

Capacitación Nacional para Colombia en
Evaluaciones de sitios contaminados con petróleo

Del 27 de noviembre al 1 de diciembre de 2023

Fairfield Hotel
Bogota, Colombia

RESUMEN Y DOCUMENTACIÓN DE LA FORMACIÓN

Tabla de contenidos

Fondo.....	1
Objetivos de aprendizaje clave del curso	1
Descripción general de los temas de contenido	1
Formato y calendario	3
Datos demográficos de los participantes	3
Principales cuestiones planteadas	4
Prevalencia y causas de los sitios contaminados por petróleo en Colombia	4
Comportamiento e impacto del petróleo en el medio ambiente	4
Importancia de un enfoque estructurado para investigar los sitios contaminados	5
Comprender y elegir las opciones de corrección adecuadas	5
Importancia de la planificación previa al trabajo de campo	6
Resultados de la evaluación de conocimientos.....	6
Resultados de la evaluación	7
Anexo I: Procedimientos diarios y puntos clave	9
Día 1: Módulos 1 a 3.....	9
Día 2: Módulos 4 a 5.....	19
Día 3: Primera visita de campo y Módulo 6.....	23
Día 4: Evaluación detallada del sitio y revisión posterior a la evaluación de campo	26
Día 5: Casos prácticos finales y resumen del curso.....	29
Anexo II: Agenda del programa de capacitación	31
Anexo III: Lista de participantes del taller y equipo de capacitación	34
Participantes.....	34
Equipo de formación	35

Anexo IV: Desarrollo del Modelo Conceptual de Sitio (MSC).....	36
CSM del Grupo 1.....	37
CSM del Grupo 2.....	38
CSM del Grupo 3.....	39
CSM del Grupo 4.....	40
CSM del Grupo 5.....	41
Anexo V: Resultados de la evaluación de la capacitación de los participantes.....	42
Anexo VI: Resumen de preguntas y respuestas.....	47



Fondo

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Programa Petróleo para el Desarrollo (OfD) del Gobierno de Noruega mantienen una colaboración continua (2016-2024) para mejorar las capacidades institucionales para mejorar la gestión ambiental en el sector del petróleo y el gas. En el marco del Programa de OfD, el PNUMA ha preparado un curso de capacitación de cinco días de duración sobre evaluación de sitios contaminados dirigido a las instituciones gubernamentales pertinentes encargadas de evaluar los sitios contaminados por petróleo. Los participantes adquieren las habilidades teóricas y prácticas básicas para identificar un sitio contaminado, realizar una evaluación preliminar del sitio y, con cierta orientación, realizar una evaluación detallada del sitio. Los participantes comprenden las herramientas, procedimientos y prácticas básicas involucradas en el análisis de muestras de agua y suelo y son conscientes de los estándares y umbrales de los principales contaminantes presentes en una muestra contaminada. El curso también proporciona una breve conferencia introductoria sobre los objetivos y técnicas de remediación de suelos.

Colombia alberga muchos sitios contaminados por derrames de petróleo, que han afectado las fuentes de agua. Aunque la ley exige que se denuncie los derrames de petróleo, muchos de ellos no se recogen adecuadamente en la legislación vigente del país. La compañía petrolera nacional de Colombia, Ecopetrol, ha indicado que muchos sitios también están fuera de la jurisdicción de la empresa (por ejemplo, refinerías ilegales de petróleo, sabotaje, etc.) y requieren atención, aunque se carece de conocimientos sobre la evaluación y remediación de sitios contaminados. En consecuencia, existía una gran necesidad de capacitación a nivel nacional sobre ASAC adaptada al personal gubernamental de las regiones ("corporaciones") altamente afectadas por los derrames de petróleo. Para abordar este problema, el Ministerio de Ambiente y Sostenibilidad de Colombia (MADS) solicitó este curso de cinco días de ASAC al PNUMA para capacitar al personal gubernamental sobre cómo abordar este problema.

Objetivos de aprendizaje clave del curso

El curso fue diseñado para ayudar a los participantes a desarrollar competencias en cuatro áreas clave:

- Mejor comprensión de los antecedentes de los sitios contaminados con petróleo.
- Conocimientos teóricos asociados a la realización de una evaluación de emplazamientos contaminados por hidrocarburos.
- Conocimiento práctico de los equipos y técnicas necesarios para evaluar los sitios contaminados con petróleo.
- Clasificación de los sitios prioritarios para la limpieza.

Descripción general de los temas de contenido

El curso proporcionó información básica sobre los sitios contaminados por petróleo, al tiempo que se discutieron en profundidad las fuentes de contaminación, las características del petróleo crudo, los impactos de los derrames y la contaminación en el medio ambiente y la salud humana, y varios métodos y consideraciones relacionados con la evaluación del sitio, la rehabilitación y el muestreo en

dichas áreas. Lo más destacado del curso fue la exhaustiva actividad de campo de dos días, durante la cual los participantes adquirieron experiencia práctica en la utilización de equipos especializados para realizar evaluaciones del sitio y tomar muestras competentes tanto del agua como del suelo, traduciendo sus conocimientos teóricos en aplicaciones prácticas.

Los participantes aprendieron que los sitios contaminados se definen como áreas con niveles elevados de contaminantes que exceden las concentraciones iniciales, lo que representa riesgos para el medio ambiente y la salud humana. Se mostró cómo varían las fuentes de contaminación, que van desde el entierro de residuos hasta los derrames y vertidos ilegales. También se examinaron las consecuencias de la contaminación, que tienen efectos a corto y largo plazo sobre la salud y el medio ambiente.

Los participantes adquirieron conocimientos introductorios sobre la remediación de sitios contaminados, que implica la eliminación o neutralización de sustancias nocivas en el suelo o las aguas subterráneas. El curso describió los procesos de remediación in situ y ex situ, los factores que influyen en las opciones de tratamiento y la implementación de los Planes de Acción Correctiva (PAR). Además, describió los objetivos de las Evaluaciones de Sitios Contaminados (CSA), las tres fases de investigación involucradas y la importancia de la Evaluación de Riesgos para identificar y manejar impactos severos. Los participantes presentaron varios estudios de casos en los que se mostraban ejemplos nacionales de problemas y éxitos en la rehabilitación de sitios contaminados por petróleo.

Se hizo hincapié en la planificación de la toma de muestras, tanto científica como no científica, como un paso crucial en la evaluación de los sitios contaminados. El curso cubrió aspectos como las evaluaciones de riesgos para la salud humana, el uso de cromatografía, los procesos de fraccionamiento y diversas estrategias de muestreo, como los métodos probabilísticos y no probabilísticos. Se discutió la eficiencia y el diseño de las estrategias de muestreo, incluyendo el muestreo sistemático en cuadrícula y aleatorio.

En resumen, el curso proporcionó una amplia instrucción teórica y práctica sobre los sitios contaminados, sus fuentes, impactos, técnicas de remediación y el intrincado proceso de evaluación y muestreo del sitio involucrado en el manejo de dichos peligros ambientales y para la salud. Consulte [el Anexo I](#) para obtener resúmenes diarios detallados de los temas de los módulos del curso.

Se puede acceder a todos los materiales preparados y utilizados durante el curso (documentos de referencia y diapositivas de presentación) en Google Drive a través de este [enlace](#).



Formato y calendario

Se invitó a una distribución equilibrada de género de representantes de organismos pertinentes y gobiernos regionales de Colombia a participar en esta capacitación presencial celebrada del 27 de noviembre al 1 de diciembre de 2023 en Bogotá, con un máximo de 30 personas permitidas para asistir. El idioma principal de trabajo fue el español, pero también se proporcionaron materiales e interpretación simultánea en inglés. Véase [en el Anexo II](#) el programa completo del taller.

Datos demográficos de los participantes

Veintiséis participantes (14 mujeres y 12 hombres) asistieron al taller, y 24 (**13 mujeres y 11 hombres**) completaron el taller de principio a fin y recibieron el certificado de finalización del curso. La mitad de los participantes representaron a los organismos pertinentes con sede en Bogotá: Ministerio de Ambiente y Sostenibilidad (MADS), Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía), Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y Asociación Colombiana de Petróleo y Gas (ACP). La otra mitad de los participantes, que viajaron desde fuera de Bogotá para asistir al taller (véase la Figura 1 a continuación), representaban a varios de los gobiernos autónomos estatales de Colombia, denominados "corporaciones": Boyacá, Cundinamarca, Macarena, Nariño, Orinoquia y Santander. En [el anexo III](#) figura la lista completa de participantes.



Figura 1: Mapa que muestra la ubicación de los municipios donde residen los participantes

Principales cuestiones planteadas

Prevalencia y causas de los sitios contaminados por petróleo en Colombia

Tanto en los módulos básicos de capacitación como en las presentaciones de estudios de casos complementarios se hizo hincapié en la prevalencia de sitios contaminados en todo el país, subrayando la necesidad de abordar el problema a nivel nacional. Los participantes aprendieron sobre las diversas fuentes de contaminación, como el entierro de desechos, los derrames y los vertidos ilegales, haciendo hincapié en sus consecuencias a corto y largo plazo. El curso abordó las complejidades del petróleo crudo, incluida su composición, las variaciones de color y los desafíos que enfrenta el país para refinar crudos más pesados debido al agotamiento de las reservas de crudos más livianos. Los participantes aprendieron sobre las fuentes de contaminación en la cadena de valor del petróleo y el gas y cómo los contaminantes ingresan al medio ambiente a través de diversos medios, como incendios, accidentes y fugas de infraestructura. También aprendieron a distinguir la contaminación de la polución.

Comportamiento e impacto del petróleo en el medio ambiente

El curso proporcionó una comprensión integral de cómo se comporta el petróleo crudo cuando se deja en el medio ambiente. Se explicó la composición química del petróleo crudo y sus diferentes

propiedades físicas. Los participantes aprendieron sobre el impacto del petróleo crudo en el agua y el suelo, en particular cómo los diferentes tipos, densidades y composiciones de petróleo afectan la persistencia del petróleo en las superficies del agua y los eventuales impactos en la salud de las plantas, los animales y los seres humanos. Aprendieron sobre las características estratigráficas que influyen en la penetración del petróleo y los efectos multifacéticos del petróleo en el suelo, incluidas las limitaciones en el movimiento del agua y los cambios en la composición del suelo. El curso también abordó los riesgos asociados con el fracking hidráulico, citando la presencia de aditivos peligrosos en los fluidos del fracking que contribuyen a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Importancia de un enfoque estructurado para investigar los sitios contaminados

El curso ayudó a los participantes a comprender el marco para llevar a cabo las Evaluaciones de Sitios Contaminados (CSA, por sus siglas en inglés), que deben respetar tres principios fundamentales: trazabilidad, representatividad y confianza. Los participantes comprendieron la importancia de caracterizar la contaminación en niveles verdes, amarillos y rojos en función del potencial de daño a los seres humanos. También aprendieron que un marco de ASAC debe mantener las medidas de salud, seguridad y prevención de la contaminación, incluida la selección de equipos y ropa de protección, así como la anticipación de los factores ambientales. Se observó que las campañas de muestreo que habían tenido éxito abarcaban tanto aspectos científicos como no científicos. Se explicaron las formas en que el marco de la ASAC guía un proceso de investigación de tres fases para evaluar los sitios. Los participantes también aprendieron cómo los Modelos Conceptuales de Sitio (CSM, por sus siglas en inglés) son esenciales para la investigación, evaluación y remediación. Un CSM es una representación de las características del sitio. Muestra las posibles relaciones entre la(s) fuente(s) de contaminación, las vías y los receptores. Trabajando en grupos asignados, los participantes aplicaron sus conocimientos creando su propio MSC basado en un escenario determinado, que utilizaron para guiar sus campañas prácticas de muestreo en el curso posterior.

Comprender y elegir las opciones de corrección adecuadas

En el curso se introdujeron técnicas para remediar sitios contaminados, diferenciando entre métodos in situ y ex situ, y se destacaron los factores que influyen en la elección del tratamiento. Se elaboraron soluciones específicas como taponado, lavado de suelos, extracción con solventes, desorción térmica, rociado de aire, entre otras, discutiendo sus funciones e idoneidad para ciertos contaminantes. Se describieron los desafíos en la comparación de costos entre diferentes métodos de remediación, subrayando la falta de métricas consistentes para la evaluación de costos. El curso abarcó los impactos externos de la remediación, como la compactación del suelo, las emisiones y la interrupción de las comunidades locales. También se discutió el cuidado posterior al cierre de los sitios, los requisitos para los informes de cierre y la necesidad de permisos posteriores al cierre. En el curso se hizo hincapié en la importancia de la supervisión en la evaluación de las medidas correctivas y se hizo hincapié en la importancia de la participación del público en todo el proceso de remediación, sugiriendo diversos métodos para difundir información al público e involucrarlo en los procesos de adopción de decisiones.

Importancia de la planificación previa al trabajo de campo

El curso cubrió ampliamente los componentes y consideraciones esenciales que son parte integral de la planificación eficaz de muestras para el trabajo de campo, esbozando varias facetas, como técnicas, métodos de muestreo (extracción), manejo de muestras, etiquetado, conservación y medidas generales de salud y seguridad. Se distinguió entre estrategias de muestreo probabilístico y no probabilístico, detallando los métodos asociados a cada una de ellas, siendo los métodos probabilísticos adecuados para el muestreo de población/área más pequeña y los métodos no probabilísticos favorecidos cuando el área objetivo puede haber carecido de representatividad. Los participantes aprendieron sobre la eficiencia del muestreo, los criterios de diseño óptimos y las estrategias comunes como la cuadrícula sistemática y el muestreo aleatorio. Las discusiones incluyeron enfoques prácticos para reducir el número de muestras, los posibles errores durante la recolección, los factores que influyen en la representatividad, las consideraciones sobre la profundidad del muestreo del suelo según el tipo de sitio, los pasos de preparación previos al muestreo, los requisitos del equipo y las especificaciones de los contenedores para las muestras de suelo y agua. El curso hizo hincapié en las prácticas de garantía de calidad, incluida la cadena de custodia, el cumplimiento del plan de muestreo, las muestras de referencia, los duplicados para el control de calidad (QC), los protocolos de transporte y la documentación adecuada. Durante una visita a un laboratorio local, los participantes observaron los procedimientos para el análisis de muestras y la compilación de resultados, lo que refuerza la importancia de una planificación cuidadosa para garantizar que las muestras representativas se sometan a análisis de laboratorio.

En el Anexo VI [figura una recopilación de las preguntas planteadas y las respuestas debatidas durante la formación.](#)



Resultados de la evaluación de conocimientos

El PNUMA llevó a cabo evaluaciones de referencia y finales utilizando el mismo conjunto de preguntas de "examen" (30 en total), como una forma de evaluar las mejoras en los conocimientos de los participantes a partir de la capacitación. El conjunto de preguntas se basó en las presentaciones técnicas básicas realizadas durante la capacitación. Las respuestas se presentaron en formatos de

opción múltiple o de verdadero/falso. Cabe destacar que este tipo de evaluación escrita solo proporcionaba una evaluación parcial de los conocimientos adquiridos por los participantes individuales, dado que los conocimientos adicionales se desarrollaban a través de ejercicios de trabajo en grupo e interacciones directas con los expertos. Por lo tanto, es importante ver los resultados de la evaluación del conocimiento junto con los resultados de la evaluación de la capacitación de los participantes para determinar el grado en que la capacitación satisfizo las necesidades de aprendizaje de los participantes (que se analiza más adelante).

Veinticuatro de los 26 participantes completaron tanto la evaluación de conocimientos de referencia como la evaluación final de conocimientos. La puntuación media de la evaluación inicial fue del 77% y la puntuación media de la evaluación final fue del 90%. Las puntuaciones **de los 24 participantes** que aprobaron el curso mejoraron desde la línea de base hasta la evaluación final de conocimientos, con un **aumento porcentual relativo promedio del 17% (14% de aumento absoluto)**.

