

Protección del recurso hídrico frente al nuevo paradigma de la industria hidrocarburífera: estrategias preventivas y de remediación de acuíferos someros en la provincia del Neuquén

Por *Ioana Gianoglio, Franco Bono Rapp, Nadia Curetti, José Luis Stempelet, Camila Jauge y Nasib Neme*
(Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén)

Experiencias y estrategias de adaptación llevadas adelante por la subsecretaría de recursos hídricos de la provincia del Neuquén en lo referente a la protección de la integridad de los acuíferos someros.

Este trabajo fue seleccionado del 5º Congreso Latinoamericano y 7º Nacional de Seguridad, Salud Ocupacional y Ambiente en la industria del Petróleo y del Gas del IAPG, 2023.

La industria hidrocarburífera en la Provincia del Neuquén nació a principios del siglo pasado, con el descubrimiento de recursos hidrocarburíferos en el centro de la Provincia en el año 1904 (Blanco et al. 2018). En el año 1918 se construye el Pozo N°1 en inmediaciones de la localidad de Plaza Huincol y da origen a una actividad, profundamente arraigada con la identidad provincial, que se extiende hasta nuestros días.

Con el desarrollo de la industria hidrocarburífera en el territorio provincial, principalmente con la incorporación de explotaciones no convencionales en “Vaca Muerta”, el rol del estado provincial como organismo contralor en materia ambiental y de preservación de los recursos hídricos debió adaptarse a los nuevos desafíos que plantea esta industria.

Durante la década de los ‘90, la provincia reglamenta la Ley 899/90 estableciendo el “código de aguas”, ley marco para la preservación, ordenamiento y aprovechamiento de los recursos hídricos dentro del territorio. Dicha ley establece las atribuciones y obligaciones de una Autoridad de Aplicación (AA) en la materia.

Sin bien la realidad de la adopción de medidas de administración y cuidado de los recursos hídricos en la provincia inició con antelación al código de aguas; la sanción de la mencionada ley dió un marco normativo específico, mayor peso administrativo y una mayor relevancia al recurso que desembocó en la concreción de organismos de control especializados. Estos organismos desarrollaron una tarea de suma importancia, constancia y relevancia para las futuras políticas de gestión a futuro.

En este contexto, y con la creación de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén (SsRH) a finales del año 2015, los recursos disponibles, el aumento del equipo técnico profesional, y las posibilidades de control y participación crecieron de manera sostenida.

En el contexto actual, el principal desafío que afronta la SsRH es el cumplimiento de sus obligaciones y responsabilidades en el marco de la responsabilidad social, la integridad del recurso hídrico y su aprovechamiento eficiente y sostenido, así como el acompañamiento del desarrollo productivo de la provincia.

En pos de avanzar con estos objetivos, dentro de la SsRH se crearon organismos de control específicos para responder a las demandas derivadas de la explotación y desarrollo hidrocarburífero en la provincia. Actualmen-

te, la Dirección Provincial de Evaluación y Fiscalización Hídrica de la Actividad Hidrocarburífera (DPEFHAH).

Dentro de la DPEFHAH se gestionan, entre otras cuestiones, las tramitaciones concernientes a la protección del recurso hídrico superficial (permanentes y temporarios), así como los acuíferos (potenciales o permanentes, profundos o someros). Éste organismo es quien agrupa las distintas partes que atañen a la aplicación del código de aguas en todas las etapas de la industria hidrocarburífera (upstream, midstream, downstream, desarrollo, exploración, comercialización, etcétera; así como las industrias asociadas a la misma)

Es inherente al desarrollo de la producción hidrocarburífera la ocurrencia de incidentes ambientales, derrames, roturas de ductos, blowout, etcétera; que conllevan el abordaje de medidas reactivas y preventivas para minimizar lo máximo posible tanto la duración como la magnitud del impacto sobre el recurso hídrico. Para abordar esta problemática, dentro de la DPEFHAH, se creó la Dirección de Saneamiento y Monitoreo Ambiental (DSyMA) en el 2018.

En este contexto, las funciones de la DSyMA son el abordaje, control y remediación de los incidentes ambientales (IAA) existentes, la prevención y temprana detección de nuevos IAA a través del control de vertidos de efluentes industriales tratados, la realización de inspecciones periódicas a distintas instalaciones y el establecimiento de Redes de Monitoreo Preventivas (RMP). A los fines de continuar con el planteamiento del trabajo, se hará foco en la gestión de los IAA y el establecimiento de medidas preventivas a través de RMP.

