>
<p>REFERENCIAS</p>	<p>Siegrist, R.L., M. Crimi, and T.J. Simpkin, In Situ Chemical Oxidation for Groundwater Remediation, ed. R.U. C. Herb Ward. 2011, New York: Springer-Verlag New York.</p> <p>Baclocchi, R., et al., Development of technical guidelines for the application of in-situ chemical oxidation to groundwater remediation. Journal of Cleaner Production, 2014. 77: p. 47-55.</p> <p>Pardo, F., et al., Remediation of a Biodiesel Blend-Contaminated Soil with Activated Persulfate by Different Sources of Iron. Water Air and Soil Pollution, 2015. 226(2).</p> <p>Pardo, F., et al., Remediation of soil contaminated by NAPLs using modified Fenton reagent: application to gasoline type compounds. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2015. 90(4): p. 754-764.</p> <p>Santos, A., et al., Abatement of chlorinated compounds in groundwater contaminated by HCH wastes using ISCO with alkali activated persulfate. Science of the Total Environment, 2018. 615: p. 1070-1077.</p>
<p>CONTACTO</p>	<p>Aurora Santos López  Departamento de Ingeniería Química. UCM  <a href="mailto:aurasan@ucm.es">aurasan@ucm.es</a>  913944171</p>



Aplicación de ISCO en fases la remediación de emplazamientos contaminados con fases orgánicas densas o ligeras (residual o penachos de contaminación)

Principales Oxidantes en ISCO y activación de los oxidantes que generan radicales libres



Selectividad en la oxidación de diferentes fracciones de hidrocarburos con persulfato activado por hierro. Pardo, F., et al., Remediation of a Biodiesel Blend-Contaminated Soil with Activated Persulfate by Different Sources of Iron. Water Air and Soil Pollution, 2015. 226(2)

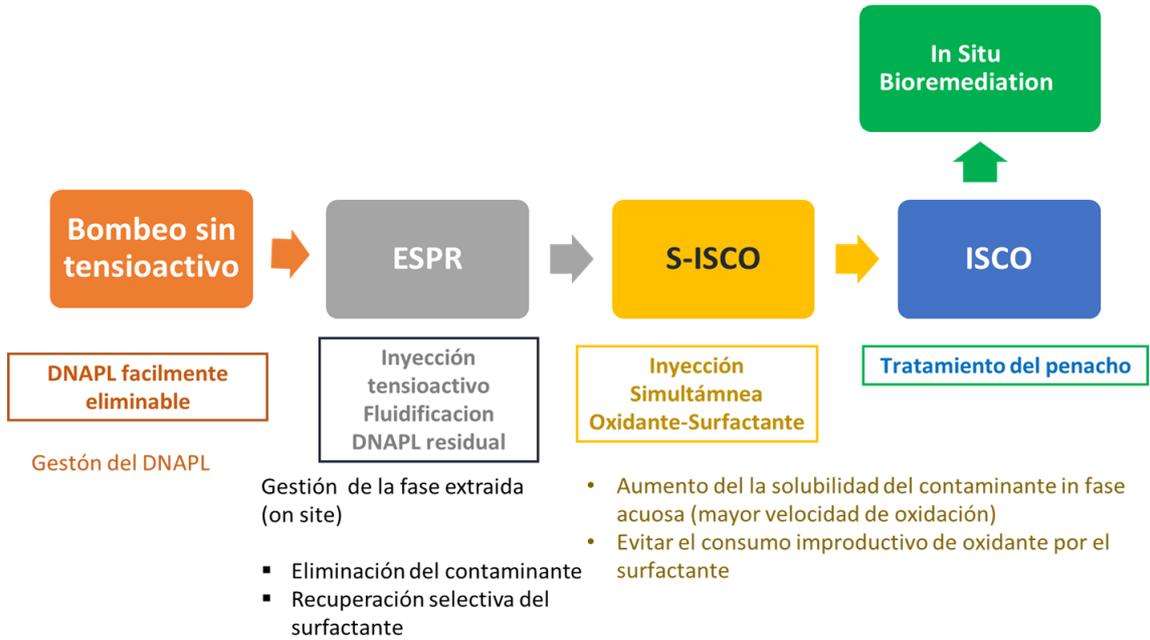
**TECNOLOGÍAS DE CARACTERIZACIÓN, *REMEDIACIÓN* Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

