

Gestión de Impactos *Ambientales* por Hidrocarburos (IANR)



Introducción

Ecopetrol S.A. es una empresa comprometida con la protección del medio ambiente en todos los niveles de la organización. Esto se evidencia en su estrategia ambiental corporativa, la cual establece los lineamientos para la gestión ambiental en sus proyectos, obras y actividades, y sienta las bases con las que desarrolla una operación en armonía con el medio ambiente y el entorno.

Esta estrategia ambiental se encuentra articulada con la Estrategia 2040, específicamente con el pilar Generar Valor con SosTECnibilidad" y con el Sistema de Gestión HSE, lo que le permite al Grupo Ecopetrol, a través de sus líneas de negocio, prevenir y/o mitigar la materialización de riesgos sobre los recursos naturales, garantizar la preparación ante emergencias y reducir progresivamente los impactos sobre los ecosistemas, generando valor ambiental y social.

Para el desarrollo de la estrategia ambiental se definieron ocho pilares de gestión, uno de los cuales es el de prevención y remediación mejorada de impactos ambientales. Este pilar se enfoca en la prevención de los incidentes operacionales con afectación al medio ambiente, incorporando la gestión proactiva del riesgo y el análisis de la potencial materialización de riesgos ambientales propios de los diferentes negocios de la compañía.

Adicionalmente, también se enfoca en la remediación y mejoramiento de áreas

impactadas por hidrocarburos y/o sus derivados, mediante la incorporación de tecnología de vanguardia en sus procesos de diagnóstico y recuperación, permitiendo la reducción progresiva de los impactos y la recuperación ambiental de dichos sitios, en cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable.



Para efectos de un adecuado entendimiento del documento se precisan las siguientes definiciones:

Rezumadero: es la manifestación natural de petróleo o gas en la superficie de la tierra proveniente del subsuelo, que se filtra durante largos periodos de tiempo (miles a millones de años) entre rupturas, grietas, fallas y capas de roca con alta porosidad y permeabilidad, hasta llegar a la superficie.

Incidente: “cualquier acontecimiento repentino que implique la presencia de una o varias sustancias peligrosas y que, de no ser por efectos, acciones o sistemas atenuantes, podría haber derivado en un accidente mayor” (Artículo 1 del Decreto 1347 de 2021). Los incidentes pueden originarse por diferentes causas: (i) aspectos operativos, tales como fallas de integridad, pérdida de contención o deficiencias en el control

operacional; (ii) acciones intencionales de terceros, como atentados contra la infraestructura o hurtos de productos; (iii) fenómenos naturales, entre ellos sismos o inundaciones; y (iv) acciones no intencionales de terceros, en las que el daño a la infraestructura y la consecuente afectación al medio ambiente se produce de manera accidental.

Pasivo ambiental: “Entiéndase por Pasivo Ambiental las afectaciones ambientales originadas por actividades antrópicas directa o indirectamente por la mano del hombre, autorizadas o no, acumulativas o no, susceptibles de ser medibles, ubicables y delimitables geográficamente, que generan un nivel de riesgo no aceptable a la vida, la salud humana o el ambiente, de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Salud, y para cuyo control no hay un instrumento ambiental

o sectorial. (Artículo 2. Ley 2327 de 2023)”. (negrillas fuera de texto)

Impactos ambientales con hidrocarburos asociados a operaciones antiguas- IANRs (Conocidos como impactos ambientales no resueltos): Espacio físico o lugar (sitio) con presencia de hidrocarburos u otras sustancias, que se encuentran en concentraciones superiores a los niveles de referencia vigentes (norma Louisiana¹), bien sea en suelos, sedimentos, aguas subterráneas y/o áreas inundables, relacionadas con los procesos de la cadena de valor (exploración, producción, transporte o refinación) generados por operaciones antiguas en activos, que iniciaron sus actividades previo a la expedición de la Ley 99/93² y que en la actualidad son operados por Ecopetrol y/o su instrumento de seguimiento y control ambiental, está a su cargo.

Teniendo en cuenta los anteriores conceptos, no son impactos ambientales no resueltos (IANR), todos aquellos sitios tales como:

- Rezumaderos, al ser originados por condiciones naturales
- Incidentes con afectación al medio ambiente, conforme al marco legal ambiental aplicable.
- Pasivos ambientales, según la definición de ley (Artículo 2. Ley 2327 de 2023).

1 **Louisiana Administrative Code, Statewide Order 29B:** Norma de referencia internacional adoptada por la Autoridad Ambiental Colombiana y por Ecopetrol para el establecimiento de límites técnicos en la recuperación de áreas impactadas por hidrocarburo, asociadas al TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) con límite de **1% de Hidrocarburo** como porcentaje en peso (< 10.000 mg/kg).

2 Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.”

Alcance

Este documento tiene como propósito dar a conocer las acciones desarrolladas por Ecopetrol S.A enfocadas en Impactos ambientales con hidrocarburos asociados a operaciones antiguas-IANRs (Conocidos como impactos ambientales no resueltos), teniendo en cuenta los avances en la temática por parte de la empresa, así como los principales resultados y logros alcanzados durante los últimos años.