Resultados de la evaluación

El PNUMA brindó a los participantes la oportunidad de evaluar voluntariamente la capacitación sobre la base de sus propias expectativas y necesidades de aprendizaje. Veinticinco participantes evaluaron la capacitación. La mayoría de los participantes dieron puntajes de 5/5 o 4/5 para que el curso cumpliera con sus objetivos de aprendizaje como se describe en el programa de capacitación. También se pidió a los participantes que calificaran el grado en que cada módulo del curso (del 1 al 6) satisfacía sus necesidades individuales de aprendizaje (rango de puntuación de 5 = totalmente cumplido a 1 = no cumplido). La mayoría de los participantes también puntuaron cada sesión como 5/5 o 4/5. Cuando se les pidió que calificaran su satisfacción general con el curso de capacitación, el 85% de los participantes calificaron la capacitación como "excelente"; el 11% como "altamente satisfactorio"; el 4% como "satisfactorio"; y ninguno dejó calificaciones de "necesita mejorar" o "pobre". Consúltese el [Anexo V](#) para ver todos los resultados de la evaluación mostrados gráficamente.

Los participantes también proporcionaron información cualitativa valiosa sobre aspectos de la capacitación que consideraron útiles, no útiles y que podrían mejorarse. Estos comentarios se sintetizan a continuación.

Los participantes consideraron que los siguientes aspectos eran los **más útiles** :

- Experiencia de los formadores.
- Comprender los componentes que intervienen en la planificación previa al muestreo.
- Realización de la evaluación preliminar del sitio y construcción del Modelo Conceptual del Sitio.
- Realizar el ejercicio de muestreo de campo y recibir comentarios de los instructores.
- Inclusión de presentaciones de estudios de caso colombianos, lo que ayudó a la contextualización.

Los participantes mencionaron recurrentemente un aspecto como **el menos útil** :

- Visita al laboratorio, que cubría demasiada información y se entregaba demasiado rápido.

Los participantes señalaron las siguientes oportunidades de **mejora**:

- Obtenga más información sobre las historias de éxito de remediación del mundo real.

- Obtenga más información sobre las regulaciones ambientales relevantes del país.
- Visite un sitio contaminado real en el país.
- Crear Modelos Conceptuales de Sitio basados en escenarios reales del país.
- Realizar un análisis de muestreo en el laboratorio.
- Inclusión de entidades adicionales a nivel regional y nacional.



Anexo I: Procedimientos diarios y conclusiones clave

Día 1: Módulos 1 a 3

Módulo 1: Panorama general de los sitios contaminados por petróleo (PNUMA)

El taller comenzó con una presentación del PNUMA, a cargo de Matt Richmond y Geraint Williams, que ofreció una visión general de los sitios contaminados y sus impactos. Los sitios contaminados se definieron como áreas con niveles excesivos de contaminantes que representan riesgos para las personas y el medio ambiente. En la presentación se destacaron diversas fuentes de contaminación, como el enterramiento de residuos, los derrames y el almacenamiento de materiales, haciendo hincapié en sus vías de migración a los receptores, lo que tiene consecuencias para la salud y el medio ambiente. Se explicaron definiciones clave como "sitio", "sitio de origen", "sitio afectado" y "concentraciones de fondo", respaldadas por un Modelo Conceptual de Sitio (CSM) que ilustra las vías de contaminación (véase la Figura 2 a continuación). Abordando específicamente la industria del petróleo y el gas, se identificaron fuentes como los productos químicos de perforación, las instalaciones de residuos y el transporte, afirmando la distribución mundial de este fenómeno a través de imágenes de sitios afectados en Nigeria, Irak y Mauricio. Al diferenciar entre contaminación y polución, la presentación delineó los umbrales para las concentraciones seguras de contaminantes (medidos en partes por millón o partes por mil millones, dependiendo del contaminante), discutió la toxicidad de los hidrocarburos y destacó la importancia de las Hojas de Datos de Seguridad de los Materiales. Por último, se esbozaron las repercusiones de la contaminación, los procesos de remediación y el papel crucial de un Plan de Acción Correctiva (RAP) en los esfuerzos de restauración, abogando por evaluaciones estructuradas de los sitios de contaminación como una solución rentable, especialmente en el sector del petróleo y el gas.

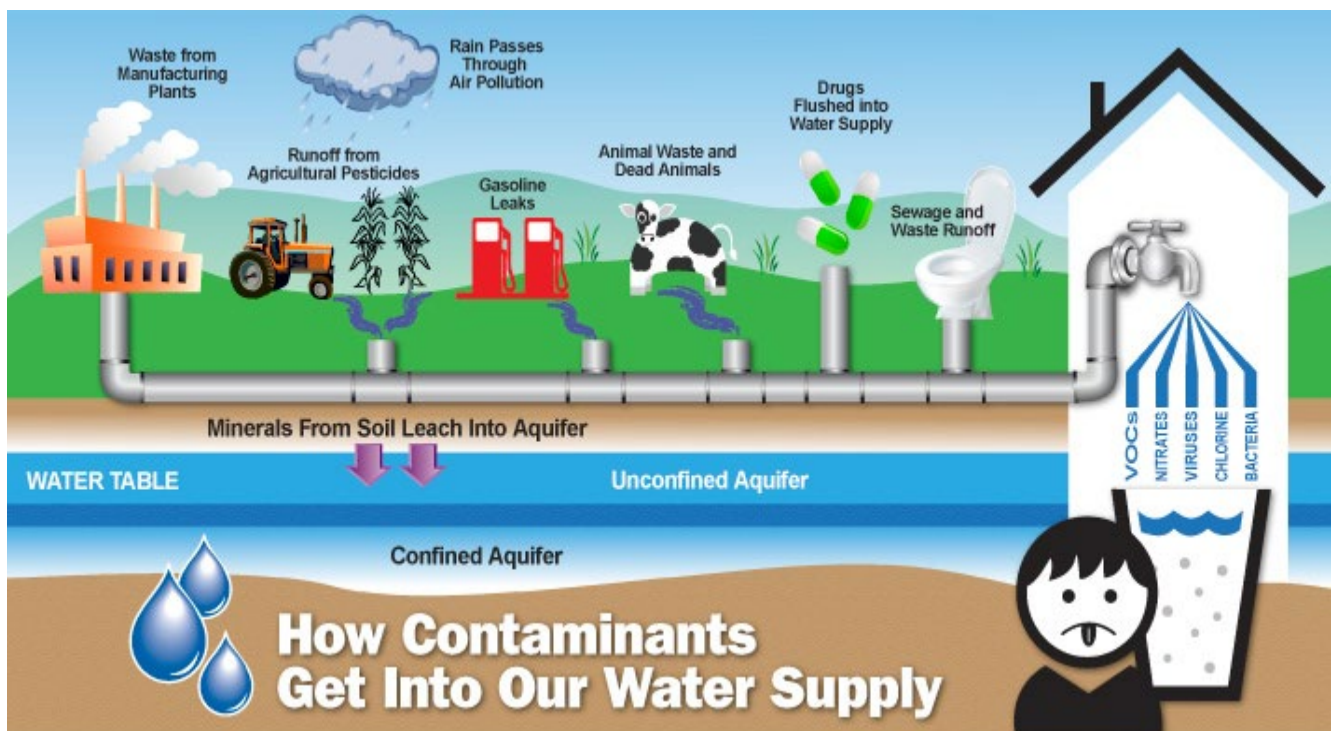


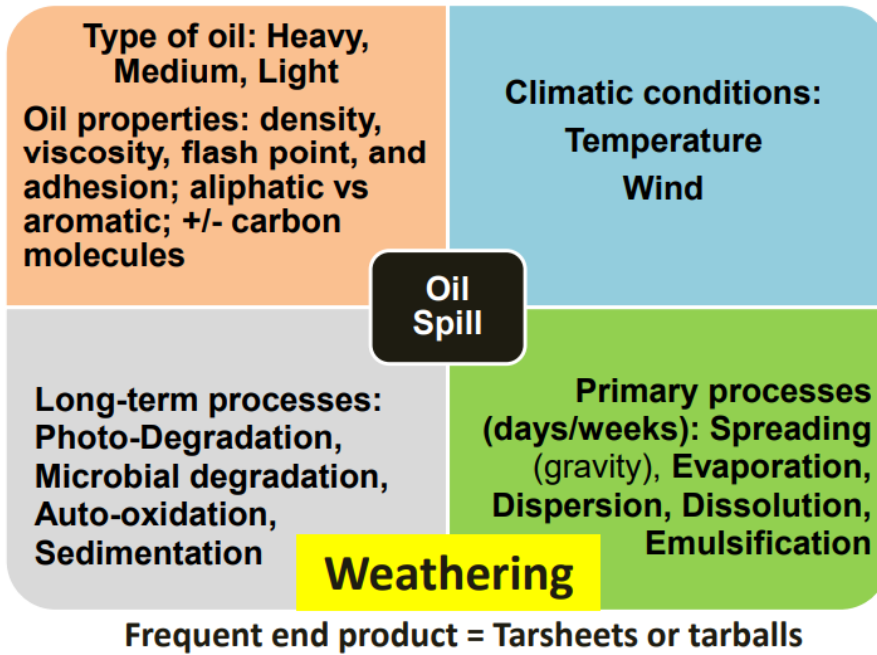
Figura 2: Diagrama que muestra cómo el agua está contaminada por varias fuentes comunes

Módulo 2: Propiedades y destino del petróleo en el medio ambiente (PNUMA)

El Módulo 2, impartido por Leonardo Donado, discutió las propiedades del petróleo y cómo se comporta en el medio ambiente si no se reduce. La presentación caracterizó el petróleo crudo, delineando su composición, incluyendo carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre y metales traza, con variaciones basadas en el origen del petróleo. Se mostraron diferentes colores y viscosidades del petróleo crudo, que van desde el betún casi sólido hasta los fluidos transparentes similares al queroseno. La presentación indicó que las reservas mundiales de crudo ligero están disminuyendo, lo que ha llevado a las refinerías a procesar predominantemente crudos más pesados, un cambio que también está ocurriendo en Colombia. En el debate se abordó el tema de los aditivos para fluidos de fracturación hidráulica y sus posibles peligros para la salud, citando casos de derrames durante las etapas del ciclo del agua de fracturación hidráulica, lo que plantea amenazas continuas de contaminación para los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Se presentaron aspectos detallados sobre el comportamiento del petróleo derramado, su degradación e impactos sobre el agua y el suelo, señalando los cambios debidos a la meteorización y la naturaleza dinámica de las propiedades del petróleo durante una operación de respuesta. Se dilucidó el destino del petróleo en el agua, influenciado por su tipo, viscosidad y persistencia, destacando las distinciones entre destilados ligeros, destilados pesados y aceites crudos en términos de su esparcimiento, emulsificación y persistencia (ver Figura 3 a continuación). La presentación concluyó mostrando las características estratigráficas que influyen en la penetración y propagación del petróleo, así como los impactos posteriores del petróleo en la humedad del suelo, el espacio poroso, los niveles de carbono orgánico y el crecimiento de las plantas.

Oil in the Environment and its Behaviour

Spills range widely in oil type, spill size, location, and environmental conditions during the release.



10

Figura 3: Diagrama de factores que influyen en el comportamiento del petróleo en el medio ambiente



Estudio de caso: Impactos de terceros actores sobre la industria petrolera colombiana (MinAmbiente)

Este estudio de caso, presentado por Astrid Reyes, examinó el problema del robo de petróleo crudo en Colombia, ilustrado a través de gráficos que muestran las cifras anuales de robo de petróleo y las cantidades robadas en cada empresa del país. La presentación detalló un evento de derrame de petróleo en 2015 que resultó en la pérdida de 10.000 barriles, afectando el río Mira y las zonas costeras. Las repercusiones ambientales incluyeron la presencia de hidrocarburos en las aguas, sedimentos y recursos marinos y la biota, impactando particularmente en los municipios de Cobá y Congal. Los impactos socioeconómicos en las comunidades vulnerables revelaron su dependencia de los ecosistemas afectados para sus medios de subsistencia y alimentos, con una capacidad moderada para recuperarse de tales desastres. Las estrategias de remediación incluyeron bioensayos, que indican la capacidad de los microorganismos para tolerar y degradar hidrocarburos, lo que ofrece una oportunidad potencial de remediación para las áreas afectadas. Los aspectos legales delinearón las responsabilidades bajo el Decreto N° 1868 de 2021, enfatizando el rol del operador del gasoducto en el análisis de riesgos, la planificación de contingencias y la notificación de incidentes a las autoridades pertinentes. La última parte de la presentación se centró en el protocolo ambiental para el desmantelamiento de la infraestructura de procesamiento ilegal de hidrocarburos, el establecimiento de objetivos para los estándares de seguridad, la gestión ambiental y la participación de las partes interesadas. Delimitó las áreas donde se roban los hidrocarburos y sus diversos usos ilícitos, subrayando la importancia de las condiciones ambientales en la planificación de las operaciones de desmantelamiento y concluyó destacando la necesidad de un protocolo dinámico capaz de actualizarse en función de nuevos datos, considerando los riesgos de seguridad y el conocimiento territorial (ver Figura 4 a continuación).

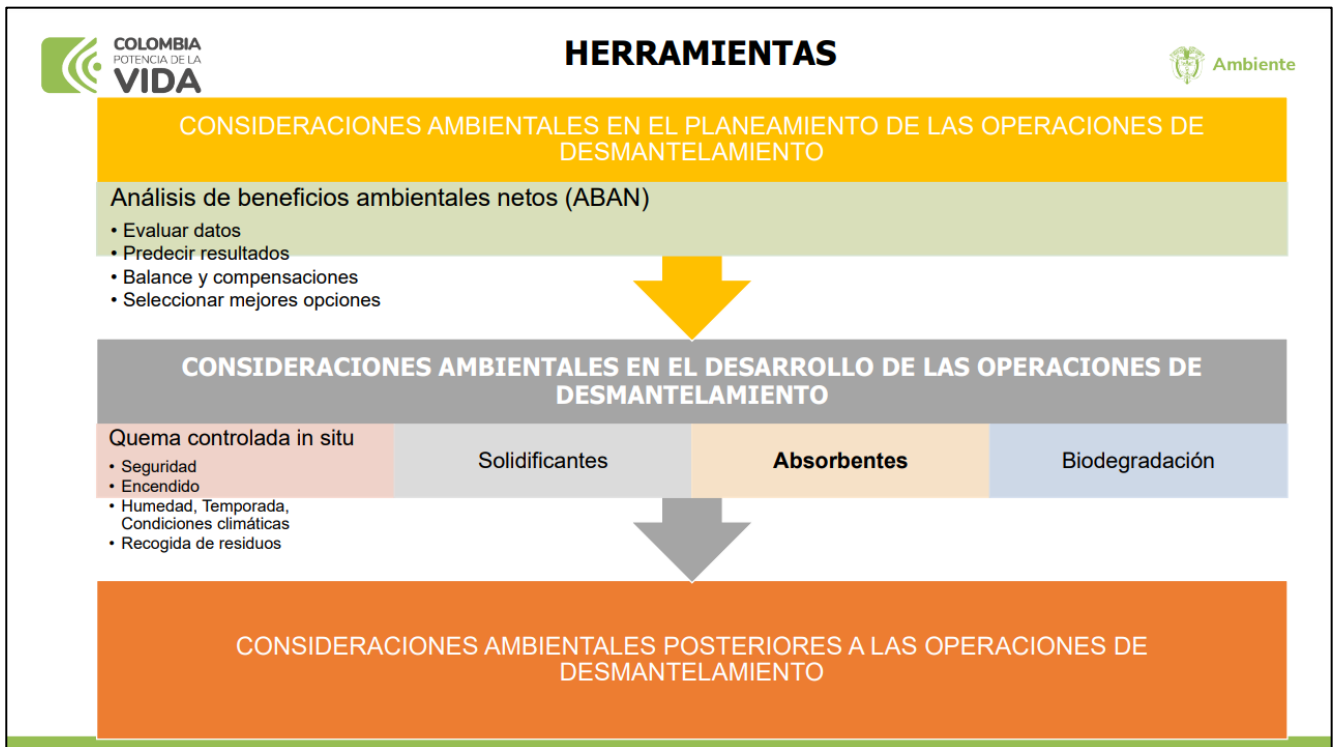
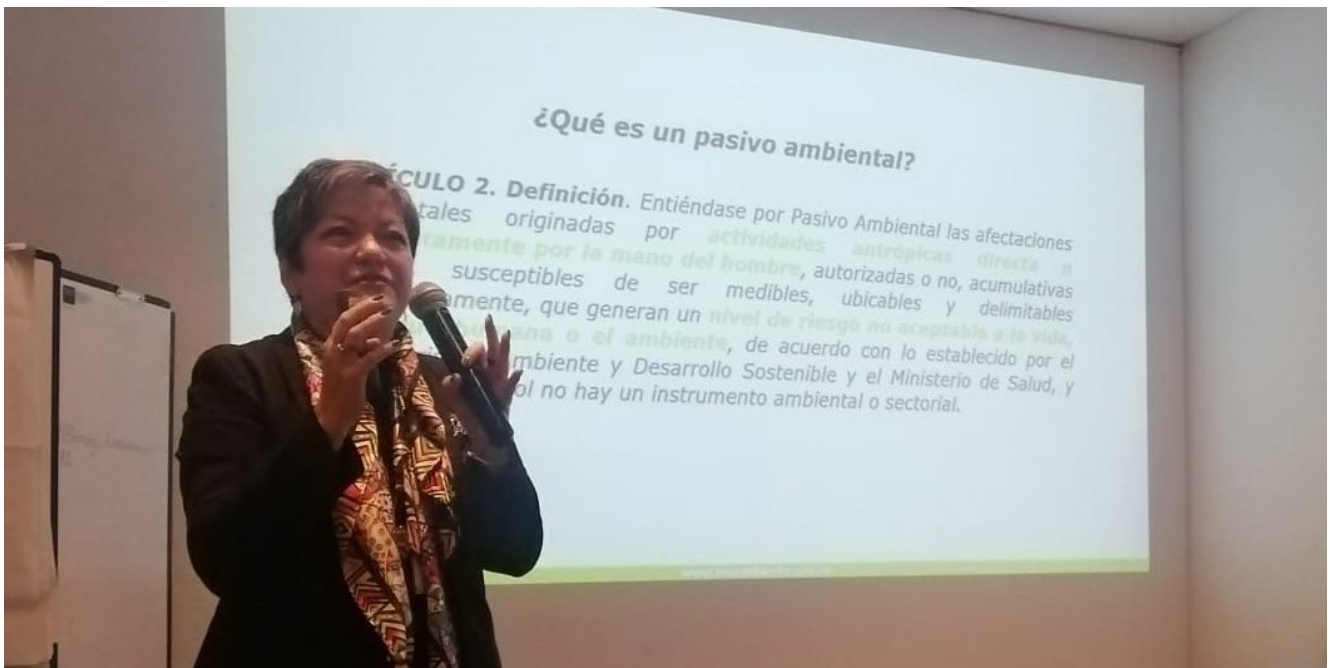


