



# ANÁLISIS A NIVEL DE CUENCA HIDROGRÁFICAS Y COMUNIDAD: USO DE DATOS ESPACIALES E INFORMACIÓN LOCAL PARA IDENTIFICAR ÁREAS DE RIESGO POR LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS EN VACA MUERTA, ARGENTINA

**Convenio Enero 2023 - Diciembre 2023**

## **AUTORES**

### **SEI**

Laura Forni  
Marina Mautner  
Romina Díaz Gómez

### **FCA UNCOMA**

Diego Agustín González  
Catherin Davies  
Lucía Orrego  
Juan Carlos Roca

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>2</b>
<b>Desarrollo del Proyecto</b> .....	<b>2</b>
Objetivos del proyecto .....	2
Metodologías.....	3
Los índices de proximidad como indicadores de riesgo.....	4
Detección de plataforma de pozo con Machine Learning (ML) .....	5
Riesgo de fugas subterráneas.....	6
Las zonas de amortiguamiento como base para la planificación del uso de la tierra.....	7
<b>Resultados</b> .....	<b>7</b>
Desarrollo de la plataforma espacial para la influencia de políticas.....	7
Áreas de riesgo ambiental en los barrios. ....	7
Punto crítico de riesgo ambiental en los ríos .....	8
Riesgo de fugas subterráneas.....	10
Influencias de las políticas con la herramienta de mapeo Observ.ar.....	10
Desarrollo de capacidades técnicas para el manejo de la plataforma.....	11
Cursos de posgrados en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Comahue, Argentina .....	11
Trabajo de Campo en Allen .....	12
Matriz De Ensayos .....	15
Difusión en los medios de comunicación .....	16
Diseminación de los resultados del proyecto a diferentes audiencias .....	16
<b>Próximos pasos</b> .....	<b>18</b>
<b>Anexo 1</b> .....	<b>19</b>
Resultados del Mapeo participativo.....	24
Desarrolladores .....	25
Conclusiones generales del mapeo participativo.....	29
<b>Bibliografía</b> .....	<b>30</b>

## Resumen

La producción de gas de hidrocarburos en Vaca Muerta, Argentina, ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, especialmente con el auge del fracking desde 2014. Sin embargo, este desarrollo conlleva riesgos significativos para los medios de vida locales y el medio ambiente debido a la contaminación por pozos de fracking. Para analizar, cuantificar y mapear estos riesgos, el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) firmó un convenio con la Universidad del Comahue (Comahue) para establecer una asociación significativa para ejecutar el proyecto. A través de análisis de literatura, apoyados en entrevistas con expertos locales, y el codesarrollo de una plataforma de datos geoespaciales denominada Observar. Se describe el desarrollo de los indicadores espaciales de riesgo ambiental, como fueron creados y que datos se utilizaron para llevarlos a cabo. En total se crearon cinco indicadores de distancia a ríos, localidades, embalses, y un indicador que involucra la interacción entre pozos convencionales y no convencionales. A partir de este análisis se reportan las localidades y las áreas con máximo riesgo ambiental en las cuencas hidrológicas de Vaca Muerta. Se realizó también un monitoreo del avance de los pozos de fracking a partir del uso de teledetección para asegurar el monitoreo con una herramienta de código abierto como es Google Earth Engine y con imágenes satelitales disponibles. También se realizaron actividades de capacitación y difusión de los resultados. La Universidad del Comahue y el SEI colaboraron en la organización de dos cursos de posgrado, uno sobre conceptos básicos de SIG y teledetección, y otro sobre diseño de plataformas geoespaciales para aplicaciones en agricultura y medio ambiente. Estos cursos combinaron aprendizaje en línea y presencial y fueron dirigidos a 5 estudiantes y 10 profesionales. Los resultados fueron difundidos en varios eventos, incluyendo el Congreso Anual de Investigación del Comahue a nivel local, el Congreso de la CONAGUA a nivel nacional, y la conferencia internacional AGU 2023 a nivel internacional. Numerosas entrevistas en radio locales e internacionales y notas de diarios las cuales están detalladas. Además, se creó una red de profesionales en LinkedIn llamada OBSERVAR para continuar la colaboración en este tema.

# Introducción

Producción de gas de hidrocarburos en Vaca Muerta<sup>1</sup> en la Argentina ha crecido rápidamente en las últimas décadas, y continúa aumentando en el auge más reciente del fracking desde 2014 (Vilela Pinto dos Anjos et al., 2023). Este desarrollo conlleva riesgos significativos para los medios de vida locales y el medio ambiente a través de la contaminación por pozos de fracking que causa daños irreversibles tanto al suelo natural y agrícola como a las fuentes de agua. El primer año del proyecto se centró en abordar estos riesgos mediante el desarrollo de una plataforma de teledetección que utiliza información satelital, datos locales, y Machine Learning (ML) para determinar la ubicación de los pozos de hidrocarburos y determinar los indicadores de riesgo de contaminación.

En diciembre de 2022, el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) firmó un convenio con la Universidad del Comahue (Comahue) para establecer una asociación significativa para el proyecto. A través de la recopilación y el análisis de la literatura científica nacional e internacional, entrevistas con expertos locales y partes interesadas, y el uso de datos de teledetección de Planet y Sentinel-2, esta colaboración permitió el desarrollo conjunto de la plataforma geoespacial denominada "Observ-AR". La plataforma permite la visualización interactiva de indicadores de riesgo basados en la proximidad de pozos de gas no convencionales a centros de población, tierras agrícolas y fuentes de agua (ríos, lagos y canales de riego). Dado que esta plataforma está disponible públicamente, permite a las partes interesadas "observar" los riesgos actuales y potenciales de los hidrocarburos. Nuestra visión es que *Observ-AR* sea una plataforma geoespacial innovadora que empodere a los actores locales y a los responsables de la toma de decisiones para abordar los riesgos de los hidrocarburos de frente.

La Universidad del Comahue en colaboración con el SEI ofreció dos cursos de posgrado a 5 estudiantes y 10 profesionales, combinando el aprendizaje en línea y presencial para ayudar a estudiantes, investigadores y profesionales a resolver problemas geoespaciales. El primer curso abarcó los conceptos básicos de los SIG y la teledetección, mientras que el segundo curso profundizó en el diseño y desarrollo de plataformas geoespaciales para aplicaciones en el mundo real en la agricultura y el medio ambiente. La difusión de los resultados se hizo en diferentes eventos. A nivel local, presentamos los resultados preliminares en las VI JORNADAS de DIVULGACIÓN INVESTIGACIÓN y EXTENSIÓN de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue utilizando herramientas de realidad virtual que atrajeron la atención de profesionales, estudiantes y medios de comunicación locales (7 artículos periodísticos y 3 apariciones radiales). A nivel Nacional, profesionales de la Universidad del Comahue presentaron el proyecto en el Congreso Nacional del Agua en Argentina (CONAGUA). A nivel internacional se presentó un poster en la conferencia internacional de la Asociación Americana de Geofísica 2023 (AGU American Geophysical Union). Además, continuamos con la creación de una red de profesionales en el tema utilizando la configuración grupal en la plataforma LinkedIn; el nombre del grupo es *OBSERVAR*.

## Desarrollo del Proyecto

### Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto es prevenir el daño al medio ambiente natural, las fuentes de agua y las áreas agrícolas que apoyan el bienestar de las comunidades locales de la contaminación inadvertida o

---

<sup>1</sup> Vaca Muerta es una formación geológica ubicada en la cuenca sedimentaria neuquina en el norte de la Patagonia, Argentina. Es bien conocida como la roca anfitriona de los principales depósitos de petróleo y gas de esquisto.

negligente de los recursos de agua dulce por parte de la industria de hidrocarburos. Este proyecto se diseña como un proyecto de tres años con tres tipos de resultados descritos a continuación.

#### Objetivo 1: Influencia en las políticas

Este objetivo busca que los reguladores garanticen el monitoreo adecuado del impacto del fracking en los niveles requeridos por la legislación existente. Se propone que los resultados del análisis espacial y con la validación a campo sean la base para intentar una respuesta diferente desde las instituciones. Los organismos encargados de regular la actividad del fracking actúan a nivel provincial principalmente. La Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), es un organismo que tiene por objeto entender - en el modo y con los alcances que se fijan en su Estatuto - en todo lo relativo a la administración, control, uso y preservación de las cuencas de los ríos mencionados. Cuenta con atribuciones relacionadas al control de calidad del agua de ríos y embalses, y manejo de los recursos. A nivel provincial, la subsecretaría de recursos hídricos de la provincia de Neuquén es quien maneja la información de las empresas requiriendo reportes de usos, destino y manejo de los residuos. La Dirección Provincial del Agua en la provincia de Río Negro regula y está facultado en la aplicación de multas.

También, se espera que los organismos legislativos nacionales utilicen la información disponible en la plataforma para la creación de proyectos de ley que protejan las áreas prioritarias identificadas en riesgo de degradación ambiental y de salud pública. A nivel local en las provincias, se espera que los mapas de las áreas de riesgos sean utilizados para establecer las bases para la planificación territorial con limitaciones en la proximidad de los pozos de fracking a centros comunitarios, áreas agrícolas, fuentes de agua y áreas naturales.

#### Objetivo 2: Capacitación

Este objetivo se enfoca que la Universidad Nacional del Comahue tenga la experiencia en el análisis datos de teledetección. Almacenando y actualizando la plataforma de datos para monitorear continuamente los impactos ambientales del fracking en la región.

También, se busca que los estudiantes de la Universidad del Comahue, la Universidad de Cuyo y otras universidades de Argentina participen en una capacitación para conocer las herramientas de datos y conocer los resultados del proyecto. Asimismo, que los líderes comunitarios tengan el conocimiento para comprender los hallazgos de la plataforma de datos para verificar los niveles de calidad del agua segura.

#### Objetivo 3: Difusión de resultados

Este objetivo tiene como meta llegar a 20 profesionales de diferentes partes de América Latina formen parte de una plataforma de redes sociales que comparte información sobre los impactos del fracking en el medio ambiente y que los resultados del proyecto se compartan con los medios de comunicación local y nacional para crear conciencia pública.

Se espera que se realice un proyecto similar en México u otra parte de América Latina que está sufriendo impactos similares del fracking en los recursos hídricos y el suelo.