Actualmente, en la DSyMA de la SsRH, cuenta con cinco profesionales, con distintas especialidades, conformando un equipo multidisciplinario y con una antigüedad en la administración pública entre 8 y 2 años. (Figura 1).

A la fecha, se encuentran en gestión activa un total de 172 IAA, cada uno de los cuales se tramita bajo un expediente individual, y refiere a una afectación directa por presencia detectable de Hidrocarburos (HC) disueltos o no, y otros Compuestos de Interés Disueltos (CDI) en acuíferos someros, suelo inmediatamente por encima de éste o en cursos de agua permanentes o temporarios. En tanto, se encuentran implementadas o en proceso de implementación un total de 35 RMP destinadas al control y la detección temprana de contaminación al recurso hídrico subterráneo (Figura 2).

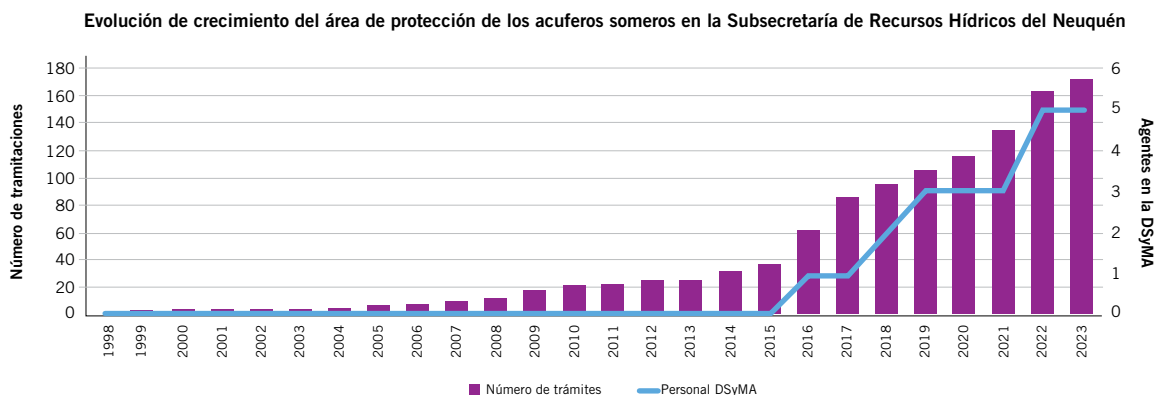


Figura 1. Evolución de crecimiento de la Dirección de Saneamiento y Monitoreo Ambiental en las últimas dos décadas.

Número de nuevos trámites al año en la DSyMA de la SsRH

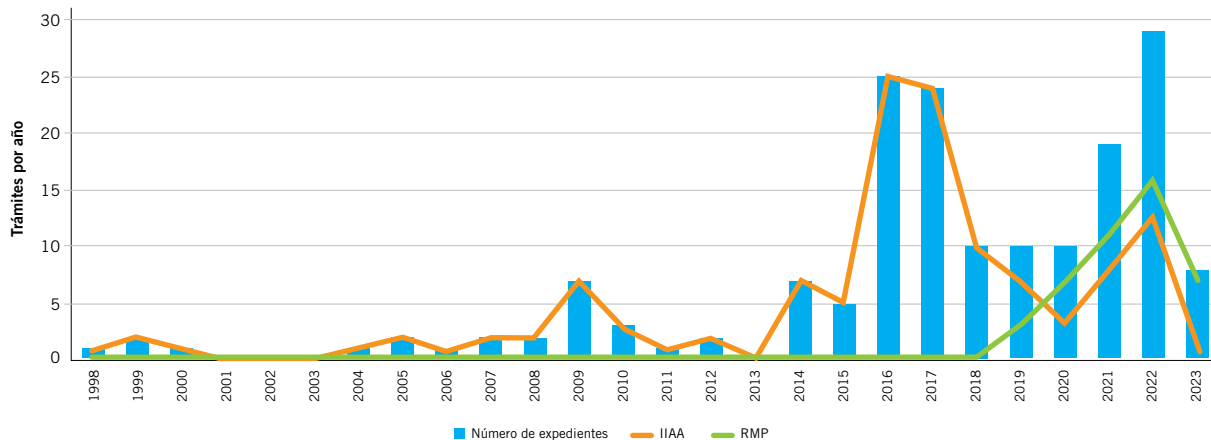


Figura 2. Evolución de los trámites discriminados en reactivos o preventivos en los últimos años.