Figura 4: Diagrama que muestra las consideraciones implicadas al seleccionar herramientas de corrección



Estudio de caso: Panorama general de las leyes de responsabilidad ambiental de Colombia (MinAmbiente)

Este estudio de caso, entregado por Ernesto Romero, se centró en la Ley N° 2327 de 2023 de Colombia sobre pasivos ambientales, enfatizando su papel en la restauración de áreas saludables para el desarrollo social, ambiental y productivo, al tiempo que mitiga los riesgos para la salud y el medio ambiente. La ley, estructurada en artículos, delinea un marco integral que abarca los lineamientos generales, la toma de decisiones, la implementación y los aspectos financieros. Asigna responsabilidades a múltiples instituciones colombianas, involucrando aspectos de política pública y requiriendo esfuerzos de colaboración entre varios ministerios y autoridades ambientales. La presentación aclaró la definición de responsabilidad ambiental tal como se describe en el artículo 2 de la ley, describiéndola como los impactos medibles y localizables derivados de actividades humanas que plantean riesgos inaceptables para la vida, la salud o el medio ambiente. También aclaró el análisis de riesgos, abordando la identificación de amenazas, la evaluación de vulnerabilidades, la determinación de recursos y los niveles de riesgo aceptables. Además, en la presentación se detalló la estrategia de MinAmbiente para la gestión de los pasivos ambientales a través de un conjunto definido de actividades (véase la Figura 5 a continuación). Se destacó el papel del Consejo Nacional Ambiental en la coordinación intersectorial y la supervisión de las políticas ambientales. La presentación concluyó detallando el contenido de los 13 artículos de la Ley N° 2327 de 2023, con el artículo 7 enfocado específicamente en los planes de intervención de pasivos ambientales, delineando medidas para la rehabilitación, remediación y restauración, al tiempo que permite a las partes no responsables interesadas solicitar términos de referencia para la gestión de dichos pasivos.

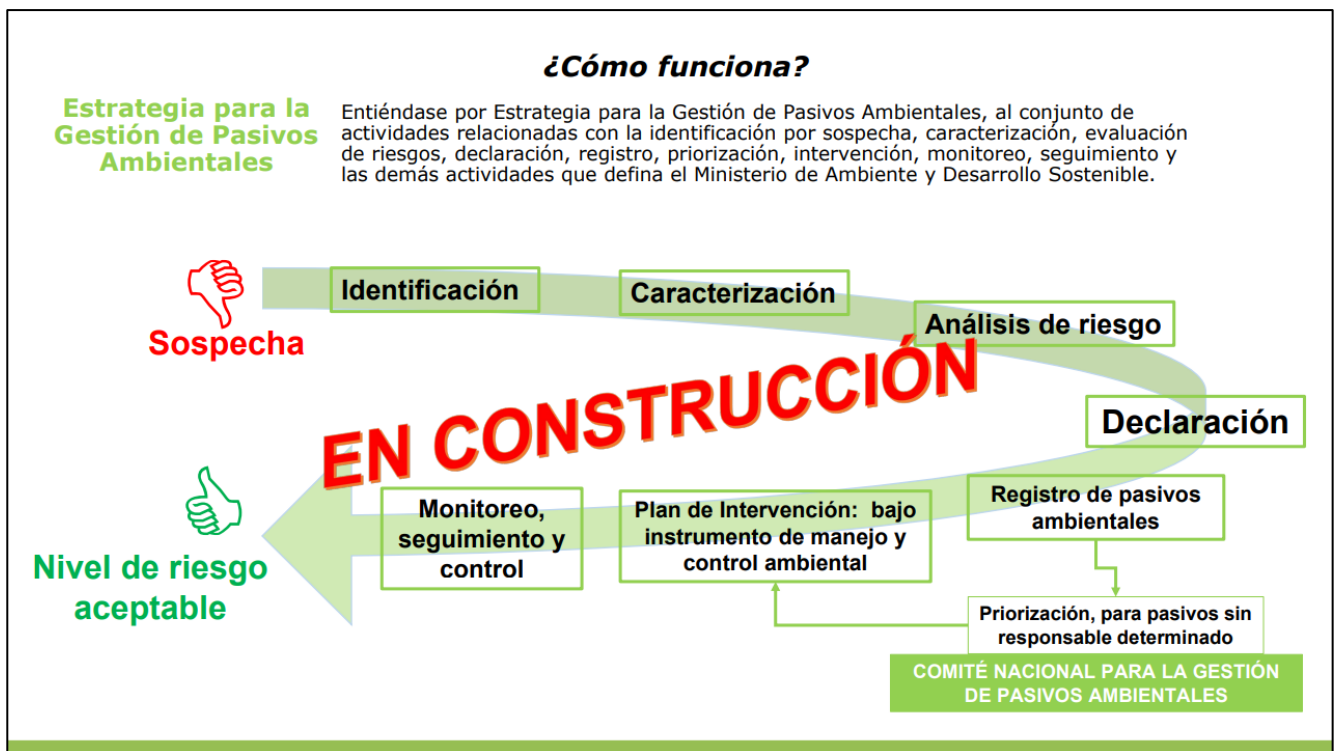


Figura 5: Estrategia de MinAmbiente para la gestión de pasivos ambientales

Módulo 3: Introducción a la limpieza y verificación de sitios (PNUMA)

El módulo 3, impartido por Matt, proporcionó una introducción sobre la remediación de sitios contaminados. La presentación comenzó definiendo los sitios contaminados como áreas con niveles de contaminantes que superan un umbral específico, con diversas fuentes de contaminación como el entierro de desechos, derrames y vertidos ilegales. Se mostraron los impactos a corto y largo plazo sobre la salud y el medio ambiente.

La remediación de tierras es un ejercicio de gestión de riesgos con el objetivo de controlar o romper el vínculo fuente-vía-receptor para mitigar cualquier riesgo potencial o real. En la Figura 6 se proporciona más información:

- Reducción en la fuente: remediación en la fuente, como la excavación y eliminación de suelos contaminados, o la extracción de vapor del suelo in situ;
- Modificación de la vía: reducción de la capacidad de la contaminación para migrar del suelo a los receptores potenciales utilizando, por ejemplo, sistemas de cobertura o barrera;
- Control de receptores: cambiar el comportamiento o la ubicación de los receptores para reducir su potencial de exposición a la contaminación, como cambiar el uso de la tierra o el diseño del sitio.

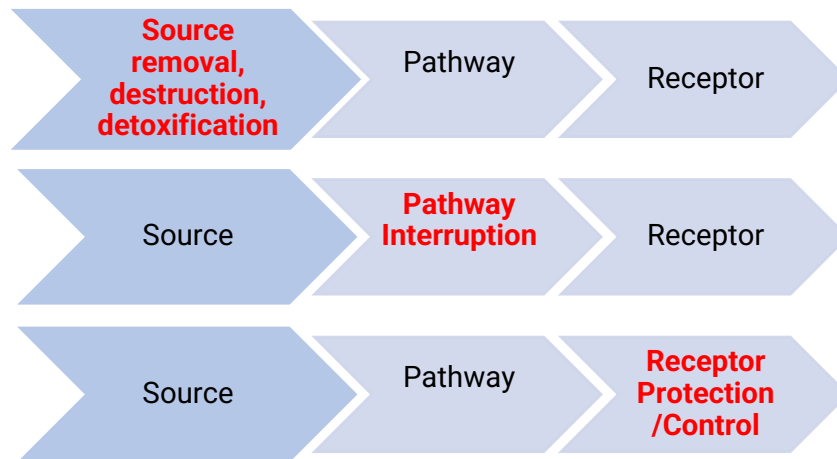


Figura 6: Proceso de reducción del riesgo desde la eliminación de la fuente hasta la protección del receptor

La remediación es necesaria cuando se ha identificado que los enlaces de contaminantes representan riesgos inaceptables para los receptores y, por lo tanto, es necesaria una intervención. Las técnicas de remediación también pueden aplicarse ex situ o in situ. Ex situ es cuando el material contaminado se retira del suelo antes de su tratamiento o encapsulación sobre el suelo y/o su eliminación dentro o fuera del sitio. In-situ es donde el material contaminado es tratado sin excavación previa (de suelos) o extracción (de aguas subterráneas).

Hay varias etapas de remediación. En la figura 7 se muestra un resumen de estos pasos. En la presentación se alentó el uso de un modelo conceptual en evolución, en el que las incertidumbres se reevaluarían a medida que se dispusiera de más información. Se deben recopilar múltiples líneas de evidencia para respaldar los criterios primarios de corrección basados en el riesgo.

Se recomienda la integración de líneas de evidencia, y esto se lleva a cabo principalmente utilizando el mejor juicio profesional, sobre una base lógica siguiendo una guía autorizada y/o estableciendo relaciones entre las pruebas vinculadas durante la planificación de la remediación.

A medida que los impulsores mundiales influyen cada vez más en la toma de decisiones ambientales, por ejemplo, considerando la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos en los principales proyectos de remediación, se están utilizando herramientas de apoyo a la toma de decisiones más sofisticadas para ayudar a evaluar la importancia de los problemas y justificar y comunicar una decisión. Es probable que los enfoques evolucionen y, a medida que lo hagan, brinden más oportunidades para integrar realmente los datos de múltiples líneas de evidencia en el proceso de toma de decisiones.

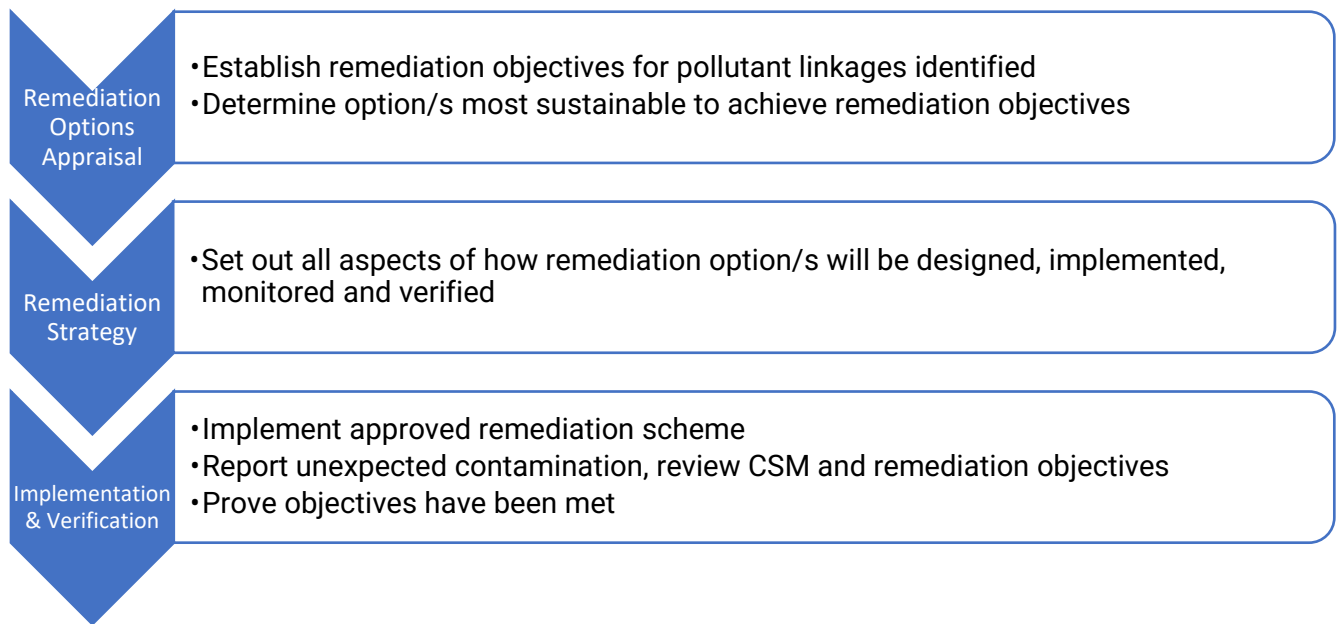


Figura 7: Etapas de la corrección

Se dilucidó la aplicación de un Plan de Acción Correctiva (PAR), en el que se esbozaban las responsabilidades de la parte implicada y la obligación de informar a las autoridades. Se examinaron varios métodos para remediar los suelos, las aguas subterráneas, las aguas superficiales y los lixiviados contaminados, que van desde el taponamiento hasta la incineración (véase la Figura 8 a continuación), al tiempo que se destacaron las funciones y limitaciones de cada método. También se discutieron los desafíos para la remediación, incluidas las dificultades de comparación de costos, la falta de bases de datos centralizadas de costos, los impactos externos (e imprevistos) durante la remediación y la necesidad de atención posterior al cierre para los sitios que contienen desechos. El monitoreo, la información pública, las estrategias de participación y las actualizaciones continuas del plan estratégico se enfatizaron como componentes cruciales a lo largo del proceso de remediación, asegurando la transparencia, la comunicación efectiva y el cumplimiento de los estándares.