Contexto

La actividad petrolera en Colombia inició hace más de 100 años, siendo la región del Valle Medio del Magdalena, una de las primeras zonas donde se desarrollaron actividades de exploración y producción de petróleo en Colombia. Durante 75 años (antes de la Ley 99 de 1993), la operación petrolera no contó con un marco regulatorio ambiental riguroso ni específico como el actual, y sus actividades eran en gran medida desarrolladas por compañías transnacionales que operaban bajo la normatividad de la época (Imagen 1 y 2).

Imagen 1.

Pozo petrolero de la Tropical Oil Company - Troco (Periodo 1920-1930) ubicado en el actual Campo La Cira de Ecopetrol



Fuente: Periódico Vanguardia Liberal.

<https://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/2018/04/30/imagenes-de-hace-un-siglo-cuando-en-barrancabermeja-se-extrajo-por-primera-vez-petroleo-en-colombia/>

Imagen 2.

Personal de la Troco Oil Company en los primeros años de la explotación petrolera.



Fuente: El Gráfico, No. 411-412, mayo 25 de 1918, p. 90

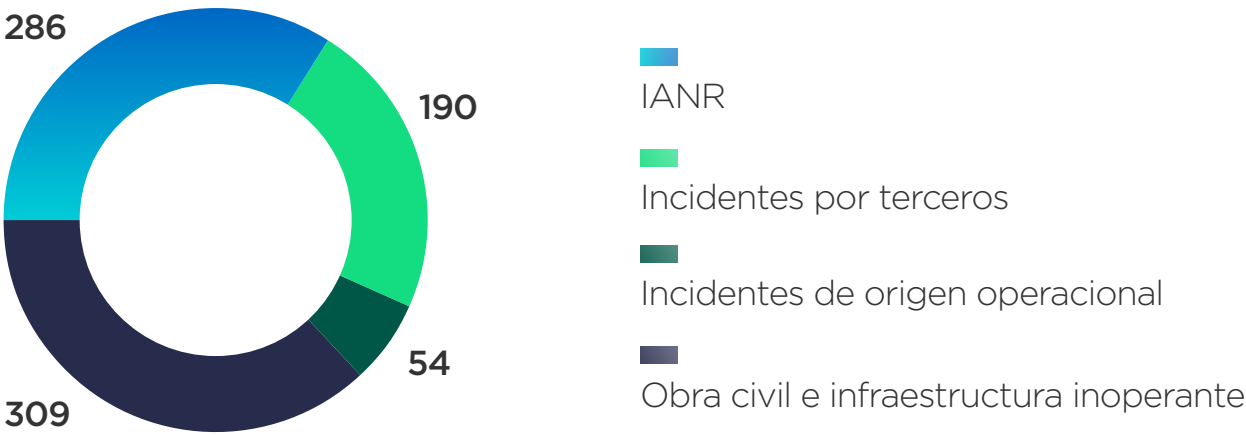
Ecopetrol fue creada en 1951, iniciando operaciones en los campos de producción petroleros bajo el marco regulatorio de la época hasta 1993, año en el cual cambia dicho marco con la Ley 99 de 1993, se crea el Ministerio de Ambiente y se incorporan las regulaciones específicas para el sector de hidrocarburos.

Bajo estos nuevos instrumentos, Ecopetrol fortalece su actividad productiva, reafirmando su compromiso con el cumplimiento de la normatividad y con el cuidado preventivo del medio ambiente.

Desde la entrada en vigor de la Ley 99 de 1993, Ecopetrol inicia, con el apoyo de la comunidad y de las autoridades ambientales, la identificación de impactos ambientales por hidrocarburos y sus derivados, en sus áreas de influencia, así como la definición de las estrategias de caracterización, intervención y reporte, a través de los informes de cumplimiento ambiental. Es así como desde principios del 2000, la Compañía ya venía desarrollando labores de identificación, diagnóstico y recuperación de estas áreas afectadas.

En 2018, Ecopetrol emprende la estructuración de una base de datos que compilaría los impactos por hidrocarburos en todos sus segmentos (exploración, producción, refinación y transporte). Este ejercicio inició con la inclusión de 839 sitios asociados a diferentes tipos de impactos, no solo los impactos ambientales asociados a hidrocarburos (IANRs), sino además incidentes de origen operacional o causados por terceros (atentados/hurtos), reportados a la autoridad ambiental, así como infraestructura en proceso de desmantelamiento o de abandono (como pozos y piscinas de proceso), sin limitarse inicialmente a su tamaño o estado. La siguiente figura muestra el balance de los sitios identificados inicialmente como impactados.

Figura 1.
Impactos asociados a los 839 sitios identificados en el periodo 2018.



Fuente: Ecopetrol S.A.

De manera simultánea al ejercicio antes mencionado, Ecopetrol consolidó durante las vigencias 2018 y 2019, los resultados de una serie de pilotos de biorremediación de áreas afectadas, realizados en el campo Palagua, que dio origen a la técnica que hoy se denomina **“Biorremediación Mejorada”**. Esta técnica, basada en un paquete biotecnológico (cepa bacteriana degradadora de hidrocarburos patentada por el Instituto Colombiano del Petróleo y Energías de la Transición - ICPET), ha permitido en la actualidad reducir los tiempos de recuperación entre un 50% a 60%. Esta técnica, además de estar validada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) a través de visitas de seguimiento, se ha convertido en un referente nacional para este tipo de intervenciones.



