

# DURACIÓN DE LAS ETAPAS DE REMEDIACIÓN EN ACUÍFEROS SOMEROS AFECTADOS POR HIDROCARBUROS EN NEUQUÉN.

I.A. Gianoglio, N. Neme, F. Bono Rapp, N. Curetti, J.L. Stemphlet, L.E. Arias.

Argentina, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén. 0299 4496887. E-mail: [dsma.srh@gmail.com](mailto:dsma.srh@gmail.com).

## Resumen

La producción de hidrocarburos ha sido central para el desarrollo económico de la provincia del Neuquén durante el último siglo. El auge de la producción no convencional impulsó un crecimiento exponencial en la industria, generando una fuerte presión ambiental que exige una respuesta institucional sólida.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos, Autoridad de Aplicación (AA) del Código de Aguas (Ley N° 899), es la encargada de administrar, fiscalizar y proteger los recursos hídricos provinciales. Dentro de esta Subsecretaría, la Dirección de Monitoreo y Saneamiento Ambiental gestiona los incidentes ambientales (IAA) relacionados a la actividad hidrocarburífera. Un IAA se define como la afectación directa del agua (superficial, subsuperficial, permanente o temporaria) o la zona vadosa asociada a acuíferos, por la presencia detectable de hidrocarburos (Gianoglio *et al.*, 2024).

Ante un IAA, se activa un plan de cinco pasos:

1. Identificación y caracterización del área afectada: Se localiza y controla la fuente activa en caso de existir, se caracteriza el sitio y el contaminante, y se instalan pozos de monitoreo, delimitando el área afectada.
2. Monitoreo Periódico: Se evalúa periódicamente el estado del acuífero durante la implementación de la remediación.
3. Implementación de Remediación: Se aplican las técnicas necesarias propuestas por el particular y aprobadas por la AA hasta alcanzar los niveles objetivo.
4. Monitoreo sin Detección: Incluye cumplir requisitos de la Autoridad de Aplicación: al menos dos ciclos hidrológicos sin detección de hidrocarburos y un muestreo integral de verificación.
5. Baja Administrativa: Se verifica el cumplimiento técnico, se sellan los pozos de monitoreo (manteniendo uno activo para seguimiento) y se emite la no objeción técnica para proseguir la gestión ante otras AA.

Este trabajo presenta y analiza casos de estudio representativos de remediación de acuíferos someros tramitados por ésta Subsecretaría, analizando la duración de cada etapa. El propósito es visibilizar los procesos de gestión actuales y establecer líneas de investigación y gestión para mejoras estratégicas a futuro en cuanto a costos, procesos y tiempos.

## Metodología:

Se analizaron 45 expedientes tramitados en esta AA, los cuales se dividieron en 3 categorías, según la afectación inicial:

1. Afectación por hidrocarburos en suelo (HCS) en la zona vadosa, considerada como los 2 metros por encima del nivel de oscilación freática.
2. Afectación por hidrocarburos disueltos (HCD).
3. Afectación por Fase Líquida No Acuosa (FLNA).

Se realizó una revisión histórica de cada expediente, identificando cada uno de los 5 pasos definidos previamente.

Con el objetivo de organizar la información se definieron 4 etapas de gestión:

- E1: Caracterización, desde el inicio de las actividades y revisión de antecedentes en el sitio, hasta la delimitación de la afectación. Durante esta etapa, se consideran las actividades de contingencia, relacionadas con la extracción de FLNA previo a la completa delimitación de la afectación. Cabe mencionar que los incidentes más antiguos gestionados como tal por esta AA, datan del 2014. Previamente, muchos de ellos fueron tramitados en otras AA provinciales o municipales (representados como “previo a AA” en Figura 1 y 3).
- E2: Remediación: Las técnicas implementadas se agruparon, según el orden o momento en que son aplicadas, en: “pasivas” y “activas”. Las primeras considerando principalmente el retiro de suelo, extracción con equipo móvil de vacío o *skimmer*, y Atenuación Natural Monitoreada (ANM). Las segundas, corresponden principalmente a: Oxidación Química *in situ* (ISCO), Extracción de vapores del Suelo (SEV), Bombeo y Tratamiento, etc. Cabe mencionar, que en los casos en que se realizó monitoreo de aguas subterráneas sin que se definiera otra técnica, fue considerado como ANM.
- E3: Monitoreo sin detección de compuestos de interés.
- E4: Baja administrativa del incidente ambiental.

