

Inventario de los medios sísmicos

A - INTRODUCCIÓN

Los movimientos ecologistas se oponen firmemente a las campañas de sísmica 3D por explosión en tierra (onshore), denunciando el impacto directo de las detonaciones sobre la fauna y los ecosistemas, la destrucción de los suelos y de la vegetación debido al paso de maquinaria pesada, así como los riesgos de contaminación de las napas freáticas. Critican principalmente este método por considerarlo una herramienta que facilita en exceso la expansión de los combustibles fósiles.

El público en general no conoce las evoluciones tecnológicas recientes en las técnicas de exploración sísmica e ignora la diversidad de los métodos existentes. En la mente del público, los únicos métodos de exploración se resumen generalmente a la sísmica por explosiones y a la sísmica por Vibroseis (camiones vibradores).

Los principales argumentos ambientales y societarios presentados en contra de la sísmica tradicional se articulan en torno a varios ejes mayores:

1. Impacto de las ondas de choque y de los explosivos en la fauna y la flora

- **Perturbación de los ecosistemas:** Las cargas explosivas, ubicadas en pequeños pozos de tiro previamente perforados, generan ondas sísmicas de alta intensidad. Estas perturban gravemente a los animales terrestres y subterráneos, provocando estrés agudo, modificaciones conductuales duraderas o incluso el abandono completo de zonas de reproducción o de invernada.
- **Destrucción de hábitats:** Para implantar las líneas físicas de geófonos y las fuentes (ya sean explosivos o camiones vibradores), a menudo es necesario desmontar y abrir picadas o pistas de acceso rectilíneas en zonas naturales frágiles o bosques, lo que provoca una severa fragmentación de los hábitats y una erosión acelerada de los suelos.

2. Riesgos vinculados a las perforaciones para explosivos

- **Contaminación de acuíferos:** El método por explosión requiere perforar pozos de tiro con una profundidad que varía entre unos pocos metros y varias decenas de metros. Los expertos señalan el riesgo mayor de contaminación de los acuíferos superficiales y profundos, ya sea por la mezcla accidental de aguas de diferentes capas o por la infiltración de residuos químicos de los explosivos.
- **Degradación geológica:** El uso repetido de dinamita puede generar microfracturas dentro de la matriz rocosa subyacente, modificando de forma irreversible los flujos de agua subterránea y debilitando la estabilidad mecánica de los suelos.

Inventario de los medios sísmicos

3. Molestias para las comunidades locales

- **Vibraciones y contaminación acústica:** Las explosiones sucesivas y el tránsito continuo de camiones pesados generan ondas acústicas y vibraciones de gran amplitud que incomodan a las poblaciones locales y pueden provocar microfisuras estructurales en los cimientos de las edificaciones aledañas.

4. La crítica climática global

- **Continuación de la era de los combustibles fósiles:** Más allá de los daños físicos visibles directamente en el terreno, el argumento central de las organizaciones no gubernamentales (ONG) es que la sísmica 3D es solo una fase preparatoria de una exploración industrial costosa. Su objetivo final sigue siendo el descubrimiento de nuevos yacimientos de petróleo, gas convencional o gas de esquisto (shale gas). Para los movimientos ambientales, invertir masivamente en esta tecnología contradice directamente los objetivos internacionales de descarbonización y de lucha contra el calentamiento global.

5. Comparación detallada de impactos (Control de la energía)

Categoría de Impacto	Sísmica por Explosivos (Dinamita)	Sísmica por Camiones Vibradores (Vibroseís)
a- Impactos ambientales y ecológicos	Alto riesgo de deterioro y trauma en la fauna local debido al efecto de sobresalto por el ruido repentino. Potencial contaminación duradera del subsuelo por los residuos químicos de las cargas tras la detonación.	Contaminación acústica continua pero progresiva (barrido de frecuencias), lo que permite la huida preventiva de los animales. El riesgo de contaminación se limita estrictamente a fugas accidentales de fluidos hidráulicos de los vehículos.
b- Impactos en estructuras e infraestructuras	Generación de fuertes vibraciones superficiales que pueden agrietar edificaciones cercanas. Su uso está estrictamente prohibido o muy regulado cerca de zonas urbanas.	Uso de frecuencias moduladas y programadas para evitar alcanzar la frecuencia de resonancia de los edificios vecinos. Despliegue seguro, probado y muy frecuente en entornos urbanos o industriales.
c- Impactos geofísicos y calidad de datos	Señal de alta frecuencia ideal para mapear estructuras geológicas muy profundas. Sin embargo, la zona de impacto directo sufre una alteración en su estructura (zona plástica), lo que altera la señal original.	Señal perfectamente repetible y ajustable (selección precisa de rangos de frecuencia) para enfocarse en capas geológicas específicas. No obstante, la penetración es menor en