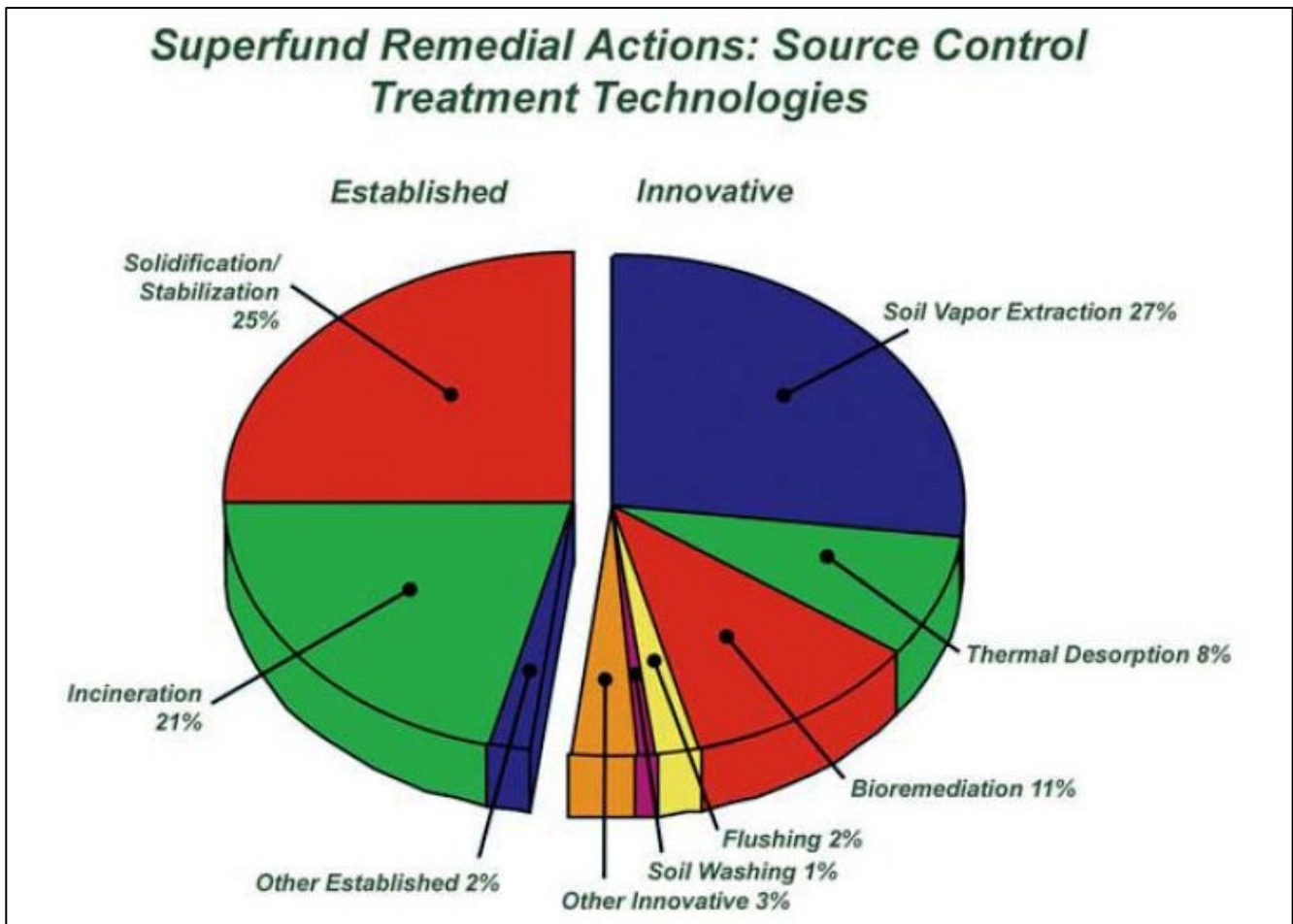


Figura 8: Diagrama que muestra la distribución porcentual de los diferentes métodos de remediación de la contaminación utilizados en los EE. UU.

Estudio de caso: Términos de referencia para los procedimientos de licenciamiento de gestión ambiental (CorMacarena)

Este estudio de caso abordó dos objetivos principales: en primer lugar, la revisión de la licencia ambiental en el departamento del Meta, que implica un análisis de las condiciones de contaminación de la zona y las lecciones aprendidas. En segundo lugar, la identificación de las zonas potencialmente afectadas, lo que requiere la formulación de un plan de identificación y gestión. El concepto de biorremediación se explicó como el uso de organismos vivos para transformar compuestos tóxicos en productos inocuos, apoyándose en sus actividades catabólicas. Las medidas de protección y control, como los techos y los pisos de concreto, se discutieron en el contexto de la biorremediación y su influencia en la temperatura del suelo, el pH, el contenido mineral y la oxigenación en el proceso de remediación. Otros métodos de remediación, como el cultivo de tierras, se evaluaron de acuerdo con su efectividad, dadas las diferentes características del suelo, los rasgos contaminantes y las condiciones climáticas. Se presentaron estudios de caso y procesos sancionadores en CorMacarena durante la última década, destacando las lecciones aprendidas, los efectos observados y las áreas de mejora en los proyectos de biorremediación (ver Figura 9 a continuación). Por último, se abordó el proceso de identificación de las zonas presuntamente afectadas, esbozando diversas consideraciones para determinar la contaminación, entre las que se

encuentran el incumplimiento de los permisos de vertido y el impacto sobre los recursos hídricos y suelos por los remanentes de hidrocarburos y las condiciones de vertido fisicoquímico.

MANEJO DE BIORREMEDIACIÓN A CIELO ABIERTO Y SOBRE SUELO DIC 2012

Diagram labels: Control del aire, Zona de tratamiento del inodoro, Sistema de drenaje, Tierra compactada, Tanque, Pasa de control del agua subterránea, Paredes de impermeabilización.

Esquema de los elementos principales de una unidad de tratamiento en lecho

Diseño del área de biorremediación propuesto
Fuente EIA Expediente empresa

www.cormacarena.gov.co

Figura 9: Imágenes de un proyecto de biorremediación de 2012 en CorMacarena



Día 2: Módulos 4 a 5

Módulo 4: Planificación del muestreo y evaluación preliminar del sitio (PNUMA)

El Módulo 4, impartido por Adriana Piña, comenzó enfatizando la trazabilidad, la representatividad y la confianza como elementos fundamentales de una Evaluación de Sitios Contaminados (ASC). La presentación cubrió las fases clave en el proceso de investigación de la CSA: La Fase 1 implica una Evaluación Preliminar del Sitio para medir el potencial de contaminación a través del uso histórico / actual de la tierra, el reconocimiento del sitio y la recopilación de información. La Fase 2 confirma la sospecha de presencia/ausencia de contaminación, mientras que la Fase 3 determina los detalles de la contaminación, lo que es crucial para la Evaluación de Riesgos y la Planificación de Remediación. La Evaluación de Riesgos se dilucidó como el análisis de los posibles impactos negativos severos y el juicio de tolerabilidad al riesgo, considerando diversos factores. La presentación también cubrió los aspectos no científicos involucrados en el proceso de planificación, como los detalles de la gestión del proyecto, así como los aspectos científicos, como los modelos de sitio, las vías de exposición y las propiedades de los contaminantes. Destacó la importancia de que los Modelos Conceptuales de Emplazamiento (MSC) reflejen la información disponible y detalló los componentes vitales de los MSC necesarios para desarrollar hipótesis de contaminación (véase la Figura 10 a continuación). La contaminación se clasificó en niveles verde, amarillo y rojo según el grado de daño potencial. Se mencionaron consideraciones específicas para sustancias como el benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos (BTEX), abordando su volatilidad y su posible presencia en sitios industriales. Por último, en la presentación se esbozaron aspectos cruciales que se deben planificar antes de una visita al lugar, a saber, los objetivos de la visita, los arreglos de viaje, los protocolos de salud y seguridad, y el equipo y la ropa adecuados que se deben llevar.

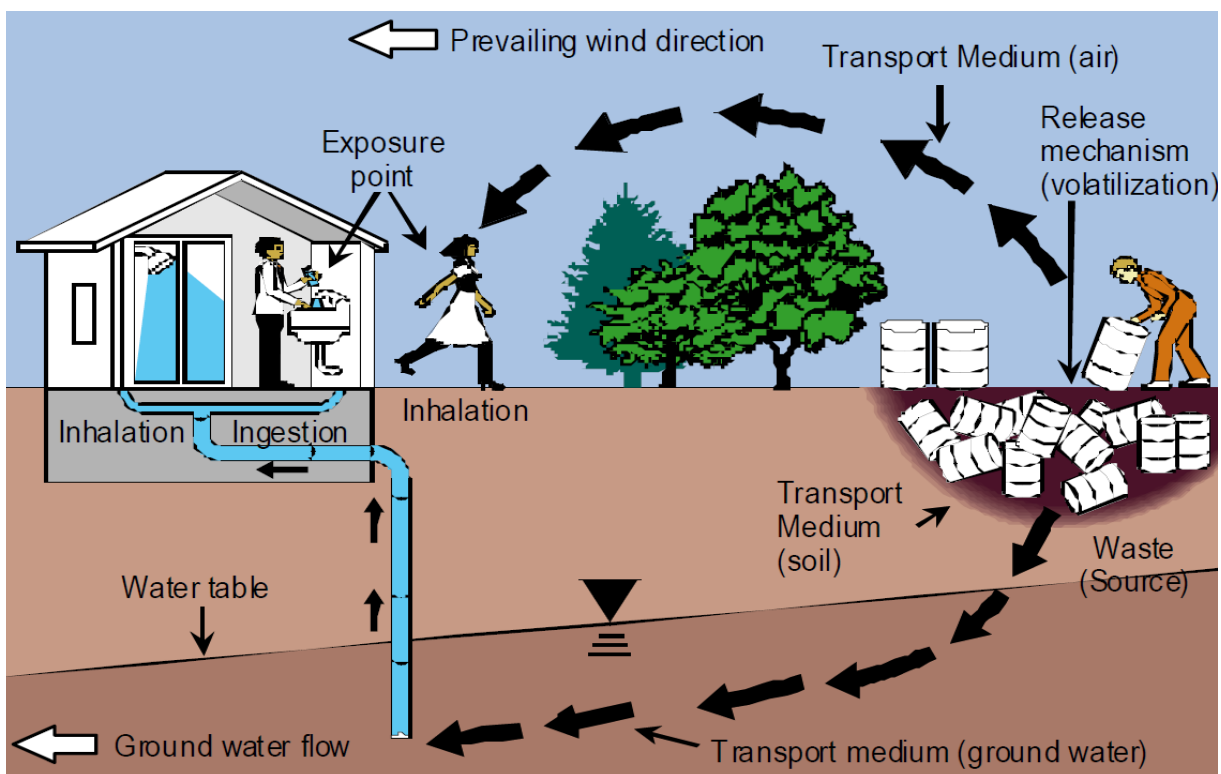


Figura 10: Ejemplo de un modelo básico de sitio contaminado, que plantea la hipótesis de posibles vías de contaminación



Caso de estudio: Afloramientos de hidrocarburos en el Municipio San Luis de Gaceno – Campo de Producción Medina (MinEnergía)

Este estudio de caso se centró en las operaciones de Nikoil Energy Corporation en Colombia, que han contaminado múltiples áreas y creado problemas para los asentamientos humanos cercanos. La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) de Colombia, que ha investigado estos sitios contaminados, observó un estancamiento de fluidos relacionados con los hidrocarburos en la superficie y fuertes olores a hidrocarburos en los flujos de agua subterráneos y subterráneos, que antes se utilizaban para fines domésticos y agrícolas. Se mostraron múltiples mapas e imágenes que ilustraban la extensión geográfica de la contaminación. Un estudio posterior fue realizado en 2022 por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) para discernir de manera integral si los emanadores provenían de causas naturales o industriales, integrando datos isotópicos y geoquímicos para evidencia técnica (ver Figura 11 a continuación). El estudio reveló una grave contaminación del suelo y del agua en algunas muestras, especialmente en el campo de producción de Medina. Las conclusiones instaron a identificar los orígenes de los hidrocarburos y hacer cumplir las medidas ambientales dentro del plan de manejo para abordar los impactos de la contaminación, aunque estos requisitos siguen sin cumplirse (hasta ahora) por parte de la empresa. Actualmente, la ANLA y el Servicio Geológico de Colombia están llevando a cabo una investigación conjunta sobre las posibles conexiones de hidrocarburos de la

superficie al subsuelo en las zonas afectadas.

Actuaciones desde el sector

Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), celebran Contrato No.357 de 2022

Contrato de servicios especializados en pesquisas de campo, recolección y procesamiento de muestras para la caracterización de contaminación por hidrocarburos u otros impactos sobre determinantes ambientales, con el análisis de laboratorio de las muestras de hidrocarburos, suelos y aguas, del Campo Medina en San Luis de Gaceno - Boyacá.

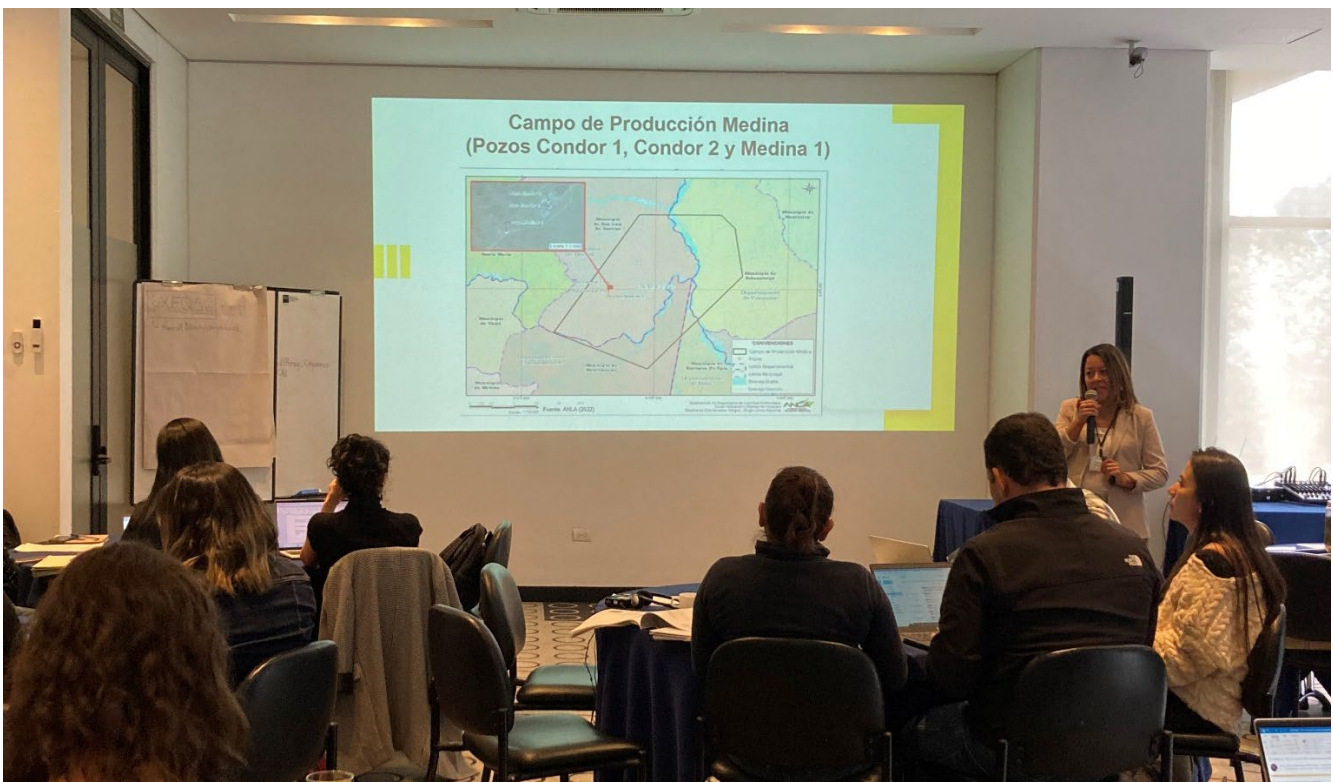
Figura 4.1. Ubicación de los puntos en los cuales se realizó la recolección de muestra de agua, Campo Medina, Vereda Horizontes, Municipio de San Luis de Gaceno Boyacá.