<https://www.ucm.es/caresoil/>

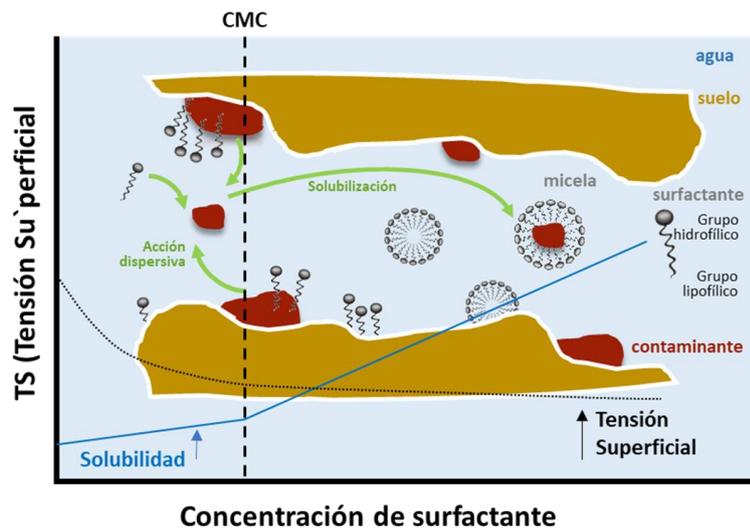


NOMBRE TECNOLOGÍA	Recuperación de Acuíferos Mejorada por Surfactante (SEAR, ESPR)
FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TÉCNICO	<p>Cuando existen todavía en el subsuelo fase libres orgánicas (LNAPL, DNAPL), éstas son difícilmente bombeables por técnicas convencionales y estas fases son además poco volátiles, la inyección de surfactantes en el subsuelo y la posterior extracción del fluido inyectado, puede eliminar una masa importante de contaminación del subsuelo en un tiempo corto. El surfactante solubiliza los contaminantes orgánicos y/o baja la viscosidad de la fase orgánica favoreciendo su extracción.</p> <p>El diseño adecuado de este tratamiento requiere conocer la cinética y el equilibrio de solubilización del contaminante, la cinética y equilibrio de adsorción del surfactante en el suelo, y la cinética y equilibrio de absorción del surfactante en la fase orgánica, para seleccionar las dosis y tiempos de contacto adecuados.</p>
APLICABILIDAD	<p>Se pueden aplicar cuando se conocer la localización de la fase orgánica en el subsuelo.</p> <p>Es especialmente indicada para la eliminación de fase orgánicas poco solubles y no muy volátiles</p>

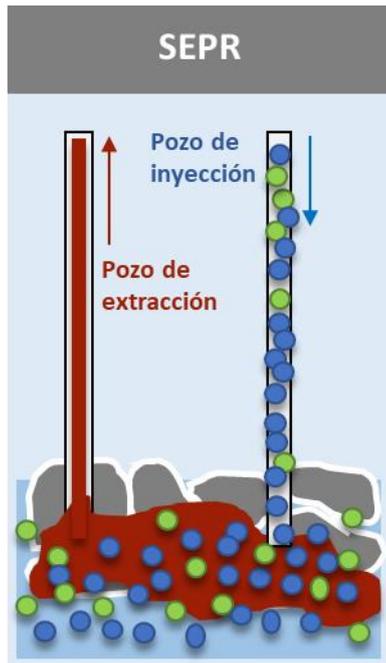
<p>LIMITACIONES</p>	<p>Suelos con muy bajas permeabilidades Se debe conocer bien el transporte de los fluidos inyectados para evitar la dispersión de la contaminación a zonas no deseadas (que supongan riesgos para el receptor). Esto requiere un estudio con previo con trazadores (bromuro, conductividad). Suelos con alto contenido en arcilla producen una elevada adsorción del surfactante Hay que gestionar on site los fluidos extraídos –emulsión acuosa con el surfactante y los contaminantes-. Esto se puede realizar mediante oxidación selectiva del contaminante, retención selectiva de contaminantes en carbón activo o membranas)</p>
<p>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</p>	<p>En el grupo INPROQUIMA (UCM, Fac CC Químicas) se dispone de los equipos de laboratorio necesarios para llevar a cabo los estudios de cinética y equilibrios entre fases, y de adsorción en el suelo. Los equipos de análisis son los descritos en S-ISCO e ISCO. Se realizan también ensayos en columna de suelo Se dispone de software de modelado y optimización Más detalles en <a href="https://www.ucm.es/inproquima">https://www.ucm.es/inproquima</a></p>
<p>REFERENCIAS</p>	<p>Londergan, J. and L. Yeh, Surfactant-Enhanced Aquifer Remediation (SEAR) Implementation Manual. 2003, INTERA INC AUSTIN TX. Wang, M.X., et al., Efficient remediation of crude oil-contaminated soil using a solvent/surfactant system. Rsc Advances, 2019. 9(5): p. 2402-2411. Zhong, L.R. and M. Oostrom, LNAPL Removal from Unsaturated Porous Media Using Surfactant Infiltration. Vadose Zone Journal, 2012. 11(4). Paria, S., Surfactant-enhanced remediation of organic contaminated soil and water. Advances in Colloid and Interface Science, 2008. 138(1): p. 24-58. Acosta, E.J. and S. Quraishi, Surfactant Technologies for Remediation of Oil Spills. Oil Spill Remediation: Colloid Chemistry-Based Principles and Solutions, ed. P. Somasundaran, et al. 2014: Wiley. 317-358.</p>
<p>CONTACTO</p>	<p>Aurora Santos López Departamento de Ingeniería Química. UCM <a href="mailto:aurasan@ucm.es">aurasan@ucm.es</a> 913944171</p>



Tren de tratamiento en la remediación de emplazamientos contaminados con fases orgánicas



Acción del surfactante en la eliminación de fases orgánicas residuales en el suelo



Ejemplo de extracción de fases orgánicas residuales del subsuelo tras extracción de una disolución del surfactante y posterior extracción

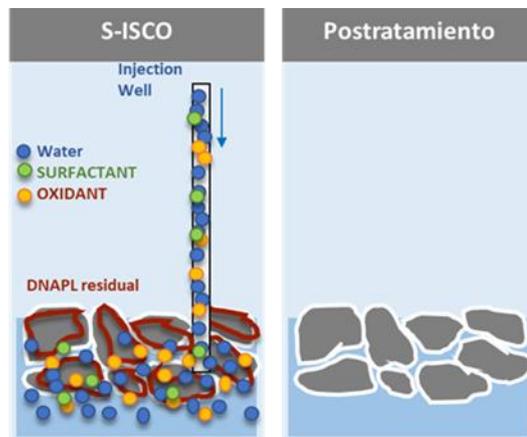
**TECNOLOGÍAS DE CARACTERIZACIÓN, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