De reacción a prevención

Con la tecnificación de la industria, el creciente peso de la escasez hídrica, la tecnificación y profesionalización de los recursos humanos y el peso en la preservación ambiental que demanda la sociedad; desembocó en la necesidad de adaptar las políticas de gestión y las estrategias de control viran constantemente de un foco reactivo -destinado a la óptima remediación del recurso afectado- a un foco preventivo -abocado a detectar tempranamente cualquier afectación en la fuente-.

En este contexto, desde finales del 2019 se comenzó a exigir la instalación de RMP en todas las instalaciones hidrocarburíferas permanentes -o relacionadas directamente con dicha actividad que, ya sea por su ubicación, características o envergadura, pudiesen constituir un riesgo de afectación al recurso hídrico.

Es importante mencionar que, con esta estrategia, no solamente se pretende abarcar no solo a las empresas operadoras, sino también a las prestadoras de servicios, tratadoras de residuos peligrosos, Centros de Disposición Final de residuos, proveedoras de insumos (potencialmente peligrosos), lavaderos industriales asociados a la industria, Estaciones de Servicios, etcétera.

La integración como estrategia de gestión

La industria hidrocarburífera, como factor crucial para el desarrollo provincial y nacional (Frezza, 2019), y con una participación social marcada (Acacio, 2023), involucra a diversas autoridades de aplicación, actores sociales, un marco normativo amplio y tiempos de respuestas acotados que debe integrarse en el abordaje de la gestión.

Ésta realidad obliga a tener una visión holística, una gestión vertical y horizontal de las acciones a implementar. Con el objetivo de integrar las estrategias de acción, involucrando no solo a los actores gubernamentales con distintas incumbencias, sino también a organismos descentralizados y a las propias empresas involucradas, esta Autoridad de Aplicación prioriza establecer mesas de trabajo entre los distintos organismos gubernamentales y no gubernamentales, así como de los propios interesados.

Diversas experiencias de integración junto con los actores sociales anteriormente nombrados, en el abordaje de las problemáticas planteadas han permitido la implementación exitosa, asertiva y duradera de nuevas estrategias de contención y remediación. Esta estrategia contó con especial éxito en tierras de dominio privado y/o uso exclusivo de comunidades locales, donde la participación del superficiario durante la definición de las estrategias a abordar, resultó exitosa.

A la fecha, ésta AA participa en mesas de trabajo permanentes interprovinciales (emergencias, comités de cuencas, políticas hídricas nacionales, entre otras) y periódicas con empresas y actores sociales (reuniones regulares de trabajo con operadoras y otras AA, reuniones con las comunidades, participación en foros de difusión, etcétera).

Sin embargo, el rol indelegable de las AA como organismos de control y de definición de los lineamientos de trabajo y requisitos a cumplir en favor del cumplimiento del marco normativo que las crea, no siempre permite la pluralidad de acciones y/o la implementación de mesas de trabajo en estos procesos.

La necesidad de Adaptación

La complejización y crecimiento de la industria hidrocarburífera, y el aumento en la presión directa o indirecta en los recursos hídricos, obligó a la SsRH a dar una rápida respuesta de acción.

En este contexto, y atendiendo a las políticas antedichas, es que se planteó la incorporación acelerada de distintas ingenierías de remediación, apuntadas a las circunstancias y necesidades específicas.

El proceso de adopción de una nueva tecnología, en este caso una nueva ingeniería de remediación a implementar requiere una curva de aprendizaje, una transferencia de conocimiento y recursos y la realización de pruebas, retroalimentaciones y procedimientos de verificación. La incorporación temprana de los distintos actores involucrados directa o indirectamente, permitió la optimización del proceso de incorporación de las tecnologías, la identificación de hitos de avance acordados en

Principales ingenierías de remediación aplicadas en acuíferos de la provincia del Neuquén en la actualidad

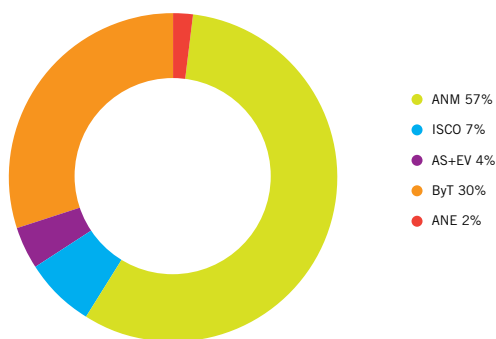


Figura 3. Distribución actual de la predominancia de cada una de las ingenierías de remediación establecidas actualmente en remediación de acuíferos de la Provincia del Neuquén.

conjunto y las vías de retroalimentación a implementar.