## Resultados

A continuación, en las Figuras 1-4, se presentan las etapas de los casos de estudio analizados, agrupados por categorías.

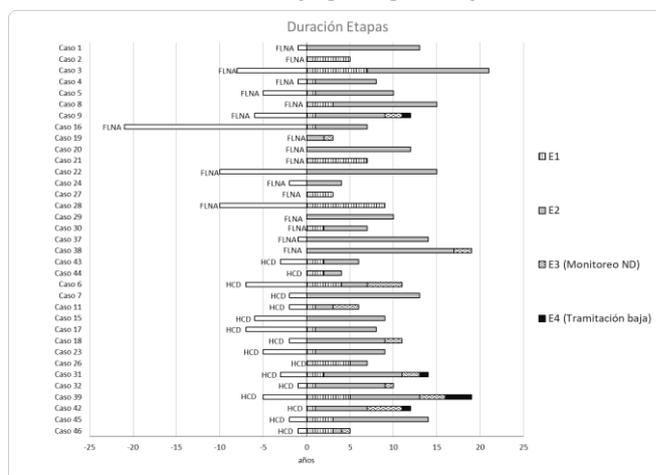


Figura 1.- Etapas IAA iniciados con afectación por FLNA y HCD. La barra blanca corresponde a tramitación previa, de otra AA.

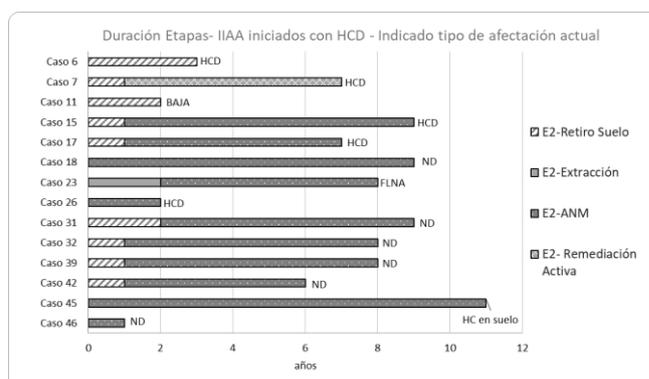
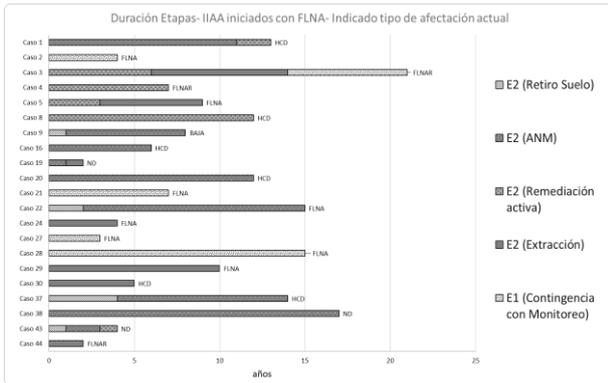
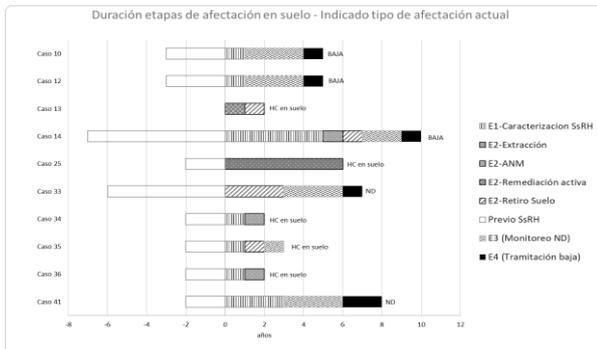


Figura 2.- Etapa 2: Diferentes técnicas de remediación aplicadas. IAA iniciados con Afectación por HCD.