<https://www.ucm.es/caresoil/>

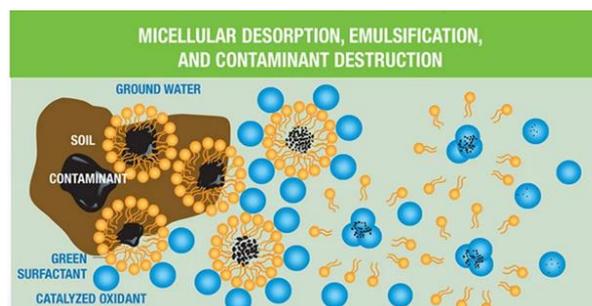


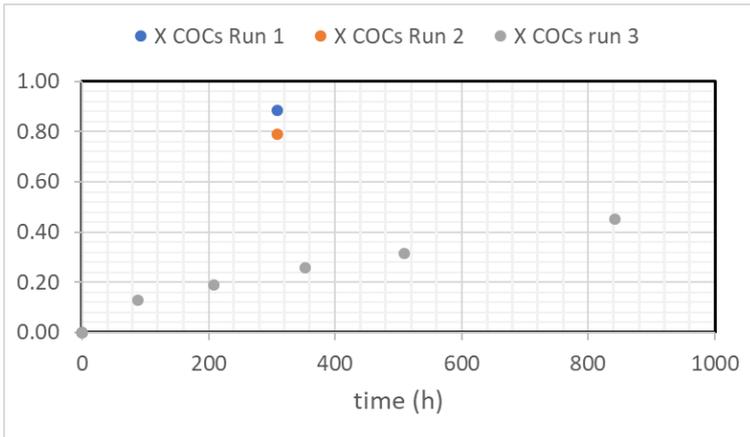
NOMBRE TECNOLOGÍA	Surfactant enhance In Situ Chemical Oxidation (S-ISCO)
FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TÉCNICO	<p>La inyección de oxidantes en el subsuelo permite la eliminación de contaminantes orgánicos de muy variada naturaleza. Sin embargo, si existen concentraciones relativamente altas de fases orgánicas hidrófobas, el tiempo necesario para su eliminación puede ser muy alto, ya que la oxidación se lleva a cabo en la fase acuosa y las fases orgánicas son poco solubles. La adición de surfactantes a los oxidantes-activadores aumenta la solubilización de los compuestos orgánicos y por tanto su velocidad de oxidación en la fase acuosa.</p> <p>El diseño adecuado de este tratamiento requiere conocer la cinética de reacción del oxidante con los contaminantes, con el surfactante (consumo improductivo) y con el suelo. Es necesario también conocer el equilibrio del contaminante en la emulsión y la adsorción del surfactante en el suelo y su absorción en la fase orgánica. La construcción de modelos de transporte reactivos que realiza el grupo INPROQUIMA permiten estimar y optimizar los tiempos y dosis necesarias. Estos sistemas se pueden aplicar también al tratamiento on site de los suelos excavados si estos tienen altas cargas orgánicas.</p>
APLICABILIDAD	<p>Se pueden acelerar los procesos de descontaminación de emplazamientos con fases libres residuales (NAPL o DNAPL), evitando o minimizando el número de inyecciones necesarias para eliminar el efecto de repunte de la contaminación en el penacho.</p> <p>El tratamiento S-ISCO requiere el empleo de surfactantes biodegradables (generalmente no iónicos) y compatibles con el oxidante (que no supongan un elevado consumo improductivo). En algunos casos se pueden requerir también la adición de cosolventes.</p>
LIMITACIONES	<p>Suelos con muy bajas permeabilidades</p> <p>Se debe conocer bien el transporte de los fluidos inyectados para evitar la dispersión de la contaminación a zonas no deseadas (que supongan riesgos para el receptor), antes de que se oxide.</p> <p>Respecto a los oxidantes, las mismas que se describieron en la técnica ISCO</p>

EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN	En el grupo INPROQUIMA (UCM, Fac CC Químicas) se dispone de los equipos de laboratorio necesarios para llevar a cabo los estudios cinéticos y de los equipos de análisis para seguir el progreso de la reacción en el suelo y en la fase acuosa, tras las necesarias etapas de extracción. (GC/MS, GC/FID/ECD, IC, TOC, Surfactantes, Titración). Se realizan también ensayos en columna de suelo Se dispone de software de modelado y optimización Más detalles en <a href="https://www.ucm.es/inproquima">https://www.ucm.es/inproquima</a>
REFERENCIAS	Besha, A.T., et al., <i>Recent advances in surfactant-enhanced In-Situ Chemical Oxidation for the remediation of non-aqueous phase liquid contaminated soils and aquifers</i> . Environmental Technology & Innovation, 2018. <b>9</b> : p. 303-322. Lominchar, M.A., et al., <i>Remediation of soil contaminated by PAHs and TPH using alkaline activated persulfate enhanced by surfactant addition at flow conditions</i> . Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2018. <b>93</b> (5): p. 1270-1278.
CONTACTO	Aurora Santos López Departamento de Ingeniería Química. UCM <a href="mailto:aurasan@ucm.es">aurasan@ucm.es</a> 913944171