A la fecha, las principales ingenierías de remediación aplicadas actualmente en el saneamiento de los acuíferos en el territorio provincial, son: Atenuación Natural Monitoreada (ANM), Atenuación Natural Estimulada (ANE), Barrido por aire + Extracción de vapores (AS+SEV), Oxidación Química *in situ* (ISCO) y Bombeo y Tratamiento (ByT). Ésta última, agrupa tanto a aquellas técnicas que implican el tratamiento *in situ* como el tratamiento o disposición *ex situ*. La predominancia actual de cada una de las técnicas de ingeniería de remediación aplicadas a la fecha en los acuíferos de la provincia del Neuquén, se presentan en la Figura 3.

Cabe aclarar que, a los fines de este trabajo, sólo se abordan aquellas experiencias tendientes a la remediación de los acuíferos afectados y/o el suelo inmediatamente por encima del mismo, sin considerar otras estrategias de acción acostumbradas como el retiro del material no saturado afectado con hidrocarburos y/o la depletación total del acuífero -en caso de tratarse de un acuífero antrópico de muy pequeñas dimensiones.

En este trabajo se desarrollarán brevemente las experiencias y los procesos de incorporación de nuevas técnicas de remediación implementadas actualmente en la provincia del Neuquén en cuanto a la remediación de acuíferos afectados por hidrocarburos, las medidas tendientes a la prevención y temprana detección de nuevos incidentes ambientales, y los principales procedimientos de control y gestión que aborda este organismo durante las contenciones de derrames u otras contingencias con potenciales afectaciones al recurso hídrico.

Experiencias de Técnicas de remediación

Las tramitaciones de IIAA surgen de diversas fuentes, siendo en su mayoría a partir de la presentación de cada empresa responsable de información referente a un evento o hallazgo que indique la afectación o potencial afectación del recurso hídrico; existen otros casos en los que la información del incidente se deriva desde otra AA, desde denuncias o consultas realizadas por terceras partes, o esta AA actúa de oficio ante eventos difundidos masivamente por los medios de comunicación.

A continuación, se presentan casos de estudio relacionados con diferentes abordajes y/o técnicas de reme-

diación de acuerdo con las características del incidente. La gestión de los IIAA por parte de esta AA, fomenta la presentación por parte de las empresas involucradas de técnicas de remediación superadoras, con el objetivo de avanzar en la remediación de los acuíferos afectados, como así también, para incorporar experiencias que suman a la curva de aprendizaje para su aplicación más eficiente. Las mismas son discutidas en mesas de trabajo entre las partes involucradas, y evaluadas por esta AA para su aplicación.

A continuación, se presentan casos representativos de cómo aborda la SsRH la dinámica de trabajo, las condicionantes y complicaciones que atraviesa y los resultados alcanzados. Se priorizará ejemplificar el primer caso de cada tipo y/o el de mayor relevancia de los últimos años para dar un panorama más completo al lector.

1. Atenuación Natural Monitoreada

La “Atenuación natural Monitorizada o Monitoreada” (AMN), es definido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 1994-2017) como “los procesos físicos, químicos o biológicos, que, bajo condiciones favorables, actúan sin la intervención humana para reducir la masa, toxicidad, movilidad, volumen o concentración de contaminantes en el suelo o agua”.

Estos procesos *in situ* incluyen biodegradación, dispersión, dilución, sorción, precipitación, volatilización, estabilización química o biológica, transformación o destrucción de los contaminantes. La ANM es una metodología de bajo riesgo, poca intervención del entorno, y que permite un monitoreo ambiental a mediano y largo plazo de la evolución de los CDI.

En este caso de estudio, el IIAA surgió a partir de una ex fosa de quema de un pozo de producción que con el crecimiento de la ciudad quedó ubicado dentro de un barrio privado. Si bien el pozo contaba con certificado de abandono definitivo expedido por la AA correspondiente, las instalaciones de superficie no fueron retiradas, permaneciendo como un elemento decorativo en la urbanización.

Durante un muestreo de verificación -dos años posteriores al abandono-, se encontró que existía un remanente de hidrocarburos en el suelo, que con el riego para la parquización del área, y de los usos en sus inmediaciones, podría provocar una eventual afectación al recurso hídrico subterráneo y la salud de los usuarios.

En este caso se formó una mesa de trabajo con la empresa, el municipio local, la comisión vecinal del barrio y ésta AA con el objetivo de definir las acciones a tomar. Se removió el suelo afectado hasta alcanzar el nivel freático, y se instalaron 3 pozos para el monitoreo periódico del agua subterránea.