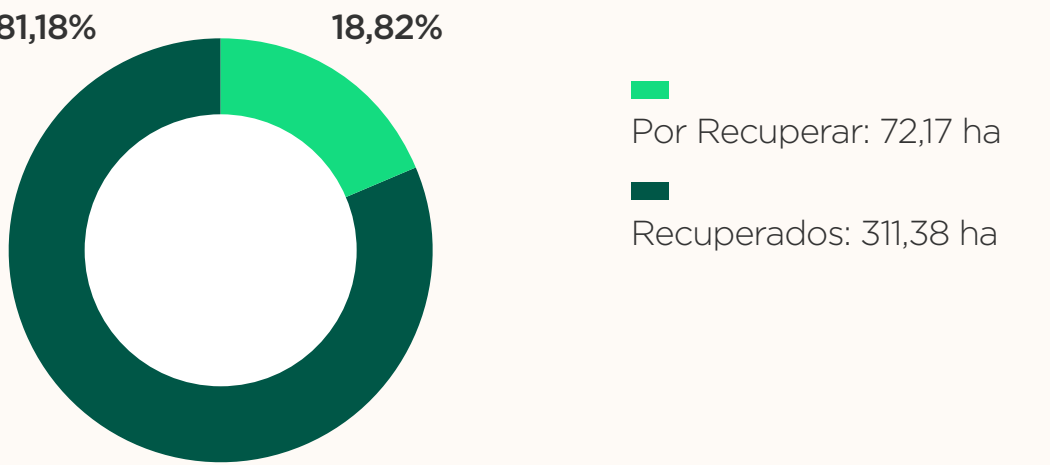
En paralelo, durante la vigencia 2019, Ecopetrol incorporó de manera proactiva y como pionera a nivel nacional, nuevas técnicas para el diagnóstico de áreas afectadas por hidrocarburos denominada **“Geofísica Ambiental Avanzada”**. Esta tecnología de vanguardia permite reducir los tiempos de diagnóstico en un 50%, optimizar los costos en un 16% frente a los apiques convencionales, y disminuir la incertidumbre sobre las áreas afectadas en un 55%.

Teniendo como foco las afectaciones asociadas a hidrocarburos y sus derivados, Ecopetrol continuó estructurando y depurando la base de datos consolidada desde 2018, diferenciando y separando los IANR de los Incidentes con afectación al medio ambiente e infraestructura en proceso de desmantelamiento. Lo anterior con el objetivo de priorizar e intervenir con la tecnología disponible en el mercado, todos aquellos impactos por hidrocarburos que pudiesen generar algún riesgo al ambiente o al entorno.

A 31 de diciembre de 2025, se registran un total de 286 IANRs identificados (383.5 ha), de los cuales 277 lugares han sido recuperados técnica y ambientalmente, lo que en términos de área recuperada (311,38 ha) representa el 81,18% del total de las áreas impactadas (Figura 2). Este resultado ha sido posible gracias a la incorporación y evolución de técnicas de vanguardia en cuanto a diagnóstico y recuperación de áreas.



Figura 2.
Avance en la recuperación de los IANR en Ecopetrol.



Fuente: Ecopetrol S.A.

En la actualidad Ecopetrol S.A. continúa desarrollando actividades de diagnóstico, delimitación y recuperación de los Impactos Ambientales con hidrocarburos asociados a operaciones antiguas (IANRs) restantes (91,1 ha) e identificados a la fecha; esto a través de la incorporación de tecnología de vanguardia y de la mejora continua en los procesos de biorremediación, consolidando así su compromiso con el ambiente y promoviendo una operación en armonía con el entorno.



Gobernanza

la temática

Competencia de la alta dirección

La Junta Directiva de Ecopetrol se constituye como el máximo órgano de administración de la Compañía y cuenta con seis (6) comités permanentes que actúan como instancias de apoyo a su gestión. Estos comités tienen como función principal analizar previamente los temas que serán sometidos a consideración de la Junta, con el fin de emitir recomendaciones informadas. Entre los comités de apoyo se destacan:

COMITÉ DE GOBIERNO CORPORATIVO Y SOSTENIBILIDAD:

Asiste a la Junta Directiva en asuntos relacionados con el buen gobierno corporativo y la agenda de sostenibilidad.

COMITÉ DE TRANSFORMACIÓN TERRITORIAL Y HSE:

Monitorea y gestiona los riesgos asociados a la salud ocupacional, la seguridad industrial y de procesos, tanto de personas trabajadoras como de contratistas. Además, sobre el desempeño ambiental y la contribución al desarrollo territorial.

COMITÉ DE AUDITORÍA Y RIESGOS:

Tiene a su cargo, entre otras funciones, la supervisión de la gestión y la efectividad del Sistema de Control Interno, asegurando una administración oportuna de los riesgos y la efectividad de los controles implementados.

Estos comités tienen la facultad de intervenir en las actuaciones de Ecopetrol que consideren estratégicas para su desarrollo, pudiendo solicitar a la Administración la presentación de informes específicos.

De esta manera, los miembros de la Junta profundizan en temas clave, como el mapa de riesgos empresariales, la agenda de sostenibilidad, el desempeño ambiental, la contribución al desarrollo territorial, la salud Ocupacional y la seguridad industrial y de procesos, entre otros. Durante 2020 y 2021, el Comité de HSE de la Junta Directiva se reunió periódicamente

para analizar y estudiar asuntos vinculados al medio ambiente y a la seguridad industrial y de procesos de la Compañía. En 2022 realizó seguimiento a la hoja de ruta de seguridad industrial y en 2024 a eventos con afectación ambiental, así como a la gestión ambiental corporativa. Adicionalmente, la Junta Directiva recibe mensualmente material de actualización operativa que aborda diversos asuntos, entre ellos los incidentes con afectación al medio ambiente, lo que permite un seguimiento constante y oportuno de estos temas.