Inventario de los medios sísmicos

		sedimentos muy densos o a gran profundidad.
d- Impactos logísticos y de terreno	Requiere obligatoriamente la perforación previa de pozos de tiro profundos. Implica una logística compleja vinculada a la seguridad normativa, el almacenamiento y el transporte de materiales peligrosos.	Provoca una compactación superficial visible debido al gran peso de los camiones (generalmente entre 20 y 30 toneladas). Por lo tanto, su uso se limita a terrenos transitables o accesibles mediante caminos.

6. Las profundidades de investigación según los objetivos

La elección del método de exploración o de perforación depende directamente de la profundidad del objetivo geológico:

- Muy baja profundidad (0 a 50 metros): Geotecnia
 - Esta zona corresponde a la construcción de infraestructuras, cimientos y estudios mecánicos de suelos.
 - Herramientas: Ensayos de penetración (SPT/CPT), Perforación con barreno helicoidal, Testificación (carotaje) convencional, Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT).
- Baja a media profundidad (50 a 500 metros): Geotecnia pesada y Geotermia somera
 - Este segmento se enfoca en grandes obras civiles (túneles) y geotermia mediante sondas (bombas de calor).
 - Herramientas: Perforación Rotary (circulación directa), Perforación con martillo de fondo (DTH), Sísmica de refracción.
- Gran profundidad (500 a 3.000 metros): Geotermia profunda (Hidrotermia)
 - Esta profundidad busca la captura de acuíferos calientes para calefacción urbana o producción de electricidad.
 - Herramientas: Perforación Rotary pesada (con motores de fondo de alto rendimiento para perforación dirigida), Sísmica de reflexión 2D/3D, Perfiles eléctricos/Diografías (gamma-ray, neutrones).
- Muy gran profundidad (Más de 3.000 a 7.000 metros): Petróleo, Gas y Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS)
 - Este dominio de profundidad extrema requiere tecnologías de punta para resistir presiones y temperaturas intensas.
 - Herramientas: Tecnología satelital RSS-NMR (toda la adquisición de datos se realiza desde el espacio mediante satélites dedicados), Sísmica de reflexión 3D/4D (monitoreo dinámico).

Inventario de los medios sísmicos

B - VIBROSEIS VERSUS EXPLOSIÓN

El impacto ambiental, logístico y técnico del método Vibroseis (camiones vibradores) y de la sísmica por explosión (dinamita) varía radicalmente según la naturaleza topográfica del terreno.

De manera general, se prefiere el método Vibroseis en entornos urbanos y desérticos por su seguridad operativa y rapidez de ejecución. Por el contrario, la sísmica por explosión sigue siendo técnicamente indispensable en bosques densos debido a las severas restricciones de accesibilidad geográfica.

Análisis detallado por entorno de intervención

1. Impacto en entornos boscosos / selva densa

- **Vibroseis - Destrucción de la flora:** Los camiones que pesan varias decenas de toneladas exigen la apertura de picadas rectilíneas de 3 a 5 metros de ancho, provocando una deforestación local significativa.
- **Vibroseis - Fragmentación de hábitats:** La apertura de estas vías anchas altera de forma duradera a la fauna silvestre y rompe los corredores ecológicos.
- **Vibroseis - Compactación del suelo:** El peso extremo de los equipos destruye de manera irreversible la estructura superficial y la porosidad del suelo.
- **Sísmica por explosión - Preservación del dosel (canopeo):** El transporte de equipos ligeros de perforación solo requiere senderos estrechos de menos de 1,5 metros.
- **Sísmica por explosión - Molestia efímera:** Las detonaciones subterráneas provocan un ruido instantáneo que asusta puntualmente a la fauna, pero el impacto físico en el hábitat es mínimo a largo plazo.