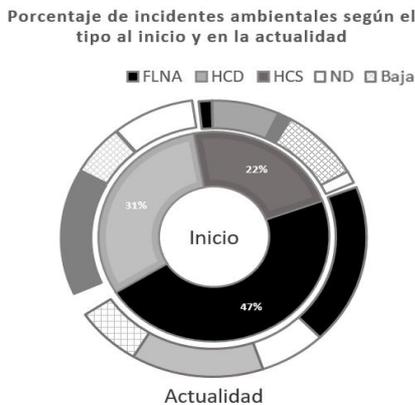


**Figura 3.-** Etapa 2: Diferentes técnicas de remediación aplicadas. IIAA iniciados con Afectación por FLNA.



**Figura 4. -** Etapas IIAA iniciados como HCS. La barra blanca corresponde a tramitación previa, de otra AA.

En la Figura 5 se observa el porcentaje de cada una de las categorías de expedientes, así como la etapa en la que se encuentran actualmente, representados en porcentaje.



**Figura 5. -** Gráfico de categorías de IIAA: iniciales (en el centro) y actuales (externo) por tipo de afectación, en porcentaje.

En la Tabla 1 se presenta la duración promedio en años de cada etapa, para cada categoría de incidentes.

**Tabla 1.-** Duración promedio de etapas (en años)

Tipo de casos/Etapas	E1	E2	E3	E4	Total (suma de etapas)
FLNA	2.1	7.3	0.2	0.05	9.7
HCD	1.9	6.9	1.4	1.4	10.6
HCS	1.3	1.6	1.5	0.6	5.0
Casos totales	1.9	5.9	0.9	0.3	8.9

La evaluación de los datos presentados indica que:

1. La remediación más eficiente corresponde al retiro del suelo afectado, que permite eliminar la fuente secundaria de afectación.
2. Gran parte de los incidentes con ND o baja del IIAA corresponden a incidentes iniciados como HCS, de los cuales un 30% no presentó afectación en agua. Requirieron en promedio 4.7 años (entre caracterización y monitoreo) para demostrar que el agua no se encontraba afectada.
3. La atenuación natural monitoreada, es la técnica de remediación más implementada: de los 45 casos analizados, 42 presentaron afectación en agua, de los cuales 24 aplicaron ANM, con un promedio de 6.4 años, y el 45.8% de los casos alcanzaron valores sostenidos de ND (E3 o E4). Sin embargo, sólo en 3 casos alcanzaron esa condición aplicando solamente ANM como técnica de remediación, con un promedio de 9 años.
4. En los incidentes que ha existido o existe FLNA, se han aplicado la mayor variedad de técnicas de remediación activas. De esto, se observa una reducción de los tiempos requeridos para disminuir la severidad de la afectación.
5. La etapa de monitoreo final (E3) y la baja del incidente ambiental (E4) son las menos frecuentes y las que presentan menor duración.
6. Los tiempos de demora en la delimitación y caracterización de la afectación, es la segunda causa de dilación en la recomposición del acuífero afectado.
7. Con relación a las afectaciones actuales, persisten con frecuencia situaciones con FLNA a pesar de largos periodos de intervención.

**Conclusiones**

El análisis de la duración de las etapas involucradas en la gestión de los IIAA, permite identificar aquellas que presentan mayor demoras y recursos involucrados. Este análisis permite plantear estrategias para aumentar la eficiencia y optimizar los recursos.

Una de las estrategias más importante, en la que se viene trabajando desde el inicio y generando una curva de aprendizaje, es el trabajo conjunto, tanto con otras autoridades de aplicación, como con los responsables de la afectación, los ejecutores de la remediación y con la comunidad involucrada, para maximizar recursos, unificar criterios, y reducir los tiempos de respuesta.

A su vez, considerando que, cuando la afectación alcanza el acuífero implica -en promedio- 8.9 años de gestión. Así, la prevención y la pronta detección de una potencial afectación, son las herramientas más importantes para disminuir el impacto y los tiempos demandados en la remediación. Por lo tanto, se está trabajando en implementar redes de monitoreo preventivas en todas las instalaciones que almacenen HC, con ese objetivo.

**Referencias**

Gianoglio, I.A.; Bono Rapp, F.; Curetti, N.; Stemphlet, J.L.; Jauge C.y Neme, N. (2024) "Protección del recurso hídrico frente al nuevo paradigma de la industria hidrocarbúrfica: Estrategias preventivas y de remediación de acuíferos someros en la provincia del Neuquén". *Petrotecnia 2 - 2024*, 60-66. ISSN 0031-6598.  
**Código de Aguas de la Provincia del Neuquén** Ley 899 (Decreto Reglamentario 790/99).