Durante 2020 y 2021, el Comité de HSE de la Junta Directiva hizo énfasis en los asuntos relacionados con el avance en la recuperación de los IANRs.



Alta Dirección

El Comité Estratégico es la instancia de más alto nivel, liderada por el presidente de la Compañía, que sirve como espacio para articular la estrategia del Grupo Ecopetrol. Su principal valor radica en asegurar la alineación entre los pilares estratégicos y las decisiones corporativas de largo plazo.

En este espacio se revisan, monitorean y aprueban temas

estratégicos fundamentales, como los objetivos de descarbonización, las inversiones en tecnologías limpias y la gestión ambiental en general del Grupo Ecopetrol.

A su vez, los Comités de Líneas de Negocio — Hidrocarburos, Energías para la Transición y Transmisión y Vías — desempeñan funciones de supervisión y alineación estratégica dentro

de sus respectivos ámbitos operativos. Estos comités realizan seguimiento a los avances en los objetivos ambientales específicos de cada línea, promueven el intercambio de buenas prácticas y aseguran la coherencia entre las operaciones y la estrategia ambiental corporativa. Su rol es esencial para la implementación efectiva de la estrategia ambiental en las operaciones diarias.



Sistema de Gestión HSE

Ecopetrol S.A. cuenta con un Sistema de Gestión HSE que establece los elementos necesarios para administrar de manera adecuada los riesgos, proteger la vida y promover el cuidado del medio ambiente. Los requisitos básicos y obligatorios de este sistema se fundamentan en los estándares internacionales ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, y se encuentran certificados para garantizar el cumplimiento de la legislación nacional.

En materia de gestión de riesgos operativos, el sistema de gestión HSE, le permite a Ecopetrol, a través de lineamientos técnicos, adelantar la gestión para la recuperación de los impactos ambientales con hidrocarburos asociados a operaciones antiguas – IANR, como son:

HSE-H-016 HOJA DE VIDA DEL INDICADOR:

Gestión de impactos ambientales identificados no resueltos asociados a hidrocarburos u otras sustancias, desarrollada desde 2019 y cuya última versión es de 2025.