La empresa presentó una propuesta para la implementación de ANM, considerando que se garantizaban dos componentes fundamentales para la AMN, como el control de la fuente de contaminación y el programa de monitoreo; y las características del incidente y su entorno (viviendas y esparcimiento deportivo). En este marco, se dio curso a una remediación de este tipo, iniciando con el retiro de todo el material contaminado no saturado, y posteriormente con monitoreos periódicos

(trimestrales a lo largo del año). Luego de un año, no se registraron más CDI en el acuífero, y se continuó el monitoreo hasta cumplir con las condiciones para solicitar la baja del IIAA, correspondiente a alcanzar un periodo de 2 años sin detección de compuestos de interés.

Habiéndose garantizado la no detección de CDI inicialmente -luego de casi cinco años de monitoreo-, y posteriormente monitoreando la no detección de HTP, BTEX ni PAH por dos ciclos hidrológicos completos, se cuenta con argumentos técnicos para que esta AA se expida para finalizar la remediación del acuífero en el sitio.

2. Atenuación natural Estimulada

Esta técnica consiste en la utilización de las propias condiciones del ambiente -principalmente en lo concerniente a la biodegradación- identificando y brindando las condiciones óptimas para favorecer y acelerar el proceso deseado. Puntualmente, para el caso de utilización en remediación de acuíferos afectados con hidrocarburos, se busca conocer, analizar y evaluar en su hábitat a las comunidades de microorganismos (principalmente bacterias y hongos) presentes en ese medio que degradan más eficientemente los CDI objetivos.

Por su complejidad técnica, las características de estudio necesarias y la demanda de información requerida, no siempre es aplicable o sostenible en el tiempo. En el caso de estudio presentado, se aplicó la tecnología en un IIAA que, por su ubicación, sensibilidad y antecedentes, no eran factibles otras alternativas.

El caso de estudio se inició en el 2008, en una instalación central o planta (perteneciente al sector *downstream*) de una de las mayores empresas que opera en la provincia. En la planta, existen distintas plumas de afectación, con orígenes y tiempos de permanencia disímiles, y con tratamientos de remediación también variados.

En el sitio en cuestión, anteriormente se aplicaron diferentes técnicas de remediación. Desde el año 2017 se realizaba el monitoreo periódico de la pluma de FLNA e hidrocarburos disueltos, evidenciando que la misma permanecía estable. En este contexto, se encontraba en un proceso de ANM.

Debido a la necesidad de aumentar la eficiencia de la técnica de remediación, se concibió una mesa de trabajo compuesta por la empresa interesada, un grupo de investigación científico nacional, representantes del municipio local y de organismos de control ambiental de la Provincia.

Se planteó la posibilidad de realizar un estudio microbiológico del lugar y la manera de acentuar aquellos grupos que a través de una discriminación genética diferenciar, caracterizar los grupos genéticos, los grupos de microorganismos disponibles en el área y priorizar aquellos que mejor resultado ofrecen para la degradación final de esos compuestos a través de la fertilización o del aporte de nutrientes.

En base a este estudio, se identificaron y caracterizaron los grupos de microorganismos presentes en el sitio con mayor capacidad de degradación. Se analizó asimismo las condiciones ambientales en el sitio (limitantes químicas, fisicoquímicas y biológicas) que limitaban el crecimiento y proliferación de estos grupos, y se planteó

cuál sería un escenario óptimo para dichos organismos.

Se avanzó, con el acuerdo de las partes, con un ensayo piloto, consistente en la implementación de una barrera o tótems de fertilización pasivos para estos microorganismos, aguas arriba del área con mayor concentración de CDI. Esta barrera permite a su vez la adición de reactivos que favorecen los procesos de biodegradación anaerobia de CDI, como aceptores de electrones (sulfato, nitrato) en forma sólida directamente en perforaciones sistemáticamente distribuidas; y el monitoreo periódico del acuífero.

A la fecha, los resultados de la técnica se encuentran en evaluación luego de casi tres años de su implementación. Una vez finalice el ensayo piloto, se evaluarán los resultados y se compararán con los esperados con otras ingenierías de remediación ya instaladas a los fines de optar por alternativas costo/eficiencia para futuras situaciones similares.

3. Bombeo y Tratamiento

Esta técnica considera la extracción de contaminantes presentes en el subsuelo mediante diferentes técnicas y su posterior tratamiento para su reinyección al sitio -una vez tratada- o su disposición final en una tratadora de residuos peligrosos. Consiste principalmente en retirar mediante bombeo el medio afectado, favoreciendo la degradación aeróbica natural en el medio no saturado, e impidiendo la movilidad de los CDI en el acuífero (EPA, 1994-2017).