## Metodologías

Para lograr los objetivos de este proyecto, se planificaron 3 actividades para los 2 años de trabajo como se muestra en la Figura 01.

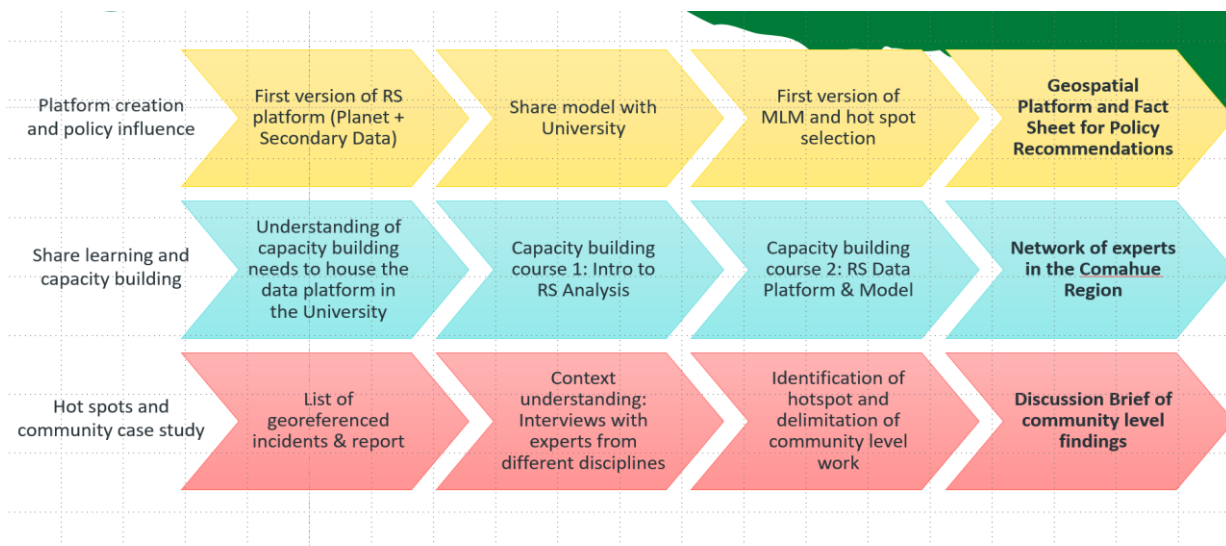


Figura 01. Resultados y métodos del proyecto Vaca Muerta durante 2022 – 2024

### Los índices de proximidad como indicadores de riesgo

Para evaluar el riesgo ambiental en la región de Vaca Muerta se desarrollaron indicadores espaciales. Los indicadores espaciales son mediciones realizadas para comprender cómo se relacionan entre sí la distribución en el espacio de ciertas entidades. Los análisis de proximidad se utilizan para identificar posibles áreas de exposición y evaluar los riesgos ambientales geoespacialmente (Chakrabarti et al., 2011). Los indicadores sirven para evaluar el estado del territorio en relación con un riesgo potencial. Revelando posibles vínculos y, por lo tanto, potencial. En primer lugar, calculamos el índice de proximidad de cuerpos de agua como ríos, canales de riego y embalses. En segundo lugar, se calculó el índice de proximidad de localidades.

Aplicamos un enfoque basado en el riesgo utilizando la delimitación de puntos críticos. Un punto caliente puede definirse como una subzona que hace que los riesgos para toda la zona de exposición sean inaceptables (Oregon DEQ, 1998). Un enfoque basado en el riesgo para la delimitación de puntos críticos también puede utilizarse para orientar la caracterización del espacio y la estrategia de remediación (Sinha et al., 2007). En este proyecto nos centramos en cuantificar el riesgo identificando las zonas críticas.

Para determinar los puntos críticos de riesgo ambiental, se utilizaron los indicadores de proximidad como información geoespacial para apoyar la delimitación. Las áreas críticas se definen como áreas con alto riesgo de contaminación causada por la industria del fracking. Con base en la proximidad de los pozos de fracking a los recursos naturales, se determina la delimitación de puntos críticos.

Para analizar la exposición de la población al impacto potencial de la contaminación de acuíferos y suelos, se propone analizar la distancia a las fuentes de contaminación como método de aproximación para la evaluación de las zonas de riesgo potencial. El análisis de proximidad en SIG tiene la función de calcular la distancia de una entidad a otra. En este caso, se propone calcular la distancia de las zonas pobladas utilizando como entidad los polígonos de los radios censales (INDEC 2010) y la capa de pozos distribuidos dentro de la cuenca. El análisis se realizará diferenciando pozos convencionales, no convencionales y abandonados. Las áreas con mayor densidad de pozos, definida como el número de pozos en un espacio determinado (radio censal) también se identificarán como áreas críticas y de riesgo potencial, utilizando el censo y la capa de pozos como entradas.

Para observar el riesgo ambiental en las cuencas hidrológicas de los ríos Neuquén y Río Negro, se realizaron indicadores espaciales basados en análisis de proximidad, que toma en cuenta las distancias

entre dos puntos. El punto donde se ubica el "pozo" y el punto donde se ubica el recurso a analizar, ya sea el cuerpo de agua, escuelas o localidades. Los indicadores espaciales se desarrollaron con datos científicamente válidos y se basan en un buen conocimiento del sistema. El análisis se realizó utilizando Sistemas de Información Geográfica y bases de datos disponibles a nivel nacional. La distancia, resultante de este indicador, indica qué áreas tienen riesgos potenciales de contaminación o impacto ambiental. Las áreas cercanas a los pozos tendrían un mayor riesgo de contaminación en comparación con las áreas más alejadas.

Los indicadores de proximidad a ríos y lagos se utilizan para evaluar el riesgo potencial de contaminación. El riesgo de contaminación de las aguas superficiales se incrementa con la proximidad de los pozos de fracking debido a posibles fugas, contaminación por gases (Vengosh et al., 2014, 2017). Las capas de información obtenidas del IGN (Instituto Geográfico Nacional de Argentina) y se calculó la distancia entre los pozos y los ríos y lagos. Basado en la metodología descrita por Meng (2015), los límites de distancia fueron 1 km (riesgo máximo), 1 - 2 km (riesgo medio) > 3 km (riesgo nulo). Este indicador espacial representa la distancia de los pozos a los ríos permanentes en las cuencas hidrográficas. Los pozos a menos de 1 km del río indican que el área tiene un alto riesgo potencial de contaminación comparado con las áreas del río donde están a más de 2 km (Tabla 1).

#### Indicadores de proximidad

1. Índice de proximidad ríos
2. Índice de proximidad de canales de riego
3. Índice de proximidad de embalses
4. Proximidad de localidades
5. Índice de proximidad escolar

Tabla 1 Indicadores proyectados para identificar áreas de riesgo.

## Detección de plataforma de pozo con Machine Learning (ML)

Se utilizaron datos de teledetección para identificar las localizaciones de pozos de petróleo y gas utilizando imágenes Sentinel 2 A utilizando el enfoque ML. Se utilizó GEE Google Earth Engine como herramienta para ejecutar y generar el modelo de detección.

### Datos de imágenes

El área seleccionada para el modelo corresponde a áreas con buena distribución en áreas sin terrenos agrícolas o áreas urbanas debido al ruido que pueden generar sus capas. Los insumos fueron derivados de [SENTINEL-2 L2 Copernicus armonizó](#) imágenes multiespectrales del 01/06/2023 al 30/06/2023, con un porcentaje de nubes del 20 %. Se calculó un valor mediano de cada píxel para ser clasificado. Bandas 4. Se utilizaron como predictores 2, 3, modelo digital de elevación DEM, NDVI e índices BSI. También se utilizaron otros índices espectrales que ayudaron a distinguir las locaciones de los otros usos del suelo como el índice de suelo desnudo (BSI bare soil index) puede detectar el suelo desnudo de áreas de suelo no desnudo, como los suelos agrícolas (Castaldi et al., 2023). Todos los píxeles con valores de BSI por encima de un umbral de 0,08 se clasifican como suelo desnudo (Mzid et al., 2021).

### Generación de datos de entrenamiento

Los datos de vegetación utilizados en el estudio provinieron de una capa creada previamente con ubicaciones de pozos de una base de datos del gobierno. El procedimiento para construir el conjunto de datos de entrenamiento implicó cinco pasos: (1) cuantificar el área total alrededor de las ubicaciones proporcionadas por el gobierno; (2) generar áreas de amortiguamiento alrededor de la capa de puntos de pozos de presencia a partir del conjunto de datos del gobierno; (3) verificar sobre una imagen Sentinel que cada ubicación solo incluya puntos de pozo, características de presencia, excluyendo áreas con características de cobertura natural; (4) Recortar y extraer información de predictores de las imágenes de Sentinel, generando la matriz de entrenamiento. Se generó la matriz de entrenamiento dentro de cada polígono para cada subcuenca del área de estudio.

### Modelo de ML y evaluación del rendimiento

Para evaluar el rendimiento del modelo se creó una matriz de confusión. Que analiza y compara los resultados generados por el modelo con los datos que observamos y los puntos de pozos oficiales reportados.

### Riesgo de fugas subterráneas

Un componente importante y difícil de caracterizar del riesgo para las comunidades y el medio ambiente es el riesgo de la producción de fracking para las aguas subterráneas y los suelos de los que dependen los seres humanos, la agricultura y los ecosistemas. Si bien existen muchos mecanismos para la contaminación de los recursos hídricos subterráneos por la producción de fracking, nos enfocamos en los dos más relevantes para la formación Vaca Muerta basados en la profundidad relativamente extrema de la formación<sup>2</sup>, en concreto, la interconexión accidental de nuevos pozos con pozos existentes y la ruptura o degradación de las estructuras de los pozos debido a la actividad de estimulación de los nuevos pozos (Jackson et al., 2014; Loveless et al., 2019). De acuerdo con la literatura, puede haber un 10% de probabilidad de interacción entre pozos no convencionales a una distancia de menos de 1 km entre pozos, mientras que existe un 50% de probabilidad de interacción entre pozos no convencionales a una distancia de menos de 300 m entre pozos (Lefebvre, 2017; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2016). Además, el revestimiento de los pozos convencionales antiguos en una zona de perforación, especialmente los pozos perforados en el siglo pasado, puede dañarse debido a la vibración o a la perforación de pozos nuevos, tanto no convencionales como convencionales (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2016; Ward et al., 2014).