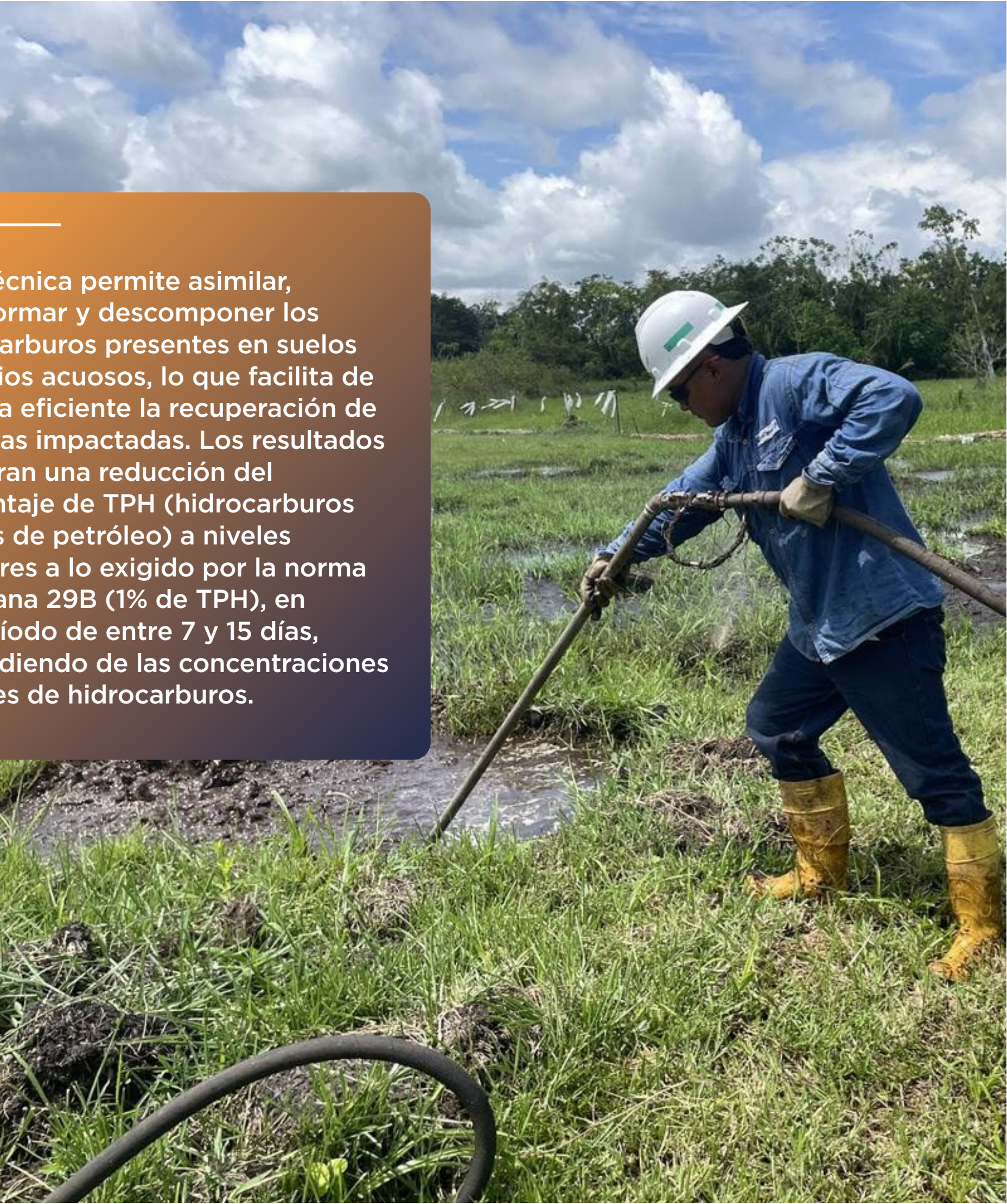
HSE-G-045

Guía metodológica para el diagnóstico y recuperación de sitios impactados por hidrocarburos en Ecopetrol y su Grupo empresarial, desarrollada desde 2014 y cuya última versión es de 2025.





Esta técnica permite asimilar, transformar y descomponer los hidrocarburos presentes en suelos y medios acuosos, lo que facilita de manera eficiente la recuperación de las áreas impactadas. Los resultados muestran una reducción del porcentaje de TPH (hidrocarburos totales de petróleo) a niveles inferiores a lo exigido por la norma Louisiana 29B (1% de TPH), en un período de entre 7 y 15 días, dependiendo de las concentraciones iniciales de hidrocarburos.



Contexto regulatorio

Actualmente no existe en Colombia una normatividad que defina los límites permisibles de las concentraciones de hidrocarburos en el suelo posterior a un proceso de remediación de áreas afectadas o impactadas, es por ello que las autoridades ambientales nacionales adoptan la Norma 29-B de Louisiana (técnicamente conocida como LAC 43:XIX. Subpart 1, Chapter 29 – Statewide Order 29-B) que es una regulación establecida por el *Louisiana Department of Natural Resources (LDNR), Office of Conservation*, que regula los criterios de remediación de suelos contaminados por actividades de petróleo y gas en el estado de Louisiana, EE.UU.

Esta norma define los niveles guía de contaminantes en suelos como TPH (por sus siglas en inglés – hidrocarburos totales del petróleo), metales pesados, cloruros, entre otros, así

como los procedimientos de caracterización y remediación para sitios afectados por derrames o liberaciones de hidrocarburos y otras sustancias asociadas a las operaciones de exploración y producción de petróleo y gas. Esta norma se reconoce a nivel internacional como uno de los mejores referentes del sector, para la recuperación de áreas impactadas por hidrocarburo, por lo que es aceptada tanto por Ecopetrol como por la autoridad ambiental colombiana.

La Norma 29-B de Louisiana, al ser aceptada como referente por la autoridad ambiental en Colombia, permite a Ecopetrol y a los operadores del sector de petróleo y gas, tener un límite de referencia a alcanzar cuando se adelantan los procesos de remediación de áreas afectadas por hidrocarburos o sus derivados. Una vez se alcanza la concentración de hidrocarburo en suelo

establecida por la norma 29-B Louisiana, se da por concluida la actividad de remediación y se procede con la recuperación. Si bien es cierto que en este protocolo de Louisiana, para el caso de TPH, define un objetivo del 3% cuando se trata de suelos por fuera de áreas operativas (capítulo 3 y 5), Ecopetrol ha establecido internamente un TPH objetivo del 1% para las áreas recuperadas.

Una vez identificado, diagnosticado y clasificado el impacto ambiental como IANR, las áreas operativas de Ecopetrol S.A. reportan estos hallazgos a las autoridades ambientales competentes mediante los informes de cumplimiento Ambiental – ICA o informes específicos de cumplimiento a requerimientos. Lo anterior en el marco de sus instrumentos de manejo y control ambiental, como los Planes de Manejo Ambiental y las licencias ambientales.

A partir de estos instrumentos de manejo y control ambiental, las autoridades ambientales competentes establecen las medidas de manejo y requerimientos específicos para la gestión y recuperación de estos IANRs, en cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable (incluyendo permisos de uso y aprovechamiento de recursos) y de acuerdo con lo identificado en las visitas de seguimiento e inspección realizadas a los trabajos de recuperación de los IANRs.



Identificación, diagnóstico y gestión de IANRS en Ecopetrol

A 31 de diciembre de 2025, Ecopetrol cuenta con 72,17 hectáreas por recuperar ambientalmente, las cuales corresponden al 18,82% de la totalidad de áreas identificadas como afectadas por hidrocarburos en el balance realizado durante la vigencia 2018.

Teniendo en cuenta lo anterior, Ecopetrol continua con la identificación, diagnóstico y recuperación de los sitios afectados por hidrocarburos o sus derivados, en las áreas en donde desarrolla sus operaciones o donde los instrumentos ambientales están a su cargo, en un proceso de mejora continua y enfocado en reducir progresivamente los impactos y riesgos para los ecosistemas, en armonía con el entorno y los grupos de interés.