Dependiendo de las características del incidente, la extracción puede llevarse a cabo por diferentes técnicas: mediante la extracción con bombas en equipos móviles o instalaciones fijas, tanto de FLNA, como de agua con CDI disueltos y gases de la zona no saturada del suelo.

Existen distintos niveles y alcances de los diseños de las redes de bombeo, tanto en tipo de bombeo, medio a extraer y objetivos del mismo. Se puede plantear la técnica tanto para la depletación del acuífero, para favorecer la concentración en un sitio o para "barrer" el medio líquido o gaseoso en un sentido deseado. Los casos planteados en este apartado, hacen referencia a la extracción del medio contaminado para su posterior tratamiento en superficie.

El caso de estudio a presentar hace referencia a un IIAA originado a partir de una ex-fosa de quema de un mechero operado principalmente durante las décadas del '90 y principio de los años 2000, en una instalación de crucial importancia para la industria del gas natural en la provincia. En el sitio, se generó con el correr de los años y con las actividades circundantes, un acuífero colgado, de una potencia no mayor a los 7 metros de espesor el cual se encuentra afectado tanto por FLNA como por CDI.

El área afectada se ubica en el área de influencia de una de las principales comunidades pueblos originarios de la región, siendo esto un factor decisivo a la hora de optar por una ingeniería de remediación asertiva y conservadora.

Anteriormente, en el sitio se implementó durante muchos años un sistema de ANM con frecuencias de muestreo y monitoreo periódicas. La técnica no mos-

traba resultados satisfactorios. En un periodo de cuatro años se realizaron varias campañas de toma de muestras de suelo e instalación de pozos de monitores para la evaluación ambiental del sitio, y se identificó que el sitio presenta un acuífero al parecer de origen antrópico con presencia de FLNA de corte liviano (>C6-C12), presencia de hidrocarburos disueltos y afectación en la columna de suelo, coincidentemente con el límite del acuífero afectado.

Se coordinó una mesa de trabajo con la empresa involucrada, de la consultora ambiental contratada por la empresa, de representantes de las comunidades locales y del organismo ambiental provincial; donde se abordaron las medidas a implementar y las reservas o puntos de vista de cada organismo.

La ingeniería de remediación aplicada consistió en la instalación de al menos 30 pozos de bombeo duales (tanto de líquidos como de aire de la zona no saturada -ZNS- originada de la depletación del acuífero y la ya existente). Este sistema combinado permite la extracción de la FLNA y el agua con HC disueltos; como así también exponer zonas afectadas dentro de la zona saturada a partir de la depresión del acuífero favoreciendo la captación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y procesos de biodegradación.

Por un lado, mediante el sistema de ByT los fluidos son bombeados a la superficie desde pozos de remediación, que separa mediante piletas coalescentes la FLNA y agua con CDI. El producto recuperado (FLNA) es devuelto al operador quien lo incorpora a su sistema productivo, mientras que el agua con CDI recuperada es enviada fuera del sistema para su disposición final. Por otro lado, los gases ocluidos en la ZNS, son extraídos por aspiración por vacío dentro de los mismos pozos, que fuerza la volatilización de los HC y conducidos al módulo de remediación donde son tratados por oxidación catalítica.

Este sistema se encuentra actualmente en funcionamiento después de un año y medio de operación. Se realiza un control semanal en conjunto por todas las partes, siendo ampliamente aceptado por los interesados. Se espera que, una vez alcanzada la máxima eficiencia técnica del sistema, todas las instalaciones puedan ser retiradas del sitio y la recomposición del paisaje sea total.

4. Soil Extraction Vapor (SVE) + Air Sparring (AS))

Esta técnica, consistente en un proceso dual y paralelo donde mediante pozos de inyección (PI) se incorpora aire natural presurizado dentro de la zona saturada (ZS), y posteriormente se recuperan los vapores generados en la ZNS (EPA, 1994-2017). Con la adición de microburbujas y aire con mayor concentración de oxígeno en la ZS, se favorece no solo la oxidación de los COV y otros CDI, sino también la vaporización de los mismos desde la fase líquida. A su vez, la extracción de vapores de la ZNS permite la recaptura de esos vapores y su catalización en superficie, renovando en el proceso la capacidad de saturación de gases en la primera porción de la ZNS (que termina siendo un factor limitante en la tasa de volatilización de los CDI a la ZNS).