Fuente: Contrato 357 de 2022 ANH

www.minenergia.gov.co

Figura 11: Resumen del estudio realizado por la ANH y la UPTC para discernir el origen de la contaminación por hidrocarburos en Campo Medina



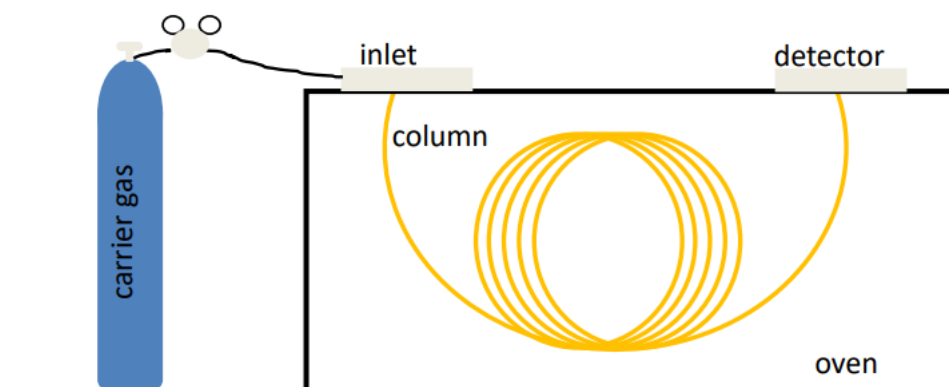
Módulo 5: Visión general del equipo y técnicas analíticas (PNUMA)

El módulo 5, impartido por Geraint, analizó el equipo principal, las técnicas y los estándares de calidad utilizados al analizar muestras contaminadas. En la presentación se discutieron varios aspectos del análisis de hidrocarburos de petróleo, detallando las bandas de carbono de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y los PH extraíbles, sus constituyentes y propiedades, incluidos los hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Hizo hincapié en los métodos de evaluación de riesgos para la salud humana que implican el análisis de riesgos específicos de sustancias. Los cromatógrafos y la cromatografía de gases se destacaron como herramientas cruciales para la identificación y separación de materiales en función de la volatilidad, mientras que el fraccionamiento con gel de sílice separó las muestras en clases alifáticas y aromáticas. La cromatografía de gases se catalogó como el método preferido para el análisis de TPH (véase la Figura 12 a continuación), especialmente para la detección de hidrocarburos aromáticos (HAP) policíclicos (HAP) y el análisis de compuestos específicos mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GCMS). En la presentación también se explicó la utilidad práctica de los detectores portátiles de fotoionización (PID) para las evaluaciones iniciales de campo. Por último, se discutieron las características de los sistemas de calidad, incluidos los ensayos de aptitud (PT) y el cumplimiento de la norma ISO 17025 en las comparaciones entre laboratorios.

Preferred Method

Laboratory method for TPH analysis: Gas Chromatography

- For separating mixtures into components
- Based on volatility of molecules
- Several options for detectors



16

Figura 12: Diagrama que muestra la función básica del método de análisis de laboratorio de cromatografía de gases

Los participantes reciben equipo de protección personal (EPP) y se preparan para los ejercicios de campo

En esta sesión, los participantes recibieron con entusiasmo su equipo de protección personal (EPP) en preparación para sus próximas visitas de campo. A todos se les entregaron sus propios overoles, botas de seguridad, bata de laboratorio, portapapeles y gafas protectoras para garantizar su preparación y simular los estándares de seguridad durante la capacitación práctica. Este ejercicio también reforzó la importancia de probarse el equipo de protección con anticipación para garantizar un ajuste adecuado y cómodo al ir al campo. Junto con el equipo, los participantes recibieron brazaletes del PNUMA, lo que significaba su participación en el evento oficial de capacitación al ingresar al sitio de campo del campus de la UAL. Además, se dieron instrucciones de salud y seguridad para ayudar al grupo a comprender cómo minimizar el riesgo de lesiones o accidentes al realizar el trabajo de campo.



Día 3: Primera visita de campo y Módulo 6

Evaluación preliminar del sitio, demostración de kits de muestreo de campo y visita de laboratorio (PNUMA)

Durante la primera visita de campo del taller al campus de la UNAL, los participantes participaron en un ejercicio grupal preliminar de evaluación del sitio, en el que a cada grupo se le asignó un escenario teórico único de un escenario de sitio contaminado en Colombia. Tomando notas diligentemente sobre los detalles del escenario proporcionado, se prepararon para desarrollar sus modelos conceptuales de sitio durante los dos días siguientes, utilizando los datos adquiridos. Se ofrecieron demostraciones prácticas sobre el uso adecuado de los equipos de muestreo de campo, como barrenas de suelo y achicadores de agua, herramientas esenciales incluidas en los kits de muestreo

de campo utilizados para recoger muestras de sitios contaminados. A continuación, un recorrido por el laboratorio hidrológico del campus proporcionó información de los técnicos de laboratorio sobre los procedimientos precisos para analizar muestras de agua y suelo utilizando equipos de laboratorio de alta tecnología. Al concluir el viaje, los participantes fueron instruidos sobre el proceso de muestreo de agua extraída de un pozo utilizando una bomba mecánica, lo que les permitió observar de primera mano las características de contaminación (decoloración y olor) del agua extraída.



Módulo 6: Realización de evaluaciones detalladas del sitio – planificación de la muestra de participantes (PNUMA)

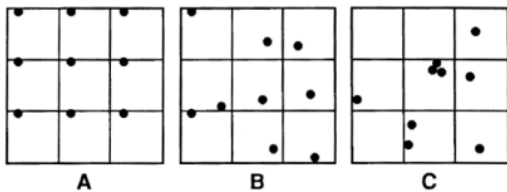
El módulo 6, impartido por Matt, cubrió los componentes clave del trabajo de campo de las evaluaciones del sitio, como las estrategias de muestreo, las metodologías de extracción de muestreo y el manejo de contenedores de muestras. Se observó que la estrategia óptima de muestreo (diseño) debe seguir un enfoque sistemático y organizar los puntos de extracción de la muestra en un patrón estratificado. Las estrategias de diseño de muestreo comúnmente utilizadas, como la cuadrícula sistemática y el muestreo aleatorio, se destacaron por su prevalencia (véase la Figura 13 a continuación). Se identificaron los objetivos principales del muestreo, con énfasis en lograr un 95% de probabilidad de localizar la contaminación dentro de las limitaciones presupuestarias. En la presentación se detalló el número recomendado de puntos de muestreo en función del tamaño del área, se sugirieron espaciamientos de cuadrículas de 10 m y se esbozaron metodologías de muestreo de suelo para generar muestras de suelo. Además, se esbozaron estrategias para reducir el número requerido de muestras, los errores durante la recolección de muestras, las consideraciones para la profundidad del muestreo del suelo y los pasos preparatorios esenciales antes del muestreo de campo, como las verificaciones de equipos, los requisitos del mapa

y la colocación de marcadores. Se subrayó la importancia de contar con recipientes de muestras apropiados para diferentes análisis, especialmente para muestras de suelo y agua, con tipos específicos de botellas destinadas a diversos análisis. Se destacaron los factores que influyen en las características de las muestras de agua, junto con las pautas para el manejo y transporte de muestras, asegurando el aseguramiento de la calidad a través de la documentación de la cadena de custodia, muestras de referencia, duplicados y documentación meticulosa. Se hizo hincapié en la importancia de entregar muestras representativas al laboratorio, seguido de un proceso paso a paso para el análisis de laboratorio y la entrega de resultados al cliente, concluyendo con el pago de los análisis al recibir los resultados y certificados.

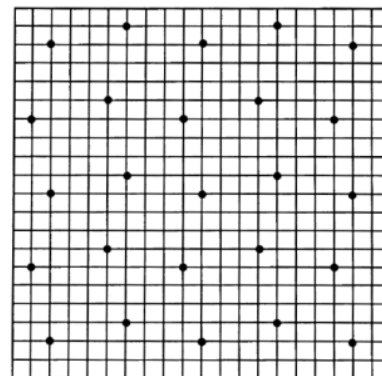
Sampling Efficiency and Designs

Many mathematical theories on optimization of spatial sampling exist. They conclude that efficient sampling design should satisfy four conditions:

- 1) It should be stratified i.e. the area to be sampled should be partitioned into regular sub-areas;
- 2) Each stratum (or sub-area) should carry only one sampling unit;
- 3) It should be systematic;
- 4) Sampling points should not be aligned.



- A** Systematic grid (or regular square grid)
B Stratified random
C Simple random



Herringbone
sampling design

Figura 13: Descripción general de los diferentes enfoques de diseño de muestreo



Día 4: Evaluación detallada del sitio y revisión posterior a la evaluación de campo **Evaluación detallada del sitio (PNUMA)**

Los participantes regresaron al sitio de campo en el campus de la UNAL para llevar a cabo sus evaluaciones detalladas dentro de sus grupos designados. Utilizando sus CSM como modelo, identificaron estratégicamente los lugares de muestreo y se esforzaron por seguir las técnicas de los equipos, los protocolos de seguridad y las medidas de control de calidad aprendidas en los módulos anteriores. El equipo de capacitación del PNUMA flotó entre los grupos para ofrecer orientación, según fuera necesario. La actividad concluyó cuando cada grupo reunió, etiquetó y almacenó el número requerido de muestras de suelo y agua, implementando con éxito las metodologías y procedimientos aprendidos en la aplicación práctica en el sitio de campo.



Presentaciones grupales y exámenes de evaluación posteriores al terreno (PNUMA)

En la sesión que siguió al ejercicio de campo de evaluación detallada del sitio, cada grupo realizó presentaciones en las que mostró sus MSC, describió el escenario teórico que se les asignó, señaló los factores influyentes que afectan al sitio contaminado y justificó el diseño de muestreo elegido. Estas presentaciones fueron examinadas y evaluadas por el grupo del equipo de capacitación del PNUMA, en las que se evaluó la medida en que cada grupo aplicaba eficazmente el contenido del curso en la elaboración de sus MSC. Posteriormente, Matt llevó a cabo una revisión del desempeño de cada grupo durante la evaluación detallada del sitio, analizando su adherencia a las mejores prácticas relacionadas con la extracción, manipulación y almacenamiento de muestras. De manera atractiva, se presentaron ejemplos de prácticas correctas e incorrectas capturadas durante el

ejercicio de campo a través de fotografías, acompañadas de comentarios constructivos y llenos de humor destinados a mejorar la experiencia de aprendizaje de los participantes.

Véanse [en el anexo IV](#) las imágenes de los MSC presentadas por cada grupo.



Día 5: Casos prácticos finales y resumen del curso

Estudio de caso: Contaminación por hidrocarburos en el departamento de Arauca (CorpOrinoquia)

Este estudio de caso describió eventos de contaminación petrolera que ocurrieron cerca de municipios del departamento de Arauca, específicamente Saravena, Arauquita y Cubará. Estos eventos, provocados por los ataques al oleoducto Caño Limón Coveñas, provocaron la contaminación recurrente por hidrocarburos de las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y otros recursos naturales. Dicha contaminación afectó el agua utilizable local, lo que supuso un riesgo para la salud de los consumidores y los animales que dependen de esta fuente para uso doméstico y abrevaderos. En la presentación se detalló la importante infraestructura de oleoductos de la jurisdicción, subrayando el amplio riesgo de contaminación en toda la región de Arauca. Esto se complementó con varios mapas e imágenes que retratan las regiones afectadas actualmente (véase la Figura 14 a continuación). Se discutió el paisaje, la cobertura del suelo y los recursos ambientales impactados de la zona afectada: suelo, flora, fauna, agua y aspectos socioeconómicos. También se examinaron las medidas adoptadas en respuesta a los derrames inducidos por los ataques, incluidos los planes de contingencia iniciados y las visitas de inspección a los lugares afectados. La presentación concluyó con ideas críticas, instando a aumentar la capacidad de respuesta a emergencias, la claridad sobre el papel de las entidades en las operaciones de limpieza después de ataques de terceros, métodos de respuesta personalizados en función de las condiciones ambientales y una estrategia integral para abordar las responsabilidades ambientales derivadas de incidentes de bombardeo de oleoductos. Estas estrategias tenían como objetivo minimizar los impactos ambientales y mejorar la seguridad de las comunidades afectadas.

Instructivo para la presentación



Recursos ambientales comprometidos por el Evento

- ✓ Se evidenciaron los impactos ambientales en los componentes: suelo, flora y fauna, hídrico, paisajismo y socioeconómico; tales como contaminación del suelo, desplazamiento de fauna, contaminación de aguas subterráneas y pérdida de flora.
- ✓ No se ha adelantado la valoración de los recursos afectados.
- ✓ No se ha adelantado caracterización de la zona afectada.



Obsérvese presencia de hidrocarburos, en el predio La Soledad, en la vereda Las Bancas, del municipio de Arauquita, departamento de Arauca. **Fuente:** Autores, 2023.

presencia de hidrocarburos, en el predio La Soledad, en la vereda Las Bancas del municipio de Arauquita, departamento de Arauca. **Fuente:** Autores, 2023.

www.corporinoquia.gov.co

Figura 14: Fotos de la contaminación por petróleo superficial en el departamento de Arauca

Resumen del curso y presentación de certificados (PNUMA)

En la sesión final del taller, Matt hizo una revisión del curso, recapitulando las principales ideas de aprendizaje discutidas a lo largo de la semana. Se recordó a los participantes las profundas consecuencias de la contaminación por petróleo tanto para los sistemas ecológicos como para la salud humana, subrayando su existencia prevalente en diversas partes del país y reafirmando la urgencia de adoptar medidas comprometidas para abordar el problema. En la presentación se hizo hincapié en la importancia de abordar los sitios contaminados de manera sistemática, señalando a la atención las metodologías de planificación tratadas durante el taller, a saber, la evaluación preliminar del sitio y el modelo conceptual del sitio. Se hizo hincapié en el papel de la obtención de información básica de las partes interesadas sobre las zonas contaminadas, que constituye la base para el diseño de estrategias de muestreo eficaces. Se reformuló la garantía de los protocolos de salud, seguridad y garantía de calidad durante el trabajo de campo, haciendo hincapié en el manejo meticuloso de las muestras recolectadas, desde el sitio contaminado hasta el laboratorio de análisis, para garantizar que las muestras representen con precisión los sitios de los que se derivan. Se alentó a documentar sistemáticamente toda la información obtenida a lo largo del proceso de evaluación del sitio. Por último, se instó a los participantes a que cultivaran asociaciones de colaboración, tanto entre ellos como con otras entidades, fomentando el intercambio de conocimientos para aprovechar las ideas y abordar los desafíos colectivamente dentro de esta esfera de trabajo. El curso concluyó con fotos de grupo y la presentación de certificados de cursos del PNUMA por parte del equipo de capacitación.