Toda la información de identificación, diagnóstico y recuperación de IANR es reportada por Ecopetrol a las autoridades ambientales competentes a través de los informes de cumplimiento – ICAs, respuestas a autos administrativos específicos y visitas de seguimiento y control ambiental realizadas por las autoridades en mención.

Diagnósticos avanzados de IANRS (geofísica ambiental)

Para el diagnóstico de las posibles áreas impactadas, Ecopetrol utiliza técnicas de geofísica ambiental avanzada, la recolección y análisis de muestras o la combinación de estas, para la determinación de los hotspots³ con mayor concentración de hidrocarburo, y con esta información desarrolla el plan de intervención para la recuperación.

Una de las técnicas de diagnóstico es el uso de drones, que consiste en la toma de una serie de fotografías aéreas mediante un vehículo aéreo no tripulado, equipado con cámara digital

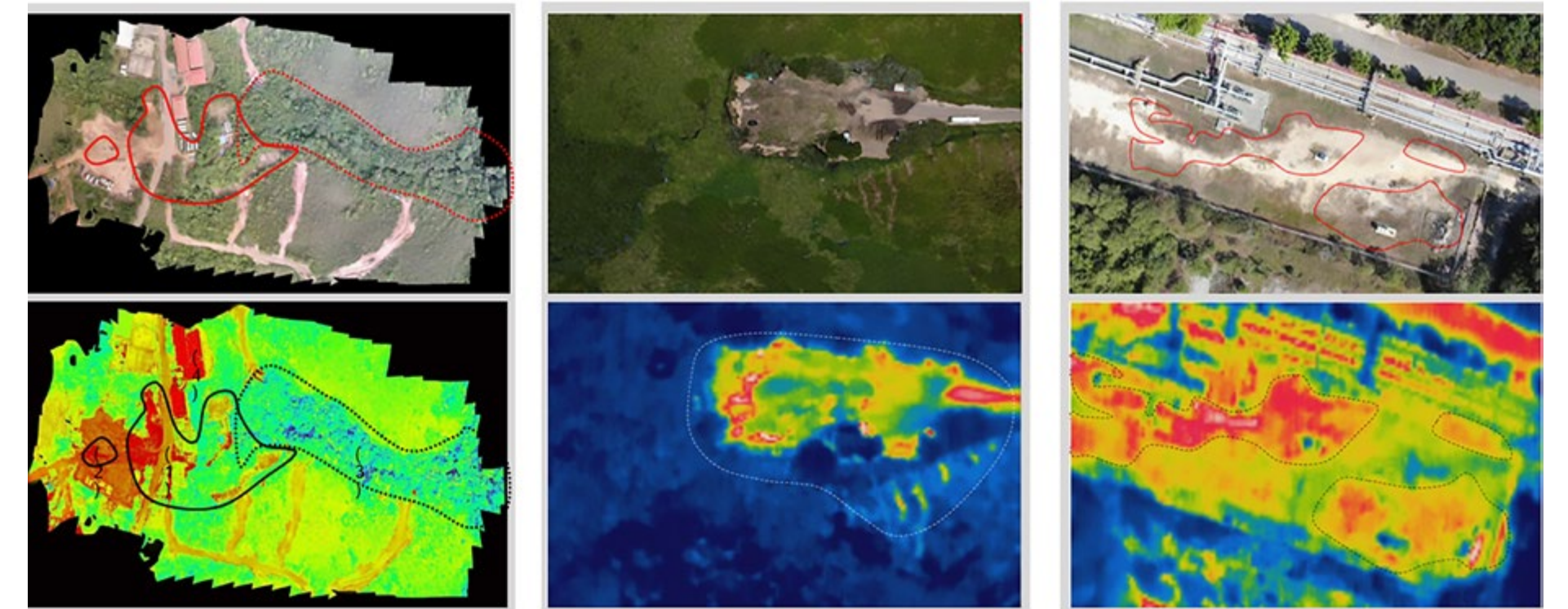
infrarroja, termográfica y multiespectral, operando en un horario matinal y siguiendo una cuadrícula predeterminada. Esta técnica permite ubicar con precisión, las alteraciones causadas por las diferencias químicas (hidrocarburos) en el suelo a nivel superficial y a profundidad.

Otra de las técnicas es el uso sobre terreno de georradar o perfilómetro, para definir la estructura geomorfológica y geológica del subsuelo. Esto permite definir las anomalías a mayor profundidad y con un mayor grado de detalle, la presencia y puntos de mayor concentración de hidrocarburo.

³ Punto o zona localizada dentro de un área impactada donde se concentra la mayor cantidad de contaminantes, en este caso hidrocarburos.

Imagen 3.

Salidas gráficas de la geofísica ambiental avanzada.



Fuente: Ecopetrol

Una vez identificadas las áreas de mayor concentración, el siguiente paso es delimitar el polígono de la zona de afectación y subdividirlo en áreas entre 1500 m2 y 2000 m2, lo que asociado con un levantamiento topográfico permite precisar tanto el área como el volumen de suelo a recuperar.

Estas técnicas ofrecen una serie de ventajas y beneficios con respecto a las técnicas tradicionales de diagnóstico ambiental, como son:

A. PRECISIÓN EN LA UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Anteriormente se realizaban apiques en suelos con información primaria obtenida de las comunidades o de la operación, para su ubicación y delimitación. Estos apiques, para toma de muestras y caracterización de hidrocarburos en suelo, se realizaban de manera aleatoria espaciados entre sí (10, 50 o hasta 100 metros aprox) con las limitantes propias de topografía, área y profundidad, lo que conllevaba una reducción en la precisión de la ubicación y delimitación de estos impactos.