Por lo tanto, para evaluar el riesgo potencial de riesgo de pozo para el agua subterránea y la calidad del suelo debido a fugas subterráneas debido a la interacción de pozos, se mapeó la densidad de pozos, entre convencionales y no convencionales, para definir el área de riesgo. Se utilizó la herramienta Mapa de Calor QGIS (Estimación de densidad Kernel) con la siguiente configuración para cada uno de los dos grupos de pozos: radio establecido en 1000 m, tamaño de píxel X e Y establecido en 100 m, forma kernel estableciendo una escala de valor de salida (Proyecto QGIS, 2023). Las dos capas resultantes se superpusieron para crear una tercera capa final de la intersección de las dos. Se analizó la densidad de pozo convencionales y la interacción entre pozos convencionales entre sí y la interacción entre pozos

---

<sup>2</sup> Loveless, et al., (2019) Describir la transmisión de la contaminación por hidrocarburos hacia arriba a través de las formaciones geológicas hacia las formaciones que contienen aguas subterráneas (acuíferos), señalando que esto es más probable a medida que aumenta verticalmente la proximidad de las formaciones de hidrocarburos a los acuíferos de agua subterránea. En la región de Vaca Muerta, los acuíferos subterráneos en las áreas de interés se encuentran generalmente en la superficie del suelo, mientras que las formaciones productivas de hidrocarburos se encuentran generalmente a una profundidad superior a los 1000 m. Por lo tanto, esta ruta de contaminación se considera menos probable. Investigaciones futuras evaluarán el potencial de actividad sísmica inducida por la producción de hidrocarburos en la región para aumentar el riesgo de estos mecanismos.



convencionales y no convencionales, determinando como las áreas de máximo riesgo potencial de contaminación de agua subterránea a las áreas con máxima interacción ente pozos convencionales y no convencionales.

**Las zonas de amortiguamiento como base para la planificación del uso de la tierra**

Al identificar las áreas críticas estas podrían se denominadas zonas de amortiguamiento serian una alternativa para disminuir y mitigar los impactos generados y preservar tanto los recursos naturales vulnerables como las personas. Estas areas criticas serian la base para delinear planes de ordenamiento territorial que eviten la expansión del fracking en las mismas y que en las zonas existentes el monitoreo sea intensivo para evitar desastres naturales e impactos a la población, la producción del valle y el medioambiente.

## Resultados

**Desarrollo de la plataforma espacial para la influencia de políticas**

Después del análisis de bibliografía, el análisis espacial y de teledetección en conjunto con la realización de entrevistas a profesionales, el mapeo participativo y referentes de la zona se presentan los siguientes resultados sobre cuáles y donde se encuentran las áreas críticas de riesgo ambiental en Vaca Muerta.

**Áreas de riesgo ambiental en los barrios.**

Se identificaron tres barrios como puntos críticos de riesgo alto y medio debido a la presencia de pozos no convencionales a distancias cortas de las localidades de la provincia de Río Negro (Figura 2). Por otra parte, no se identificaron zonas de alto riesgo en la provincia de Neuquén, y solo se encontró un pozo no convencional a una distancia de riesgo medio de entre 1 y 2 km ubicado cerca de las localidades de Añelo y Barrio Ruca Luhe.

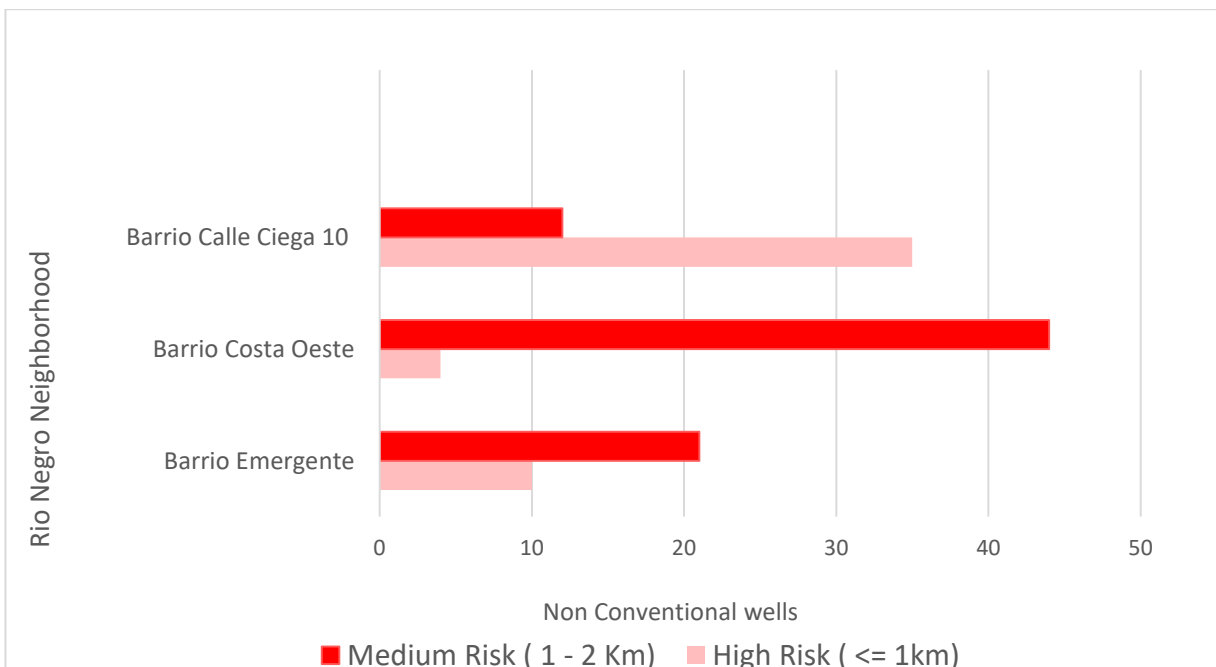
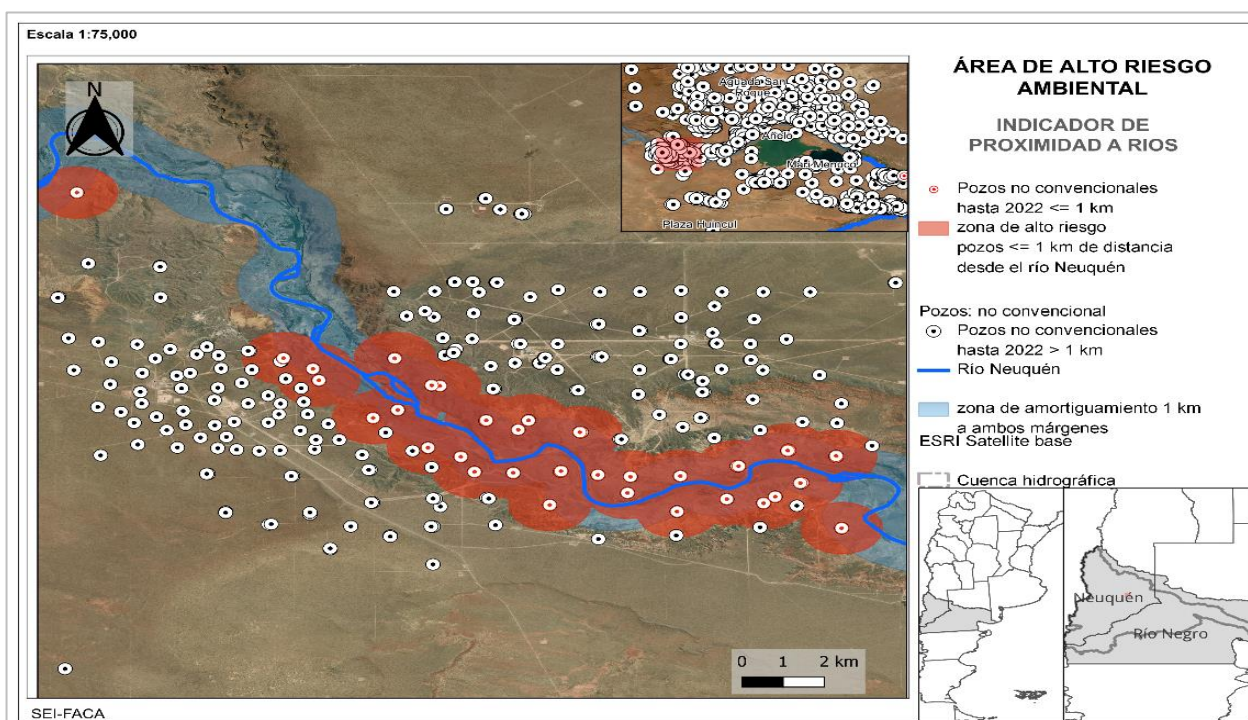


Figura 2. Nivel de riesgo en barrios de Allen.

### Punto crítico de riesgo ambiental en los ríos

En el área de estudio se encontraron tres zonas críticas con pozos no convencionales distribuidos a menos de 1 km. 64 pozos no convencionales en menos de 1 km en ríos de Neuquén distribuidos en dos puntos críticos. Uno, ubicado en la cuenca alta con 35 pozos no convencionales, un total de 24 km de río se encuentran en alto riesgo, antes del embalse Barriales (Figura 3). El segundo se ubica después del lago Barreales, antes de la confluencia (Figura 4). En el río Negro, hay una zona crítica que cuenta con 25 pozos no convencionales con menos de 1 km de distancia del río, donde 12 Km de río están en riesgo tras la confluencia con el río Neuquén (Figura 5)

Figura 3. Punto crítico de riesgo ambiental 1 en el río Neuquén. 35 pozos no convencionales se encuentran a menos de 1 km del río.