Esquema del Tratamiento S-ISCO





**Ensayos**  
**1, 2 con SURFACTANTE**  
**3 SIN SURFACTANTE**

*Conversion de COCs en la mezcla suelo+ emulsion*

*Run 1 ( $C_{Emulsi\text{-}3} = 3 \text{ g L}^{-1}$ ,  $C_{PS}=190 \text{ mM}$ ,  $C_{NaOH}=190 \text{ mM}$ )*

*Run 2 ( $C_{Emulsi\text{-}3} = 6 \text{ g L}^{-1}$ ,  $C_{PS}=190 \text{ mM}$ ,  $C_{NaOH}=190 \text{ mM}$ )*

*Run 3 ( $C_{Emulsi\text{-}3} = 0 \text{ g L}^{-1}$ ,  $C_{NaOH}=190 \text{ mM}$ ,  $C_{PS}=190 \text{ mM}$ ).*

Concentración inicial de COCs en el suelo: 9000 mg/kg. Resultados de INPROQUIMA

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

<https://www.ucm.es/caresoil/>



<p><i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i></p>	<p>Técnica de déficit de Radón.</p>
<p><i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO- TECNOLÓGICO</i></p>	<p>Técnica de screening para la delimitación de zonas afectadas por fases libres no acuosas (NAPL por sus siglas en inglés). Se fundamenta en el reparto preferencial del Radón con fases orgánicas. La caracterización de la emanación subsuperficial de radón permite identificar “Hotspots” de contaminación.</p>
<p><i>APLICABILIDAD</i></p>	<p>La técnica es especialmente apropiada en aquellos casos en los que el vertido es lo suficientemente antiguo como para que se hayan perdido los compuestos orgánicos volátiles. Es una técnica más eficiente que los métodos intrusivos tradicionales, ya que evita la instalación de sondeos, permitiendo la caracterización espacial de grandes superficies en poco tiempo.</p>
<p><i>LIMITACIONES</i></p>	<p>Actualmente se están estudiando el efecto limitante de algunas variables, como la profundidad del vertido, las condiciones meteorológicas y las propiedades del suelo.</p>
<p><i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i></p>	<p>Se cuenta con equipo de campo para la realización de perforaciones para el muestreo de soil-gas, así como equipamiento para la cuantificación de la emanación de radón en campo y en laboratorio.</p> 
<p><i>REFERENCIAS</i></p>	<p>Barrio-Parra, F., Hidalgo, A., Izquierdo-Díaz, M., Arévalo-Lomas, L., De Miguel, E., 2022. 1D_RnDPM: A freely available <sup>222</sup>Rn production, diffusion, and partition model to evaluate confounding factors in the radon-deficit technique. Sci. Total Environ. 807, 150815. <a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150815">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150815</a></p>

	<p>Barrio-Parra, F., Izquierdo-Díaz, M., Díaz-Curiel, J., De Miguel, E., 2021. Field performance of the radon deficit technique to detect and delineate a complex DNAPL accumulation in a multi-layer soil profile. <i>Environ. Pollut.</i> 269, 116200.  <a href="https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116200">https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116200</a></p> <p>Cecconi, A., Verginelli, I., Barrio-parra, F., Miguel, E. De, Baciocchi, R., 2023. Influence of advection on the soil gas radon deficit technique for the quantification of LNAPL. <i>Sci. Total Environ.</i> 875.  <a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162619">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162619</a></p> <p>De Miguel, E., Barrio-Parra, F., Elío, J., Izquierdo-Díaz, M., Jerónimo, &amp; García-González, E., Mazadiego, L.F., Medina, R., 2018. Applicability of radon emanometry in lithologically discontinuous sites contaminated by organic chemicals. <i>Environ. Sci. Pollut. Res.</i> 25, 20255–20263. <a href="https://doi.org/10.1007/s11356-018-2372-9">https://doi.org/10.1007/s11356-018-2372-9</a></p> <p>De Miguel, E., Barrio-Parra, F., Izquierdo-díaz, M., Fernández, J., García-gonzález, J.E., 2020. Applicability and limitations of the radon-deficit technique for the preliminary assessment of sites contaminated with complex mixtures of organic chemicals : A blind field-test. <i>Environ. Int.</i> 138, 105591.  <a href="https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105591">https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105591</a></p>
CONTACTO	<p>Eduardo de Miguel García  Departamento de Energía y Combustibles. UPM.  <a href="mailto:eduardo.demiguel@upm.es">eduardo.demiguel@upm.es</a>  913 366 992</p>