Con la implementación de un modelo geofísico no intrusivo y multidisciplinar es posible, a través de la integración de tecnologías de vanguardia, tomar una fotografía continua del área, precisando la ubicación de las anomalías o afectaciones en el suelo, sedimentos o cuerpos de agua con alta confiabilidad, **cerrando la incertidumbre en un 55%, con respecto de las áreas preidentificadas.**

B. OPTIMIZACIÓN DE LAS ÁREAS PREVISTAS A INTERVENIR Y SUS COSTOS ASOCIADOS

Con la aplicación de la geofísica ambiental avanzada, además de reducir la incertidumbre se logró optimizar el presupuesto estimado y provisionado para recuperar ese 55% de áreas que no se encontraban afectadas o impactadas y que gracias a esta técnica se precisó su delimitación. Los costos que se han dejado de asumir por esta delimitación están en el orden de los \$47mil millones de pesos.

C. TIEMPO DE EJECUCIÓN Y COSTOS DEL DIAGNÓSTICO

Con la aplicación de la técnica diagnóstica de geofísica ambiental, se obtuvo una reducción en costos del 16% y una reducción en tiempos de ejecución del 50%, con respecto de la técnica de apiques.

Para citar un ejemplo, en un área de 80 hectáreas, la delimitación y diagnóstico con apiques convencionales o tradicionales, tenía una duración de aproximadamente cuatro (4) meses y unos costos asociados de \$430 millones de pesos. Con geofísica ambiental avanzada, tiene una duración de 2 meses (con procesamiento de datos e informe final) y unos costos aproximados de \$360 millones de pesos.





Gestión y recuperación de IANRS (paquete biotecnológico)

Una vez se identifica, diagnostica y delimita el IANR, se realiza el análisis integral de riesgos de dicho impacto, considerando los posibles escenarios que se pueden presentar durante el desarrollo de las actividades de intervención y recuperación. Entre las variables consideradas están el entorno social, la presencia de ecosistemas ambientales sensibles, rezumaderos naturales, etc. Posterior a ello se realiza una valoración, priorización y proposición de medidas de mitigación.

BIORREMEDIACIÓN MEJORADA⁴:

Previo al desarrollo de la técnica de biorremediación se adelantan los análisis previos y únicos de cada sitio a recuperar, como son:

- Afectaciones en zonas húmedas o medios acuosos: cuerpos de agua naturales o artificiales, bajos inundables estacionales.
- Afectaciones en zonas secas: áreas sin presencia de agua.
- Tipo de contaminante: crudo, refinado, alto API, bajo API.
- Estado del contaminante: líquido, viscoso o sólido.
- Concentración: nivel de hidrocarburo en el suelo.
- Nivel freático: el único medio de movilidad de las bacterias es el agua presente en el nivel freático, si el suelo está seco debe aplicar agua al suelo y generar humedad en este.

Con el análisis previo del sitio, el proceso de tratamiento biotecnológico implementado para la remediación de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos se basa en tres pilares fundamentales: productos aplicados, preparación del caldo bacteriano y seguimiento y control del proceso. Cada uno de estos componentes integra tecnologías específicas que permiten una biodegradación efectiva y controlada.



PRODUCTOS IMPLEMENTADOS:

se utilizan productos especializados que favorecen la interacción bacteria-hidrocarburo y mejoran la eficiencia del proceso de remediación. Ecopetrol usa el **consorcio de cepas bacterianas nativas** que son microorganismos adaptados a distintas matrices (suelo, agua o sedimentos) con alta capacidad de degradación de hidrocarburos.

Asimismo, se puede apoyar en otros productos tecnológicos que aceleran el proceso, como los **surfactante multipropósito** que reducen la tensión superficial, liberando los hidrocarburos atrapados y aumentando la velocidad de remoción y el **biopolímero ligno-celulósico**, que facilita el contacto entre bacterias y contaminantes, promoviendo la biodegradación.

4. Actualmente, para la recuperación de las áreas impactadas por hidrocarburos, Ecopetrol utiliza técnicas de biorremediación mejorada, basadas en paquetes tecnológicos de microorganismos que permiten una degradación eficiente de los contaminantes en tiempos reducidos.

Para la etapa de intervención y recuperación de los impactos ambientales no resueltos, la empresa ha invertido, desde la década de los 90, en el desarrollo de tecnologías, metodologías y pruebas piloto orientadas a la biorremediación de áreas afectadas.

Entre los años 90 e inicios de los 2000, se adelantaron estudios para optimizar la técnica de biodegradación estimulada e intensiva, logrando tiempos de recuperación de suelos impactados cercanos a los 90 días. Posteriormente, se declararon diferentes desarrollos biotecnológicos basados en consorcios de bacterias y microorganismos mejorados, diseñados para el tratamiento de residuos, aguas y suelos impregnados con hidrocarburos.

En 2011 se formalizó una metodología de fitorremediación biostimulada para la recuperación de suelos contaminados. En años posteriores se incorporaron surfactantes multipropósito utilizados como desengrasantes en tareas de limpieza y recuperación, así como nuevas soluciones biotecnológicas que optimizan la biorremediación de hidrocarburos.