Anexo II: Agenda del programa de capacitación

PRIMER DÍA (Lunes 27 de noviembre)		
<i>Título</i>	<i>Orador</i>	<i>Hora (local)</i>
Registro y sesión informativa de seguridad del hotel	Personal de seguridad del hotel	8:30 – 9:00
Bienvenida, palabras de apertura y presentaciones para el equipo de capacitación y los participantes	UNEP / MinAmbiente / All participants	9:00 – 9:45
Módulo 1: Visión general de los sitios contaminados con petróleo	Matthew Richmond y Geraint Williams	9:45 – 10:30
Café/té de la mañana		10:30 – 10:45
Módulo 2: Propiedades y destino del petróleo en el medio ambiente	Leonardo Donado	10:45 – 11:45
Estudio de caso: Contexto ambiental y responsabilidades	MinAmbiente	11:45 – 13:00
Almuerzo		13:00 – 14:00
Módulo 3: Introducción a la limpieza y verificación del sitio	Mateo Richmond	14:00 – 15:00
Estudio de casos	CorMacarena	15:00 – 15:45
Discusión / Preguntas y respuestas	Todos los formadores / participantes	15:45 – 16:00
Café/té de la tarde		16:00 – 16:15
Fin del día 1		16:15

SEGUNDO DÍA (Martes 28 de noviembre)		
<i>Título</i>	<i>Orador</i>	<i>Hora (local)</i>
Resumen del primer día	Taylor Blair y Paula Solarte	8:30 – 9:00
Módulo 4: Planificación del muestreo y evaluación preliminar del sitio	Adriana Piña	9:00 – 10:30
Café/té de la mañana		10:30 – 10:45
Ejercicio de trabajo en grupo y distribución de equipos de protección individual (EPI)	Matthew Richmond y Geraint Williams	10:45 – 11:45
Estudio de casos	MinEnergy	11:45 – 13:00

Almuerzo		13:00 – 14:00
Módulo 5: Visión general de los equipos y técnicas analíticas	Geraint Williams	14:00 – 15:00
Preparación de los participantes para los ejercicios de campo y el trabajo en grupo (continuación de la sesión de la mañana)	Matthew Richmond y Geraint Williams	15:00 – 15:45
Discusión / Preguntas y respuestas	Todos los formadores / participantes	15:45 – 16:00
Café/té de la tarde		16:00 – 16:15
Fin del día 2		16:15

TERCER DÍA (miércoles 29 de noviembre)		
Título	Orador	Hora (local)
Resumen del segundo día	Taylor Blair y Paula Solarte	8:30 – 9:00
Salida del bus a las 9:00 en punto hacia el campus de la UNAL – evaluación preliminar del sitio en campo	Leonardo, Adriana, Matthew, Geraint	9:00 – 11:00
Café/té de la mañana		11:00 – 11:15
Demostración de kits de muestreo de campo	Leonardo Donado y Geraint Williams	11:15 – 11:45
Visita al laboratorio de la UNAL, introducción a los detectores de fotoionización (PID)	Leonardo Donado y Geraint Williams	11:45 – 12:45
Salida del autobús a las 12:45 en punto hacia el hotel		12:45 – 13:00
Almuerzo		13:00 – 14:00
Presentaciones grupales y sesión de revisión posterior a la acción : revisiones de evaluación posteriores al campo de los participantes	Mateo Richmond	14:00 – 15:00
Módulo 6: Realización de evaluaciones detalladas del sitio: planificación de muestras de participantes (basada en el escritorio)	Mateo Richmond	15:00 – 15:45
Discusión / Preguntas y respuestas	Todos los formadores / participantes	15:45 – 16:00
Café/té de la tarde		16:00 – 16:15

Fin del día 3	16:15
---------------	-------

CUARTO DÍA (Jueves 30 de noviembre)

<i>Título</i>	<i>Orador</i>	<i>Hora (local)</i>
Resumen del tercer día	Taylor Blair y Paula Solarte	8:30 – 9:00
Planificación de la muestra de los participantes, basada en el escritorio (continuación de la sesión de PM del día anterior)	Mateo Richmond	9:00 – 10:30
Salida del bus a las 10:30 en punto hacia el campus de la UNAL		10:30 – 10:45
Café/té de la mañana		10:45 – 11:00
Evaluaciones detalladas del sitio	Leonardo, Adriana, Matthew, Geraint	11:00 – 12:45
Salida del autobús a las 12:45 en punto hacia el hotel		12:45 – 13:00
Almuerzo		13:00 – 14:00
Presentaciones grupales y sesión de revisión posterior a la acción : revisiones de evaluación posteriores al campo de los participantes	Mateo Richmond	14:00 – 15:45
Discusión / Preguntas y respuestas	Todos los formadores / participantes	15:45 – 16:00
Café/té de la tarde		16:00 – 16:15
Fin del día 4		16:15

QUINTO DÍA (Viernes 1 de diciembre)

<i>Título</i>	<i>Orador</i>	<i>Hora (local)</i>
Resumen del día 4	Taylor Blair y Paula Solarte	8:30 – 9:00
Estudio de casos	CorpOrinoquia	9:00 – 10:00
Resumen del curso	Matthew Richmond y el equipo de entrenamiento	10:00 – 10:45
Café/té de la mañana		10:45 – 11:00
Cuestionarios de encuesta: examen final de conocimientos y evaluación del curso	Taylor Blair y Paula Solarte	11:00 – 11:45

Entrega de certificados y foto de grupo	Leonardo, Adriana, Matthew, Geraint	11:45 – 12:15
Observaciones finales	Mateo Richmond	12:15 – 12:30
Almuerzo		12:30 – 13:30
Fin del curso: los participantes realizan el check-out y viajan a casa		13:30

Anexo III: Participantes en el taller y lista de equipos de capacitación

Participantes

	Nombre	Género	Institución	Correo electrónico
1	Amanda Yanneth Herrera Hernández	F	Corporación Autónoma Regional de Boyacá	
2	Andrea Consuelo Lopez Niño	F	Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia - CorpOrinoquia	
3	Anelfi Balaguera Carrillo	M	Agencia Nacional de Hidrocarburos	
4	Blanca Marcela Caviedes Conde	F	Corporación Autónoma Regional de Nariño - CorpoNariño	
5	Claudia Maritza Neisa Guerra	F	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR	
6	Diana Catalina Jiménez Torres	F	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS	
7	Ernesto Romero Tobón	M	MinAmbiente	
8	Erwin Ferney Cordoba Veloza	M	Corporación Autónoma Regional de Boyacá	
9	Helman Alberto Bermúdez Saldarriaga	M	Agencia Nacional de Hidrocarburos	
10	Henry Alberto Ramírez	M	Ministerio de Minas y Energía	
11	Jaiver Emiro Bautista Peña	M	Corporación Autónoma Regional de Santander	
12	Jania Andreyina Bonilla Moreno	F	CorMacarena	
13	Jazmin Alvarado Puentes	F	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD	
14	Jorge Antonio David Monroy Rincón	M	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR	
15	Jose Fernando Paredes Coral	M	CorpoNariño	
16	Juan Carlos Sanchez Medina	M	CorMacarena	

17	Julián Hernando Camacho Gómez	M	Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia - CorpOrinoquia	
18	Karen Patricia Ávila Santiago	F	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD	
19	Karen Viviana López Aguilar	F	MinAmbiente	
20	Lilian Silva Mantilla	F	Asociación Colombiana de Petróleo y Gas	
21	Luisa Fernanda Carvajal Díaz	F	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	
22	Ofir Vera magullado	F	Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia - CorpOrinoquia	
23	Santos Arias Arias	M	Corporación Autónoma Regional de Santander - CAS	
24	Tania Rocio Ospina Delgado	F	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA	
25	William Rodrigo Castañeda Beltrán	M	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA	
26	Yuly Anthoula Barrientos Gómez	F	Ministerio de Minas y Energía	

Equipo de formación

Nombre	Cargo y afiliación	Correo electrónico
Sr. Matthew Richmond	Experto en cursos del PNUMA	
Sr. Geraint Williams	Experto en cursos del PNUMA	
Sra. Paula Solarte-Blandón	Coordinador de Campo del PNUMA	
Sr. Taylor Blair	Oficial Asociado, Subdivisión de Desastres y Conflictos del PNUMA	
Sr. Leonardo David Donado Garzón	Experto Nacional, Universidad Nacional de Colombia	
Dña. Adriana Patricia Piña Fulano	Experto Nacional, Universidad Nacional de Colombia	



Anexo IV: Desarrollo del Modelo Conceptual de Sitio (MSC)

Durante el taller, los participantes desarrollaron un Modelo Conceptual de Sitio (CSM, por sus siglas en inglés) basado en incidentes ficticios de contaminación por petróleo en varios escenarios de Colombia. Asignados a grupos, cada uno con la tarea de un escenario único, los participantes crearon MSC en grandes hojas de papel, incorporando características del paisaje, condiciones climáticas, rasgos ecológicos y actividades humanas históricas y actuales relevantes para sus escenarios. Estos modelos fueron fundamentales para guiar la posterior evaluación práctica del sitio que involucró el muestreo de suelo y agua, reflejando cómo los CSM dirigen las evaluaciones de sitios contaminados en el mundo real. Cada grupo presentó y defendió sus MSC frente a todo el grupo del taller, con el objetivo de incorporar detalles pertinentes de sus escenarios para plantear hipótesis sobre posibles recursos naturales contaminados e identificar geolocalizaciones específicas para el muestreo dentro del área. A continuación se muestran imágenes de cada grupo presentando su MSC.