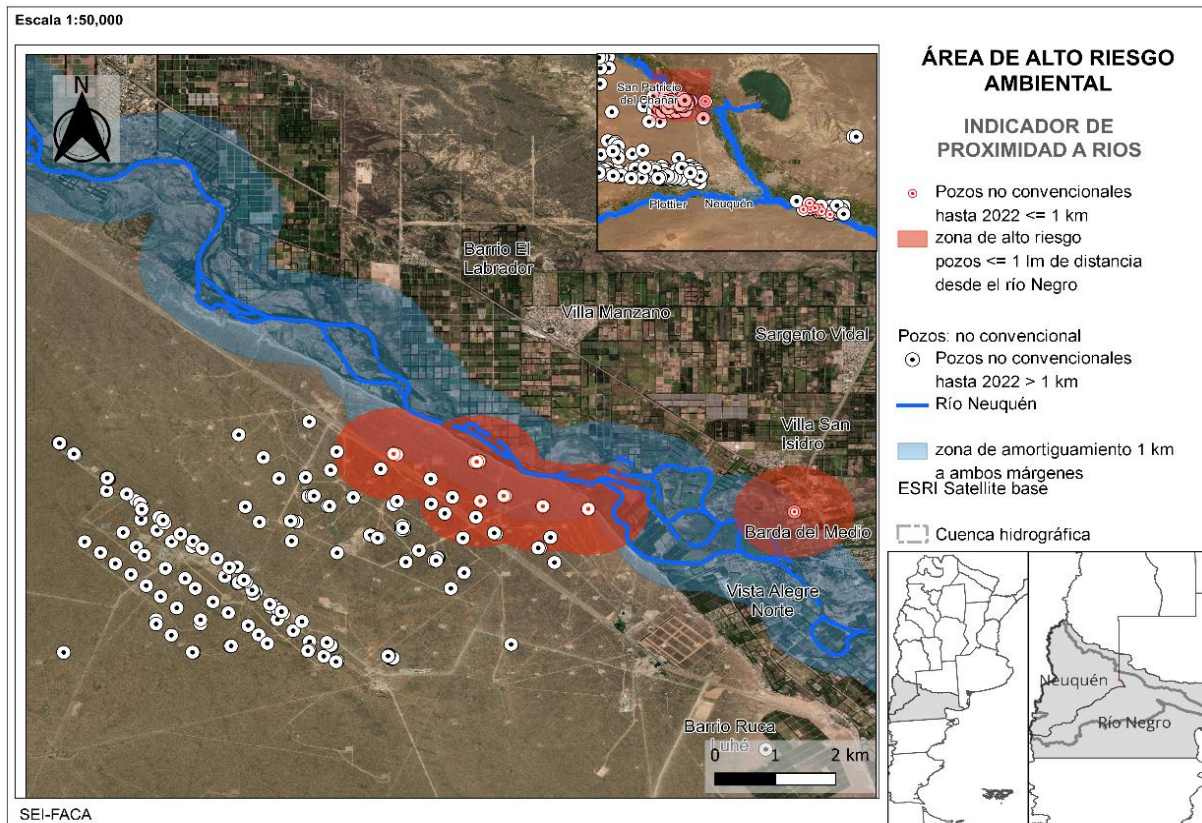


Figura 4. Punto crítico 2 de riesgo ambiental en el río Neuquén.

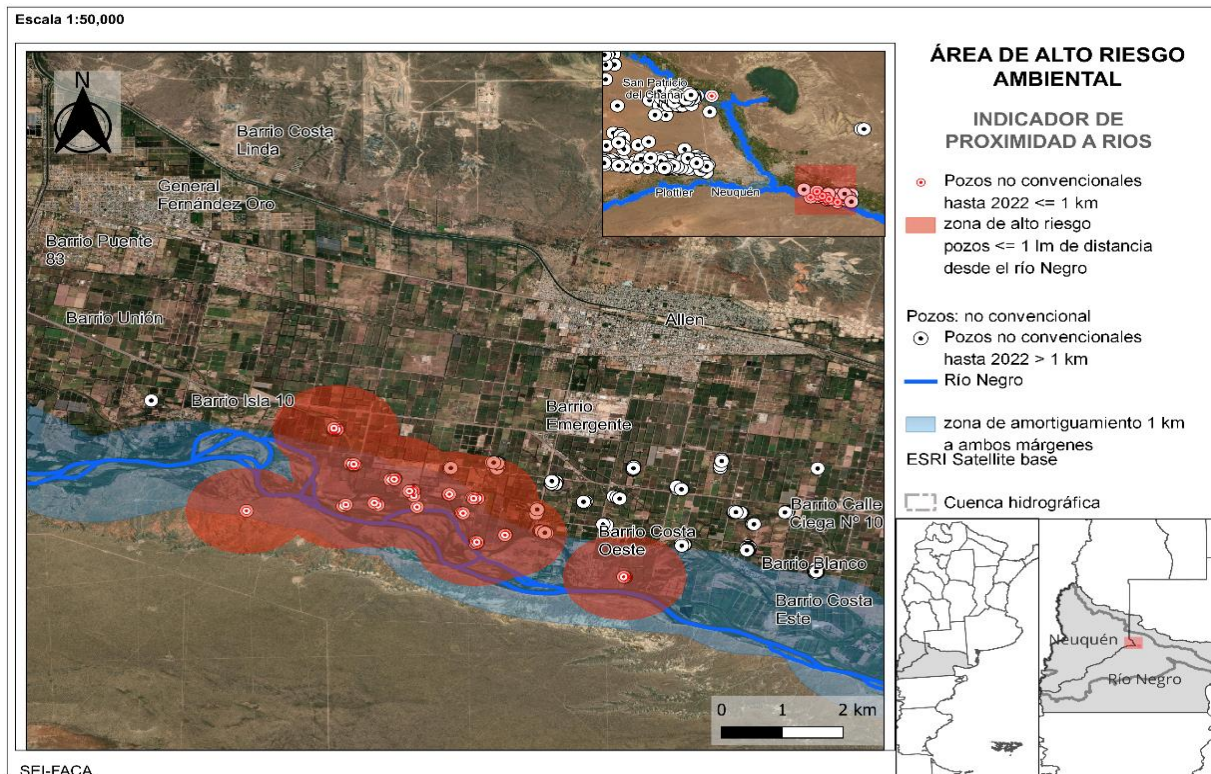


Figura 5. Punto crítico de riesgo ambiental en el Río Negro.

### Punto crítico de riesgo ambiental en los canales de riego

Históricamente, la mayoría de los pozos de producción de hidrocarburos están lejos de las zonas agrícolas, pero hay puntos críticos donde están a menos de 1 km de los canales de riego en la provincia de Río Negro. Uno de estos puntos críticos contiene 13 pozos petroleros no convencionales a menos de 1 km de un canal de nivel cuatro y 28 pozos petroleros no convencionales cerca de un canal colector en el distrito de riego Fernández Oro. (Figura 6)

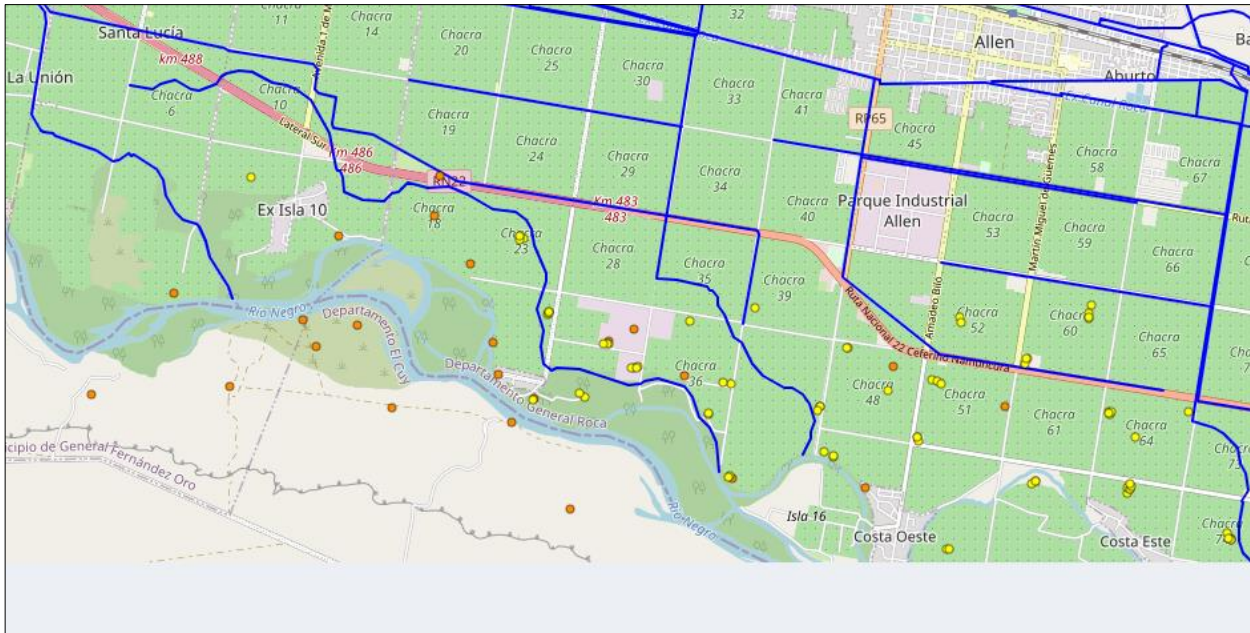


Figura 6. Punto crítico de riesgo ambiental en el canal colector de riego del distrito de Fernández Oro.

### Riesgo de fugas subterráneas

Este indicador muestra las regiones de alta densidad de pozos que se encuentran en las provincias de Río Negro y Neuquén. Este indicador tiene en cuenta la interacción potencial entre los pozos convencionales y no convencionales. Aquí mostramos polígonos que indican una densidad de kernel mayor o igual a 1.0 utilizando un radio de un kilómetro para pozos convencionales (naranja) y no convencionales (amarillo), y las zonas de interacción de los dos anteriores (rojo).

También se incluyen en el mapa las ubicaciones de dos pozos convencionales (diamantes negros) perforados en 1986, que se rompieron en 2023 y se derramaron en una finca en Villa Manzano (polígono verde), que se describe en la nota: <https://lu19.com.ar/complaints-for-oil-pollution-in-villa-manzano-it-s-crazy-people-have-no-idea-what-is-happening-in-the-valley/> (Quejas por contaminación petrolera en Villa Manzano, 2023). Estos pozos rotos demuestran los tipos exactos de fugas subterráneas que son posibles dada la actividad de perforación de nuevos pozos cuando están cerca de revestimientos de pozos más antiguos o mal construidos.