**TECNOLOGÍAS DE CARACTERIZACIÓN, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

<https://www.ucm.es/caresoil/>



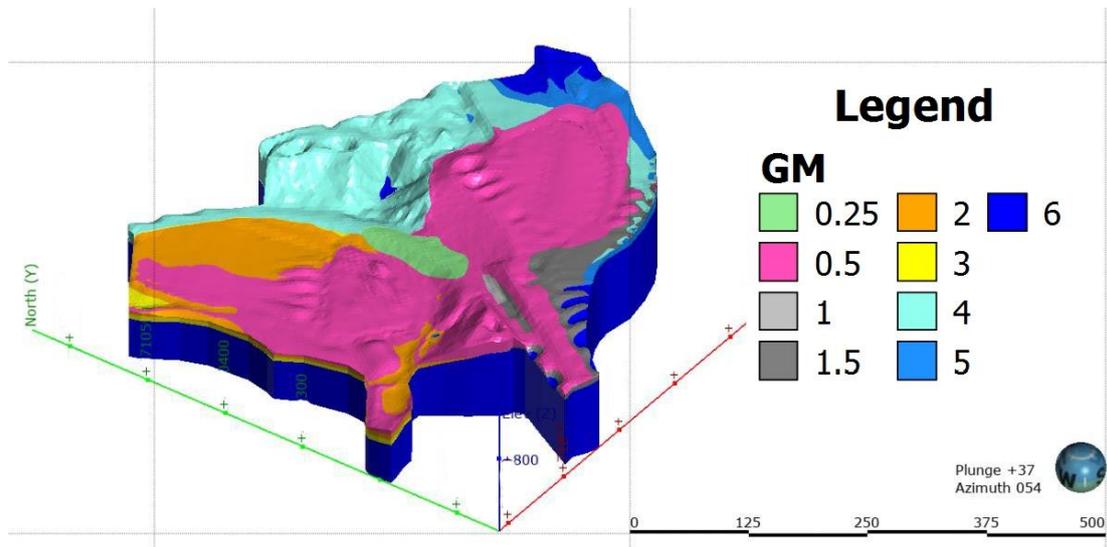
<i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i>	Análisis de Riesgos Ambientales (ARA)
<i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO</i>	Conjunto de técnicas empleadas para caracterizar la naturaleza y magnitud del riesgo para la salud humana y los ecosistemas. El ARA emplea datos de concentración de sustancias tóxicas en los medios fuente y receptores, datos de la población expuesta, modelos de transporte y destino e información físico/química y toxicológica.
<i>APLICABILIDAD</i>	La metodología es aplicable a aquellos escenarios en los que exista (o pueda existir) una exposición humana o ecosistémica a agentes químicos tóxicos. La caracterización del riesgo permite definir qué rutas de exposición son determinantes del riesgo en el emplazamiento, así como las concentraciones objetivo a alcanzar en un proceso de remediación.
<i>LIMITACIONES</i>	El análisis de riesgo probabilístico permite estudiar con detalle la distribución del riesgo dentro de una población, así como las variables determinantes de su variabilidad dentro de la misma, por lo que la principal limitación del método es la obtención de información representativa.
<i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i>	El programa de I+D cuenta con rutinas de cálculo de elaboración propia que permite la realización del análisis de riesgo determinista y probabilista, además de su vinculación con modelos de transporte y destino. También se cuenta con software comercial como RISC y RBCA.
<i>REFERENCIAS</i>	Barrio-Parra, F., Izquierdo-Díaz, M., Dominguez-Castillo, A., Medina, R., De Miguel, E., 2019. Human-health probabilistic risk assessment : the role of exposure factors in an urban garden scenario. Landsc. Urban Plan. 185, 191–199. <a href="https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.005">https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.005</a> Barrio-Parra, F., Serrano García, H., Izquierdo-Díaz, M., De Miguel, E., 2023. Exposure Factors vs . Bioaccessibility in the Soil - and - Dust Ingestion Pathway : A Comparative Assessment of Uncertainties Using MC2D Simulations in an Arsenic Exposure Scenario. Expo. Heal. <a href="https://doi.org/10.1007/s12403-022-00533-w">https://doi.org/10.1007/s12403-022-00533-w</a>

CONTACTO	Eduardo de Miguel García Departamento de Energía y Combustibles. UPM. <a href="mailto:eduardo.demiguel@upm.es">eduardo.demiguel@upm.es</a> 913 366 992

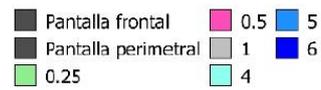
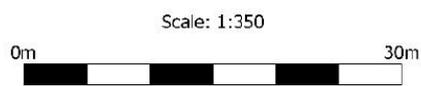
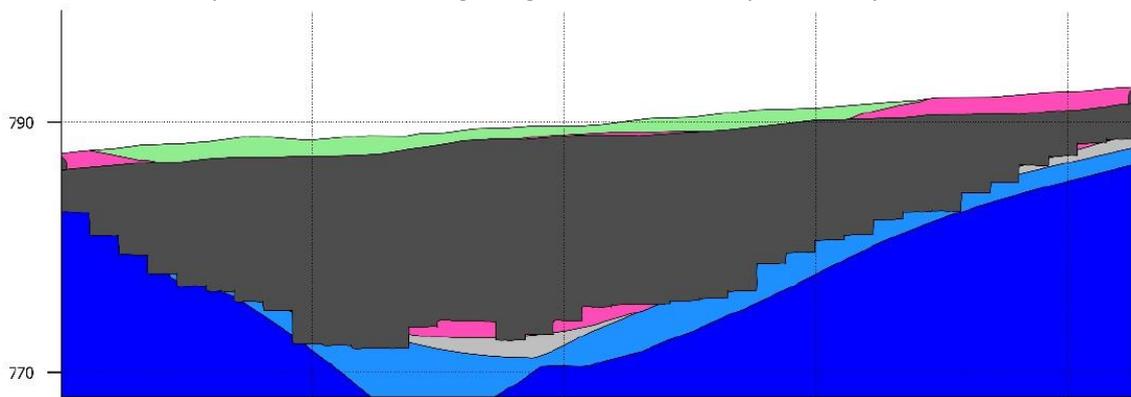
**CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS DE CARACTERIZACIÓN,  
REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGOS**