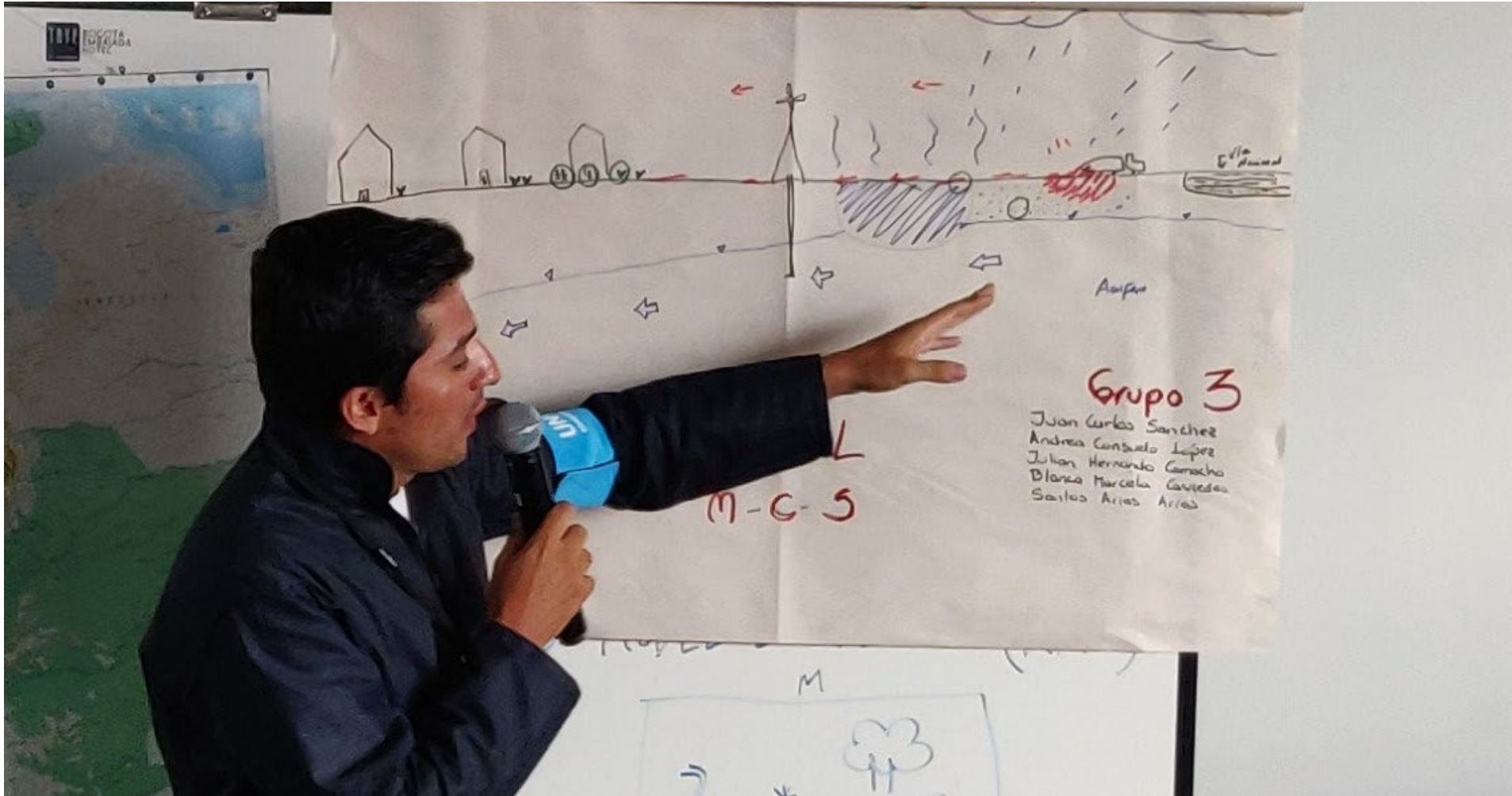
CSM del Grupo 1



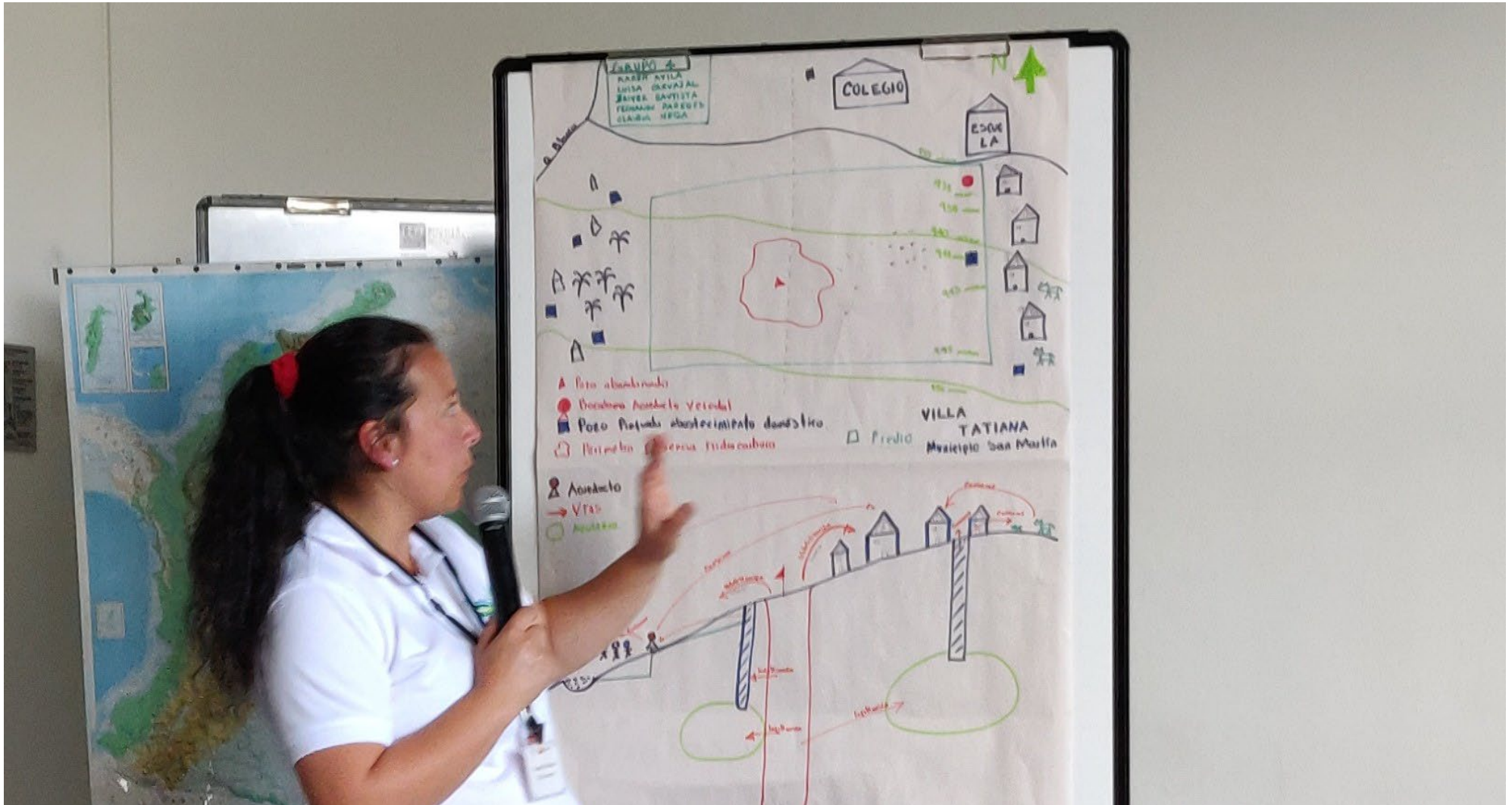
CSM del Grupo 2



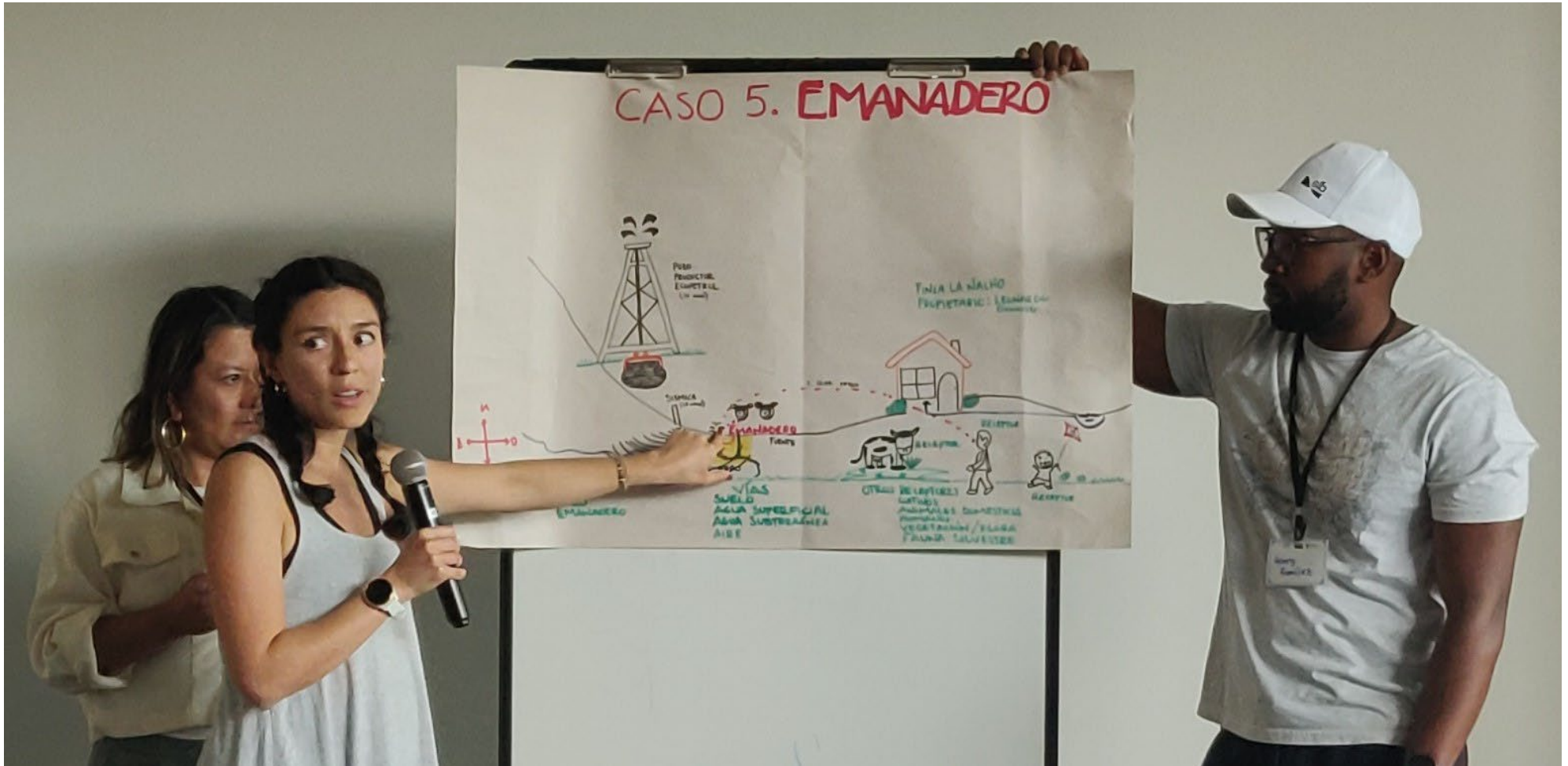
CSM del Grupo 3



CSM del Grupo 4



CSM del Grupo 5



Anexo V: Resultados de la evaluación de la capacitación de los participantes

Se pidió a los participantes que calificaran el grado en que se cumplieron sus objetivos de aprendizaje *en general* durante la capacitación. Esto ayuda al equipo del PNUMA a saber qué aspectos de la capacitación se enseñaron bien y qué aspectos tienen margen de mejora. Los resultados fueron similares en todos los ámbitos para esta pregunta, pero los participantes indicaron el mayor grado de aprendizaje en la categoría de "Comprender cómo planificar y llevar a cabo campañas de evaluación de sitios contaminados". El ochenta y ocho por ciento de los participantes indicaron esta categoría como un "5" (totalmente cumplido). Por otro lado, el menor grado de aprendizaje se dio en la categoría de "Comprender la composición del aceite y cómo se comporta en el medio ambiente a lo largo del tiempo". El setenta y tres por ciento de los participantes indicaron esta categoría como un "5" (cumplidos totalmente), mientras que el 27% la indicaron como un "4" (cumplidos en su mayoría). Consulte la Figura 15 a continuación para ver la distribución completa de las respuestas.

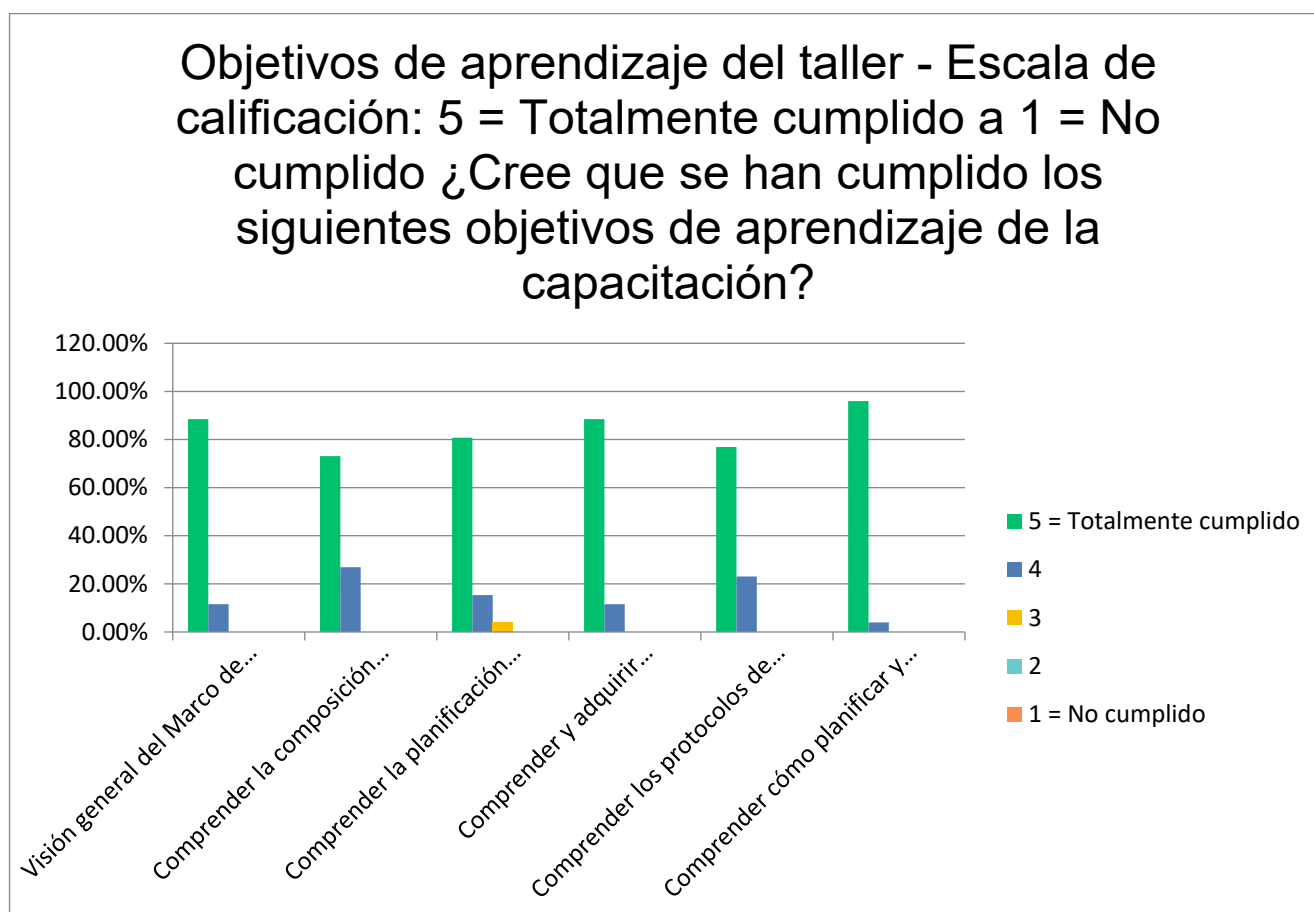


Figura 15: Grado de cumplimiento de los objetivos de aprendizaje

Descripción completa de las etiquetas de los objetivos de aprendizaje:

- Visión general del Marco de Evaluación de Sitios Contaminados, con breves introducciones a la Evaluación de Riesgos y la Planificación de Acciones Correctivas.

- Comprender la composición del aceite y cómo se comporta en el medio ambiente a lo largo del tiempo.
- Comprender los principios de planificación de remediación y evaluación de riesgos.
- Comprender y adquirir experiencia práctica de los pasos clave en la planificación y realización de una evaluación de un sitio contaminado con petróleo/hidrocarburos.
- Comprender los protocolos de inspección, el muestreo, las especificaciones y la acreditación de laboratorios, los análisis de laboratorio, la verificación de la calidad de los datos, la elaboración de informes, la comunicación y la discusión de los resultados.
- Comprender cómo planificar y llevar a cabo campañas de evaluación de sitios contaminados, desde la estrategia de muestreo hasta el transporte y almacenamiento de muestras.

Al igual que en la pregunta anterior, se pidió a los participantes que calificaran el grado en que se cumplieron sus objetivos de aprendizaje *por sesión* durante la capacitación. Esto también ayuda al equipo del PNUMA a saber qué sesiones de capacitación se impartieron bien y qué sesiones podrían mejorarse en futuras capacitaciones. Los resultados fueron nuevamente similares en todos los ámbitos, pero los participantes indicaron el mayor grado de aprendizaje en el Módulo 4 (Muestreo, planificación y evaluación preliminar del sitio), mientras que los otros módulos quedaron muy cerca. El noventa y dos por ciento de los participantes calificaron el Módulo 4 con un "5" (totalmente cumplido). El Módulo 5 (Descripción general de los equipos y técnicas analíticas), recibió una puntuación de "5" (totalmente cumplido) por el 78% de los encuestados, y uno de los encuestados calificó el módulo como un "3" (algo cumplido). Sin embargo, los índices de satisfacción en todos los módulos fueron, en general, altos. Véase la Figura 16 para ver la distribución completa de las respuestas.

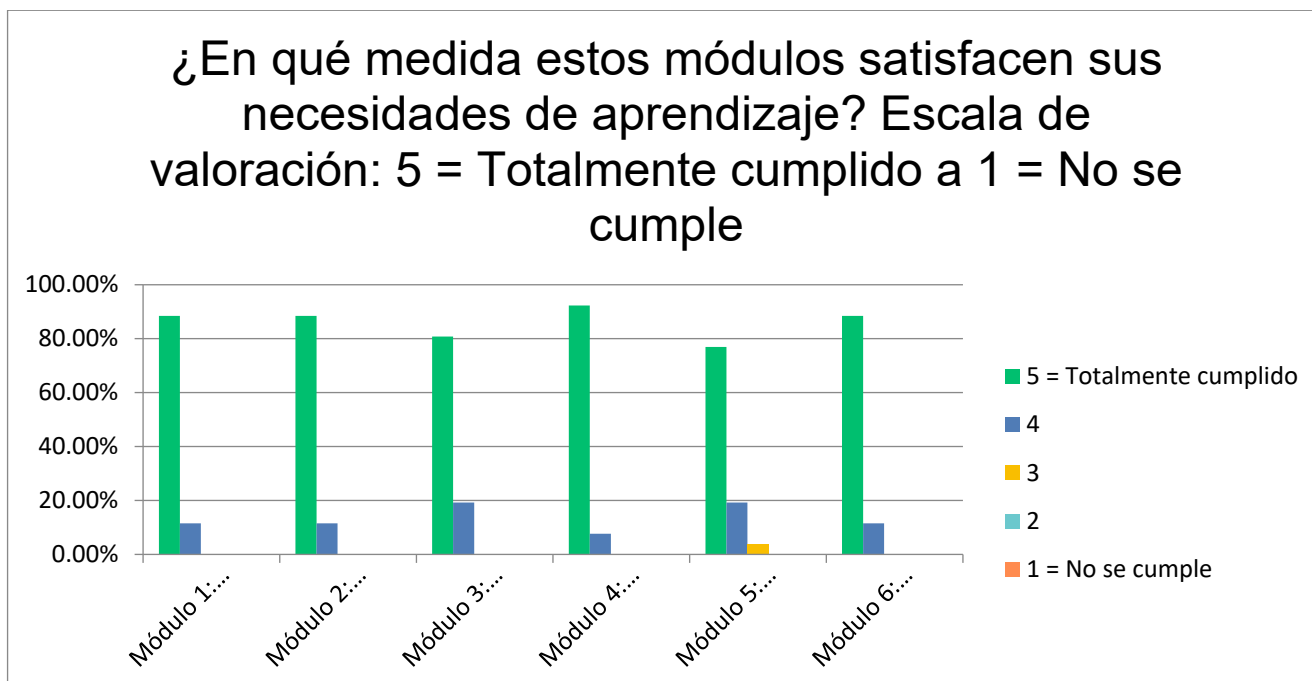


Figura 16: Grado en que las sesiones de formación satisfacen las necesidades de aprendizaje

Descripción completa de las etiquetas de los módulos del curso:

- Módulo 1: Descripción general de los sitios contaminados con petróleo

- Módulo 2: Propiedades y destino del petróleo en el medio ambiente
- Módulo 3: Introducción a la remediación
- Módulo 4: Muestreo, Planificación y Evaluación Preliminar del Sitio
- Módulo 5: Descripción general del equipo y técnicas analíticas
- Módulo 6: Realización de evaluaciones detalladas del sitio

Se pidió a los participantes que calificaran el grado en que su conocimiento de los temas cambió como resultado de la capacitación. El ochenta y ocho por ciento indicó que adquirió nuevos conocimientos significativos sobre los temas y el 12% indicó que obtuvo algunos conocimientos nuevos sobre los temas. Nadie indicó que no aprendieran nada nuevo del taller. Véase la Figura 17 para ver la distribución completa de las respuestas.

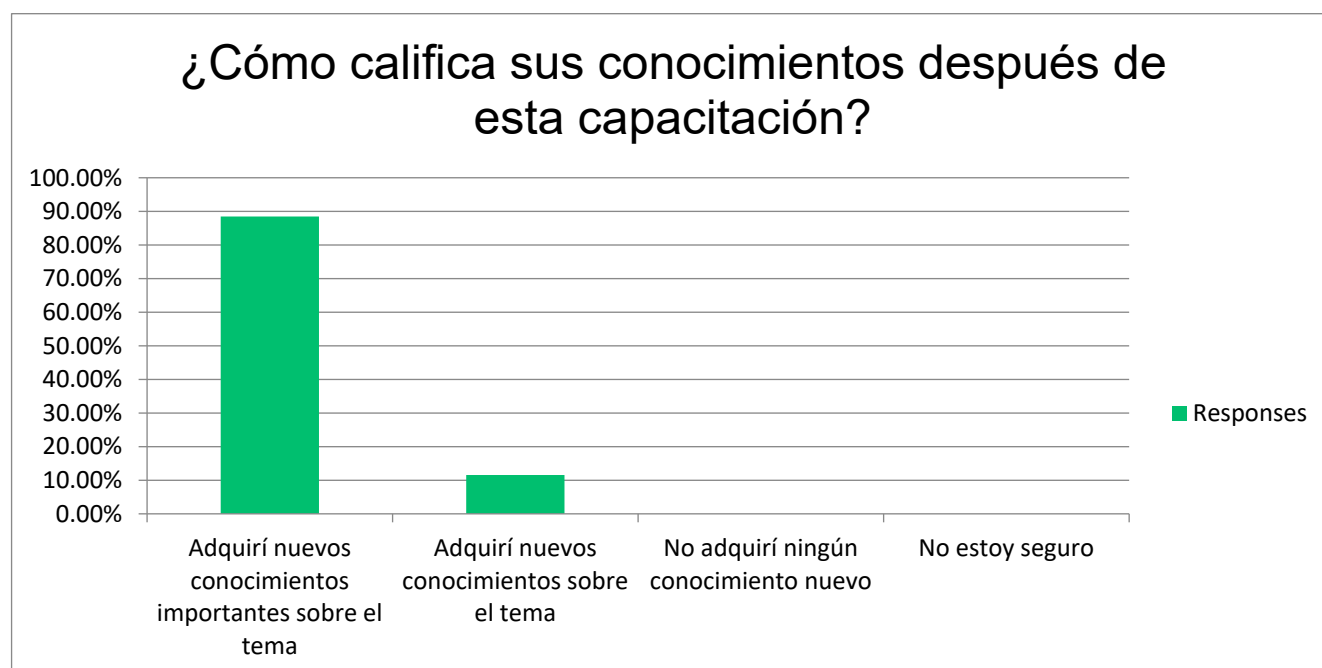


Figura 17: Grado de cambio de conocimientos resultante de la formación

Se pidió a los participantes que calificaran la calidad general de la capacitación. El ochenta y cinco por ciento indicó que la capacitación fue excelente, mientras que el 12% indicó que fue altamente satisfactoria. El cuatro por ciento indicó que era satisfactorio. Nadie lo calificó como malo o que requería mejoras. Véase la Figura 18 para ver la distribución completa de las respuestas.