En este caso de estudio, el incidente se detectó durante el abandono de una planta de almacenamiento

y distribución de una empresa proveedora de insumos químicos para la industria hidrocarburífera. La planta se ubica en el ejido urbano de la segunda localidad de importancia en la provincia. A su vez, la planta se ubica en un predio arrendado, en lo que antiguamente era considerado una zona industrial, la cual ahora se encuentra casi totalmente urbanizada.

Inicialmente, la empresa realizó la extracción de los tanques soterrados -los cuales almacenaban compuestos solventes y otros HC específicos- y la caracterización del área. Durante dichas tareas se alumbró el acuífero freático en el área, dando intervención a esta AA. En este marco, desde la SsRH se solicitó a la empresa una propuesta de remediación a ser implementada.

Se solicitaron realizar estudios de caracterización de análisis de suelo y acuífero afectado (caracterización del medio saturado, ordenamiento del particulado, del movimiento del acuífero), de los compuestos a tratar y de la técnica a implementar propiamente dicha (para determinar un rango efectivo de acción de la inyección de aire en el medio y la recuperación de aire de vapores). Atendiendo a lo solicitado, la empresa en cuestión planteó un sistema dual de pozos inyectores de aire y pozos extractores de vapores

Debido a la complejidad del sitio, se convocó a la empresa, la consultora ambiental a cargo del proyecto y a las partes interesadas, y se acordaron los alcances espaciales y temporales de trabajo, los objetivos a alcanzar y los compromisos a asumir por los mismos en post de la viabilidad de la técnica de remediación.

El sistema funcionó exitosamente durante algo más de un año, alcanzando allí la máxima eficiencia técnica. A la fecha, aún continúa operando en stand by. Sin embargo, en caso de detectarse remanentes de CDI, se podrá plantear la reactivación momentánea del sistema o la implementación de otra técnica de abatimiento de HC puntual, debido a las bajas concentraciones de CDI esperadas.

5. In situ Chemical oxidation (ISCO)

La oxidación química se basa en la inyección de oxidantes para la transformación de contaminantes dañinos en otros de menor toxicidad, tanto en el suelo como en el agua subterránea in situ, es decir, sin necesidad de extraer o bombear el material afectado (EPA, 1994-2017). Este proceso se logra a través de la inyección en el acuífero de un oxidante junto a un medio de dispersión (normalmente una solución de peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio o persulfato de sodio en solución con agua dulce)

La idea detrás de la técnica es la inyección directa de un oxidante en un medio afectado con hidrocarburos, que, durante la disociación del agente oxidante, permita la ruptura y volatilización de las cadenas de hidrocarburos presentes en el acuífero, y su traspaso así al medio gaseoso y la salida del sistema en forma de gases.

Dicha técnica cuenta con una amplia difusión a lo largo del mundo y es ampliamente utilizada en distintos puntos de Argentina. Sin embargo, al tratarse de un proceso exotérmico y con potenciales formaciones de metabolitos producto de la degradación del oxidante y

el HC, debe ser cuidadosamente estudiada previo a su aplicación.

El presente caso de estudio hace referencia a un incidente originado hace más de diez años ubicado en las inmediaciones de un pozo petrolero en una zona donde se desarrolla actividad hidrocarburífera y agricultura, a menos de 450 metros de una vivienda particular y en cercanías del río Neuquén. A su vez, el sitio está ubicado en el área de influencia de una de las principales comunidades pueblos originarios de la región.

Este IIAA es uno de los más antiguos en trabajo dentro de la AA, y agrupa a varios incidentes aislados. A la fecha cuenta con más de 140 pozos de monitoreo (PM), de los cuales en las últimas campañas sólo uno presenta FLNA. Aproximadamente 40 de ellos son muestreados trimestralmente y la mitad de ellos presenta HC disueltos. Históricamente, el sitio se halló bajo una ANM como ingeniería de remediación. Debido a la sensibilidad ambiental y social, a la necesidad de mejorar la eficiencia en la remediación y a la progresión de avance del IIAA, desde la AA se solicitó a la empresa la presentación de una nueva ingeniería de remediación.

Atendiendo a esto, la empresa presentó una propuesta para aplicación de oxidación química como técnica de remediación en aquellos sectores donde restan remanentes de CDI. La propuesta completa involucró: un ensayo de bombeo para la obtención de parámetros hidráulicos; un ensayo de laboratorio con muestras de suelo y agua colectados en el sitio para la evaluación de los oxidantes a ser utilizados; y un ensayo de dilución puntual con un trazador, con el objetivo de evaluar la posible dispersión del oxidante en el medio.