2. Impacto en entornos desérticos

- **Vibroseis - Logística ideal:** Los grandes espacios planos permiten que las caravanas de camiones progresen a velocidades récord.
- **Vibroseis - Cero residuos:** Este método no deja residuos químicos en el suelo y no requiere el uso de agua.
- **Vibroseis - Huellas superficiales:** El paso deja huellas de neumáticos en la arena, que se borran rápidamente por la acción natural del viento.
- **Sísmica por explosión - Dificultades de perforación:** Perforar pozos de tiro en dunas de arena inestables requiere entubados (casings) sistemáticos, lo que ralentiza el avance.
- **Sísmica por explosión - Consumo de recursos:** El proceso de perforación requiere grandes volúmenes de agua, un recurso crítico y escaso en entornos desérticos.

Inventario de los medios sísmicos

3. Impacto en entornos urbanos y semiurbanos

- **Vibroseis - Seguridad de las infraestructuras:** Las vibraciones emitidas están programadas electrónicamente (curvas de barrido) y respetan normas estrictas para evitar daños en cimientos o tuberías enterradas.
- **Vibroseis - Molestia sonora moderada:** El ruido emitido es comparable al del motor de un camión industrial grande funcionando durante unos segundos.
- **Sísmica por explosión - Peligro crítico:** Las ondas de choque de una explosión subterránea no controlada pueden agrietar edificios, romper cristales y dañar redes de servicios sensibles (gas, agua).
- **Sísmica por explosión - Prohibición legal:** En casi todos los países, el uso de dinamita está totalmente prohibido cerca de zonas pobladas por razones evidentes de seguridad pública.

Conclusión de la evaluación del terreno:

La elección de la tecnología depende de un arbitraje fino entre la accesibilidad geográfica y la preservación del medio ambiente. El método Vibroseis se impone allí donde los vehículos pueden circular sin destruir la naturaleza (ciudades, desiertos, llanuras). Por el contrario, la sísmica por explosión sigue siendo el único método viable para mapear el subsuelo en zonas de topografía compleja (bosques densos). Sin embargo, está claro que ninguna de estas técnicas convencionales puede ser utilizada de manera responsable dentro de un parque nacional.

C - NUEVAS TECNOLOGÍAS DE EXPLORACIÓN: RSS-NMR Y SÍSMICA DE BAJO IMPACTO

El uso de la tecnología RSS-NMR (Remote Sensing Survey - Nuclear Magnetic Resonance) representa una de las soluciones más innovadoras y respetuosas para estudiar el subsuelo de un parque natural o de un área protegida. A diferencia de la sísmica 3D convencional, la RSS-NMR es un método estrictamente pasivo y no intrusivo.

1. Problemáticas de la sísmica clásica en áreas sensibles

- **Destrucción de la flora:** Obligación de abrir líneas rectas (picadas) cortando la vegetación nativa.
- **Perturbación de la fauna:** Las explosiones o vibraciones fuertes provocan una contaminación acústica continua y microsismos que ahuyentan a la fauna.
- **Trámites administrativos bloqueantes:** La obtención de permisos ambientales de exploración en estas áreas protegidas suele demorar años o resulta legalmente imposible.

Inventario de los medios sísmicos

2. Principios fundamentales de la alternativa pasiva RSS-NMR

- **Teledetección (RSS):** Los sensores satelitales realizan análisis espectrales avanzados a distancia para identificar anomalías geológicas y mapear estructuras de interés sin contacto físico con el suelo.
- **Resonancia Magnética Nuclear (RMN/NMR):** Utiliza las variaciones del campo magnético natural de la Tierra combinadas con microondas para excitar los protones de los fluidos (agua, hidrocarburos) en el subsuelo. Cada fluido devuelve una firma electromagnética única, una 'huella dactilar' molecular para su identificación precisa.

3. Aplicaciones concretas para la conservación de parques naturales

- **Hidrogeología y gestión del agua:** Mapear con precisión los acuíferos, evaluar la porosidad del suelo y asegurar el suministro de agua sin alterar los ecosistemas superficiales.
- **Estudios estructurales y prevención de riesgos:** Detectar fallas geológicas o zonas de fractura para prevenir deslizamientos de tierra o riesgos sísmicos naturales.
- **Transición energética:** Evaluar el potencial geotérmico de una zona.

D - ANÁLISIS COMPARATIVO TRIPARTITO DE TECNOLOGÍAS DE EXPLORACIÓN

Estas tres técnicas presentan diferencias mayores en sus impactos ambientales, operativos y técnicos. Las dos primeras son métodos 'activos', mientras que la RSS-NMR es un método pasivo y no destructivo basado en imágenes satelitales y resonancia magnética atómica.