Ecopetrol ha licenciado algunos de estos desarrollos a terceros para su fabricación y comercialización.

PREPARACIÓN DEL CALDO BACTERIANO:

El desarrollo del caldo bacteriano es clave para asegurar una aplicación efectiva y viable en campo, escalando las bacterias con el uso de agua, el uso de mallas para empacar el consorcio bacteriano en tanques tipo fast tank, junto con la aplicación de nutrientes (como Triple 7) que favorecen su multiplicación, así como un sistema de distribución de aire en el fast tank, que permite una aireación uniforme, optimizando el crecimiento bacteriano.



APLICACIÓN EN SITIO Y RECUPERACIÓN:

El caldo bacteriano es dosificado en zonas húmedas o bajos inundables mediante flautas de inyección especialmente diseñadas para lograr una distribución homogénea en el medio contaminado, mientras que en terrenos secos o con escasa humedad, son aplicados directamente en los suelos impactados y homogenizados por medio de maquinaria, en actividades continuas hasta alcanzar los niveles de degradación de hidrocarburo.

Imagen 4.

Biorremediación mejorada mediante aplicación de agentes biológicos y homogenización de suelo.



Fuente: Ecopetrol

SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL PROCESO

Para el seguimiento en sitio de la actividad de recuperación y con el ánimo de garantizar la efectividad del tratamiento, se establece un monitoreo continuo y ajuste en tiempo real, por medio de monitoreos fisicoquímicos operativos 24/7, para la evaluación continua de parámetros como los hidrocarburos, mediante el uso de equipos como las retortas, las cuales permiten

obtener un dato en campo en menos de una hora y llevar un control diario del proceso. Con base en estos resultados diarios de hidrocarburo se realizan ajustes en tiempo real a la dosificación del tratamiento, garantizando una aplicación precisa y eficiente hasta alcanzar el límite de referencia de la norma Louisiana 29B de 1% en el contenido de hidrocarburo.

Esta innovación en las técnicas de recuperación de áreas impactadas por hidrocarburos ha permitido la

optimización en los tiempos de biorremediación de 90 días/m3 de suelo a 15 días/m3 en promedio, en todas las áreas donde se desarrollan estas labores, lo que ubica a Ecopetrol a la vanguardia de la biotecnología implementada para la recuperación de áreas afectadas por hidrocarburos o sus derivados. A continuación, se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos con la aplicación de las biotecnologías en mención, en un área impactada.

Imagen 5.

Resultado del proceso de biorremediación mejorada.



Fuente: Ecopetrol

Conclusiones

De acuerdo con lo expuesto a lo largo del documento y asociado a la gestión integral que viene desarrollando Ecopetrol S.A en la recuperación ambiental de los sitios identificados como IANR, se puede concluir que:



■ **1.** Ecopetrol, en el marco de una conducta empresarial responsable, identifica y gestiona los riesgos e impactos asociados a su operación, con el propósito de prevenirlos, mitigarlos o remediarlos. En coherencia con este principio de actuación, la compañía ha implementado acciones específicas para atender los impactos asociados a hidrocarburos (denominados al interior de la organización como impactos ambientales no resueltos) (IANR).

■ **6.** Ecopetrol, en el ejercicio de su mejora continua, desarrolla e incorpora tecnología de punta en los diagnósticos de áreas impactada a través de Geofísica Ambiental Avanzada.

■ **2.** Ecopetrol viene identificando y reportando a la autoridad ambiental de manera sistemática, proactiva y en el marco de sus instrumentos ambientales, las áreas afectadas por hidrocarburos asociadas a operaciones antiguas, conocidas como IANR.

■ **7.** Así mismo, incorpora biotecnología en la recuperación de áreas afectadas (biorremediación mejorada) con microorganismos especializados en degradar hidrocarburos, que optimizan el tiempo de recuperación hasta en un 50%.

■ **3.** En 2018 Ecopetrol realizó un ejercicio de consolidación de los impactos por hidrocarburos, por incidentes e infraestructura en proceso de desmantelamiento y su estado, decantando finalmente los impactos ambientales con hidrocarburos asociados a operaciones antiguas (IANR). Este ejercicio concluyó con 286 IANR identificados.

■ **8.** Ecopetrol cuenta con una metodología estructurada para la identificación, diagnóstico y recuperación de áreas impactadas por hidrocarburos, soportada en la geofísica ambiental avanzada a través del uso de drones con cámaras termográficas multiespectrales y georradars terrestres.

■ **4.** Todos los IANR identificados, en su mayoría con el apoyo de las comunidades, han sido reportados de manera oportuna y conforme a la normativa a las autoridades ambientales competentes.

■ **9.** A diciembre de 2025 el balance es de 286 IANR identificados, de los cuales se han recuperado técnica y ambientalmente 277, logrando un avance en la recuperación del 96,8% en el número de IANR. Este balance de sitios impactados puede variar en la medida en la que avancen los estudios de diagnóstico de posibles nuevas áreas.

■ **5.** Las autoridades ambientales realizan periódicamente control y seguimiento a la gestión y recuperación de los IANR, a través de visitas y autos administrativos.

■ **10.** Los balances de identificación y recuperación de IANR en Ecopetrol S.A. se actualizan continuamente en busca de identificar y recuperar la totalidad las áreas afectadas por hidrocarburos asociadas a operaciones antiguas.