### Influencias de las políticas con la herramienta de mapeo Observ.ar

Es una plataforma integrada, colaborativa y transparente para la observación y análisis de la actividad de explotación de hidrocarburos, en particular del método de fracturación hidráulica (fracking) y su relación con los recursos naturales de la cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Río Negro (Figura 7).

*Integrado* porque propone observar el territorio a través de los ejes ambiental, social y económico de manera holística, examinando los patrones espaciales del fracking y su expansión en el territorio.

También es *integral* porque fusiona datos geospaciales derivados de sensores remotos, datos de estudios locales e información cualitativa de entrevistas con expertos y referentes locales.

*Colaborativa*, porque es una plataforma construida con aportes locales a partir de la colaboración y aportes de los principales actores sociales y expertos en el territorio. Apoyado por el equipo de SEI y FACA para un proceso de co-desarrollo de la plataforma, fortaleciendo el conocimiento en herramientas espaciales.

*Transparente* porque es una plataforma que gestiona los datos de manera transparente indicando el proceso de datos bajo los estándares científicos de gestión de datos geospaciales indicando sus fuentes, usos potenciales y restricciones. También es transparente en el uso de datos abiertos para mejorar el acceso público a la información utilizando métodos de análisis con software de código abierto.



Figura 7. Portada de la pagina donde esta disponible el acceso a la plataforma con todos los indicadores espaciales. <https://observar.netlify.app/>.

## Desarrollo de capacidades técnicas para el manejo de la plataforma

### Cursos de posgrados en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Comahue, Argentina

Los objetivos de estos cursos fueron potenciar las capacidades locales para usar herramientas geospaciales como el manejo de Sistemas de información geográfica y los métodos de teledetección aplicados al analizar los recursos naturales, sociales y económicos. Esta capacitación permite asegurar la continuidad de los análisis y el monitoreo del avance de la industria del fracking en las cuencas. Además, brindar nuevas herramientas y oportunidades en los perfiles de los participantes con enfoques interdisciplinarios y herramientas innovadoras para la resolución de problemas complejos.

Se hicieron 2 cursos de posgrado de manera asincrónica y presencial entre abril y junio de 2023. Dictados en la FACA de 40 hs cada uno con evaluación final. Las clases fueron dictadas por parte de los profesionales del SEI y de FACA. Se entregó material de trabajo preparado específicamente para el mismo, como presentaciones, videos y lecturas. En ambos cursos, las clases fueron grabadas generando una base de videos por clases disponibles para consultas. Se generó una biblioteca de lecturas claves que fue compartida. Se presenta el número de alumnos clasificados por carreta que asistieron y aprobaron los cursos correspondientes (Figura 8). Mas detalles de los cursos son incluidos en el Anexo 1.

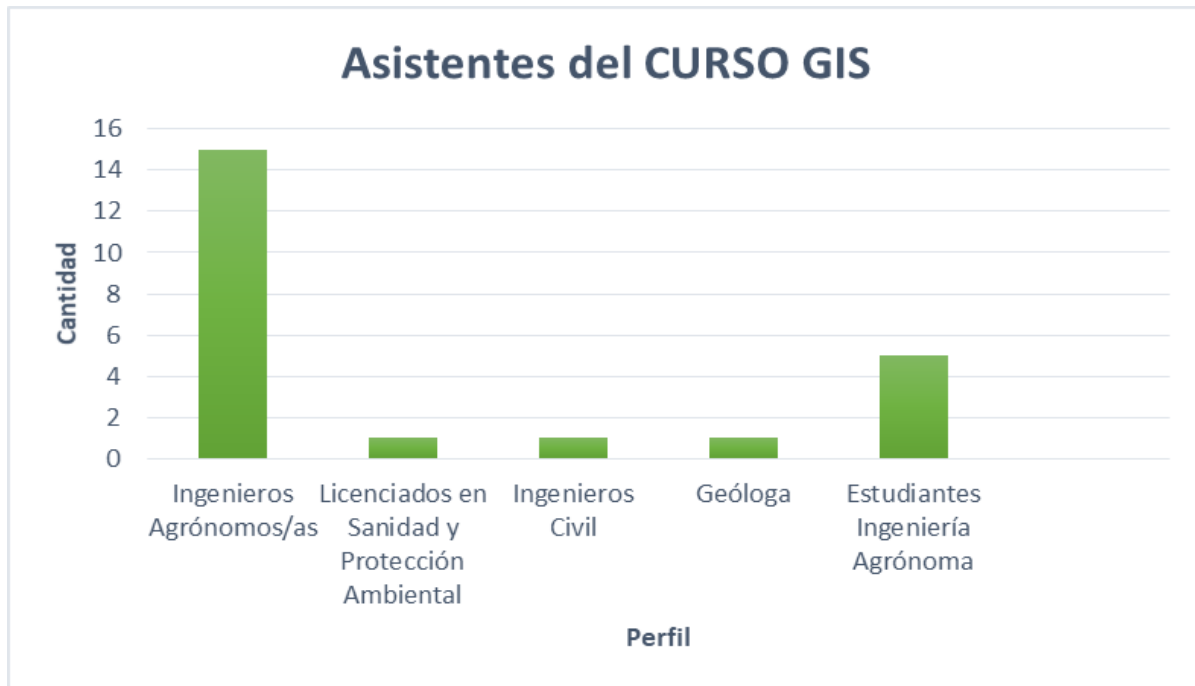


Figura 8. Numero de estudiante participantes en los cursos y perfiles profesionales.

### Trabajo de Campo en Allen

Se realizó un trabajo de muestreo campo de muestreo en Allen exploratorio. Para ello adquirió equipamiento específico donado a la Facultad de Ciencias agrarias, como Pala barreno, palas, otras herramientas descartables y gastos operativos.

Durante los días 7 y 14 de septiembre se llevó adelante un muestreo en la zona rural de Allen, en el mapa 1 se identifican los puntos relevados.

En el mismo se tomaron de 4 puntos muestras de suelos integrando 3 niveles, 0 a 30 cm, 30 a 60 cm y 60 a 90 cm, totalizando 12 muestras de suelos en total. Se realizó muestreo de aguas superficiales en la laguna al pie de los pozos EFO 280, 281, 284, 298 y 299 y 4 puntos en desagüe.



Figura 6: Mapa 1 Zona de muestreo general- Puntos amarillos pozos hidrocarburos, rombo blanco puntos de muestreo.

El muestreo de suelos se realizó con pala barreno y constituye una primera experiencia piloto para poder caracterizar y conocer el área de trabajo, que tiene tantos reportes de incidentes de derrame en el pasado.



Foto 7: Muestreo a campo con pala barreno



Foto 8: Muestras colectadas suelo y agua

Los puntos seleccionados se encuentran próximos al Barrio Calle ciega 10 de Allen, siendo este grupo de vecinas arduas luchadoras para mantenerse en el lugar y no recibir la contaminación de la actividad hidrocarburífera, ver mapa 2.





Figura 7: Mapa 2 Detalle zona próxima a barrio calle ciega 10

A estas muestras se les realizara un protocolo de laboratorio para conocer es estado general de contaminación que se describe a continuación.

### Matriz De Ensayos

#### A. Suelos

Parámetro	Método analítico
Hidrocarburos totales	EPA 3550 C-418.1
Plomo	EPA 3050 B-7000 B
Mercurio	EPA 7471-A
Arsénico	SM 3030 G/3500-As B
Cadmio	EPA 3050 B-7000 B
Cromo total	EPA 3050 B-7000 B
pH de la pasta de saturación	EPA 9045 D
Conductividad Eléctrica del extracto de la pasta de saturación	SM 2510 B

#### B. Agua

Parámetro	Método analítico
Hidrocarburos totales	EPA 418.1
Plomo	EPA 3020 A-7010

Mercurio	EPA 7470-A
Arsénico	SM 3500 As B
Cadmio	EPA 3020 A-7010
Cromo total	EPA 3020 A-7010

Los resultados de estos análisis están en proceso de publicación

## Difusión en los medios de comunicación

Se difundieron en los medios de comunicación local y nacionales notas sobre los objetivos del proyecto y las metodologías innovadoras. Las entrevistas de texto y audio fueron realizadas por el investigador principal de UNCO FACA. El número y los enlaces con información sobre las notas se presentan en la siguiente tabla.

Fecha	Título y enlace	Medio
April 25, 2023	<a href="#">Analizaron el impacto de la explotación de los hidrocarburos en las zonas productivas</a>	Noticias Neuquén
April 27, 2023	<a href="#">Analizan el impacto de la explotación de los hidrocarburos en las zonas productivas</a>	Agrovalle audio periodico
May 1, 2023	<a href="#">Estudian con realidad virtual el impacto del fracking en Vaca Muerta</a>	Diario Rio Negro
May 1, 2023	<a href="#">Virtual reality shows how fracking affects Argentinian river basin</a>	SEI media coverage
May 1, 2023	<a href="#">Analizaron el impacto de la explotación de los hidrocarburos e las zonas productivas</a>	Comahue University media
May 7, 2023	<a href="#">Analizan impacto de la producción de hidrocarburos con inteligencia artificial</a>	Forbes Argentina
May 8, 2023	<a href="#">Analizan eventual impacto de la producción de Vaca Muerta con inteligencia artificial en Río Negro</a>	Derf.AR
May 15, 2023	<a href="#">Project dissemination</a>	Desafío Energético Youtube channel Radio
October 18, 2023	<a href="#">‘Vaca Muerta was the future’: Argentina goes all in on fracking</a>	The Guardian
November 16, 2023	<a href="#">À l’ombre de Vaca Muerta : le boom du schiste et ses dégâts en Argentine</a>	Radio France Internationale

## Diseminación de los resultados del proyecto a diferentes audiencias

La diseminación de los resultados del proyecto sobre la producción de hidrocarburos no convencionales en Vaca Muerta, Argentina, ha sido amplia y diversa, abarcando diferentes audiencias y plataformas. Estos resultados se presentaron en conferencias nacionales e internacionales, así como en jornadas de divulgación e investigación. Por ejemplo, en el Congreso Nacional del Agua (CONAGUA23), se presentó un estudio sobre indicadores espaciales para el análisis de riesgo socioambiental asociado a la producción de hidrocarburos en Vaca Muerta. Además, en las VI Jornadas de Divulgación Investigación y Extensión, se discutieron análisis a nivel de cuenca y escala comunitaria, utilizando datos espaciales e información local para identificar áreas de riesgo. También se exploró el uso de percepción remota para analizar los

impactos de la industria petrolera en la región, así como el desarrollo de indicadores socioambientales para determinar el riesgo ante los impactos de la explotación de hidrocarburos no convencionales. Además de estas conferencias, los resultados también se publicaron en el Boletín Digital de la Facultad de Ciencias Agrarias (FaCA) y se presentaron en la American Geophysical Union (AGU23), donde se discutió la identificación de la expansión de plataformas de gas no convencionales mediante satélites para evaluar el riesgo para los recursos hídricos y las comunidades locales. Dichos eventos se encuentran listados a continuación:

- CONAGUA23. Congreso Nacional del Agua. “ *Indicadores espaciales para el análisis de riesgo socioambiental ante la producción de hidrocarburos no-convencional en Vaca Muerta, Argentina*” . <https://conagua.ina.gov.ar/trabajos/0205-0639.pdf>



- VI JORNADAS de DIVULGACIÓN INVESTIGACIÓN y EXTENSIÓN :
  - ANÁLISIS A NIVEL DE CUENCA A ESCALA HIDROGRÁFICAS Y COMUNIDAD: USO DE DATOS ESPACIALES E INFORMACIÓN LOCAL PARA IDENTIFICAR ÁREAS DE RIEGO POR LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS EN VACA MUERTA ARGENTINA <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17175>
  - EL USO DE PERCEPCIÓN REMOTA EN EL ANÁLISIS DE IMPACTOS DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN VACA MUERTA – UNA EXPERIENCIA INTERACTIVA <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17175>
  - DESARROLLO DE INDICADORES SOCIOAMBIENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO ANTE LOS IMPACTOS DE LA EXPLOTACIÓN NO CONVENCIONAL DE HIDROCARBUROS EN VACA MUERTA UTILIZANDO SIG Y TELEDETECCIÓN <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17175>
- Orrego, L., Davies, C., González, A., Roca, J. C., Diaz Gómez, R., Mautner, M., & Forni, L. (2023). MAPEO DE INCIDENTES EN VACA MUERTA Y SU INFLUENCIA EN EL ALTO VALLE DE RÍO NEGRO Y NEUQUÉN. Boletín Digital De La FaCA, 1(1), 17–21. [https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/boletin\\_electronico\\_FCA/article/view/4990](https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/boletin_electronico_FCA/article/view/4990)
- AGU 23 American Geophysical Union. ““Satellite driven identification of unconventional gas platform expansion to assess risk to water resources of agricultural and local communities””. [Satellite driven identification of unconventional gas platform expansion to assess risk to water resources of agricultural and local communities. \(confex.com\)](https://www.confex.com/AGU23/AGU23/paper.cgi/Satellite-driven-identification-of-unconventional-gas-platform-expansion-to-assess-risk-to-water-resources-of-agricultural-and-local-communities)

## Próximos pasos

Continuaremos con las investigaciones y trabajos de campo planificados, los cuales nos permitirán ajustar y validar las áreas de máximo riesgo identificadas mediante los análisis espaciales, además de mejorar los modelos espaciales generados. Estamos proyectando la realización de cursos remotos especializados, dirigidos a fortalecer la capacidad técnica para desarrollar indicadores que sigan informando nuestra plataforma. Asimismo, planeamos continuar con las actividades de diseminación de resultados en diferentes conferencias y publicaciones durante el año, para ampliar el alcance y la relevancia de nuestra investigación.

## Conclusión

En conclusión, el presente informe destaca los resultados obtenidos tras un exhaustivo análisis bibliográfico, análisis espacial y de teledetección, entrevistas a profesionales, mapeo participativo y consulta a referentes locales en relación con las áreas críticas de riesgo ambiental en Vaca Muerta, Argentina.

Se identificaron áreas de riesgo ambiental en los barrios, donde se destacan tres puntos críticos con niveles de riesgo alto y medio, principalmente en la provincia de Río Negro. Asimismo, se identificaron puntos críticos de riesgo ambiental en los ríos, con la presencia de pozos no convencionales a distancias preocupantes en las provincias de Neuquén y Río Negro. También se evidenciaron puntos críticos de riesgo ambiental en los canales de riego, señalando la importancia de su ubicación estratégica en relación con la actividad petrolera.

El análisis de riesgo de fugas subterráneas subraya la necesidad de considerar la interacción entre pozos convencionales y no convencionales, así como los riesgos asociados a posibles derrames, como lo evidencian casos previos en Villa Manzano. Además, se destaca el papel de la plataforma Observ.ar en el análisis y monitoreo de la actividad de explotación de hidrocarburos, proporcionando una herramienta integrada, colaborativa y transparente para la toma de decisiones.

Por último, el desarrollo de capacidades técnicas mediante cursos de posgrado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Comahue refleja el compromiso con la formación y capacitación local en herramientas geoespaciales, garantizando la continuidad de los análisis y el monitoreo del avance de la industria del fracking en las cuencas.

En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de una evaluación integral de los riesgos ambientales asociados con la producción de hidrocarburos en Vaca Muerta, así como la necesidad de políticas y acciones que promuevan una gestión sostenible y responsable de los recursos naturales en la región.

---

# Anexo 1

## Curso 1: Introducción a la teledetección y sistemas de información geográfica con software libre

Este curso fue aprobado por el Consejo Directivo de la Facultad por Resolución FCA 30/2023

Este curso presenta contenidos introductorios sobre teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), geotecnologías claves para el desarrollo de las ciencias naturales y sociales. Los SIG permiten responder preguntas complejas y resolver problemas debido a que facilitan el análisis espacial y la integración de datos georreferenciados. La teledetección es la técnica para analizar la información proveniente de sensores remotos que permite el desarrollo innovador y la aplicación de nuevos métodos científicos. El desarrollo de productos como mapas, análisis espaciales de producción agrícola y cambios de uso del suelo son algunos de sus usos. Así también lo es el monitoreo de variables ambientales y antropogénicas, las cuales apoyan a la toma de mejores decisiones. Estas herramientas potencian el perfil laboral, facilitando la interdisciplinariedad y la respuesta a problemas tanto locales como regionales.

Los objetivos principales de este curso fueron: a) Aprender de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su utilidad en el conocimiento de un territorio y en el análisis de complejos procesos e interacciones; b) Proporcionar herramientas metodológicas que permitan comprender la geomática y aplicar herramientas geoespaciales de SIG y teledetección básicas para estudios de recursos naturales y la gestión del territorio. En este curso se inscribieron 8 estudiantes y 15 graduados, finalizando el mismo 5 estudiantes y aprobando 6 graduados.

Entre los métodos de enseñanza presentados, se propuso el aprendizaje colaborativo aplicando el conocimiento local. Se utilizaron herramientas online en el uso de encuestas y evaluación de los avances. También se utilizaron pizarrones virtuales y aplicaciones para la generación de visualizaciones. Las clases fueron dinámicas con interacción alumno-profesor, alumno-alumno con discusiones constructivas potenciando el pensamiento crítico en el uso de estas herramientas y como aplicarlas para lograr los objetivos del proyecto.

Se trabajaron ejemplos de casos locales, teniendo en cuenta la actividad económica principal como es la agricultura de frutas con ejemplos concretos. Se trabajó con base de datos locales, identificando el territorio y sus componentes. Se presentó bases de datos internacionales y se trabajaron métodos para el acceso, descarga y manejo de datos para el análisis a escala local.

Se presentaron ejemplos de plataformas geoespaciales con información de sensores remotos de acceso libre y con soporte técnico online para promover la independencia en análisis futuros.

## Curso 2: Manejo de plataforma Geoespacial de Seguridad Ambiental – GIS Avanzado

Este curso tuvo el objetivo de avanzar en el codesarrollo de la plataforma geoespacial para el análisis de los riesgos por la expansión del fracking en las cuencas hidrológicas de Vaca Muerta. Proporcionar conocimientos de desarrollo, aplicación y usos de plataformas geoespaciales. Promover las ventajas del uso de la plataforma geoespacial de seguridad ambiental. Desarrollando la capacidad de análisis espacial a partir de la selección de visualizaciones innovadoras. Asegurando el manejo eficiente de la misma y su mantenimiento a largo plazo.

La plataforma geoespacial es una herramienta multifuncional para la gestión del territorio y es de acceso libre. La misma incluye la centralización, procesamiento y representación de datos georreferenciados. Se

trata de una geotecnología que responde a las problemáticas complejas del territorio, en este caso el riesgo de la actividad de fracking a los recursos hídricos. Involucra, métodos de análisis espaciales, desarrollo de visualizaciones y otros usos. Ante las problemáticas encontradas en el territorio, esta herramienta sirve como base para la toma de decisiones basada en evidencias proveniente de datos georreferenciados y teledetección incrementando el nivel de confiabilidad. Es de libre acceso para asegurar la participación de los diferentes actores territoriales.

Las clases fueron enfocadas en la aplicación de los métodos de análisis de SIG y teledetección para el codesarrollo de indicadores espaciales de riesgo ambiental, social y económico ante el avance del fracking. Las clases presenciales y virtuales se enfocaban en el aprendizaje con base en el conocimiento local y los desafíos presentes. Se presentaron y analizaron plataformas geoespaciales existente extrayendo ventajas para apoyar el desarrollo de la plataforma local. El curso también promovió la independencia en el trabajo de cada alumno y la libertad de elección en la generación de un indicador clave para la plataforma. Las discusiones fueron productivas y con un enfoque interdisciplinario otorgado por cada uno de sus participantes y la diversidad de roles de sus trabajos en el área. Este curso lo finalizaron 6 estudiantes y aprobaron 8 profesionales graduados.



Foto 1. Curso de plataforma geoespacial. Docentes de SEI en la presentación de los componentes de una plataforma y usos, Abril 28 de 2023, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Rio Negro, Argentina.

### **Mapeo participativo para la identificación de áreas de riesgo en las cuencas hidrológicas de Vaca Muerta.**

Durante las clases presenciales llevadas a cabo en el curso 2 focalizado en el codesarrollo de la plataforma geoespacial ante el riesgo por el fracking en Vaca Muerta, se ejecutó un protocolo de mapeo

participativo con los estudiantes presentes y profesores locales como base para entender la complejidad del territorio, la percepción local y espacial de las áreas de riesgos.