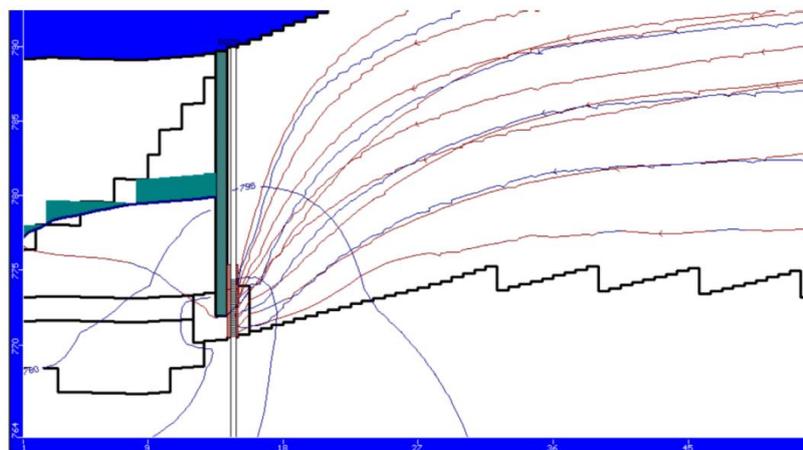
<i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i>	Modelización geológica implícita 3D con Leapfrog Geo
<i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO</i>	Los modelos geológicos son representaciones en 3D de la geometría de las diferentes unidades geológicas y sus límites. Este tipo de modelización permite obtener un modelo 3D complejo a partir de información geológica proveniente de sondeos, cartografía geológica, secciones y/o datos cuantitativos (buzamientos, contactos, ...). El carácter implícito permite actualizar el modelo de manera automática al añadir nuevos datos.
<i>APLICABILIDAD</i>	Los modelos permiten conocer la distribución espacial de las unidades y estructuras geológicas que conforman el medio a estudiar. Estos modelos permiten describir el medio de una manera dinámica, visualizar secciones en cualquier orientación, representaciones 3D y obtener volúmenes y áreas de las diferentes unidades geológicas modelizadas. Se puede aplicar a problemáticas de obra civil, edificación, explotación y gestión de recursos geológicos, minería, hidrogeología y medio-ambiente. La modelización implícita permite combinar modelos geológicos con datos geofísicos, hidrogeológicos, geoquímicos, etc., y aplicar propiedades o condiciones de contorno a geometrías realistas.
<i>LIMITACIONES</i>	La principal limitación de los modelos es la disponibilidad y existencia de datos geológicos, además de la calidad de estos. La dimensión del modelo y la resolución espacial del mismo dependerá de la distribución de los datos.
<i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i>	Licencia Académica de Leapfrog Geo (extensiones Edge, Geophysics & Hidrogeology) Facultad de Ciencias Geológicas, UCM. Grupos Hidroymab y GTA.



Modelo 3D implícito de un vertedero obtenido a partir de cartografía de superficie y sondeos. Cada color corresponde a una unidad geológica (1 a 6) o antrópica (0.25 y 0.5).



Sección longitudinal incluyendo unidades geológicas y una pantalla de impermeabilización frontal del vertedero obtenida del modelo 3D.



Modelo de flujo (sección) simulando la colocación de un dren en la base de la parte central de la pantalla y de la instalación de un pozo de extracción calculado a partir del modelo 3D.

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS DE  
RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**



<https://www.ucm.es/caresoil/>

<p><i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i></p>	<p>Tomografía Capacitiva (Métodos eléctricos &amp; Electromagnéticos)</p>
<p><i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO- TECNOLÓGICO</i></p>	<p>Los métodos eléctricos de prospección se basan en la existencia de variaciones de las propiedades eléctricas, en especial la resistividad de las distintas formaciones del subsuelo, teniendo como objetivo determinar la distribución en profundidad (resistividades y espesores) de los niveles geoelectrónicos presentes</p>
<p><i>APLICABILIDAD</i></p>	<p>Está técnica permite, siempre que exista contraste en los valores de resistividad, la caracterización y delimitación espacial de vertidos, sin necesidad de clavar electrodos.</p>
<p><i>LIMITACIONES</i></p>	<p>Esta limitada principalmente por la relación señal/ruido que reduce drásticamente la profundidad de estudio.</p>
<p><i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i></p>	<p>Equipo de tomografía capacitiva de Ohmmapper de GEOMETRICS</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p><b>LABORATORIO DE PROSPECCIÓN E.T.S.I. MINAS Y ENERGÍA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID C/ Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid Tlf. : 91.06.76541</b></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;">   </div>

REFERENCIAS	
CONTACTO	Jesús Díaz Curiel Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. UPM <a href="mailto:j.diazcuriel@upm.es">j.diazcuriel@upm.es</a> 910676541