1. Evaluación detallada de impactos por tecnología

Sísmica por Explosión (Dinamita)

- **Impacto ambiental: Alto.** Requiere la perforación de pozos de tiro, perturba la fauna local y daña la flora durante la apertura de líneas.
- **Impacto vibratorio y estructural: Alto.** Las explosiones generan ondas de choque breves pero violentas. Riesgo real para la estabilidad del suelo y estructuras cercanas.
- **Impacto acústica: Alto.** Molestias acústicas masivas, aéreas y subterráneas para la fauna.
- **Impacto logístico:** Alto riesgo crítico vinculado al manejo, almacenamiento y transporte de materiales peligrosos.

Sísmica por Camiones Vibradores (Vibroiseis)

- **Impacto ambiental: Moderado.** No se utilizan explosivos. El impacto principal proviene de la compactación mecánica del suelo y un desmonte mínimo.

 RSS NMR THE SIMPLE WAY OF EXPLORATION	Michel L. Friedman-Matarese (Destom LH 67/11)	
	 Mobile: +591-71696657	 Speaker: FR-UK-ES-BR/PT
 WhatsApp: +591-71696657	 GMT: -04h	
 Email: michel@geo-nmr.net	 Base: Bolivia, Santa Cruz	
 In Charge: Africa & Américas		

**GEO-NMR.NET**
Exploration by satellite

Inventario de los medios sísmicos

- **Impacto vibratorio y estructural: Bajo a Controlado.** Las vibraciones se inyectan de forma continua y progresiva (barrido de frecuencias), cumpliendo con estrictas normas regulatorias.
- **Impacto acústico: Moderado.** El ruido proviene principalmente de los motores de combustión interna de los camiones a altas revoluciones.

Exploración por RSS-NMR (Teledetección y RMN)

- **Impacto ambiental, vibratorio y acústico: Estrictamente CERO.** Esta es la principal ventaja competitiva. Dado que la adquisición se realiza desde el espacio, no emite ondas de choque, no requiere vehículos pesados ni perforaciones, y genera cero molestias.
- **Impacto regulatorio y social: Muy Bajo.** Elimina la necesidad de obtener permisos ambientales complejos o negociar derechos de paso prolongados.

2. Proceso de toma de decisiones estratégicas y marcado de 'Sweet Points'

La tecnología RSS-NMR mapeará y marcará con precisión los 'Sweet points' (las zonas óptimas de acumulación de fluidos) en el bloque explorado. En esta etapa, los propietarios del bloque deben realizar una revisión estratégica interna para decidir si lanzan la fase subsiguiente de pozos exploratorios de prueba.

Aunque el método RSS-NMR proporciona las coordenadas completas para ubicar directamente un pozo (longitud, latitud, profundidad, presión), con frecuencia los propietarios desean validar y refinar los datos mediante un método sísmico localizado enfocado en estos Sweet points. Recomendamos entonces el uso de sistemas sísmicos nodales inalámbricos modernos (particularmente Sísmica de bajo impacto (Low Impact Seismic - LIS)), que resultan ser la mejor opción sobre superficies muy restringidas y focalizadas.

E - SÍSMICA DE BAJO IMPACTO O SÍSMICA POR NODOS PORTÁTILES

La sísmica de bajo impacto (Low Impact Seismic - LIS) y la sísmica por nodos portátiles representan una revolución tecnológica mayor, que permite obtener imágenes del subsuelo con ultra-alta resolución reduciendo drásticamente la huella ambiental.

1. Los pilares de la sísmica de bajo impacto (LIS)

- **Líneas de exploración reducidas y sinuosas:** Las líneas físicas de tránsito se reducen a anchos mínimos (menos de 2 metros) y desvían manualmente los árboles grandes (doglegs), preservando el dosel forestal y ocultando las líneas de visión para proteger a la fauna de los depredadores.

 RSS NMR THE SIMPLE WAY OF EXPLORATION	Michel L. Friedman-Matarese <small>(Destom LH 67/11)</small>
 GEO-NMR.NET Exploration by satellite	 Mobile: +591-71696657
	 Speaker: FR-UK-ES-BR/PT
	 WhatsApp: +591-71696657
	 GMT: -04h
	 Email: michel@geo-nmr.net
	 Base: Bolivia, Santa Cruz
	 In Charge: Africa & Américas

Inventario de los medios sísmicos

- **Fuentes de energía miniaturizadas:** Uso de fuentes de ondas significativamente más ligeras (pequeñas cargas enterradas a poca profundidad, caídas de minipeso portátiles o fuentes vibratorias ligeras).
- **Sísmica pasiva:** Uso cada vez mayor del ruido ambiental natural de la Tierra (vibraciones oceánicas, viento, actividad humana) como fuente de ondas continua, eliminando la necesidad de generar explosiones o vibraciones artificiales.