La propuesta fue evaluada por la AA en una primera instancia, posteriormente fue readecuada y ampliada en conjunto con la empresa y la consultora especializada a cargo del desarrollo de la ingeniería de remediación, y por último fue presentada ante la comunidad local para su observación previo al inicio de las tareas. Esto permitió acordar las tareas de ensayos piloto en el área, y la concreción de las mismas.

Basados en estos estudios, se realizó un ensayo piloto en dos zonas de diferente permeabilidad, en el que se inyectó persulfato de sodio como oxidante mediante pozos de inyección, y se evaluó su efecto mediante el control periódico y análisis de CDI en pozos de monitoreo; con resultados positivos en términos de la reducción de CDI disueltos, como así también de la identificación de variables de control y monitoreo para una adecuada implementación de la tecnología.

El proceso de desarrollo e implementación de la prueba piloto llevó algo más de un año, siendo su aplicación coincidente con la pandemia de COVID 19, por lo que no se consideran los tiempos de acción representativos u óptimos. En función de los resultados obtenidos, se plantea reajustar la estrategia y extender la aplicación de la misma como tratamiento en el sitio y en otros IIAA.

Conclusiones

El nacimiento y crecimiento de la Dirección de Saneamiento y Monitoreo Ambiental de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén responde a una necesidad puntual de atender a la dinámica de un recurso que se prevé cada vez más escaso y necesario: el agua dulce en acuíferos someros.

La industria hidrocarburífera, por su importancia para la matriz energética y la diversificación productiva de la economía de la provincia, continuará su desarrollo y expansión. Es por ello que requiere la SsRH debe prever estrategias de control y de prevención y mitigación de daños que acompañen este desarrollo.

Las estrategias de prevención, y la incorporación de nuevas técnicas de recomposición de las características prístinas del recurso de manera rápida, eficiente y económica deben ser abordadas y atendidas como un orden prioritario dentro de las estrategias a adoptar por la Autoridad de Aplicación.

Diversas experiencias de incorporación de nuevas ingenierías de remediación acompañadas con mesas de trabajo que incluya a todos los actores involucrados han permitido mejorar la aceptación de la técnica, aumentar el grado de control y la factibilidad de aplicación exitosa de la misma.

Si bien el rol del estado como organismo de control es indelegable, la integración de todos los actores involucrados (empresa, consultoras, Autoridades de Aplicación, comunidad en general) en el aspecto técnico ha demostrado resultados satisfactorios para la implementación y desarrollo de nuevas estrategias de remediación.

Bibliografía

- 1-Acacio, J. A. (2023). "Conflictos y demandas indígenas por el territorio frente al avance de la frontera hidrocarburífera en la provincia de Neuquén, Argentina." *Razón Crítica*, 14, 1-24. <https://doi.org/10.21789/25007807.1929>
- 2-Blanco, G; Arias, F.; Villar Paz, C.; Quiroga, C. 2018. *El Petróleo en Neuquén. 100 años de Historia*. Ministerio de Energía y Recursos Naturales. Provincia del Neuquén. Disponible en: <https://www.energianeuquen.gob.ar/100-anos-de-petroleo-2/>
- 3-Código de Aguas de la Provincia del Neuquén Ley 899 (Decreto Reglamentario 790/99).
- 4-EPA-US (1994-2017). "How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers" (EPA 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007; EPA 510-R-04-002; EPA 510-B-16-005; and EPA 510-B-17-003).
- 5-Frezza, M. A. (2019) "Potencial de la Industria de hidrocarburos en la provincia de Neuquén: Análisis de competitividad y estrategia internacional" Universidad de San Andrés. Disponible en: <https://repositorio.udesa.edu.ar/> Visitado el 21/04/2023.

Buscá todo sobre el shale en nuestra web



LOS NO CONVENCIONALES OPORTUNIDAD QUIMICOS SISMICIDAD USO DEL AGUA



www.shaleenargentina.org.ar

El sitio del IAPG destinado especialmente a los hidrocarburos de reservorios no convencionales, como *shale gas* y *shale oil*.

Pensada como herramienta útil para toda la comunidad, especializada o no, que quiera conocer con mayor profundidad lo relativo a estos reservorios y al *fracking* o estimulación hidráulica, así como los aspectos que generan mayores cuestionamientos: el uso del agua, la protección de los acuíferos, el uso de químicos, etcétera.

Toda la información de los expertos y las últimas noticias.

¡Y además, la posibilidad de consultar interactivamente a un experto sobre cualquier aspecto relacionado con el shale en la Argentina!