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**



<https://www.ucm.es/caresoil/>

<i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i>	Tomografía Eléctrica
<i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO</i>	Los métodos eléctricos de prospección se basan en la existencia de variaciones de las propiedades eléctricas, en especial la resistividad de las distintas formaciones del subsuelo, teniendo como objetivo determinar la distribución en profundidad (resistividades y espesores) de los niveles geoelectrónicos presentes
<i>APLICABILIDAD</i>	Está técnica permite, siempre que exista contraste en los valores de resistividad, la caracterización y delimitación espacial de vertidos, localización de fugas y monitorización de procesos.
<i>LIMITACIONES</i>	Las limitaciones son de tipo operativo ya que requiere clavar electrodos, algo que en algunos entornos no es posible y la profundidad de estudio estará limitada según la máxima longitud de los dispositivos que se pueda utilizar.
<i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i>	<p>Resistivímetro Terrameter SAS 4000 de ABEM.</p> <p><b>LABORATORIO DE PROSPECCIÓN E.T.S.I. MINAS Y ENERGÍA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID C/ Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid Tlf. : 91.06.76541</b></p>   

REFERENCIAS	
CONTACTO	Jesús Díaz Curiel Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. UPM <a href="mailto:j.diazcuriel@upm.es">j.diazcuriel@upm.es</a> 910676541

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS DE  
RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**



<https://www.ucm.es/caresoil/>

<p><i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i></p>	<p>Georradar (Ground Penetrating Radar)</p>
<p><i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO- TECNOLÓGICO</i></p>	<p>El método del georradar se basa en la emisión de pulsos electromagnéticos de alta frecuencia y corta duración por parte de una antena emisora y su posterior recepción, tras las reflexiones sufridas en el subsuelo, en una antena receptora. Las reflexiones se producen por contraste en las propiedades electromagnéticas en el medio. La profundidad de investigación y la resolución van en función de la frecuencia de la antena utilizada.</p>
<p><i>APLICABILIDAD</i></p>	<p>Está técnica presenta por un lado la aplicación tradicional de detección de hipérbolas de reflexión correspondientes a estructuras enterradas, y por otro, la detección intrínseca de cambio de fluido en el subsuelo (desarrollado en la Tesis Doctoral de Lucía Arévalo Lomas.)</p>
<p><i>LIMITACIONES</i></p>	<p>Las limitaciones principales del georradar aparecen en medios conductores debido a la rápida atenuación de la señal.</p>
<p><i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i></p>	<p>Georradar MÁLA - Unidad CUII -100, 500 y 800 MHz</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p><b>LABORATORIO DE PROSPECCIÓN E.T.S.I. MINAS Y ENERGÍA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID C/ Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid Tlf. : 91.06.76541</b></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">   </div>
<p><b>REFERENCIAS</b></p>	

CONTACTO

Jesús Díaz Curiel  
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. UPM  
[j.diazcuriel@upm.es](mailto:j.diazcuriel@upm.es)  
910676541

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS DE  
RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**



<https://www.ucm.es/caresoil/>

<p><i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i></p>	<p>Polarización Inducida en dominio de tiempo</p>
<p><i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO- TECNOLÓGICO</i></p>	<p>Esta técnica se basa en la medida de la capacidad de los materiales presentes en el subsuelo. En dominio de tiempo se obtiene un valor de cargabilidad basado en la respuesta en voltaje después de anular la inyección de corriente.</p>
<p><i>APLICABILIDAD</i></p>	<p>Está técnica tiene aplicación cuando existen comportamientos electroquímicos diferenciados, combinada con la tomografía eléctrica permite la caracterización y delimitación espacial de vertidos, localización de fugas y monitorización de procesos.</p>
<p><i>LIMITACIONES</i></p>	<p>Las limitaciones de tipo operativo son comunes con la tomografía eléctrica, ya que se miden con el mismo equipo. Además puede verse afectada por la relación señal/ruido, dado que los valores de cargabilidad asociados a estos procesos no son muy altos y pueden quedar enmascarados.</p>
<p><i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i></p>	<p>Resistivímetro Terrameter SAS 4000 de ABEM.</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div> <p><b>LABORATORIO DE PROSPECCIÓN</b> E.T.S.I. MINAS Y ENERGÍA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID C/ Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid Tlf. : 91.06.76541</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;">   </div>

REFERENCIAS	
CONTACTO	Jesús Díaz Curiel Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. UPM <a href="mailto:j.diazcuriel@upm.es">j.diazcuriel@upm.es</a> 910676541

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**



<https://www.ucm.es/caresoil/>

<p><i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i></p>	<p>Potencial Espontáneo</p>
<p><i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO</i></p>	<p>El método de potencial espontáneo es un método de campo natural que se basa en la existencia de diferencias de potencial naturales. Estas pueden registrarse, permitiendo la evaluación no intrusiva y la obtención de imágenes de perturbaciones en las corrientes eléctricas de los materiales conductores del subsuelo.</p>
<p><i>APLICABILIDAD</i></p>	<p>Esta técnica permite, delimitar las direcciones de flujo preferencial de aguas subterráneas contaminadas en vertederos, o en estudios de inyección en piezómetros.</p>
<p><i>LIMITACIONES</i></p>	<p>Las limitaciones son de tipo operativo ya que requiere clavar electrodos, algo que en algunos entornos no es posible y la relación señal ruido.</p>
<p><i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i></p>	<p>Resistivímetro Syscal Jr. de IRIS.</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p><b>LABORATORIO DE PROSPECCIÓN</b>  <b>E.T.S.I. MINAS Y ENERGÍA</b>  <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID</b>                  C/ Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid                  Tlf. : 91.06.76541</p> </div> </div> <div style="text-align: right;">  </div>
<p><i>REFERENCIAS</i></p>	
<p><i>CONTACTO</i></p>	<p>Jesús Díaz Curiel                  Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. UPM  <a href="mailto:j.diazcuriel@upm.es">j.diazcuriel@upm.es</a>                  910676541</p>