2. Funcionamiento de los sistemas nodales sin cables (Nodos Portátiles)

Esta es la tecnología clave que hace que la sísmica de bajo impacto sea logísticamente viable en entornos sensibles. La sísmica nodal reemplaza miles de kilómetros de pesados cables de cobre por unidades autónomas, miniaturizadas y completamente inalámbricas.

- **El concepto de 'Nodo':** Un nodo es una pequeña caja electrónica impermeable 'todo en uno' que integra un sensor geófono o acelerómetro, una batería interna de alta capacidad, un chip GPS para sincronización y memoria Flash interna.
- **Aspecto 'Portátil' (Despliegue manual):** Equipos ligeros a pie transportan mochilas simples que contienen decenas de nodos (como SÍSMICA DE BAJO IMPACTO (LOW IMPACT SEISMIC - LIS)) y los plantan directamente en el suelo de manera densa sin realizar excavaciones mayores.
- **Registro continuo:** Los nodos registran las vibraciones del suelo de forma continua durante varias semanas. Al final de la misión, se recuperan a pie y se conectan a un centro de datos móvil (Nest) para recolectar las mediciones.

F - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS.

El método óptimo para explorar posibles reservas petroleras dentro de un área altamente protegida como el Parque Nacional del Chaco paraguayo es el método de BAJO IMPACTO combinado con RMN (RSS-NMR). Ofrece el compromiso perfecto entre un mapeo geológico profundo y una huella ambiental mínima en la superficie, excluyendo eficazmente el uso destructivo de explosiones.

1. Beneficios de la alianza tecnológica RSS-NMR + SÍSMICA DE BAJO IMPACTO (LOW IMPACT SEISMIC - LIS)

Máxima rentabilidad y eficiencia operativa

- **Screening del bloque mediante RSS-NMR:** La exploración se planifica en dos fases. El valor central de la RSS-NMR es su capacidad para analizar vastas áreas de superficie rápidamente desde el espacio sin llamar la atención ni generar alertas especulativas en el

 RSS NMR THE SIMPLE WAY OF EXPLORATION	Michel L. Friedman-Matarese <small>(Destom LH 67/11)</small>
 GEO-NMR.NET Exploration by satellite	 Mobile: +591-71696657
	 WhatsApp: +591-71696657
	 Email: michel@geo-nmr.net
	 In Charge: Africa & Américas
	 Speaker: FR-UK-ES-BR/PT
	 GMT: -04h
	 Base: Bolivia, Santa Cruz

Inventario de los medios sísmicos

terreno (modo Spy). Esto reduce drásticamente el alcance geográfico y los costos de la fase dos.

- **Reducción drástica de costos de campo:** El uso exclusivo de nodos en miniatura SÍSMICA DE BAJO IMPACTO (LOW IMPACT SEISMIC - LIS) reduce los costos operativos de campo hasta en un 50% en comparación con la sísmica terrestre clásica.
- **Complementariedad de escalas de medición:** La RSS-NMR proporciona un macro-mapeo remoto. Esto permite enfocar las áreas específicas de interés antes de desplegar la sísmica nodal en el terreno para obtener imágenes de alta fidelidad de las estructuras geológicas.
- **Velocidad de procesamiento:** El despliegue ultra-rápido de nodos ligeros (150 gramos cada uno) combinado con datos satelitales acelera el ciclo general, reduciendo los tiempos finales de procesamiento de datos entre un 30% y un 50%.

Huella ambiental prácticamente nula (Low Impact)

- **Cero deforestación:** Los nodos SÍSMICA DE BAJO IMPACTO (LOW IMPACT SEISMIC - LIS) son transportados manualmente a pie por los operarios. Ya no es necesario talar árboles ni destruir arbustos para establecer líneas de tránsito base (sin desmonte de líneas).
- **Preservación del suelo y del ecosistema:** La ausencia total de camiones vibradores pesados elimina los riesgos de compactación del suelo y preserva la flora y fauna nativas. La RSS-NMR, al ser un método pasivo remoto, genera absolutamente cero perturbaciones en el campo.
- **Reducción de la huella de carbono:** Aligerar la logística de campo y eliminar los vehículos de transporte pesado reduce masivamente las emisiones de CO₂ asociadas al proyecto.