El mapeo participativo es una herramienta que fue desarrollada para empoderar las comunidades incorporando el conocimiento local de su territorio y haciéndola participe del proceso de toma de decisión (Sieber 2016, Denwood et al. 2022). Esta herramienta intenta minimizar la insatisfacción abordando las desconexiones entre las opiniones locales y las prioridades de las distintas partes interesada en la toma de decisiones (Radil and Jiao 2016). En América Latina numerosos son los ejemplos donde el mapeo participativo fue utilizado como herramienta para asegurar la tenencia de la tierra en comunidades indígenas y asegurar por ende el desarrollo sustentable de las mismas ante actividades extractivas e intereses externos (Sletto 2013). El proceso del mapeo participativo se llevó a cabo en la Facultad de Agricultura de la Universidad del Comahue, el tiempo de duración de la clase taller fue de 3 horas y consto de 4 fases (Foto 2).

El proceso de mapeo participativo se llevó a cabo considerando guías y fases de protocolos establecidos en américa latina utilizados en conflictos ambientales de casos de éxito (Fennel et al. 2022, Barrera-Lobatón Y Fenner-Sánchez 2019). En la primera fase el facilitador en este caso la docente, facilito los conceptos de áreas de riesgos, actores principales, y las causas de los riesgos potenciales. A su vez, se presentaron los componentes de la plataforma geoespacial: usuarios, desarrolladores y contenido como indicadores geoespaciales de riesgos.

En la fase 2 y 3 Se reunieron en grupos de discusión y además de proponer fuentes de información potencial para la extracción de datos con metodologías de GIS y teledetección indicaron potenciales indicadores de riesgo ambiental para la zona. En la Fase 3 se realizó la presentación por grupo en una plenaria donde se integraron todas las propuestas discutiendo los conflictos socioambientales identificados y principalmente los relacionados al fracking. Se propusieron un listado de los actores locales, los posibles usuarios de la plataforma como herramienta para el monitoreo y las fuentes de datos. Se utilizó afiches para presentar los resultados pensados y escritos colaborativamente.

En la fase 4, se facilitó dos mapas impresos en tamaño afiche del área de estudio y se les brindo stickers con de diferente color para identificar áreas de riesgo alto medio y bajo. Áreas donde no debería estar la presencia de pozos de fracking y áreas donde si debieran estar los pozos de manera de asegurar un desarrollo sustentable. Los participantes observaron el mapa y según su criterio establecieron la simbología correspondiente identificando las áreas de riesgos. Finalmente, ser realizo una discusión cierre sobre las razones de elección de esas áreas.



Foto 2. Fase 2 se trabajó en grupo de 4 participantes donde se discutió acerca de los posibles riesgos y cuáles serían los indicadores claves para detectar los mismos.



Foto 3. Fase 2. Grupos de trabajo en discusión y planteo de necesidades e indicadores de riesgos.





Foto 4: Presentación por grupo de los componentes de la plataforma geoespacial para el riesgo, usuarios, desarrolladores y contenidos claves.



Foto 5. Fase 4. Mapeo participativo en mapas impresos donde referentes locales realizan un reconocimiento del área a trabajar.



Foto 6: Mapeo participativo participantes discutiendo entre ellos las áreas de riesgo en el alto valle.

### Resultados del Mapeo participativo

A continuación, se presenta los resultados de la fase 2 de discusión y el resumen de la información propuesta por los participantes. Indicando las necesidades locales de información geoespacial de las variables ambientales sociales y económicas necesarias. También se indican los conflictos territoriales según la percepción de los participantes entre el uso del suelo para la producción petrolera y los otros usos del suelo (agricultura, ganadería, urbano, natural). Se plantean los usuarios y desarrolladores y las fuentes de información.

#### GRUPO I

Necesidades planteadas:

1. **Identificación de los diferentes usos del suelo**
  - a. **Suelo para extractivismo: minería, actividad hidrocarburífera.**
  - b. **Suelo para producción agropecuaria**
    - i. **Feedlot (en el Alto Valle de RN y Nqn existe este tipo de actividad en suplantación de la actividad frutícola)**
    - ii. **Ganadería extensiva.**
    - iii. **Pasturas**
    - iv. **Fruticultura.**
    - v. **Horticultura.**
    - vi. **Otros.**
  - c. **Otras actividades productivas.**
2. **Usos del recurso agua**
  - a. **Consumo humano.**

- b. **Producción.**
      - i. Agropecuaria.
      - ii. Extractivismo
      - iii. Recreativo.
3. **Calidad del agua para consumo humano y, ¿cómo queda luego de los usos productivos?**
4. **Definir la distribución territorial** ☒ Planteándose que los ejidos no tienen una planificación y que tampoco se sigue, de existir. El cambio del uso de la tierra de producción a uso inmobiliario es de fácil acceso y no está regulado.
5. **Definición de zonas de riesgos.**
  - a. **Sísmicos**
    - i. Fenómenos naturales
    - ii. Antropogénico (fracking)
  - b. **Inundables**
  - c. **Salud**
    - i. Pecuaria.
    - ii. Flora.
    - iii. Fauna.
    - iv. Humana.

Usuarios: ¿Quiénes podrían acceder a dicha información?

1. **ONGs**
2. **Organismos gubernamentales**
3. **Asociaciones de productores, como Cámara de Fruticultores, AFRs (asociaciones de fomento rural).**
4. **Ámbito académico, involucrando a las universidades en la zona (Universidad Nacional del Comahue, Universidad de Río Negro). Que a través de la misma se pueda generar un “ida y vuelta” de información entre las comunidades, asociaciones, productores.**
5. **Público en general**

Desarrolladores

Trabajo conjunto o con aportes de:

- **ONG.**
- **Universidades.**
- **Organismos gubernamentales.**
- **SEIS**

Indicadores propuestos

1. **Relación entre escorrentías/pendientes.**
2. **Tipos de suelos en relación con riesgos de derrames y contaminación de acuíferos.**
3. **Datos INDEC de población.**
4. **Índice de pobreza**
  - a. **Poder adquisitivo.**
  - b. **Acceso a bienes y servicios.**
  - c. **Costo de vida**
5. **Índice de felicidad**

- a. Existe y se define de la siguiente manera:
  - i. El índice está diseñado para medir el desarrollo de los países en base a tres aspectos fundamentales:
    1. Esperanza de vida al nacer
    2. Percepción subjetiva de felicidad de sus habitantes
    3. Huella Ecológica

Además, se complementa estudiando el PIB y el IDH de los países, para tomar en cuenta la sostenibilidad, solvencia económica y el estado económico en el que se encuentra cada uno de ellos.

6. Cercanía explotación minera con sistemas productivos agropecuarios.
7. Calidad del agua
8. Proximidad de extractivismo hidrocarburífero y minera a humedales (mallines).
9. Población/cercanía a pozos petroleros convencionales y no convencionales.
10. Nº de incidentes hidrocarburíferos o mineros / cercanía a la población.

## GRUPO II

Necesidades planteadas

1. Ordenamiento territorial
2. Zona de inundación, para seguridad civil.
3. Cuantificación de costos de reconstrucción y pérdidas.
4. Usos del agua y cuantificación (¿cuánto se gasta/utiliza?)
5. Acceso al agua y quienes
6. Calidad del agua ☐ Población, área de influencia.
7. Acceso a servicios básicos.
8. Nivel de pobreza
9. Área de influencia de pozos a la cercanía de fuentes de agua.

Usuarios

1. Mundo académico
2. Tomadores de decisiones ☐ organismos gubernamentales.
3. ONGs
4. Entes no gubernamentales.
5. Instituciones como el INTA, OPSUR, Ciencia y técnica.
6. Organismos privados.
7. Entes estatales, DPA, UNCo
8. Asociaciones AFR, Cámara de productores

Desarrolladores

1. Datos extraídos/aportados por:
  - a. AIC
  - b. INTA
  - c. CATASTRO
  - d. Agroindustria

- e. MINI
- f. DPA
- g. ITAMA
- h. Prefectura
- i. Mapas de cultivos y vegetación, como pasturas, frutales, mallines, cortinas de álamos.
- j. Datos de freáticos
  - i. Nivel
  - ii. Muestreo
  - iii. Contaminación
  - iv. Conductividad eléctrica
- k. SENASA: RENSPA
- l. SPLIF (Bosques RN y NQN)
- m. Dirección de bosques / parques nacionales.

#### Indicadores

- 1. Económicos
  - a. Nivel de ingresos
- 2. Sociales
  - a. Acceso al agua, ¿qué tipo de acceso?
  - b. Ejido urbano.
  - c. Ejido municipal
  - d. Acceso y nivel educativo.
- 3. Ambiental
  - a. Uso del agua
  - b. Uso del suelo
    - i. Ganadería.
    - ii. Urbano.
    - iii. Agricultura.
      - 1. Forestal
      - 2. Pasto
      - 3. Fruticultura
      - 4. Horticultura
      - 5. Etc.
    - iv. Natural.
    - v. Suelo con riego o sin riego.
  - c. Dotación: 1lt/seg/ha
  - d. Mapeo de mayor, menor o nulo (relacionándolo con el estado del suelo, menor o nulo, ¿se encontrarían en situación de abandono?)
  - e. Mapeo del índice de heladas.

#### GRUPO III

##### Necesidades

- 1. Zonas de alto riesgo de contaminación
- 2. Ordenamiento territorial.
- 3. Zonas seguras para actividad hidrocarburífera.

4. Zonas urbanizables y productivas según aptitud del suelo.
5. Detección de poblaciones vulnerables.
6. Zonas críticas de infraestructura: obras de arte, distancia a agua de riego ☐ Relacionado con riesgos de sismicidad con actividad del fracking, y contaminación propia de la actividad.

#### Usuarios

1. Organismos gubernamentales y de regulación.
2. Organismos profesionales.
3. Público en general.
4. Productores.
5. Desarrolladores
6. SEI – FaCA – UNCo
7. OPSUR
8. Cátedra libre de transición energética y agropecuaria.

#### Desarrolladores

1. COPADE
2. Subsecretaría de fruticultura.
3. DPA
4. AIC
5. SENASA
6. INDEC
7. Estadísticas y censos.
8. Empresas petroleras.
9. Facultad de Humanidades.