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS DE  
RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**



<https://www.ucm.es/caresoil/>

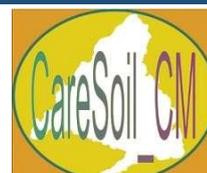
<p><i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i></p>	<p>Sondeos Electromagnéticos en el Dominio del Tiempo</p>
<p><i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO- TECNOLÓGICO</i></p>	<p>Los sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo se basan en la existencia de variaciones de las propiedades eléctricas, en concreto la conductividad eléctrica de las distintas formaciones del subsuelo, teniendo como objetivo determinar la distribución en profundidad (conductividades y geometría) de las capas conductoras.</p>
<p><i>APLICABILIDAD</i></p>	<p>Está técnica permite, sin necesidad de hacer perforaciones en el terreno y siempre que exista contraste en los valores de conductividad, la caracterización y delimitación espacial de vertidos, localización de fugas y monitorización de procesos.</p>
<p><i>LIMITACIONES</i></p>	<p>La limitación principal es la necesidad de contar con superficies más o menos extensas y que no presenten grandes desniveles.</p>
<p><i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i></p>	<p>TerraTEM – Monex GeoScope</p>  <p><b>LABORATORIO DE PROSPECCIÓN E.T.S.I. MINAS Y ENERGÍA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID C/ Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid Tlf. : 91.06.76541</b></p> 

<p>REFERENCIAS</p>	
<p>CONTACTO</p>	<p>Jesús Díaz Curiel</p>

Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. UPM  
[j.diazcuriel@upm.es](mailto:j.diazcuriel@upm.es)  
910676541

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

<https://www.ucm.es/caresoil/>



<i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i>	Índices de disponibilidad de elementos traza en suelos, sedimentos, plantas y organismos del suelo.
<i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO</i>	Además del contenido total de un contaminante, valor que determina legalmente el grado de contaminación de un suelo, es recomendable conocer la fracción del contaminante se encuentra en disposición de ser absorbido, fracción que representa un riesgo inaceptable para la salud.
<i>APLICABILIDAD</i>	Este conocimiento se puede aplicar en la evaluación del riesgo de contaminantes permitiendo elegir la mejor tecnología para la remediación de emplazamientos contaminados en contextos de Mezclas de Contaminantes Químicos (MCQs) (metales, sales, nutrientes, etc.).
<i>LIMITACIONES</i>	A pesar de que es una tecnología aplicable a cualquier tipo de suelo, es recomendable aplicarla en áreas de riesgo para la población como es el caso de suelos de uso urbano o periurbano.
<i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i>	Absorción atómica de llama ANALYTIKJENA NOVAA 300. Bomba peristáltica de cabezal múltiple ISMATEC MCP. Centrífuga HETTICH ROTOFIX 32. Centrífuga HERAEUS LABOFUGEGL.  Todo este equipamiento se localiza en la Unidad Docente de Edafología. Facultad de Farmacia. UCM.
<i>REFERENCIAS</i>	
<i>CONTACTO</i>	Inmaculada Valverde Asenjo Departamento de Departamento de Química en Ciencias Farmacéuticas. UCM <a href="mailto:mivalver@ucm.es">mivalver@ucm.es</a>

**TECNOLOGÍAS DE *CARACTERIZACIÓN*, REMEDIACIÓN Y ANÁLISIS  
DE RIESGOS de EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS**

<https://www.ucm.es/caresoil/>



<i>NOMBRE TECNOLOGÍA</i>	Técnicas Biológicas para la caracterización y monitorización de la contaminación de suelos.
<i>FUNDAMENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO</i>	La utilización de indicadores biológicos (actividades enzimáticas, diversidad funcional del suelo, biomasa microbiana) son indicadores tempranos de contaminación que nos permite evaluar el grado de afectación de la funcionalidad de los suelos.
<i>APLICABILIDAD</i>	Los indicadores biológicos nos permiten obtener información a corto-medio y largo plazo del efecto de los contaminantes sobre la funcionalidad del suelo y la efectividad de las técnicas de remediación aplicadas.
<i>LIMITACIONES</i>	Las técnicas utilizadas son económicamente más costosas que las químicas y requieren de mayor tiempo para su determinación.
<i>EQUIPAMIENTO DISPONIBLE Y LOCALIZACIÓN</i>	Agitador orbital BOECO PSU-10i, Incubador Memmert IN55, Centrífuga HETTICH UNIVERSAL 320 con rotor para placas multipocillo. Lector UV-Visible TECAN NanoQuant Infinite M200 Pro para placas multipocillo. Valorador automático Metrohm 888 TRITANDO. Valorador automático Metrohm 665 DOSIMAT. Campana extractora CRUMA G-2. Todo este equipamiento se localiza en la Unidad Docente de Edafología. Facultad de Farmacia. UCM.
<i>REFERENCIAS</i>	
<i>CONTACTO</i>	Inmaculada Valverde Asenjo Departamento de Departamento de Química en Ciencias Farmacéuticas. UCM <a href="mailto:mivalver@ucm.es">mivalver@ucm.es</a>