Precisión y resolución de imagen inigualables

- **Detección directa vs. indirecta:** La sísmica clásica mapea las estructuras geológicas de forma indirecta. El acoplamiento con RMN detecta directamente la firma específica de los átomos de hidrógeno de los fluidos, proporcionando estimaciones inmediatas de porosidad, permeabilidad y la naturaleza exacta del fluido (agua vs. hidrocarburos).
- **Ultra-alta densidad de datos:** El bajo costo unitario y la miniaturización permiten el despliegue de decenas de miles de sensores en el suelo. Esta densidad ofrece una resolución de imagen 3D/4D con una claridad sin precedentes.

Flexibilidad en todos los terrenos y seguridad (HSE)

- **Acceso a terrenos complejos:** Esta combinación de tecnologías permite la exploración en entornos antes considerados inaccesibles: bosques densos, parques protegidos, terrenos montañosos escarpados o desiertos de arena.
- **Seguridad del equipo:** El transporte manual de cargas ultra-ligeras reduce drásticamente los riesgos laborales vinculados al manejo de cables pesados o la conducción fuera de ruta.



Michel L. Friedman-Matarese

(Destom LH 67/11)

Mobile: +591-71696657

Speaker: FR-UK-ES-BR/PT

WhatsApp: +591-71696657

GMT: -04h

Email: michel@geo-nmr.net

Base: Bolivia, Santa Cruz

In Charge: Africa & Américas

Inventario de los medios sísmicos

2. Hoja de ruta y arbitrajes para el ecosistema del Chaco paraguayo

Para llevar a cabo este estudio de prospección en estricto cumplimiento con las normas ambientales de un área protegida, un análisis técnico detallado dicta los siguientes compromisos:

- **Vibroseis:** Proporciona imágenes estructurales nítidas del subsuelo en 2D/3D, pero los camiones son demasiado pesados y la apertura obligatoria de picadas fragmentaría gravemente el ecosistema forestal del Chaco.
- **Explosión:** A ser absolutamente proscrita. Las detonaciones causan daños irreversibles en la estructura del suelo local, amenazan los acuíferos y generan un estrés acústico extremo en especies protegidas (yagareté, taguá). Además, las regulaciones ambientales paraguayas prohíben estrictamente el uso de explosivos en estas zonas.
- **RSS-NMR de superficie:** Un excelente método ecológico para estimar la porosidad, pero su profundidad de investigación es insuficiente por sí sola para la exploración petrolera clásica (los reservorios del Chaco se encuentran a miles de metros de profundidad, mientras que la RMN de superficie sola solo penetra unas pocas decenas de metros). Actúa como una herramienta de calibración complementaria.

Recomendación Operativa Final:

1. Eliminar de forma definitiva y completa el uso de explosiones por dinamita.
2. Utilizar la tecnología espacial RSS-NMR en la Fase 1 como la herramienta principal de screening global de la concesión para mapear con precisión los 'Sweet points' (zonas de mayor interés que contienen fluidos).
3. Desplegar la sísmica nodal sin cables (tipo SÍSMICA DE BAJO IMPACTO (LOW IMPACT SEISMIC - LIS)) en la Fase 2 exclusivamente sobre las zonas de Sweet points resaltadas. Los operadores se desplazarán estrictamente a pie para plantar y recuperar los registradores en miniatura, eliminando la necesidad de abrir caminos para maquinaria pesada.
4. Integrar el perfilaje/dirografía RMN de pozo directamente durante las fases posteriores de perforación exploratoria para analizar la saturación de petróleo y agua dentro de las rocas reservorio profundas, sin ninguna huella en el ecosistema superficial.

Conclusión General: Dentro del marco ultra-sensible de un parque natural, la combinación secuencial de RSS-NMR (para la localización no invasiva de Sweet points) seguida de SÍSMICA NODAL DE BAJO IMPACTO se presenta como el único enfoque viable, de alto rendimiento y eco-responsable para mapear reservas profundas. Las técnicas explosivas deben ser rechazadas por razones ecológicas obvias, y la técnica Vibroseis debe ser descartada ya que resulta técnicamente demasiado riesgosa debido a los requisitos de apertura de caminos para camiones pesados.