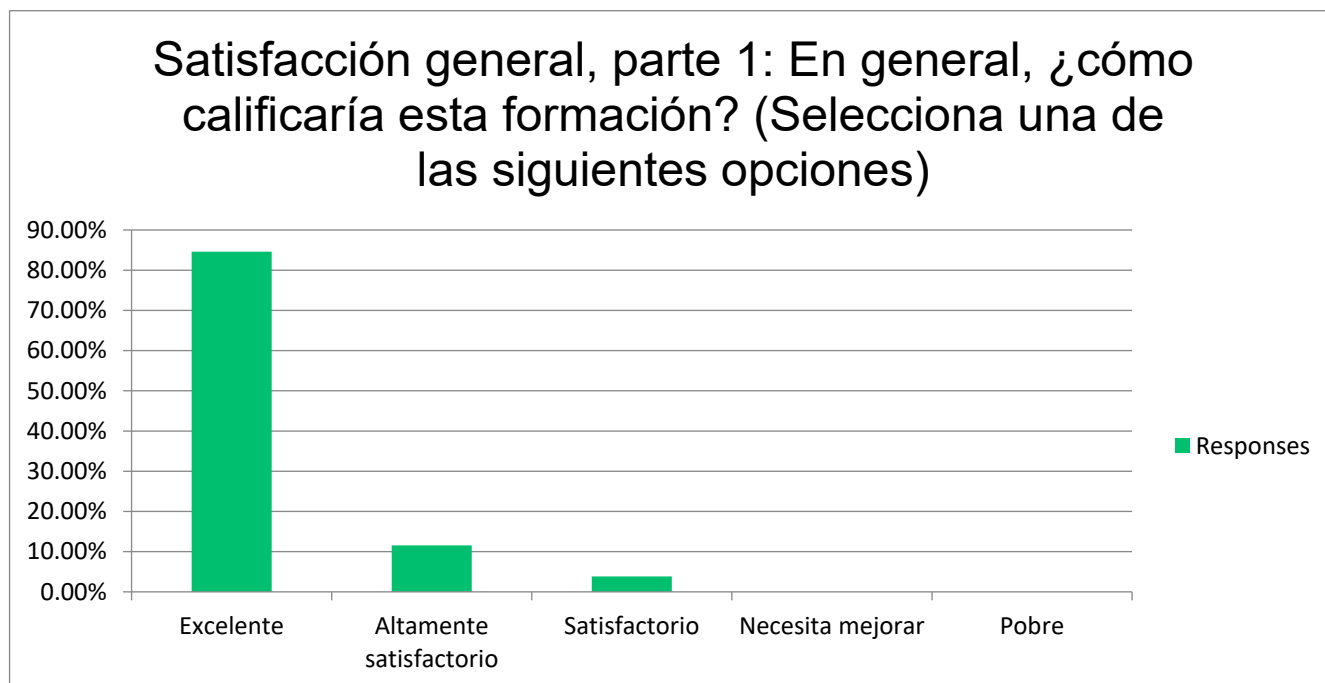


Figura 18: Índice de satisfacción global de la formación

Se pidió a los participantes que indicaran cómo podían aplicar los conocimientos recibidos en la formación. La respuesta principal, con un 58%, fue "Compartir materiales del taller con otros colegas". Las respuestas peor calificadas, ambas con un 38%, fueron "Desarrolle un plan de acción para clasificar y priorizar las evaluaciones de los sitios contaminados con petróleo dentro de su corporación regional" y "Otros: por favor escriba". Las respuestas por escrito más destacadas incluyen el monitoreo de las empresas involucradas en el trabajo de remediación, la generación de instrumentos de planificación a nivel nacional para abordar emergencias de contaminación y el diseño de protocolos técnicos para evaluar los sitios contaminados. Véase la Figura 19 para ver la distribución completa de las respuestas.

¿De qué manera podrá aplicar los conocimientos recibidos de esta capacitación?

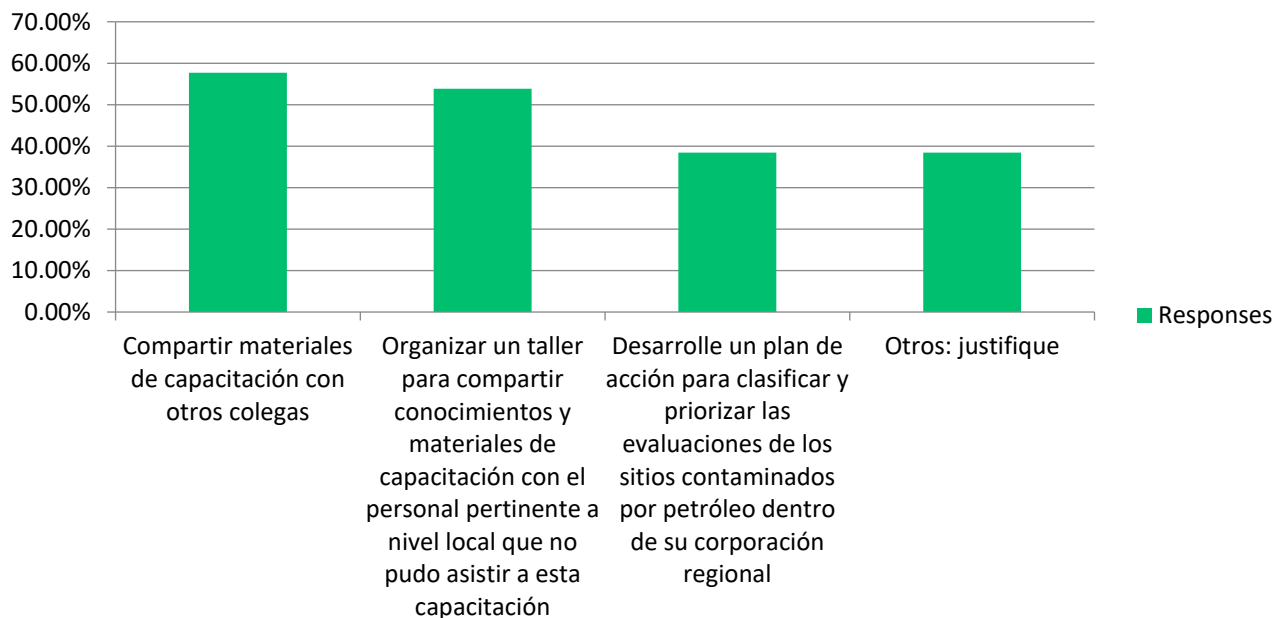


Figura 19: Formas en que se pueden aplicar los conocimientos de la formación



Anexo VI: Resumen de preguntas y respuestas

Se invitó a los participantes a hacer preguntas al equipo de capacitación durante todo el taller. Además de las discusiones en vivo, los participantes tuvieron acceso a una lista compartida de "preguntas y respuestas" en línea, donde podían plantear preguntas y recibir respuestas del equipo de capacitación durante y después del taller. Consulte la tabla a continuación para ver la lista de preguntas y respuestas en el tema correspondiente del curso.

Nombre del participante	Nombre del presentador	Pregunta	Respuesta
Módulo 1: Descripción general de los sitios contaminados con petróleo			
William Castañeda	Matt y Geraint	De acuerdo con la experiencia y los casos de éxito, ¿qué métodos y/o técnicas son más eficaces para la delimitación y el diagnóstico de los sitios contaminados?	Cada sitio requeriría una evaluación de las técnicas individuales: algunos puntos a considerar serían los objetivos de la investigación, la fase de la investigación, las matrices que se muestrean, los contaminantes de interés, el acceso, la restricción y el presupuesto. Por ejemplo, la perforación manual es rápida y barata, pero la profundidad de la investigación es limitada y depende del tipo de suelo (obstrucciones por guijarros y cantos rodados). La posible heterogeneidad de la distribución de los contaminantes debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar la estrategia de muestreo, ya que influirá en la selección de los lugares de muestreo y en el número de muestras recogidas. Cuanto más sensibles sean los receptores o mayor sea el peligro, mayor será el grado de confianza requerido en el resultado de la evaluación del riesgo y la posterior gestión del riesgo. En tales casos, debe seleccionarse un mayor número de lugares y muestras de muestreo. Otros factores, como la delimitación precisa de una zona de contaminación, también requieren un muestreo más intensivo.

<p>Ferney Córdoba y Amanda Yanneth Herrera</p>	<p>Matt y Geraint</p>	<p>Para un caso específico: En la jurisdicción de CORPOBOYACÁ, existe una problemática por la contaminación de un cuerpo de agua léntico (humedal), en el cual, debido a actividades de hace 30 o 40 años, se disponía de agua industrial y al mismo tiempo existía una tubería para el transporte de crudo que atravesaba todo el humedal.</p> <p>En el cuerpo de agua, hay zonas donde todavía hay presencia de hidrocarburos, lo que históricamente se debió a las operaciones de las empresas que estaban presentes en ese momento (hace 30 o 40 años).</p> <p>Como resultado de esto, el fondo del cuerpo léntico tiene la presencia de hidrocarburos y sedimentos se han depositado en el fondo a lo largo del tiempo. Asimismo, se generó un ecosistema con todos los elementos allí presentes.</p> <p>En la actualidad, ya no hay vertido de aguas residuales industriales en este cuerpo de agua, pero sí hay aguas residuales domésticas procedentes de los asentamientos presentes en la zona de humedales.</p>	<p>La Técnica de Evaluación de la Limpieza de la Costa (SCAT, por sus siglas en inglés) es un método sistemático para inspeccionar un área afectada después de un derrame de petróleo. La metodología SCAT se desarrolló durante la respuesta al derrame de petróleo del Exxon Valdez en 1989 y desde entonces se ha aplicado y perfeccionado. Se trata de una técnica viable y práctica que maximiza la recuperación de los humedales afectados por los hidrocarburos, al tiempo que minimiza el riesgo de un mayor deterioro ecológico debido a los esfuerzos de remediación. Desde sus inicios, el enfoque SCAT se ha utilizado en muchas descargas, de diversas maneras, y ha sido modificado por los equipos SCAT para responder a una serie de condiciones específicas de descarga. Este enfoque podría aplicarse en el contexto colombiano, dependiendo de las circunstancias particulares.</p> <p>El programa SCAT incluye estudios de evaluación sobre el terreno, gestión de datos y componentes de aplicación de datos como parte de la organización de gestión de descargas. Los equipos de inspección de campo utilizan terminología específica y estándar para describir y definir las condiciones costeras de contaminación por hidrocarburos. Sin embargo, el proceso SCAT en sí mismo es flexible, y las actividades de evaluación están diseñadas para adaptarse a las condiciones específicas del alta.</p> <p>Los estudios SCAT se basan en varios principios fundamentales. Entre ellas se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una evaluación sistemática de todas las costas de la zona afectada. • División de la línea costera en unidades geográficas homogéneas o "segmentos"
--	-----------------------	--	--

		<p>Nos gustaría saber si existe algún proceso para la remoción de los hidrocarburos presentes y técnicas de remediación del cuerpo de agua, que incluya la recuperación del fondo y el espejo de agua, sin afectar el ecosistema actual.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El uso de un conjunto estándar de términos y definiciones para la documentación • Un equipo de inspección objetivo y capacitado • El suministro oportuno de datos e información para la toma de decisiones y la planificación • El SCAT puede combinarse con métodos más tradicionales de evaluación de la contaminación que implican el uso de investigaciones intrusivas y análisis de laboratorio. • Más información en este enlace https://doi.org/10.1144/qjegh2019-018
<p>Módulo 2: Propiedades y destino del petróleo en el medio ambiente</p>			
<p>William Castañeda</p>	<p>Leonardo</p>	<p>En todos los casos, ¿se recomienda el uso de piezómetros o pozos de monitoreo de aguas subterráneas?</p>	<p>En una fase de identificación preliminar no es obligatorio. Si se han agotado las fases de evaluación con técnicas geofísicas, si es necesario instalar piezómetros, y ojalá a varias profundidades, es decir, se requiere una buena caracterización hidrogeológica, para determinar la profundidad requerida de los piezómetros. En primer lugar, es necesario definir las direcciones de flujo para ampliar la red de control de la calidad del agua. Cabe destacar que los piezómetros con diámetros inferiores a 2 pulgadas solo se utilizarán para medir niveles o colocar pequeñas sondas. Se requieren piezómetros de más de 3 pulgadas de diámetro para poder colocar sondas y bombas en caso de que se requiera muestreo de agua. Los piezómetros siempre deben purgarse.</p>

Estudio de caso: Contexto ambiental y responsabilidades

William Castañeda	Astrid y Ernesto	En cuanto a la Ley de Pasivos Ambientales, ¿qué aspectos se consideran para la priorización de sitios? ii) ¿A qué se refieren los niveles de detalle? iii) Si la autoridad ambiental determina que el pasivo tiene responsables (L.A.), ¿quién realiza la caracterización ambiental inicial? iv) El comité nacional tiene delegados de las regiones, comunidades, etc.	i) De acuerdo a los estudios realizados por el Ministerio de Ambiente, los aspectos a considerar serán con base en la amenaza del riesgo (criterios de acuerdo a las características del pasivo) y la vulnerabilidad del receptor (medio biótico, abiótico y socioeconómico, criterios de acuerdo a las características del ambiente), la priorización hará parte del proceso regulatorio de la Ley 2327 de 2023. ii) Los niveles de detalle de la investigación en relación con el emplazamiento sospechoso, los niveles preliminares y los niveles detallados, no deben confundirse con el nivel de riesgo. iii) Las acciones iniciales serán en el marco de la gestión de las autoridades ambientales, sin embargo exista un responsable determinado, los gastos asociados a la investigación se trasladan al responsable determinado, esto estará sujeto a reglamentación de la Ley 2327 de 2023. iv) el Comité Nacional para la Gestión de Pasivos Ambientales contará con la participación de las comunidades, según lo establecido en el numeral 3 del artículo 4 de la Ley 2327 de 2023.
-------------------	------------------	--	--

Módulo 3: Introducción a la limpieza y verificación del sitio

William Castañeda	Mate	¿Qué factores se deben tener en cuenta durante los trabajos de limpieza o remediación para evitar la generación de lixiviados o la migración de subproductos?	El diseño y la construcción de bioceldas deben evitar la escorrentía de lixiviados y el impacto en las aguas superficiales y subterráneas circundantes. Se pueden combinar diferentes técnicas de remediación, por ejemplo, la extracción de vapor con disolventes (EVS) se utilizaría junto con la biopulverización. La técnica de pulverización de aire requiere un control estricto de la migración de gases del suelo para evitar el descontrol de gases. La desorción térmica requiere un estricto control de las emisiones.
-------------------	------	---	---