#### Información clave

1. Red de freáticos ☐ Profundidad de napa.
2. Estaciones meteorológicas.
3. Fuentes de agua potable.
4. Tratamientos de efluentes.
5. Mapas de suelos.
6. Usos del suelo
7. Cuánto para producción, para urbanización.
8. Forma de tenencia de la tierra (Tipos sociales agrarios)
9. Vegetación autóctona ☐ Proponen la realización de un relevamiento, lo cual existe, fue realizado por la cátedra de Botánica Agrícola Sistemática de la carrera Ing. Agrónoma de FaCA – UNCo y se hallan libros disponibles).
10. Relevamiento social de la zona del Valle y de la Meseta.
11. Zonas de riesgo de inundación.
12. Cuencas (H y A)
13. Red de canales y drenajes.
14. Red de caminos.
15. Centro poblacionales.
16. Ubicación de locaciones petroleras y sus respectivas áreas (¿cuánto abarcan?)

**17. Calidad del agua**

- a. Red de muestreo
- b. Existente

## Indicadores

1. Profundidad de la napa / Tipo de suelo / Pendiente ☑ ZONAS CRÍTICAS
2. Zonificación relación ☑ densidad de población, uso del suelo, aptitud del suelo, fuentes de agua potable, sistemas de riego.
3. Zona buffer de locaciones petroleras.
4. Relación entre locaciones petroleras y cuencas aluvionales.
5. Análisis de agua (hidrocarburos) vs. Distancia petrolera.

## Conclusiones generales del mapeo participativo

- Las áreas de riesgos se ubican principalmente en la zona del valle Alto valle, zonas con pozos cercanos a casas. Las áreas de máximo riesgo están ubicadas a las cercanías de ríos y áreas de producción agrícola.
- Las zonas altas de las cuencas están marcadas con zonas de riesgo medio y elevado.
- Se propone agregar zonas donde sí se podrían establecer las zonas de producción de hidrocarburo, principalmente la meseta.
- Se identifica como zonas de máximo riesgo las zonas con napa freática cercana a la superficie y se manifiesta la necesidad de conocer la variabilidad de la profundidad de manera espacial y monitoreos continuos.
- Se plantea la desconexión entre tomadores de decisiones
- Se plantea la necesidad de datos abiertos y mapas informativos sobre las conexiones entre la producción petrolera y las dimensiones sociales, económicas y ambientales.
- Se plantea que la solución potencial es el ordenamiento territorial para la ubicación de la actividad considerando los impactos y riesgos.

Mapa con gradiente de riesgos.

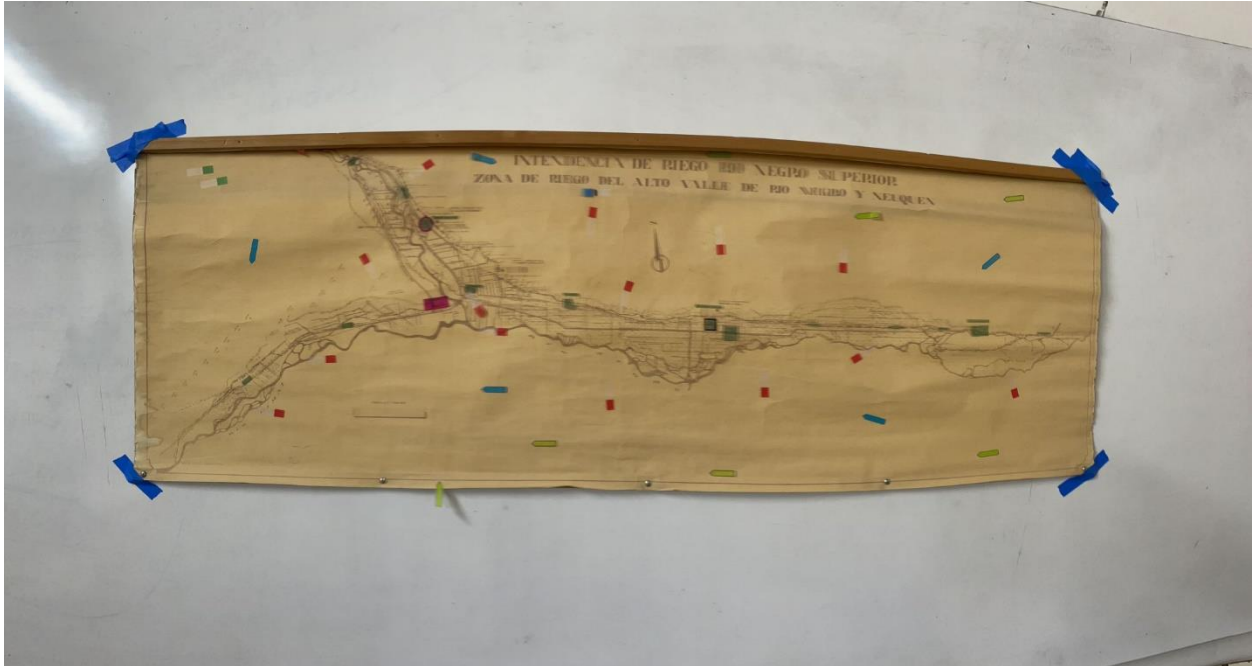


Foto 6: Mapeo de las zonas de riesgos. Los stickers color rojo indican zonas de alto riesgo ambiental, social y económico. Las zonas con stickers verdes indican zonas de bajo riesgo.

## Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por (2016). *Fracturación hidráulica para petróleo y gas: Impactos del ciclo del agua de fracturación hidráulica en los recursos de agua potable en los Estados Unidos (Informe final)* (EPA/600/R-16/236F). Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA).
- Castaldi, F., Halil Koparan, M., Wetterlind, J., Žydelis, R., Vinci, I., Özge Savaş, A., Kivrak, C., Tunçay, T., Volungevičius, J., Obber, S., Ragazzi, F., Malo, D., & Vaudour, E. (2023). Evaluación de la capacidad de las series temporales de Sentinel-2 para estimar el contenido de carbono orgánico y arcilla del suelo a escala local en tierras de cultivo. *ISPRS Revista de Fotogrametría y Teledetección*, 199, 40–60. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.03.016>
- Chakraborty, J., Maantay, J. A., & Brender, J. D. (2011). Proximidad desproporcionada a los peligros ambientales para la salud: métodos, modelos y medición. *Revista Americana de Salud Pública*, 101(S1), S27–S36. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2010.300109>
- Jackson, R. B., Vengosh, A., Carey, J. W., Davies, R. J., Darrah, T. H., O'Sullivan, F., & Pétron, G. (2014, 17 de octubre). *Los costos y beneficios ambientales del fracking* (mundo) [Artículo de revisión]. <https://doi.org/10.1146/annurev-Environ-031113-144051>; Revisiones anuales. <https://doi.org/10.1146/annurev-Environ-031113-144051>



- Lefebvre, R. (2017). Mecanismos que conducen a los impactos potenciales del desarrollo del gas de esquisto en la calidad de las aguas subterráneas. *WIREs Agua*, 4(1), e1188.  
<https://doi.org/10.1002/wat2.1188>
- Loveless, S. E., Lewis, M. A., Bloomfield, J. P., Davey, I., Ward, R. S., Hart, A., & Stuart, M. E. (2019). Un método para evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a partir de las prácticas de extracción de hidrocarburos del subsuelo. *Revista de Gestión Ambiental*, 249, 109349.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109349>
- Meng, Q. (2015). Análisis espacial del medio ambiente y la población en riesgo de fracking de gas natural en el estado de Pensilvania, EE.UU. *La Ciencia del Medio Ambiente Total*, 515–516.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.030>
- Mzid, N., Pignatti, S., Huang, W., & Casa, R. (2021). Un análisis de la presencia de suelo desnudo en tierras de cultivo cultivables para aplicaciones de teledetección en la capa superior del suelo. *Teledetección*, 13.3), artículo 3.<https://doi.org/10.3390/rs13030474>
- Oregón DEQ. (1998). *Guía para la identificación de puntos calientes*. Departamento de Calidad Ambiental de Oregón (DEQ, por sus siglas en inglés).  
<https://www.oregon.gov/deq/FilterDocs/GuidanceIdentificationHotSpots.pdf>
- Proyecto QGIS. (2023). 27. *Proveedores de tratamiento y algoritmos*, 27.1. *Proveedor de algoritmos QGIS*, 27.1.5. *Interpolación*, 27.1.5.1. *Mapa de calor (estimación de la densidad del kernel)*. Guía del usuario de QGIS.  
[https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user\\_manual/processing\\_algs/qgis/interpolation.html#heatmap-kernel-density-estimation](https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/interpolation.html#heatmap-kernel-density-estimation)
- Sinha, P., Lambert, M. B., & Schew, W. A. (2007). Evaluación de un algoritmo de delineación de puntos calientes ambientales basado en el riesgo. *Revista de Materiales Peligrosos*, 149(2), 338–345.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.086>  
<https://cfpub.epa.gov/ncea/hfstudy/recordisplay.cfm?deid=332990>
- Vengosh, A., Jackson, R. B., Warner, N., Darrah, T. H., & Kondash, A. (2014). Una revisión crítica de los riesgos para los recursos hídricos del desarrollo de gas de esquisto no convencional y la

fracturación hidráulica en los Estados Unidos. *Ciencia y Tecnología Ambiental*, 48(15), 8334–8348.

<https://doi.org/10.1021/es405118y>

Vengosh, A., Mitch, W. A., & McKenzie, L. M. (2017). Impactos ambientales y humanos del desarrollo de energías no convencionales. *Ciencia y Tecnología Ambiental*, 51(18), 10271–10273.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04336>

Vilela Pinto dos Anjos, H., Szklo, A., & Chávez Rodríguez, M. F. (2023). Integración del mercado de gas en América del Sur: El papel del gas argentino para reducir la exposición regional a las importaciones de gas natural licuado. *Energía y Medio Ambiente*, 0958305X231171353.

<https://doi.org/10.1177/0958305X231171353>

Ward, R. S., Stuart, M. E., & Bloomfield, J. P. (2014). Los aspectos hidrogeológicos de la extracción de gas de esquisto en el Reino Unido. En *Fracking* (pp. 121-150). La Real Sociedad de Química.